

*22 Mart Dünya Su Günü, "İklim Değişikliğinin Su Ve Enerji Kaynaklarımıza Etkisi" Paneli (2005).*

## İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE SU KAYNAKLARINA ETKİSİ

**Zekai Şen**

Su Vakfı Başkanı; İTÜ Öğretim Üyesi; Zemzem Suları Araştırma Merkezi Müsteşarı ve IPCC Çalışma Grubu Üyesi

### ÖZET

Dünyanın birçok bölgesinde hem artış hem de azalma olarak nehir akış hacminde meydana gelen görünür eğilimler mevcuttur. Bunlar sadece bölgelerdeki hava sıcaklığı veya yağışlardaki değişikliklerle açıklanamaz. Ancak buzullarda geniş çaplı ve gittikçe artan bir gerileme ve pek çok bölgede ilkbahar ile kış aylarında nehir akışlarında zaman içinde ileriye ve geriye doğru kaymalar iklimlerde meydana gelen değişimlerle açıklanabilmektedir. İklim değişiminin, dere akışları ve zemin suyu beslenmesi üzerindeki etkisi her bölgede yağışlarda görülen değişimlere göre etkisi vardır. Dünyanın bazı bölgelerinde senaryolar arasında değişimin yönü tutarlıdır ama değişimin büyüklüğü tutarlı değildir. Dünyanın bazı bölgelerinde ise, değişimin yönü belli değildir. Kar yağışının, su dengesinin halen önemli bir unsuru olduğu pek çok bölgede, en yüksek yüzey akış hacmi ilkbahar aylarından kışa doğru kayabilir. Buzullardaki gerileme büyük bir ihtimalle devam edecektir ve pek çok küçük buzul ortadan kaybolabilir. Su kalitesi, genel olarak daha yüksek su sıcaklığının sonucunda bozulmaya uğrayabilir, ancak bölgesel olarak daha yoğun akışların etkisi bunu telafi edebilir. Daha düşük akışlar, su kalitesi bozulmalarını arttıracaktır. Çoğu bölgede, su baskınlarının (taşkın) büyüklüğü ve sıklığı artabilir. Pek çok bölgede ise düşük akış olayları azalabilir. Nüfus artışı ve ekonomik kalkınma yüzünden suya yönelik talep genel olarak artmaktadır, fakat bazı ülkelerde düşmektedir. Belediyeler ve sanayiden gelen taleplerin iklim değişimi tarafından etkilenmesi pek mümkün değildir, ancak sulama için çekilen su miktarlarını etkileyebilir. İklim değişiminin su kaynakları üzerindeki etkisi, sadece nehir akışında ki hacim, zamanlama (kar erimesi), nitelik ve zemin suyu beslenmesinde meydana gelen değişimlere bağlı değildir. Aynı zamanda sistem özelliklerine, sistemin üzerinde meydana gelen değişken baskılara, sistem yönetim evrimine ve nihayet iklim değişmesine yönelik tedbirlerin uygulanmış olmasına bağlı olmaktadır.

İklimle ilgili olmayan değişmeler, iklimle ilgili olan değişmelerden çok daha büyük bir etki gösterebilmektedir. Yönetimsiz sistemlerin en çok iklimlerde meydana gelen değişmeler tarafından etkilenmesi mümkündür. İklimlerdeki değişme, ek belirsizlikleri ilave ederek mevcut su kaynaklarının yönetimine meydan okumaktadır. Ancak, uyarlanabilir (adaptif) kapasiteye (spesifik olarak, entegre su kaynak yönetimini uygulama kabiliyeti), dünyanın çeşitli yerlerinde eşit olarak rastlanmaktadır.

Bu yazıda, yazar tarafından fazla bir yenilik getirmeden, dünya iklim değişikliğinin su kaynaklarına olan etkilerini, aktif üyelerinden birisi olarak IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) isimli Birleşmiş Milletlerin Dünya Meteoroloji Teşkilatı ile beraber kurdukları bir kuruluşun bu konudaki görüşlerinin Türkçe literatüre aktarılması yapılmıştır.

## **GİRİŞ**

İklim değişmesi hidrolojik çevrim, su kaynakları, onların yerel-bölgesel-küresel yönetimi ve dağıtımını üzerine gün geçtikçe daha da fazla etki eder hale gelmektedir. Bu etkiler çok yavaş ve uzun yıllar sırasında ortaya çıkacaktır ve bunun zararlı sinyallerini insanlık bugünden hisseder hale gelmiştir. Bu sebeple dünyanın değişik yerlerinde su kaynaklarının alan ve zaman davranışlarında önceden yaşanmamış değişimler görülmektedir. Bugünden itibaren her su kaynağı geliştirilme çalışmasında iklim değişikliği etkileri mutlaka irdelenmelidir. Küresel ısınmanın sonuçlarına karşı duyduğumuz kaygının en başlangıcından beri, suyun kara, deniz ve hava arasındaki çevrim hareketinde meydana gelen değişmelerin, ekonominin pek çok sektöründe, toplumda ve çevrede önemli ve geniş çaplı etkilerin sürmesi, geniş çevrelerce kabul edilen bir gerçektir. Örneğin pek çok kara ve su ekosistemlerin özellikleri, belirgin bir biçimde suyun mevcudiyeti ile etkilenmektedir. Sulak alanların ekosistemlerinde, ırmaklar ve akiferlerdeki suyun kalitesi tarafından da etkilenmektedir. Su, insan hayatının ve pek çok faaliyetlerin ayrılmaz bir parçasıdır. Bunun en çarpıcı örneği tarımdır. Ancak sanayi, elektrik üretimi, ulaşım ve atıksu yönetimi için de hayati önem taşımaktadır. Bununla beraber, temiz suyun mevcudiyeti ekonomik kalkınmayı da etkiler.

Sonuç olarak, iklim değişmesinin hidrolojinin üzerindeki etkisini su çevrimine ve su kaynaklarını da insan ve çevre su kullanımına odaklayarak inceleyen pek çok çalışma yapılmıştır. Bunların çoğunluğu, su dengesinde meydana gelebilen

değişmeler, örneğin yıl boyunca nehir, çay, ırmak ve dere akışlarında meydana gelen değişiklikler üzerine odaklanmıştır. Çalışmaların daha küçük bir bölümü, bu değişmelerin su kaynakları üzerindeki etkisini, örneğin, bir su haznesinin güvenilirliği veya sel riski incelemiş bulunmaktadır. Daha az sayıda çalışma, mümkün uyum (adaptasyon) stratejilerini net bir şekilde irdelemiştir. Aynı zamanda su sektöründe iklim değişimine uyum için ortaya çıkan fırsatlar ve kısıtlamaların değerlendirilmesi de göz önünde tutulmalıdır. Bu değerlendirmede, yalnız iklim değişmesini özel olarak inceleyen az sayıda çalışmadan değil, bununla beraber su sektörünün farklı kesimleri içindeki genel anlamda değişen durumlara uyum sağlama birikiminden yola çıkmaktadır.

İlk başta, iklim değişmesinin, hidrolojik sistem ve çevrim ile su kaynakları üzerine baskı yapan pek çok unsurdan biri olduğunu vurgulamak gerekmektedir. Değişen toprak kullanımı ve toprak yönetim uygulamaları (tarım kimyasallarının kullanımı gibi) hidrolojik düzeni değiştirmektedir. Sonuç olarak, su kaynakları miktar ve kalitesinde gün geçtikçe kötüye gitme meydana gelmektedir. Genel olarak, değişen talepler bazı ülkelerde kişi başına talebin düşmesine rağmen, mevcut kaynaklar üzerindeki baskıyı arttırmaktadır. Su yönetiminin hedefleri ve süreçleri de değişmektedir.

Pek çok ülkede, “sürdürülebilir” su yönetimine ve su çevresinin ihtiyaçlarına yönelik bir hareket ortaya çıkmaktadır. Mesela, 1992’de düzenlenen Uluslararası Su ve Çevre Konferansı’nda kabul edilen Dublin Beyanatı (Dublin Statement) su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını özendirmek ve mevcut kaynakların bozulmasını önlemek amacıyla yayınlanmıştı. Sağlıklı içme suyuna ulaşım, gıda üretimi için su, su kaynaklarının fazla kullanımı ve bundan kaynaklanan çevresel denge bozulması ve su kalitesinde meydana gelen düşüşün nedenleri iklim değişikliği tesiri altında araştırılmalıdır. Bu konuların kapsamı ve önemi ülkeden ülkeye değişmektedir. 1990’lı yılların son döneminde, su ile ilgili sorunların çözülmesine yönelik birkaç küresel girişimde bulunuldu. İklim değişmesinin etkileri ve iklim değişmesiyle uyum sağlanması, öteki baskılar ve su sektöründe meydana gelen değişimler çerçevesinde değerlendirilmelidir.

Son on yıl içinde ve özellikle İkinci Değerlendirme Raporu’nun yayınlanmasından sonra (İDR) (Arnell ve diğerleri, 1996; Kaczmarek, 1996; Gleick, 1999), iklim değişmelerinin hidroloji ve su kaynakları üzerinde gösterdikleri etkiler hakkında pek çok etüt yapılmıştır. Bazıları, ulusal araştırma programlarına koordine

edilmiş bazıları da su yönetim kuruluşlarınca yaptırılmıştır. Ancak hala pek çok boşluk ve bilinmeyen unsur vardır. Bu yazıda çoğunlukla, iklim değişiminin su kaynakları üzerindeki etkileri, mevcut yorumları ve uyum konusunda atılacak adımları değerlendirmektedir. Bu bölüm, İDR ardından üç kilit noktada ortaya çıkan önemli gelişmeleri vurgulamaktadır, yani metodolojik gelişmeler, iklim değişkenliği etkisinin gittikçe daha fazla kabul görmesi, iklim değişmelerine uyum sağlamak için sarfedilen ilk çabaları da irdelemektedir.

İklim değişiminin hidroloji üzerindeki etkileri çoğu zaman genel dolaşım modellerinin çıktı verilerinden başlayarak, bir hidrolojik modele yapılan iklim girişlerdeki değişimler için senaryolar tanımlayarak gerçekleştirilmektedir. Bu noktadaki üç kilit gelişme (a) hidrolojik etki değerlendirilmelerine uygun olan senaryoları üretmek, (b) gerçekçi hidrolojik modelleri geliştirmek ve kullanmak ve (c) iklim ile hidrolojik sistemler arasındaki bağlantıları ve geri itilim sürecini (feedback) daha iyi anlamaktan ibarettir.

