

BİR SU DAMLASININ KISA ÖYKÜSÜ

KASIM KOÇAK

Prof. Dr., İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü

Kasım Koçak, *Bir Su Damlasının Kısa Öyküsü*, **Bilim ve Akıl Aydınlığında Eğitim**, S. 132, Şubat 2011, ss. 10-20.

1. Giriş

Göktaşı parçalarından elde edilen fiziksel ve kimyasal kanıtlar, yer dahil olmak üzere güneş sisteminin yaklaşık 4.6 milyar yıl önce oluştuğunu göstermektedir. Bununla birlikte dünya üzerinde şimdiye kadar bulunan en eski kayalar yaklaşık 3.8 milyar yıl öncesine tarihlenmektedir. Greenland'da bulunan bu en eski kayalar içerisinde su bulunmuş olması, suyun tarihi açısından özellikle önemlidir. Volkanların o zamanlarda çıkardığı gazların bileşimi ile bugünkü bileşiminin aynı olduğu varsayılmaktadır. Bu gazlar %80 subuharı, %10 karbondioksit ve yüzde bir kaç azottur. Aradan geçen milyonlarca yıl içerisinde, dünyanın sıcak iç kısmından dışarıya doğru fişkıran gazlar, bulut oluşumuna izin verecek kadar zengin bir subuharı içeriğinin oluşmasını sağladı. Binlerce yıl yer yüzüne düşen yağmurlar akarsuları, gölleri ve okyanusları oluşturdu.

Yaşamın vazgeçilmez bir unsuru olan su, yerine başka bir madde ikame edilemeyen, sınırlı bir doğal kaynaktır. Bu sınırlı kaynağın dünya üzerindeki yersel ve zamansal dağılımı düzenli değildir. Bu nedenle pek çok ülke zaman zaman ciddi boyutlarda kuraklık sorunuyla yüz yüze gelmektedir. Yavaş gelişen meteorolojik kökenli bir doğal afet olan kuraklık sonucunda önemli can ve mal kayıpları meydana gelmektedir. Diğer taraftan, düzensiz şehirleşme, aşırı nüfus

artışı, kirlilik, küresel iklim değişikliği vb. etmenler su kaynaklarını tehdit etmektedir. Su kaynakları üzerindeki bu olumsuz etkilerin devam etmesi durumunda uzak olmayan bir gelecekte, özellikle sınır aşan sulara sahip ülkeler arasında bir takım çatışmaların yaşanması kaçınılmaz görünmektedir.

Bu yazıda daha çok tatlı suyun oluşumu, yersel ve zamansal dağılımı, ana hatları ile su sorunu ve çözüm önerileri gibi konular üzerinde durulacaktır.

2. Suyun Özellikleri

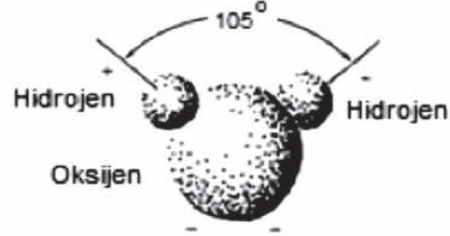
Gürünmez bir gaz olan subuharının atmosferdeki konsantrasyonu yersel ve zamansal olarak önemli ölçüde değişiklikler gösterir. Havanın subuharının ölçüsü *nemlilik* olarak adlandırılır. Subuharı atmosferdeki değişken gazların en önemlisidir. Yağışın kaynağı atmosferdeki subuharıdır. Ayrıca subuharının yoğunlaşması sonucu açığa çıkan büyük miktarda ısı, önemli bir atmosferik enerji kaynağıdır. Atmosferde cereyan eden pek çok fırtına (orajlar, tayfunlar, hortumlar vb.) bu enerjiyle beslenirler.

Su, belirli sıcaklık ve basınç koşullarında hem gaz, hem sıvı ve hem de katı fazlarında bulunabilen tek maddedir. Bir gaz olarak subuharı molekülleri oldukça serbest hareket eder, komşu molekül ve atomlarla çok kolay karışır. Sıvı hâlde su molekülleri birbirlerine çok yakındır ve birbirleriyle sürekli olarak çarpışırlar. Katı durumda (buz) ise moleküller düzenli bir yapı içerisinde bulurlar. Bu durumda moleküller titreşebilir ancak serbest bir şekilde hareket edemezler.

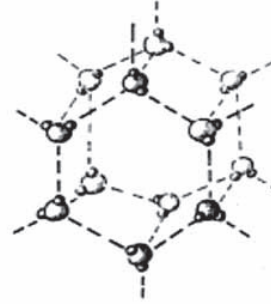
Subuharı görünmez bir gaz olduğundan ancak bulut damlacıkları ve buz kristalleri gibi sıvı ve katı hâle dönüştüğünde görülebilir. Diğer bir deyişle su, *faz değişimi* ile görünümünü değiştirir ancak kimliği hep aynı kalır. Eğer faz değişimi aradaki sıvı fazın atlanması şeklinde gerçekleşiyorsa buna *süblimasyon* denir.