## **SU SEKTÖRÜNDE İKLİM DEĞİŞMESİNE UYUM**

Su yönetimi, risklerin en aza indirilmesini ve değişen durumlara (genellikle değişen taleplere) uyumu esas almaktadır. On yıllık dönemler boyunca su sektöründe geniş yelpazeli uyum teknikleri geliştirilip uygulanmaktadır. Çok kullanılan bir sınıflandırma sistemi, artan kapasite (örneğin, baraj, su haznesi veya yapısal sel önleme sistemlerinin inşası), mevcut yapılar ve sistemler için işletme kurallarını değiştirme, talep yönetimi ve kurumsal uygulamaları değiştirme gibi yaklaşımlar arasında ayırım yapmaktan ibarettir. İlk iki yöntem, “arza bağlı” stratejiler, son iki yöntem ise “talebe bağlı” stratejiler olarak adlandırılmaktadır. Son birkaç yıl içinde, talebe bağlı tekniklere karşı olan ilgi iyice artmıştır. "Dünya Bankası" gibi uluslararası ajanslar ve "Küresel Su Ortaklığı" gibi girişimler, kaynakların daha etkili bir şekilde yönetilmesi için su kaynakları yönetimi ve fiyatlandırılması için yeni yöntemleri özendirilmektedir. (Kindler, 2000). Bu çalışmalar, büyük ölçüde iklim değişmesinden bağımsız olarak yürütülmektedir.

Su yönetim uygulamalarındaki değişimler, iklim değişiminin su sektörünü nasıl etkileyeceğini hissedilir bir şekilde gösterir. Bazı ülkelerdeki su yöneticileri, iklim değişimini özel ve net bir şekilde ele almaya başlamıştır. Bunun uygulanmasında başvurulan yöntemler henüz iyi tanımlanmamıştır. Hem ülke içinde hemde ülkeler arasında uzun vadeli su kaynak planlaması için yürürlükteki kurumsal

düzenlemeler tam geliştirememiştir. Su idarelerinden, düzenleyeciler tarafından, gelecekteki kaynak ve böylece yatırım tahminlerini değerlendirirken, iklim değişmesini “göz önünde bulundurmaları” istenmiştir. Amerika Birleşik Devletleri de su idarelerinden, sistemlerinin pek mümkün iklim değişmelerine karşı zaaf gösterme imkanını incelemelerini istemiştir.(AWWA, 1997).

Su idarelerinin genel olarak yönetim uygulamalarını değiştirme veya iklim değişmesini bunlara dahil etme kabiliyeti, ülkeler arasında büyük farklılık göstermektedir.

## **İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE YAĞIŞLAR**

Yağışlar, mekan ve zaman içinde, su dengesindeki değişkenliğin belli başlı kaynağıdır. Yağışlarda meydana gelen değişimler, hidroloji ve su kaynakları için çok önemli sonuçlar doğurabilir. Belli bir su havzasında zaman içinde meydana gelen hidrolojik değişkenlik, günlük, mevsimsel, yıllık ve onyıllık zaman zarfları içinde yağışlarda başgösteren değişkenlik tarafından etkilenmektedir. Sel sıklığı, yıllar arasında (yıldan yıla) yağışlarda gözlenen değişkenlikle kısa vadeli yağış miktarlarında meydana gelen değişimler (sağnak yağış gibi) tarafından etkilenmektedir. Düşük veya kuraklık düzeyinde olan yüzey akışlarının sıklığı, en çok yağışların mevsimsel dağılımında meydana gelen değişimler, yıldan yıla değişkenlik ve uzun kuraklık dönemleri tarafından etkilenmektedir.

Dünyanın çeşitli bölgelerinde farklı eğilimler mevcuttur; örneğin Kuzey Yarıkürenin orta ve yüksek enlemlerinde (kutuba yakın bölgelerde), özellikle sonbahar ve kış aylarında bir artış ve her iki yarıkürede, tropik ve alt-tropikal bölgelerde bir azalma mevcuttur.

Bugünkü iklim modelleri, yüksek ve orta enlemlerde ve çoğu ekvator bölgesinde yıllık yağışlarda iklim değişmesinin sonucu olarak ortaya çıkan artışların ve alt-tropik bölgelerde görünen azalmaların simülasyonunu yapmaktadır (Carter ve Hulme, 1999). Ancak dünyanın pek çok geniş coğrafyasında, küresel ısınmaya bağlı olan değişimler doğal olarak büyük bir zaman zarfını kapsayan on yıllık dönemlerde meydana gelen değişkenlikle kıyaslandığı zaman küçük kalmaktadır. Mevsimsel yağışlardaki değişimler, alansal olarak daha da değişken olup, bir bölgenin klimatolojisinde meydana gelen değişmelere bağlıdır. Genel olarak, kara üzerinde gözlenen en büyük yağış değişimleri (yüzdeler olarak), iklim modelleri arasında

büyük farklılıklar olmasına rağmen, kutuba yakın bölgelerde, bazı ekvatoryal bölgelerde ve Güneydoğu Asya'da bulunmaktadır.

Yakın zamana kadar çok az sayıda iklim modeli tarafından temsil edilen yıllık değişkenlikte mümkün değişimleri yansıtan tahminler yayınlanmıştır. Bunlar hem mevcut kısa dönem ölçümleri, hem de iklim modellerinin kesin olarak iklim değişkenliğinin, gözlenen eğilimlerini üretmediği kanaatini ortaya koymaktadır. Son zamanlarda meydana gelen bilimsel gelişmeler bazı küresel iklim modelleri, El Nino gibi etkenleri gittikçe artan üretme yeteneklerini içermektedir (Meehl ve Washington, 1996); Yıllık değişkenlikte ortaya çıkan değişmelerin değerlendirilmesinin artık mümkün olabileceğine işaret edilmektedir. Küresel ısınmanın sonucu olarak gerçekleşen mevsimsel ve yıllık yağış toplamalarının nispi değişkenliğinde bir artış görülmektedir (Hulme ve Jenkins, 1998). Sağnak yağış sıklığında meydana gelebilecek değişmelerin çoğunlukla kaba alansal çözünürlüğü yüzünden küresel iklim modellerinden çıkarılması oldukça zordur. Ancak, sağnak yağış sıklığının genel olarak küresel ısınma ile birlikte artacağına dair işaretler mevcuttur (Henessy ve diğerleri, 1997; Mc Guffie ve diğerleri, 1999). Bu beyanata duyulan güven, küresel iklim modellerine duyulan güvene bağlıdır. Daha genel bir şekilde anlatmak gerekirse, genel dolaşım modellerini yağış tahminlerindeki belirsizlik, büyük ölçüde onun hidrolojik sistemler ile su kaynaklarının üzerindeki etkisinin değerlendirilmesinde mevcut olan belirsizliği tayin eder.

Artan sıcaklıklar, yağışların daha küçük bir bölümü kar şeklinde olacağı anlamına gelebilir. Şu sıralarda kar yağışının marjinal olduğu bölgelerde kar artık yağmayabilir ve bunun hidrolojik rejimler için çok önemli sonuçları mutlaka olacaktır. Bu tahminler, yağış büyüklüğünde meydana gelebilecek mümkün değişmelerden daha az belirsizdir.

## **İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE BUHARLAŞMA**

Kara yüzeyinden gerçekleşen buharlaşma, açık su yüzeylerinden, topraktan, sıg zemin suyundan, bitki örtüsünde depolanan sulardan, bitkilerde meydana gelen terlemeden de meydana gelmektedir. Kara yüzeyinden buharlaşma oranı, her şeyden önce meteorolojik unsurlara bağlıdır. Bitki örtüsü ve toprak özellikleri ise olayda aracılık yaparak mevcut su miktarı tarafından kısıtlanmaktadır. İklim değişimi henüz net olarak anlaşılmayan ortak bir şekilde bütün bu faktörleri etkileme potansiyeline

sahiptir. İyice sulanmış bir kara yüzeyinin, buharlaşmanın (potansiyel buharlaşma) üzerindeki belli başlı meteorolojik etki unsurları şunlardır.

(a) mevcut enerji miktarı net radyasyon ile karakterize edilmektedir,

(b) havanın nem içeriği (nem, su buharı içeriği ve hava sıcaklığının bir işlevidir), ve

(c) yüzeyin üzerinden hava hareket oranı rüzgar hızının bir işlevidir. Artan sıcaklık, havanın su tutma kapasitesini arttırdığı için genellikle artan potansiyel buharlaşma ile sonuçlanmaktadır. Başka meteorolojik etkilerden meydana gelen değişimler, sıcaklıktaki artışı abartabilir veya dengeleyebilir. Artmış su buhar içeriği ve daha düşük net radyasyonun daha düşük buharlaşma talepleriyle sonuçlanması mümkündür. Ancak, farklı meteorolojik modellerin nispi önemi, coğrafik olarak değişmektedir. Örneğin, kuraklık bölgelerinde potansiyel buharlaşma enerji tarafından güdümlenmekte, atmosferik nem içeriği tarafından kısıtlanmaktadır ve bu yüzden de nem oranında meydana gelen değişimler nispeten önemsizdir. Nemli bölgelerde, atmosferin nem içeriği buharlaşmanın önemli bir kısıtlayıcısıdır. Bu yüzden nem oranında meydana gelen değişimler buharlaşma oranını önemli derecede etkilemektedir.

Buharlaşma süreci etkisinin, temel olarak alınan iklime değişik etkilerin nispi önemine ve değişimin miktarına bağlı olduğu gösterilmiştir. Potansiyel buharlaşmadaki artışların, büyük ölçüde daha yüksek sıcaklığın sonucu olan buhar basıncı açığı sonucunda meydana gelen artışlara bağlı olduğu öğrenilmiştir.

Bitki örtüsü, çeşitleri ve özellikleri buharlaşma olayında çok önemli rol oynamaktadır. Yağışın azalması büyük ölçüde bitki örtüsünün türüne de bağlıdır. Farklı bitki örtüsü türleri, farklı terleme oranlarına sahiptir. Bununla beraber, farklı bitki örtüsü çeşitleri, bitki üzerindeki havada farklı türbülanslar ortaya çıkarır ve türbülans arttıkça buharlaşma da artar. Su havzasındaki bitki örtüsünde meydana gelen bir değişiklik – dolaysız, veya iklim değişmesinin sonucunda dolaylı olarak – bu yüzden su havzasındaki su dengesini etkeleyebilmektedir.

Bitkilerin, gözenek (stoma) yoluyla gerçekleşen terlemesi, atmosferdeki nem ve türbülans enerji tarafından güdümlenmesine karşın bitkiler de terleme olayını bir yere kadar görülmektedir. Özellikle suyun kısıtlayıcı bir rol oynadığı durumlarda, pek çok bitkide gözenek iletkenliği, yaprağa yakın olan buhar basınç açığı düştükçe artmaktadır. Sıcaklık yükselirse veya kökler için daha az su mevcutsa sonuç olarak terleme azalır. Gözenek iletkenliğindeki kısa vadeli değişimler üzerine, atmosferdeki

karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) konsantrasyonlarının etkisi de eklenmektedir. Azalan CO<sub>2</sub> konsantrasyonları, C<sub>2</sub> bitkilerde gözenek iletkenliğini azaltır. Bitkilerin su kullanımı verimliliği bu yüzden önemli derecede artabilir (Morison, 1987). Bunun sonucu olarak, terlemede bir azalma da mevcuttur. Ancak, daha yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonları, bitkide meydana gelen daha yüksek bir büyüme hızına bağlıdır. Bitkiler daha yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarına kendisini ayarlayabilmektedir. CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının 550 ppmv'e arttırıldığı zaman toprak alanı birim başına düşen su kullanımında hissedilir bir değişme ortaya çıkarmaz. CO<sub>2</sub> zenginleşmesinin havza çapında buharlaşma üzerindeki etkileri konusunda ise büyük bir belirsizlik mevcuttur, fakat anlaşılmıştır ki gözenek iletkenliğinde azalmalar, ille havza çapında azalmış buharlaşma ile sonuçlanmaz.

Asıl buharlaşma oranı, su mevcudiyet oranı tarafından kısıtlanmaktadır. Yaz mevsiminde zemin suyunda meydana gelen bir azalma, buharlaşma taleplerinde gerçekleşen bir artışa rağmen, yine de herhangi bir havzada meydana gelen buharlaşmada azalma ile sonuçlanabilmektedir.

## **İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE TOPRAK NEMİ**

Toprakta depolanan nem, tarım için hayati önem taşıyıp, asıl buharlaşma oranının yeraltı suyu beslenmesi yüzeysel akış suyu üretilmesi üzerinde de etkisi vardır. İklim değişmesinin toprak nemi üzerinde gözlenen yerel etkileri sadece iklim değişimi oranıyla değil, aynı zamanda toprak özellikleriyle de değişir. Toprağın su tutma kapasitesi, toprak nem açıklığında mümkün değişimleri de etkileyecektir. Kapasite düşük olunca iklim değişmesine karşı hassasiyeti yüksek olur. İklim değişmesi de toprak karakteristiğini, belki su çekmişliği veya çatlama özellikleri vasıtasıyla etkileyebilir; bu olgular ise toprağın nem depolama özelliklerini teşhir edebilmektedir. Pek çok toprak türünün sızma kapasitesi ve su tutma kapasitesi, don olayının sıklığı ve yoğunluğu tarafından etkilenmektedir. Kömüşçü ve diğerleri (1998) iklim değişmesinin güneydoğu Anadolu'daki toprak nem mevcudiyeti için doğabilecek olasılıklı sonuçları irdeleyip, yaz aylarında önemli düşüşler de tespit etmiş bulunmaktadırlar.

## **İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE YERALTI SUYU KAYNAKLARI**

Dünyanın geniş coğrafyalarında yaraltı suyu, özellikle kuraklık ve yarı-kuraklık bölgelerindeki kırsal alanlarda içme ve kullanma suyunun belli başlı



kaynağıdır. Akiferin beslenmesi yağışlar, ırmaklar ve göller tarafından gerçekleştirilmektedir. Su, hızlı bir şekilde makro-gözenekler ve yarıklar yoluyla veya akiferin üstündeki geçirgen kayalardan sızarak yavaşça akifere ulaşabilir. Etkatif yağışta gerçekleşen herhangi bir değişiklik, beslenme sürecini de değiştirecektir. Beslenme mevsiminde meydana gelen bir değişikliğin etkisi aynı olacaktır. Orta enlemlere yönelik hemen hemen bütün senaryolarda tahmin edildiği gibi, artan kış yağışları genel olarak artar. Yüksek bir buharlaşma oranı, topraktaki su açıklarının daha uzun zaman devam etmesi ve toplam efektif yağışta meydana gelen artışın dengelenmesi anlamına gelebilmektedir. Basınçsız bir akifer, dolaysız olarak yerel yağışlar, ırmaklar ve göller tarafından beslenir. Beslenme akiferin oranı onun üstündeki kaya ve toprakların geçirgenliği tarafından etkilenecektir. Makro-gözenek, çatlak ve yarık beslenmesi, en fazla beslenme sağlayan yapılar arasındadır. Aynı zamanda, toprak altındaki jeolojide yüksek derecede çatlakların olması durumunda beslenme artmaktadır. Bazı yarı-kurak bölgelerde beslenmenin önemi büyüktür. İlke olarak, “hızlı beslenme” yağmurun her yağdığı zaman meydana gelebilmektedir. Bu nedenle, bu sürecin beslenmede hakim olduğu durumlarda, mevsimsel toprak nem değişkenliğinden ziyade, yağış miktarında meydana gelen değişimler tarafından etkilenecektir. Yürürlükteki senaryolara göre 2080’li yıllar için öngörülen sıcaklık değişimlerinden bile çok daha büyük değişimleri temsil eden 2xCO<sub>2</sub> senaryoları uygulamaktadır (Carter ve Hulme, 1999). Önümüzdeki 10 yıllık dönemlerde meydana gelecek iklim değişimi etkisinin oldukça fazla olması beklenmektedir. Taşkın ovalarında bulunan sığ, açık akiferler (ki bunlar, yarı-kurak ve kurak ortamlarında en sık rastlanan türlerdir), mevsimsel dere akışları tarafından beslenip doğrudan buharlaşma tarafından azaltılmaktadır. Beslenme olayında gerçekleşen değişimler, bu dere akışlarının süresinde ve üstlerinde bulunan katmanların geçirgenliği tarafından tayin edilir. Bunlar yerel şartlara bağlı olarak artabilir veya azalabilir. Artan buharlaşma talepleri daha düşük bir zemin suyunun depolanmasıyla sonuçlanır.

Deniz seviyesindeki yükselme, sahil bölge akviferlerinde tuzlu su girişime sebep olacaktır. Bu girişimin miktarı yeraltı suyunun hidrolik eğimine bağlı kalacaktır. Sığ sahil akiferleri en büyük risk altında bulunmaktadır. Denizlerin yükselmesiyle birlikte meydana gelen bir yağış azalması, toplanabilir su hacminde bir gerilemenin sebebi olup, bununla beraber az olan tatlı su kaynaklarının miktarları da azaltacaktır (Amadore ve diğerleri, 1996). Yukarıdaki bilgilerden, basınçsız akiferlerin yerel çapta iklim değişmesine, pompa vasıtasıyla çekilmeye ve deniz

suyunun girişimine karşı hassas olduğu anlaşılmaktadır. Beslenmenin ölçülmesi sadece akiferin üstünde bulunan kaya ve topraklarca değil, akiferlerin kendi karakteristiklerince de zorlaştırılmaktadır.

Öte yandan basınçlı bir akifer, su üstünde bulunan geçirmez bir katman tarafından karakterize edilmektedir. Böylece yerel yağış akiferi doğrudan etkilemez. Bu akiferler, çoğu zaman göller, ırmaklar ve birkaç kilometreden birkaç bin kilometreye kadar uzaklıkta meydana gelen yağışlarca beslenmektedir. Beslenme hızları, birkaç gün ile onlarca yıl arasında değişmektedir.

## **İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE YÜZEYSEL AKIŞ**

İklim değişmesinin etkileri hakkında yapılmış hidrolojik çalışmaların büyük çoğunluğu, yüzeysel akış üzerindeki potansiyel değişmelerde odaklanmıştır. “Nehir akışı” ile “yüzeysel akış” arasındaki fark, bazen oldukça bulanık olabilir. Genel olarak “nehir akışı” terimi, bir nehir yatağında akan su için (genellikle belli bir noktanın yanından kaydettiği akış oranı, yani  $m^3$  ile ifade edilir. Yüzeysel akış ise buharlaşmayan yağış miktarıdır ve bu genellikle su havzası boyunca bulunan su derinliği olarak ifade edilmektedir. Bu iki tarif arasında kurulabilen basit bir bağ şu şekilde ifade edilebilir. Yüzeysel akış, nehir akışı ile su havzası alanına bölümü olarak tanımlanabilir. Ancak, kuraklık bölgelerinde bu geçerli olmayabilir, çünkü su havzasının bir kısmında ortaya çıkan yüzeysel akış, bir nehir yatağına ulaşp, dere akışı olmadan önce toprak altına sızabilir. Kısa süreler boyunca bir su toplama havzası çıkışından akan suya genellikle “nehir akışı” denir.

İklim değişikliği tesiri ile pek çok aşırı hidrolojik olay, seller ve kuraklıklar dahil, meydana gelmiş ve bu yüzden hidrolojik verilerde ortaya çıkan riskli eğilimler üzerinde de çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. Yıllan yıla ortaya çıkan akış değişimlerinin sıcaklıktaki değişmelerden ziyade, yağışlardaki değişmelere bağlı olduğu anlaşılmıştır (Krasovskaia, 1995; Risbey ve Entekhabi, 1996).