Şekil 1, bir su molekülünü göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi hidrojen atomları 105 derecelik bir açı oluşturacak şekilde oksijen atomuna bağlanmışlardır. Bu yapı içerisinde hidrojen atomları üzerinde pozitif, oksijen atomu üzerinde ise negatif

yükler konsantre olmuş durumdadır. Su moleküllerinin hegzagonal kristal yapıda bir araya gelmeleri, suyun katı hâli olan *buzu* oluşturur, (Şekil 2).



Şekil 1. Su molekülü



Şekil 2. Buz kristalinin yapısı

Su yüzeyinde sürekli olarak dinamik bir süreç cereyan eder. Yeterli hıza ulaşan bazı su molekülleri, su yüzeyinden kaçarak atmosfere karışırlar. Moleküllerin sıvı fazdan buhar fazına geçtikleri bu süreç *buharlaşma* denir. Bu süreç devam ederken bazı moleküller tekrar sıvı ortama dönerler. Moleküllerin gaz fazından sıvı faza geçtikleri bu süreç ise *yoğuşma* olarak adlandırılır. Buharlaşma-yoğuşma süreci esnasında bir süre sonra sudan havaya geçen su moleküllerinin sayısı, havadan suya dönen su moleküllerinin sayısı ile dengelenir. Diğer bir deyişle su yüzeyi üzerindeki hava, tutabileceği maksimum miktarda su buharı içerir. Bu durumda hava, subuharı ile *doymuştur* denir. Sıcak hava doymaya ulaşmadan önce, soğuk havanın tutabileceğinden daha fazla subuharı tutar.

3. Su Çevrimi

Güneşten alınan ısı enerjisinin, okyanuslardan büyük miktarlarda suyu buharlaştırmasıyla, suyun atmosferdeki sirkülasyonu başlar. Rüzgârlar nemli

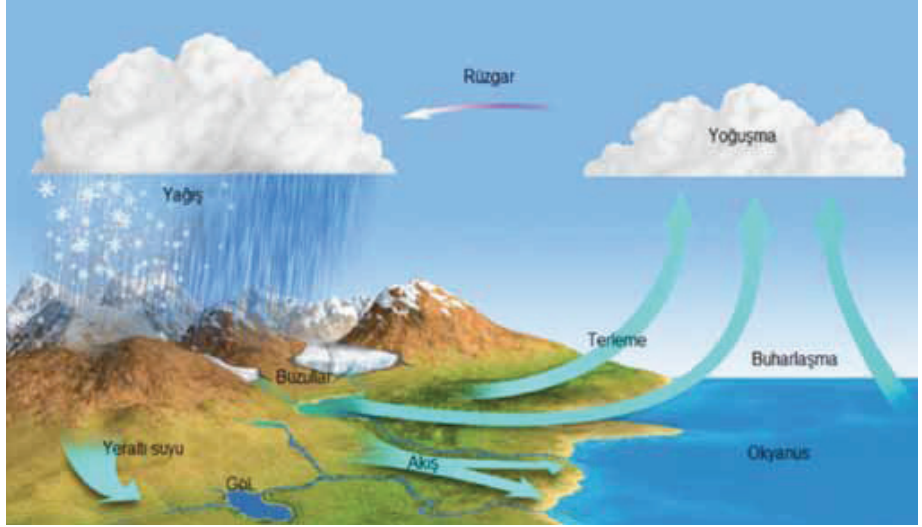
havayı başka bölgelere taşırlar. Bu bölgelerde bulutlar oluşur ve atmosferdeki su bulutlardan yağmur veya kar şeklinde yağışa geçer. Yağışın okyanuslara düşmesiyle yeniden başlayacak olan bir çevrimin başına dönülmüş olur. Eğer yağış karalar üzerine düşerse, suyun okyanuslara ulaşmayı hedefleyen karmaşık yolculuğu başlamış olur. Suyun bu şekildeki hareketi ve sıvıdan buhara ve tekrar sıvıya dönüşümü *su* veya *hidrolojik çevrim* olarak adlandırılır. Şekil 3 hidrolojik çevrimin bazı önemli elemanlarını göstermektedir.

Çoğu kez düşen yağış yeryüzüne ulaşmadan bir kısmı buharlaşarak atmosfere geri döner. Yağışın bir kısmı ise yeryüzündeki bitkiler tarafından tutulur. Bitkiler tarafından tutulan yağışın bir kısmı buharlaşır bir kısmı ise toprağa sızar. Yüzeiden derinlere sızan su daha sonra *yeraltı suyunu* oluşturur. Yağışın bir kısmı ise yüzey akışı ile doğrudan akarsulara karışarak okyanuslara döner.