Birkaç nedenle hidrolojik verilerdeki eğilimleri (gidişleri) tespit etmek çok zordur. Zaman içinde hidrolojik davranışlarda gözlenen değişkenlik, özellikle daha kuru ortamlarda yüksektir ve herhangi bir işaretin bulunması zordur. Düşük frekanslı iklim ritimlerinden kaynaklanan değişkenlik gittikçe tanınmaktadır ve eğilim arayan araştırmacılar, bu eğilim modelleri için düzeltme yapmak zorundadır. Pek çok su toplama havzasında toprak kullanımı ve başka alanlarda meydana gelen değişmeler devam etmektedir ve bunların etkileri, iklim eğilimlerinden daha güçlü

olabilmektedir. Bazı su havzalarında, insan tarafından yapılan veya insanın etkisiyle meydana gelen değişimler iklim değişkenliğinin etkilerini gizlemektedir. Bir eğilim tanımlansa bile, söz konusu havzada süren başka değişiklikler yüzünden onu küresel ısınmaya yüklemek zor olabilir. Genel olarak, veri (özellikle pek çok gelişmekte olan ülkelerde) ve tutarlı bir veri işleme yöntemi eksikliği son yıllarda hidrolojik davranışlarda ortaya çıkan eğilim modellerinin anlaşılmasına sebep olur. Yüzeysel akışta doğal olarak meydana gelen onar yıl ölçekli değişkenliğin karakteristiklerini anlayabilmek için, yüzyıllarca geriye doğru giden uzun kayıtların yeniden değerlendirilmesinin yapılması gerekmektedir.

### **İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE SEL SIKLIĞI**

Sel sıklığında meydana gelen değişmeler, sık sık iklim değişmesinden kaynaklanan potansiyel bir etki olarak gösterilmesine rağmen, 1990'lı yılların ilk döneminden sonra çok az çalışma (Nash ve Gleick, 1993; Jeton ve diğerleri, 1996) özel bir şekilde yüksek akışlarda gerçekleşebilecek değişimleri incelemiştir. Bu eksiklik, sel olaylarını tetikleyen sağnak/uzun yağışlarda (veya kar erimesinde) ortaya çıkan değişimler için geçerli senaryoların tanımlanmasında yaşanan zorlukları yansıtmaktadır. Günümüzde küresel iklim modelleri, doğru ve titiz bir şekilde kısa süren, yüksek yoğunlukta yerel sağnak yağışlarının simülasyonunu yapamamaktadır.

Ancak, birkaç çalışma, çoğunlukla aylık yağışlarda gerçekleşen değişimlerin, “sele sebep olan” yağışlar için de geçerli olabileceğini varsayarak, sel sıklığında meydana gelebilecek mümkün değişimleri değerlendirme teşebbüsünde bulunmuştur. Bununla beraber bazı çalışmalar, yağış yoğunluğunda meydana gelen değişmelerin ilave etkilerini de değerlendirmişlerdir. Örneğin Reynard ve diğerleri (1998) ilk olarak bütün yağış miktarlarının aynı oranda değiştiğini ve sonra da yalnız sağnak yağışın arttığını varsayarak, Thames ve Severn nehir havzalarında farklı dönüş dönemi sellerin büyüklüğünde meydana gelen değişimleri değerlendirmişlerdir.

### **İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE HİDROLOJİK KURAKLIK**

Sellerle kıyaslanınca, kuraklıkların nitelik olarak tanımlanması çok daha zordur. Kuraklıklar, yağış açığı, toprak nem açığı, nehirlerde akış açığı, düşük zemin suyu seviyeleri veya haznelerdeki suyun seviyesinin düşüklüğü olarak nitelendirilebilir. Farklı sektörlerde farklı tanımlar kullanılmaktadır. “hidrolojik” bir kuraklık, nehirlerdeki su seviyesi veya zemin suyu seviyesinin düşük olduğu zaman,

“su kaynakları kuraklığı” ise, nehirlerdeki su seviyesinin veya zemin suyunun ve haznelerdeki su seviyesinin düşüklüğü, su kullanımını etkilediği zaman meydana gelmektedir. Yaz aylarında gerçekleşen düşük nehir akışları, su haznelerinin kışın sonunda dolu olduğu zaman su kaynakları kuraklığı ortaya çıkmaz.

Yaz aylarında kısa süren bir sel, su haznelerine akan yüzeysel suda uzun süren bir düşüşün ortaya çıkması su kaynakları kuraklığını sona erdiremeyebilir. Bu yüzden su kaynağı kuraklıkları, yalnız iklime ve hirdolojik “girdilere” bağlı değil, fakat kritik bir şekilde su kaynakları sisteminin özelliklerine ve kuraklık yönetim metodlarına da bağlıdır. Farklı düşük nehir akış göstergeleri arasında asgari akışların büyüklüğü, akışların belli bir eşğin altına düşme süresi, asıl akışlar ve belirlenmiş bir eşğin arasındaki toplama farkı gibi kriterler bulunmaktadır.

## **İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE SU KALİTESİ**

Doğal olarak nehirler, akiferler ve göllerdeki su , atmosferik girdiler, jeolojik şartlar ve iklime bağlı olarak pek çok erimiş maddeyi içermektedir. Bu malzemeler, suyun kimyasal özelliklerini belirlemektedir. Suyun biyolojik özellikleri ise, alıcı ortamda bulunan flora ve fauna tarafından tayin edilmektedir. suyun sıcaklığı, tortu yükü ve rengi önemli fiziksel özelliklerini meydana getirmektedir. “Su kalitesi”, kimyasal, fiziksel ve biyolojik özelliklerin işlevidir. “Kalite” kelimesi, belli bir standartla bağıntılı olan bir niteliği içerdiği için değer-yüklü bir terimdir. Suyun farklı kullanım amaçları, farklı standartları taşımaktadır. Kirlenme ise, genel bir şekilde suyun (yani onun kalitesinin) kimyasal, fiziki veya biyolojik karakteristiklerinde meydana gelen bir düşüş olarak tanımlanabilmektedir. Bu düşüş, suyun belli bir kullanımını veya söz konusu suyun içinde bulunan ekosistemleri etkileyecek niteliktedir. Suyu kirleten belli başlı maddelerin arasında

(a) alıcı ortamlardaki oksijeni azaltan organik maddeler,

(b) göller ve denizin sahil bölgelerinde algların fazla çoğalmasına yol açan besin maddeleri. Bu olay, “ötrifikasyon” olarak bilinmektedir. Bunun sonucu olarak, zehirli olabilecek ve çürüdükleri zaman büyük miktarda oksijen tüketen alg menevişleri ortaya çıkmaktadır,

(c) toksik ağır metaller ve organik bileşimler. Su kirlenmesinin derecesi, kirleten maddelerin yoğunluğu alıcı ortamların asimilasyon kapasiteleri tarafından tayin edilmektedir. Bu nehir akışının fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine bağlıdır. Ancak bütün kirleticiler, bakterilerle ayrışabilen maddeler değildir.

Nehir suyunun kimyasal niteliği, nehire yüklenen kimyasalların, su sıcaklığının ve akış hacminin işlevidir. Bu yük, havzanın jeolojik ve arazi kullanım özelliklerine ve havzada meydana gelen insan faaliyetlerine bağlıdır. Tarım, sanayi ve umumi su kullanımının sonucu olarak, “kirletici” maddelerin girdisi de mevcuttur.

Tarımsal “girdiler”, iklim değişimi tarafından en çok etkilenen unsurdur. Değişen iklim, tarımsal uygulamaları değiştirebilmektedir. Değişen iklim, toprakta meydana gelen kimyasal süreçleri de hava tesiriyle kimyasal bozulma dahil etkileyebilir (White ve Blum, 1995). Suyun kimyasal yükü, onun nehir yatağına ulaşmasına bağlıdır. Örneğin nitratlar sık sık uzun kuraklık dönemlerinin ardından meydana gelen sağnak yağışlarca nehirlere alınıp götürölmektedir.

Nehir suyunun sıcaklığı, sadece atmosferik sıcaklığa değil, aynı zamanda rüzgar ve güneş radyasyonuna da bağlıdır (Orlob ve diğerleri, 1996). Nehir suyunun sıcaklığı, hava sıcaklığına göre az bir farkla daha az artmaktadır. (Pilgrim ve diğerleri, 1998). En az artışlar, büyük miktarda zemin suyu katkısı olan havzalarda meydana gelmektedir. Biyolojik ve kimyasal süreçler büyük ölçüde su sıcaklığına bağlıdır. Yalnız daha yüksek sıcaklıklar ise, bazı kimyasal türlerin konsantrasyonunda bir artış, bazılarında bir azalma ile sonuçlanacaktır. Daha sıcak suda erimiş oksijen konsantrasyonları daha düşük olup, bu artan sıcaklık, çürüdükleri zaman oksijeni tüketen alg menevişlerinin çoğalmasını da teşvik etmektedir

## **İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE JEOMORFOLOJİK BÜYÜKLÜKLER**

Nehir yatağı erozyon ve sedimentasyon eğilimleri, çoğunlukla zaman içinde nehir akışında, özellikle sıklığında meydana gelen varyasyonlarca tayin edilmektedir. Geçmişte nehir akışında insan etkenleri veya doğal iklim değişkenliğinden kaynaklanan değişmeler ve buna bağlı olan nehir yatağındaki değişmeler hakkında önemli bir literatür mevcuttur (Rumsby ve Mackin, 1994). Ancak, gelecekte ortaya çıkabilecek değişmeler hakkında çok az yayın vardır. Bu olgu, çoğunlukla erozyon ve sedimentasyon süreçlerini simüle edecek rakamsal modellerin eksikliğini yansıtmaktadır. Nehir yataklarında meydana gelebilecek değişimler ile ilgili değerlendirmeler, hep geçmişte cereyan eden değişimlerden yola çıkılarak yapılmıştır. İlerde meydana gelebilecek daha büyük seller, artan nehir yatağı erozyonuyla doğrudan bağlantılı olabilecektir.

Drenaj ağının yoğunluğu, iklimin topografi üzerindeki etkisini yansıtmaktadır. Moglen ve diğerleri (1998), drenaj yoğunluğunun iklim değişmesine hassas olduğunu

ve yoğunlukta cereyan eden bir değişmenin yönünün yalnız iklim değişmesine değil, yürürlükte olan iklim rejimine bağlı olduğunu göstermektedirler.

Hanratty ve Stefan (1998), Minnesota’da bulunan küçük bir havzadaki nehir rejiminde akış ve rüsubat verimini simüle etmişlerdi. Kullandıkları senaryo, rüsubat veriminde büyük ölçüde azalmış toprak erozyonu yüzünden bir düşüşle sonuçlanmıştı. Aslında nehir yatak şeklini ve rüsubat (sürüntü) taşınımını yansıtan fiziksel bazda yapılan modellerin eksikliği, iklim değişmesinin nehir yataklarının üzerindeki etkisi konusunda yapılan değerlendirmeler genellikle düşük olduğu anlamına gelmektedir.

### **İKLİM DEğİŞİKLİğİ VE KULLANIM SUYU ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

İklim değişmesinden su kaynakları için doğacak sonuçlar, yalnız kaynak bazında meydana gelebilecek değişmelere bağlı değildir. Aynı zamanda talepte hem insan, hem çevre tarafından cereyan eden değişmelere de bağlıdır. İklim değişmesinin kullanım için çekilen su miktarı ve bu suyun kullanımı üzerindeki potansiyel etkisini, (bu etkileri talebi güden ve iklime bağlı olmayan unsurların çerçevesine koyarak) değerlendirmektedir.

“Talep” kelimesi, iktisadi anlamda belli bir hizmet veya mala karşı para verme gönüllülüğü anlamına gelmekte, fiyat, gelir (haneler için), üretim (sanayi veya tarım için), aile yapısı, eğitim seviyesi gibi pek çok değişkenin işlevini içermektedir. Talep işlevinin faydası, hem sebep teşkil eden değişkenlerdeki değişmelerin etkilerini tahmin etme kabiliyetinde, hem de talep eden tarafın “ödeme gönüllülüğü”nün ölçülmesinde talep eden tarafın edindiği brüt faydaların ölçüsü olarak bulunmaktadır. Bu “ödeme gönüllülüğü” fiyat-miktar düzeyindeki talep işlevinin altında bulunan alanı ölçmektedir. Asıl satın alınan miktarlar (zaman içinde kullanım için çekilen su miktarları veya kullanılan su), talebi etkileyen unsurların karşılıklı tesiri yukarıda tanımlandığı gibidir ve temin veya mevcudiyet ile ilgili olarak tanımlanmaktadır. Nitekim, zaman içinde satın alınan miktarın artması, talepte meydana gelen bir artıştan ziyade, yani tedarik eğrisinde meydana gelen bir değişme/kayma, tedarikteki maliyet düşüşünün sonucu olabilir. Bu bölümde, “talep” terimi, sık sık “ihtiyaçlar” anlamında kullanılmaktadır – ki bu, su sektörünün büyükçe bir kesmindeki kullanımı yansıtmaktadır.

Talepler, iki boyutlu “nehir içi” veya “nehir dışı” veya tüketime bağlı veya bağlı olmayan talepler olarak sınıflandırılabilir. “Nehir içi” talepleri, sudan

nehir yatağında veya göldeyken faydalanır, kullanım için su çekilmez. Örnek olarak ekosistem kullanımı, nakliyat, hidroelektrik santralleri, rekreasyon ve su mecrasının atıksu asimilasyonu için kullanılması verilebilmektedir. “Nehir dışı” taleplerinde su, nehir, göl veya akviferden çıkarılmaktadır. Bunların içinde evsel, sınai ve tarımsal talepler vardır; sanayi ve santrallerdeki soğutma sistemleri için kullanılan su buna dahildir. Bunlar, tüketimi içeren ve içermeyen talepler olabilir. Tüketimi içeren talepler, suyu böylece “kullanır”- ki o, bir bütün olarak nehre geri gönderilemez. Tüketimi içermeyen taleplerde ise su nehre geri gönderilebilir. İlk sırada bulunan tüketimi içeren talepler, sulama ve sanayide uygulanan suyun baharlaşmasını içeren bazı soğutma süreçleri içindir.

### **İKLİM DEĞİŞMESİNE KARŞI TALEP HASSASİYETİ**

İklim değişmesi, suya yönelik taleplerin üzerinde potansiyel bir etki oluşturmaktadır. Belediyelerden gelen talep, bir yere kadar iklime bağlıdır. Shiklomanov (1998) değişik iklim bölgelerinde değişik kullanma oranlarını kaydetmiştir. Ancak kentler arasında kıyaslama yapılırken, iklime bağlı olmayan unsurlardaki değişimlerin açıklanması zordur. Belediyelerden gelen talebin iklim değişmesine karşı olan hassasiyeti büyük ihtimalle, suyun kullanım şekillerine bağlıdır. En hassas alanlar, kişisel hijyene verilen önemin artması ve bazı kültürlerde (ülkelerde) bahçe, özellikle çimenlerin sulanması için artan kullanım. Büyük

İklim değişimi, suya yönelik talep için bir başka potansiyel etkidir. Belediyelere yönelik talepler ise bir yere kadar iklime bağlıdır. Shiklomanov (1998), değişik iklim bölgelerinde farklı kullanım oranlarını tespit etmiştir, fakat kentler arası kıyaslama yaparken iklime bağlı olmayan unsurlar arasındaki değişkenliği açıklamak zordur. Belediyelerden gelen talebin hassasiyeti, büyük bir ihtimallerle suyun asıl kullanım alanlarına bağlı olacaktır. En hassas alanlar, kişisel hijyene bağlı olanlar – ve, daha önemlisi, bazı kültürlerde bahçe, özellikle çimenlerin sulanması için kullanılan su miktarlarıdır.

Sanayide işlem amaçlı su kullanımı ise, iklim değişmesine karşı hassas değildir. Teknolojiler ve kullanım tarzları tarafından şartlandırılmaktadır. Soğutma suyuna yönelik talepler ise, iklim değişmesi tarafından etkilenebilir. Artan su sıcaklıkları, soğutmanın etkisini azaltıp, daha fazla suyun kullanılmasını ve tabii ki, onları daha verimli kılmak için, asıl soğutma teknolojilerinde değişmeleri getirebilir.

Tarımdan gelen talepler ise, özellikle sulamaya yönelik olanlar iklim değişmesine karşı çok daha hassastır. İlk olarak, yerel iklimde, sulamanın zamanlaması ve ona duyulan ihtiyacı değiştirebilir. Artan kuraklık, artan taleplere yol açabilir, ancak eğer toprak nem içeriği yılın kritik dönemlerinde artarsa, bu talepler azalabilir. Küresel çapta ise net sulama ihtiyaçlarındaki artışlar ve düşüşler büyük ölçüde birbirlerini dengelemektedir. Kullanım için çekilen su miktarlarındaki asıl değişmeler, suyun sulama için verimli bir şekilde kullanılmasına bağlıdır. İklim değişmesinin sulamaya yönelik olan talepteki potansiyel etkisi, atmosferde gittikçe artan CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarından meydana gelmektedir. Daha yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonları, bitki gözeneklerinin iletkenliğini azaltmaktadır.

## **İKLİM DEĞİŞİMİ VE SU KAYNAKLARINA ETKİLERİ**

Yukarıdaki bölümler, iklim değişmesinin nehir akışları, yeraltı suyu beslenmesi ve kaynak tabanının diğer biyofizik unsurları üzerindeki etkisini ve bu kaynağa yönelik olan talepleri değerlendirmiş bulunmaktadır. Bunun gibi, değişmelerin sonuçları, risk veya kaynak güvenilirliği üzerindeki etkileri yalnız nehir akışındaki biyofizik değişmeler, beslenme, deniz suyunun yükselmesi ve su kalitesine bağlı değil, aynı zamanda su yönetim sisteminin özelliklerine bağlıdır. Bu bölüm, hidroloji ve talepte meydana gelebilecek değişmelerin, iklim değişmesine planlı bir adaptasyon eksikse, su temini, sel riski, elektrik üretimi, gemi işlemesi (nehirlerde vs), kirlilik kontrolü, rekreasyon, habitatlar ve ekosistem hizmetleri için ne gibi sonuçlar doğurabileceği konusunu incelemektedir. Tabii ki uygulamada iklim değişmesinin asıl etkileri, su yöneticileri değişmeye uygun olan kademeli veya özerk adaptasyonları eksik bilgilerle olsa bile gerçekleştirecekleri için oldukça farklı olacaktır ve değişmenin etkisi, adaptasyon maliyetlerinin ve artık etkilerin işlevi olacaktır. Adaptasyonu değerlendirmeyen etütler, iklim değişmesi “sorununun” büyüklüğünün değerlendirilmesi için bir “vaka tabanı” sunmaktadır. Daha önemlisi, bazı etütler su kaynaklarının yönetim şeklinde veya sistemlerin işletilmesinde meydana gelen iklime bağlı olmayan değişmelerin hesabını vermemişlerdir. Geleceğin iklim senaryosunu, günümüzün yönetim sistemi için uygulamışlardır. Bu yaklaşım, gerçekçi değildir, fakat pek çok su yöneticisinin ne kadar adapte olabileceği de belli değildir. Önemli olan, iklim değişmesinin etkisini (örneğin 2050’li yıllara kadar), o zamana kadar iklim değişmesi olmaksızın (yani, iklim değişmesini yok sayarak) ortaya çıkacak su



yönetim sisteminin çerçevesinde değerlendirmek, örneğin talepteki veya hukuki şartlardaki değişimleri ele almak gerekmektedir.

Bu su kaynak sisteminin iklim değişmesine karşı olan hassasiyeti, birkaç fiziksel özelliğin ve daha önemlisi, toplumsal karakteristiğın işlevidir. Azami hassasiyetle ilişkilendirilen fiziksel özellikler şunlardır:

- Tarım ve hayvancılık için yürürlükte olan marjinal bir hidroloji ve iklim rejimi,
- Mevsimsel yağışın sonucu olan aşırı mevsimsel veya kar erimesine bağlı olan bir hidroloji,
- Haznelerde depolanan suda yüksek ölçüde sedimentasyon,
- Toprak erozyonu ve ani sel baskın şartlarını özendirilen topografi ve arazi kullanım eğilimleri, ve
- Ülkenin topraklarında iklimsel şartlarda bir değişkenlik eksikliği ve bunun sonucu olarak, faaliyetlerin başka bölgelere kaydırılmasının imkansızlığı

İklim değişmesine karşı hassasiyeti arttıran bazı toplumsal özelliklerde şunlardır.

- Hane düzeyinde uzun vadeli planlama ve tedariki önleyen yosulluk ve düşük gelir düzeyleri,
- Su idare alt yapılarının eksikliği,
- Mevcut alt yapı bakımının yapılmaması, sonuç olarak onun bozulması,
- Sistem planlaması ve yönetimi için eğitimli ve uzmanlaşmış personel eksikliği,
- Amaca uygun, yetki sahibi olan kurum/kuruluşların eksikliği,
- Amaca uygun arazi kullanım planlaması eksikliği,
- Yüksek iskan yoğunluğu, nüfusun hareketliliğini engelleyen başka unsurlar,
- Hızlı nüfus artışından kaynaklanarak büyüyen su talebi,
- Risklere karşı tutucu tavırlar (yani, daha fazla mal ve hizmet karşılığı meydana gelen bazı risklerle yaşamaya karşı gönülsüzlük), ve
- Su yönetiminde rol oynayan taraflar arasında resmi bağlantıların eksik olması.

Bu bölüm, ilkin iklim değişmesinin, su kaynakları ile ilgili alınacak önlemlerin üzerindeki olasılıklı global etkilerini, sonra bunun belli sistemler üzerindeki etkisini değerlendirmektedir.

Su kaynağı sıkıntısının birkaç göstergesi vardır. Kişi başına mevcut su miktarı, potansiyel olarak mevcut su hacmi/kullanım için çekilen su hacmi oranı buna dahildir.

Çekilen miktarlar, toplam yenilenebilir kaynakların % 20'sini aştığı zaman, su sıkıntısı sık sık kalkınmayı sınırlandıran bir unsur olmaktadır (Falkenmark ve Lindh, 1976). Eğer çekilen su hacmi, bunun % 40'ını aşarsa, büyük sıkıntı mevcuttur. Aynı şekilde eğer bir ülke veya bölge kişi başına 1,700 m<sup>3</sup>/yıl'lık bir su miktarına sahip değilse, su sıkıntısı sorun olabilmektedir. Ancak basit sayısal göstergeler, su sıkıntısının sonuçları suyun nasıl yönetildiğine bağlı olduğu için, bir ülke veya bölgedeki su kaynağı sıkıntısını sadece kısmen gösterebilmektedir.

Küresel çapta su sıkıntısı değerlendirmeleri, su kullanımı ile ilgili verilerin genellikle mevcut olduğu birim olduğu için, ülke bazında yapılmaktadır. 1990'da dünya nüfusunun yaklaşık üçte biri, su kaynaklarının %20'sinden fazlasını kullanan ülkelerde yaşıyordu. 2025'e kadar ise daha büyük bir toplamın %60'ı ise, iklim değişmesi olmaksızın su sıkıntısı çeken ülkelerde yaşıyor olacaktır (WMO, 1997). Nehir akışında meydana gelen değişmelerden yola çıkarak, su kaynaklarında benzer bir eğilim mevcudiyeti neticesini çıkarmak mümkündür.

Birkaç nedenle iklim değişmesinin etkileri hakkında nicel sonuçlara varmak zordur. Farklı çalışmalar, farklı yöntem ve senaryolar kullanmıştır ama en önemli olanı, farklı sistemlerin iklim değişmesine farklı bir şekilde intikal etmeleridir. Ama yine de, aşağıdaki bazı nicel genellemeleri çıkarmak mümkündür.

- Büyük su haznesi kapasitesine sahip olan sistemlerde kaynak güvenilirliğinde meydana gelen değişmeler, nehir akışındaki değişmelerden oransal olarak daha küçük olabilir,
- İklim değişmesinin potansiyel etkileri, su yönetimini etkileyen başka değişimler çerçevesinde değerlendirilmelidir. Pek az etüt, spesifik olarak iklim değişmesi ile başka baskıları kıyaslamaktadır. Pek çok çevre ortamında, 20 yıldan az bir zaman içinde iklim değişmesi etkilerinin, başka baskıların yanında küçük kalması mümkündür. Bu, tabii ki sisteme bağlı olacaktır, ve
- İklim değişmesinin ihtimalli etkileri, günümüzde sıkıntıda olan sistemlerde en büyük olacaktır.

İklim değişmesinin su kaynakları üzerindeki etkisi hakkında yapılan çalışmaların ezici çoğunluğu, su çevresini insana bağlı unsurlara odaklanmıştır. Dünyanın pek çok yerinde su kaynağı sistemleri gittikçe nehir/göl ve sulak alanlarının idamesini sağlamak için yönetilmektedir. Bu uygulama, efektif su talebini arttırır veya suyun mevcudiyetini azaltır. İklim değişmesinin su kaynakları üzerindeki nicel

etkileri ile ilgili tahminlere genellikle fazla güvenilmemektedir. Bu olgu, iklim değişmesi senaryolarına duyulan bir güveni, su kaynakları üzerinde meydana gelebilecek baskılar konusunda ise çok düşük bir güveni yansıtmaktadır. Bunlar, talepte veya hukuki şartlarda meydana gelebilecek değişmelerden kaynaklanabilir. Ancak, belli bir senaryonun etkilerini tahmin etmek için uygulanan teknikler artık iyice oturmuş bulunmaktadır.

Su yönetimleri, her zaman değişmelere adapte olmuştur. İklim değişmesi ise, sadece su yöneticilerinin yüzleşmek zorunda kaldıkları çok sayıda problemden biridir. Diğer sorunlar arasında, su kaynaklarına yönelik artan talepler, tehlikelere karşı koruma, değişen su yönetim hedefleri (ki bunlar, son zamanlarda kullanıma yönelik taleplerin karşılanmasıyla birlikte, çevre ihtiyaç karşılanmasının önemini de içermektedir), değişen su yönetim teknolojileri ve değişen hukuki ortam da vardır. Değişen kaynak ve taleplerin karşılanması için gereken uyum seçeneklerinin geliştirilmesi ve belli bir su yönetiminin (geniş anlamda) iklim değişmesine asıl uyum kabiliyeti arasında ayırdetmek önemlidir. Zaman içinde çoğunlukla artan talebi karşılamak için geniş bir uyum tekniği yelpazesi geliştirilmiştir. “Arza yönelik” uyum teknikleri (kurumsal yapıların, işletme kurallarının ve kurumsal düzenlemelerin değiştirilmesi) ile “talebe yönelik” uyum tekniklerinin (yani, su talebini veya riske karşı koruma talebini değiştiren ve kurumsal değişiklikleri de içeren tekniklerin) arasında kaba bir şekilde ayırım yapılabilmektedir. “Arza yönelik” uyum örnekleri arasında, sele karşı alınan önlemlerin arttırılması, gemi işletmesi için su seviyelerini ayarlamayı amaçlayan geçiş havuzlarının ve savakların inşası, tüketicilere yönelik su toplama ve dağıtım alt yapısının tadilatı veya genişletilmesi vardır. “Talebe yönelik” teknikleri ise, su talebi yönetimini (örneğin, sulamada idareli su tüketimini ve fiyatlandırma girişimlerini özendirmek, su tahsislerinin değiştirilmesi (Miller ve diğerleri, 1997), ve yapısal olmayan sel yönetim önlemlerini (arazi kullanımı ile ilgili önlemler) içermektedir. Aynı zamanda, önleyici ile tepkisel faaliyetler arasında bir ayırım da yapılabilmektedir. İlk olanlar, bir değişimden önce, son olanlar ise bir değişime intikal olarak yapılmaktadır. Tepkisel faaliyetlerin arasında, kısa vadeli işletim uyumları, yeni kaynakların geçici kullanımı ve daha uzun vadeli önlemler de vardır. Örneğin, ağır bir sel veya kuraklık olayı, su yönetiminde bir değişikliği tetikleyebilir. Ancak, pek çok uyum seçenekleri olmasına rağmen, bazı durumlarda yetkililerin bu seçenekler hakkındaki bilgileri ve gerçekleştirme kabiliyetleri kısıtlı olabilmektedir.

Uyumun en iyi (optimum) kapsamı, uyumun faydaları ve maliyetleri açısından karakterize edilebilmektedir. Uyumun aşırı uçları, “uyumsuz” ve “bütün etkileri ortadan kaldıracak bir uyum”dan (ki bu, genellikle fiziksel olarak mümkün değildir) oluşmaktadır. Uyumun en iyi düzeyi, uyum ve artık (residual) olumsuz etkilerinin ortak maliyetlerini en aza indirmekte, en faydalı masrafları öne almaktadır.

Su yöneticileri, uzun bir süredir mevcut seçenekleri değerlendirmek ve uyum stratejilerini uygulamak için değişik tekniklere kavuşma imkanına sahip olmuşlardır. Ancak bu teknikler, zaman içinde değişmiş bulunup, ülkeler arasında da farklı olabilmektedir. Bir de, belli bir ülkedeki kurumsal düzen tarafından da etkilenebilmektedirler. Bir ülkede uyum kapasitesini etkileyen unsurlar arasında, kurumsal kapasite, zenginlik, yönetim felsefesi (özellikle yönetimin “arza yönelik” veya “talebe yönelik” stratejilerine ve “sürdürülebilir” yönetime takındığı tavırlar, planlama zamanı ölçeği ve organizasyon ile ilgili düzenlemeler) de vardır. Örneğin, çok sayıda “yönetici” bulunması durumunda veya su yöneticilerinin sağlam profesyonel müşavirlik hizmetlerine ulaşamadıkları durumlarda uyum daha zor olabilmektedir.

## **İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE SU YÖNETİM POLİTİKASI**

İklim değişmesi, su yönetiminde günümüzde mevcut olan baskıları arttırmaktadır; sağlam yönetim stratejileri hakkındaki tartışmalara yeni boyutlar ve yeni bir unsur eklemektedir. Bu yeni unsur, iklim değişmesi ile ilgili olan benzerliklere bağlıdır. Su yönetimleri, değişimin büyüklüğü ve yönü bilinmediği için nasıl karlı ve verimli bir şekilde iklim değişmesine uyum sağlayabilir? Geleneksel olarak, su kaynağı yöneticileri, geleceğin kaynak tabanının, geçmişin kaynak tabanına benzeyeceğini varsaymaktadır. Bundan yola çıkarak, geçmişin verilerine dayalı olan ortalama su haznesi verimi veya ihtimalli azami sel seviyesi ile ilgili tahminlerin, gelecek için de geçerli olacağına inanmaktadırlar. Belli başlı iki konu vardır. Bunlar belirsizliklerin hakim olduğu durumlarda seçeneklerin değerlendirilmesi ve bu değerlendirmelerden yola çıkarak karar vermek.

Alternatiflerin değerlendirilmesinde uygulanan teknikler, senaryo ve risk analizini içermektedir. Senaryo analizi, iklim değişmesi etkisinin değerlendirilmesinde merkezi bir rol oynamaktadır, fakat su kaynağı değerlendirilmesinde yaygın olarak uygulanmaktadır. Senaryo analizi, iklim değişmesi etkisinin değerlendirilmesinde olduğu gibi genel bir eğilim olarak farklı

senaryoların etkilerini simüle ederek yapılmaktadır. Ancak, su kaynağı değerlendirmesinde bunlar, genel olarak farklı iklim senaryolarından ziyade, farklı talep ve işletim senaryolarından ortaya çıkmaktadır. Stakhiv (1998), “eğer su yöneticileri senaryoya bağlı bir yaklaşım benimserlerse bu yüzden iklim değişmesi, su yönetimi için ek kavramsal sorunları çıkarmaz” argümanını öne sürmektedir. Ona göre, iklim değişmesi, sırf farklı bir senaryo türü olarak yorumlanabilmektedir. Ancak, iklim değişmesinin belirsiz karakteri ve onun etkisinde mevcut olan çizgi dışı potansiyeli, geleneksel olarak değerlendirilen senaryo yelpazesinin fazla dar olduğu ve daha fazla sayıda senaryonun değerlendirilmesi gerektiği anlamına gelmektedir. Uygulamada, senaryoya dayalı yaklaşımlar çok az su idarelerinde kullanılmaktadır ve pek çok ülkede senaryo analizinin benimsenmesi, klasik su idare uygulamalarında zorlukların sebebi olacaktır.

Risk analizi ise, farklı ihtimalli “gelecekler” göre belli eşiklerin aşılma riskini değerlendirmektedir (Major, 1998). Bu yaklaşım genellikle hidrolojik verilerin tahmini ve stokastik süreçlerle simülasyonunu içermektedir. İlke olarak iklim değişmesi, verilerin üretildiği temel gözlemlerin iklim değişme senaryolarına göre değiştirilerek risk analizine dahil edilmektedir. Matalas (1997) tahmini simülasyonun, iklim değişmesi kapsamındaki rolünü irdeleyip, değişmeyen bir iklimi varsayarak sık sık simüle edilen geniş “gelecek” yelpazesini göz önünde bulundurarak, bazı bölgelerde iklim değişmesinin karşısında yapılan “işletimde değişmezlik” varsayımının, geçerliliğini koruyabileceğini öne sürmektedir. Ancak, iklim değişmesi “değişmezlik” durumunda üretilen “geleceklerin” dışında başka “gelecekleri” de üretebilir.

## **UYUM KAPASİTESİNİ ETKİLEYEN UNSURLAR**

İnsanoğlunun, su çevresini kendi ihtiyaçlarına göre ilk şekillendirme teşebbüslerinden beri, su yönetimi, yersel su kaynaklarının mevcudiyetini ve su kullanımına yönelik olan taleplerin değişkenliğini ele almış bulunmaktadır (Stakhiv, 1998). Aşırı su rejimlerinin, özellikle kuraklıkların ele alınmasında arz ve talebe yönelik müdahalelerle büyük atılımlar gerçekleştirilmiştir. Kuraklık yönetimi, pek çok su idarelerinde gittikçe artan bir rol oynamakta, kuraklık etkilerine karşı olan hassasiyetlerini azaltmaktadır. Nitekim, bazı bakımlardan, kaynak tabanında meydana gelebilecek bir değişim, (bu, daha düşük ortalama su temini ve daha yüksek bir değişkenlikle karakterize olabilir), su yönetimleri için geleneksel olarak yüzleştikleri

zorluklarda bir artışı temsil etmektedir. Ancak, üç önemli fark mevcuttur. Bunların birincisi, gelecekte iklim değişmesinin, su yönetimleriyle alakalı uzamsal ve zamansal ölçeklerde meydana gelmesi çok belirsizdir. Tek bildiğimiz, geleceğin, son dönemlere benzemeyebilmesidir. İkincisi, yukarıda bahsedildiği gibi, geniş bölgelerde meydana gelebilecek değişimlerin yaygınlığı, bazı geleneksel uyum yöntemlerini imkansız hale getirebilir, şu ana kadar edindiğimiz tecrübeyi aşan yenilikçi yaklaşımları gerektirebilir. Üçüncüsü, bunların iklim sonucunda çıkan etkileri, doğrusal olmayıp, geleneksel su yönetimine dahil olan sürprizlerin potansiyelini bile aşabilmektedir. İklim değişkenliğine ve iklim değişmesine uyumlu olma kabiliyeti, uluslararası, ulusal, bölgesel ve yerel seviyelerde mevcut olan kurumsal, teknolojik ve kültürel özellikleri ve yaşanan değişimin spesifik boyutları tarafından etkilenmektedir. Bunun en önemli özellikleri, aşağıda sıralanmıştır.

1. Su ile ilgili kurum/kuruluşların kapasitesi: yani, su idarelerinin önlem alma yetkisi, vasıflı personel, su idaresinin değişen şartlara uyma konusunda geniş bir seçenek yelpazesini değerlendirme kabiliyet ve yetkisi (arza bağlı ve talebe bağlı müdahaleler dahil, fakat bununla kısıtlı kalmayan), alternatif politikaların değerlendirilmesinde, çok amaçlı planlama ve değerlendirme süreçlerini kullanma kabiliyet ve yetkisi; ihtilafların çözümü için süreçler gerçekten başarılı olan uygulamaları tespit etmek için, politika ve projelerin ardından ciddi analizleri yapma gönüllülüğü (OECD, 1985).
2. Su yönetimine açık olan seçenekleri kısıtlayan (olumlu veya olumsuzca) su idaresi hukuku: Doğal olarak, ihtiyaçlar değiştikçe kanunlar da değişir, fakat bu değişmelerin seyri yavaş olup, ihtiyaçların gerisinde kalmaktadır. Pek çok ülkede, su idaresi hukuku artan bir çevre korumaya doğru kaymaktadır. Bunun gibi yönergeler iklim değişmesine yönelik seçenekleri daha da kısıtlamaktadır, ancak eğer bu hareket, sürdürülebilir su yönetimine karşı artan bir ilgiyi işaret ederse (bunun tanımlanması ne olursa olsun), iklim değişmesine uyumlu olma fırsatları artmış bulunmaktadır.
3. Ülkelerin zenginliği (yani, doğal kaynaklar ve ekosistemleri), insan kaynaklı sermaye (özellikle su idare ve kontrol sistemleri) ve insan sermayesi (vasıflı personel dahil), uyuma para tahsis etme kabiliyetini tayin eden unsurlar: Ülkenin içindeki nüfus grupları ve bölgeler arasında ve ülkeler arasında zenginliğin havale etme kabiliyeti ve gönüllülüğü buna dahil olmalıdır. Bu

faktör, daha yoksul ülkelerde iklim değişmesine adaptasyonu kısıtlayan en önemli etkidir.

4. Teknolojinin gelişmişliği, yaygınlaşmasını (veya tekelleşmesini) özendirir çerçeve, özellikle kuraklığa ve tuza dirençli bitki türlerinin bio-mühendislik yoluyla yaratılması ve deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasına yönelik teknikler.
5. İnsan nüfusunun, ağır iklimsel olaylara veya iklim değişmesine intikal olarak ikamet veya işyerlerini değiştirme kabiliyeti: Bu unsur, sahil veya ada bölgelerinde büyük öneme sahiptir. Ancak nüfus hareketliliği, nüfus artışları tarafından engellenmektedir, özellikle dünyanın tropik adalarında ortaya çıkar.
6. İklim değişmesinin hızı, toplumların uyum ve su idaresi uygulama kabiliyetlerini tayin eden hayati bir unsurdur. Değişmenin hızı ve birikmiş büyüklüğü, doğrusal olmayan biçimlerde topluma olan tesirini etkilemektedir. (Howe ve diğerleri, 1990; National Research Council, 1992).
7. Söz konusu intikalde, yönetim düzenlemelerinin karmaşıklığı da bir etken olabilir. Prensip olarak, su idaresinde rol oynayan ne kadar az kurum varsa, bir uyum stratejisinin uygulanması o kadar kolay olacaktır. Ancak, idarelerin kurumsal yapıları da çok önemlidir. Eğer rol oynayan tarafların sayısı çoksa (belki istekleri veya şartları, yönetim hedefleri ve algıları çelişkili olabilir) ve her tarafın, su sisteminin bir kısmının üzerinde yetki hakları varsa, değişen durumlara uyumlu olmak daha da zorlaşır. Bazı oturmuş altyapı sistemlerinde, su kaynak sistemlerinin esnekliğini arttırmak için kurumsal değişiklik yoluyla da önemli fırsatlar elde edildiğine dair kanıtlar mevcuttur (Hansler ve Major, 1999).
8. Su yöneticilerinin, günümüzün kaynaklarını değerlendirme ve geleceğin kaynaklarını tahmin etme kabiliyeti: Bu, gelecekte mümkün olan şartların değerlendirilmesi için verilerin devamlı toplanmasını ve hidrolojik modelleri içeren senaryoları kullanma yeteneğini de gerektirmektedir.

Uyumun gerçekleşip gerçekleşmemesi büyük ölçüde aşırı iklim olaylarına bağlıdır. Bunun gibi olaylar yönetim tarzında değişiklikleri tetikleyip, iki rolü de oynayabilmektedir. Birincisi, mevcut su yönetim sistemindeki zaafı gösterir; ikincisi, karar verenlerde iklim değişme ihtimali konusundaki algı yeteneğini de artırır.

## SU SEKTÖRÜNDE İKLİM DEĞİŞMESİNE UYUM

Su yöneticileri, gelecekte meydana gelebilecek iklim değişmesinin benzeri değişik durumlara uymaya alışıktır. Bununla ilgili geniş bir uyum seçenek yelpazesi geliştirilmiştir. Arza bağlı seçenekler, su yöneticilerinin daha iyi bildikleri bir yaklaşımdır. Ancak talebe bağlı seçenekler de gittikçe daha yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Su yönetimi, sürekli evrim geçiren bir olgudur ve bu evrim, uygulamada iklim değişmesinin tesirini etkileyecektir. Yukarıda belirtilen nedenlerle, iklim değişmesi, özellikle belirsizlikleri su planlamasına dahil etme konusunda daha az tecrübeye sahip olan ülkelerde var olan su yönetim uygulamaları için zorluk çıkaran bir unsurdur. Genel sorun, iklim değişmesini, su planlamasında geleneksel olarak ele alınmış belirsizliklere dahil etmekten ortaya çıkmaktadır.

Entegre Su Kaynağı Yönetimi (ESKY) (Bogardi ve Nachtnebel, 1994; Kindler, 2000), değişen ve birbirleriyle rekabet eden taleplere sahip olan bir ortamda en iyi su kaynağı yönetim şekli olarak görünmektedir. ESKY, bütün arza ve talebe bağlı hareketlerin spesifik bir şekilde değerlendirilmesi, bütün rol oynayan kurum/kuruluşları karar verme sürecine dahil etmesi, su kaynağı durumunun sürekli izlenmesi ve gözden geçirilmesi gibi üç ana unsurdan oluşmaktadır. İklim değişmesi meydana gelmezse, ESKY etkili bir yaklaşımdır. Onun uygulanması için pek çok geçerli sebep mevcuttur. Entegre Su Kaynağı Yönetimi'nin benimsenmesi, su yöneticilerinin iklim değişmesine adapte olmasında büyük katkılar sağlayacaktır. Sonunda dikkat edilmesi gereken üç nokta mevcut:-

1. "Mempa" tarafında yapılan bir uyumun sonuçları, "mansap" tarafında meydana gelebilir. Başka bir deyişle, iklim değişmesinin bir kullanıcının üzerindeki etkisi, başka kullanıcıların iklim değişmesine verdikleri intikale bağlı olabilmektedir. Bu olgu, havza çapında yönetim ihtiyacının altını çizmektedir.
2. Bu bölümde yönetimi olan su sistemleri vurgulanmıştır. Pek çok ülkede, özellikle gelişmekte olan ülkelerin kırsal bölgelerinde, su temini "hane düzeyinde" yönetilmektedir. Önemli alt yapı yatırımları yapılması uzak bir ihtimal olan bunun gibi durumlarda da iklim değişmesinin sonuçlarını değerlendirmek gerekmektedir.
3. Su sektörünün zedelenebilirliğini azaltmak için iklim değişmesine alınan uyum önlemlerine, yalnız su yöneticilerini dahil etmemelidir. Dünyanın çeşitli bölgelerinde yaşanan su sorununun (hem kuraklık, hem sel olarak) toplumsal



yanları, geniş bir baskılar yelpazesini yansıtmaktadır. Bu baskıların büyük bir bölümü, su yöneticilerinin sorumluluk alanının dışında kalmaktadır. İklim değişmesinden kaynaklanan sel ve kuraklık olaylarına karşı olan mevcut hassasiyetin azalması, imar ve planlama kontrolü, potansiyel afet bölgelerinin sürekli iskan sağlanmasına (afetten sonra bile) ve gelir arttırımına yönelik mali teşvikler (örneğin sübvans edilen sigorta veya hükümet tarafından sağlanan afet fonları) gibi meselelere yönelik kararların verilmesini gerektirecektir.

## **TEŞEKKÜR**

Birleşmiş Milletler ve Dünya Meteoroloji Teşkilatı tarafından ortaklaşa kurulmuş IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) tarafından hazırlanmış olan yazının Türkçe'leştirilmesine katkısı dolayısı ile İSKİ Genel Müdürü Dursun Ali Codur'a burada teşekkürlerimi sunarım.

## **KAYNAKLAR**

- Amadore, L., W.C. Bolhofer, R.V. Cruz, R.B. Feir, C.A. Freysinger, S. Guill, K.F. Jalal, A. Iglesias, A. Jose, S. Leatherman, S. Lenhart, S. Mukherjee, J.B. Smith, and J. Wisniewski, 1996. Climate change vulnerability and adaptation in Asia and the Pacific: workshop summary. *Water, Air, and Soil Pollution*, 92, 1–12.
- Arnell, N.W., B.C. Bates, H. Lang, J.J. Magnuson, and P. Mulholland, 1996: Hydrology and freshwater ecology. In: *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations, and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Watson, R.T., M.C. Zinyowera, and R.H. Moss (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 325–363.
- AWWA, 1997: Climate change and water resources. *Journal of the American Water Works Association*, 89, 107–110.
- Bogardi, J.J. and H.-P. Nachtnebel (eds.), 1994: *Multicriteria Decision Analysis in Water Resources Management*. International Hydrological Programme, UNESCO, Paris, France.
- Falkenmark, M. and G. Lindh, 1976: *Water for a Starving World*. Westview Press, Boulder, CO, USA.
- Gleick, P.H. and E.L. Chalecki, 1999: The impacts of climatic changes for water resources of the Colorado and Sacramento-San Joaquin River Basins. *Journal of the American Water Resources Association*, 35, 1429–1441.
- Hanratty, M.P. and H.G. Stefan, 1998: Simulating climate change effects in a Minnesota agricultural watershed. *Journal of Environmental Quality*, 27, 1524–1532.

- Hansler, G. and D.C. Major, 1999: Climate change and the water supply systems of New York City and the Delaware Basin: planning and action considerations for water managers. In: Proceedings of the Specialty Conference on Potential Consequences of Climate Variability and Change to Water Resources of the United States [Briane Adams, D. (ed.)]. American Water Resources Association, Herndon, VA, USA, pp. 327–330.
- Hennessy, R.J., J.M. Gregory, and J.F.B. Mitchell, 1997: Changes in daily precipitation under enhanced greenhouse conditions. *Climate Dynamics*, 13, 667–680.
- Hulme, M. and G. Jenkins, 1998: Climate Change Scenarios for the United Kingdom: Scientific Report. UKCIP Technical Report No. 1. Climatic Research Unit, University of East Anglia, Norwich, United Kingdom, 80 pp.
- Jeton, A.E., M.D. Dettinger, and J. LaRue Smith, 1996: Potential effects of climate change on streamflow, eastern and western slopes of the Sierra Nevada, California and Nevada. U.S. Geological Survey, Water Resources Investigations Report, 95-4260, 44 pp.
- Kaczmarek, Z., J. Napiórkowski, and K. Strzepek, 1996: Climate change impacts on the water supply system in the Warta River catchment, Poland. *International Journal of Water Resources Development*, 12, 165–180.
- Kindler, J., 2000: Integrated water resources management: the meanders. *Water International*, 25, 312–319.
- Kömeşçu, A.U., A. Erkan, and S. Oz, 1998: Possible impacts of climate change on soil moisture availability in the Southeast Anatolia Development Project Region (GAP): an analysis from an agricultural drought perspective. *Climatic Change*, 40, 519–545.
- Krasovskaia, I., 1995: Quantification of the stability of river flow regimes. *Hydrological Sciences Journal*, 40, 587–598.
- Major, D.C., 1998: Climate change and water resources: the role of risk management methods. *Water Resources Update*, 112, 47–50.
- Matalas, N.C., 1997: Stochastic hydrology in the context of climate change. *Climatic Change*, 37, 89–101.
- McGuffie, K., A. Henderson-Sellers, N. Holbrook, Z. Kothavala, O. Balachova, and J. Hoekstra, 1999: Assessing simulations of daily temperature and precipitation variability with global climate models for present and enhanced greenhouse climates. *International Journal of Climatology*, 19, 1–26.
- Meehl, G.A. and W.M. Washington, 1996: El Niño-like climate change in a model with increased atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations. *Nature*, 382, 56–60.
- Miller, K.A., S.L. Rhodes, and L.J. MacDonnell, 1997: Water allocation in a changing climate: institutions and adaptation. *Climatic Change*, 35, 157–177.
- Moglen, G.E., E.A.B. Eltahir, and R.L. Bras, 1998: On the sensitivity of drainage density to climate change. *Water Resources Research*, 34, 855–862.
- Nash, L.L. and P.H. Gleick, 1993: The Colorado River Basin and Climatic Change: The Sensitivity of Streamflow and Water Supply to Variations in Temperature and Precipitation. EPA230-R-93-009, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA, 121 pp.
- OECD, 1985: *Gestion des Projets D’Amenagement des Eaux*. Organisation de Cooperation et de Developpment Economiques, Paris, France.
- Orlob, G.T., G.K. Meyer, L. Somlyody, D. Jurak, and K. Szesztay, 1996: Impact of climate change on water quality. In: *Water Resources Management in the Face of Climatic/Hydrologic Uncertainties* [Kaczmarek, Z., K. Strzepek, and L.

- Somlyódy (eds.)). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 70–105.
- Pilgrim, J.M., X. Fang, and H.G. Stefan, 1998: Stream temperature correlations with air temperatures in Minnesota: implications for climate warming. *Journal of the American Water Resources Association*, 34, 1109–1121.
- Reynard, N.S., C. Prudhomme, and S.M. Crooks, 1998: The potential impacts of climate change on the flood characteristics of a large catchment in the UK. In: *Proceedings of the Second International Conference on Climate and Water*, Espoo, Finland, August 1998. Helsinki University of Technology, Helsinki, Finland, pp. 320–332.
- Risby, J.S. and D. Entekhabi, 1996: Observed Sacramento Basin streamflow response to precipitation and temperature changes and its relevance to climate impact studies. *Journal of Hydrology*, 184, 209–223.
- Shiklomanov, I.A., 1998: Assessment of water resources and water availability in the world. Background Report for the Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World. Stockholm Environment Institute, Stockholm, Sweden, 88 pp.
- Stakhiv, E.Z., 1998: Policy implications of climate change impacts on water resources management. *Water Policy*, 1, 159–175.
- Subak, S., 2000: Climate change adaptation in the U.K. water industry: managers' perceptions of past variability and future scenarios. *Water Resources Management*, 14, 137–156.
- White, A.F. and A.E. Blum, 1995: Effects of climate on chemical weathering in watersheds. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59, 1729–1747.
- WMO, 1997: *Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World*. World Meteorological Organisation, Geneva, Switzerland, 34 pp.