Göller, akarsular ve toprak yüzeylerinden de önemli miktarda su buharlaşma yoluyla atmosfere döner. Bitkiler *terleme* (*transpiration*) mekanizması yoluyla atmosfere subuharı veren önemli bir nem kaynağıdır. Buharlaşma ve terleme olayının birlikte değerlendirilmesine *evapotranspirasyon* denir. Bir yılda atmosfere dönen suyun % 15'i evapotranspirasyon yoluyla karalar üzerinden, % 85'i ise okyanuslardan olan buharlaşmadır. Eğer atmosferdeki nemin tamamı yoğuşup yeryüzüne yağmur olarak düşseydi, dünya üzerinde oluşturacağı suyun yüksekliği 2.5 cm olacaktı.

4. Bulut Nasıl Oluşur?

Bulut görünmez bir gaz olan subuharının görünür hâlidir. Subuharı bu duruma şu şekilde ulaşır: Bulutun



Şekil 3. Su (hidrolojik) çevrimi

oluşabilmesi için birinci koşul nemli havanın varlığıdır. Nemli havanın aşağıda bahsedilecek olan yükselme mekanizmalarından biri ile atmosferde yükselir, bunun sonucunda soğur ve doymaya ulaşır. Havanın bu şekilde biraz daha yükselmesi sonucunda içerisindeki subuharı yoğuşma çekirdekleri denilen küçük partiküller üzerinde yoğuşmaya başlar, diğer bir deyişle subuharının görünür hâledeki bir kümesi olan bulut meydana gelir. Bu başlık altında öncelikle yoğuşma çekirdekleri, daha sonra havanın atmosferde yükselme mekanizmaları üzerinde durulacaktır.

4.1. Yoğuşma Çekirdekleri

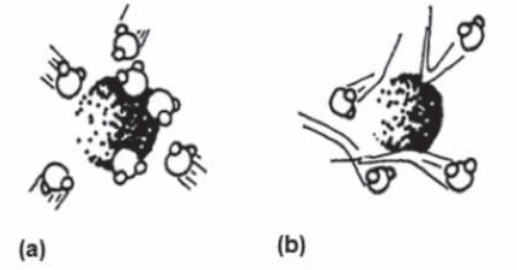
Çiy ve kırağının oluşması bir yüzeyin varlığını gerektirdiği gibi havadaki subuharının yoğuşarak bulut damlacıklarını oluşturabilmesi için de bir yüzeye gereksinim vardır. Herhangi bir günde bir insanın işaret parmağının hacmi kadar bir hava 1000–150000 arasında partikül içerir. Bu partiküllerin bazıları üzerlerinde subuharının yoğuşmasına izin verirler. Bu tip partiküller yoğuşma çekirdekleri olarak adlandırılır.

Bulut oluşumu için en elverişli yoğuşma çekirdeklerinin yarıçapı 0.1 µm veya biraz daha büyüktür. 1 cm³ havada bu tür çekirdeklerin sayısı 00 ile 1000 arasında değişir. Bu partiküllerin ana kaynağı rüzgârların atmosfere karıştırdığı tozlar, volkanlar, fabrika dumanları, orman yangınları ve okyanuslardan atmosfere karışan tuzlardır. Atmosfere bırakılan bu

partiküllerin kaynağı yere yakın atmosfer olduğu için, konsantrasyonları da aşağı atmosferde en büyüktür.

Yoğunlaşma çekirdekleri çok hafif oldukları için havada günlerce asılı hâlde kalabilirler. Endüstriyel bölgelerde 1 cm³ havada yoğunlaşma çekirdeklerinin sayısı 1 milyona kadar çıkabilir. Buna karşın kırsal bölgelerde ve okyanus üzerindeki havada cm³'de sadece bir kaç yoğunlaşma çekirdeği bulunabilir.

Ortamın bağıl neminin % 100'ün altında olması durumunda bile üzerinde subuharının yoğunlaşmasına izin veren yoğunlaşma çekirdeklerine higroskopik çekirdek denir (Şekil 4). Okyanuslardan atmosfere karışan tuzlar en ideal higroskopik çekirdeklerdir. Ayrıca sülfürik asit ve nitrik asit partikülleri de diğer önemli higroskopik çekirdeklerdir. Bazı partiküller ise bağıl nem %100'ü aşsa bile üzerlerinde subuharının yoğunlaşmasına izin vermezler. Bu tip partiküller higroforobik çekirdekler de olarak adlandırılır, (Şekil 4). Herhangi bir zamanda atmosferde genellikle yeterli sayıda çekirdek vardır. Dolayısı ile bağıl nemin %100'e yakın veya altında olması durumunda pus, sis ve bulut oluşumu mümkün olur.



Şekil 4. a) Higroskopik, b) Hidroforobik çekirdek

4.2. Bulut Oluşturan Mekanizmalar

Bulutlar gelen güneş radyasyonunu yansıma ve saçılmaya uğratarak ve yerin yayınlamış olduğu infrared radyasyonu absorblayarak yer-atmosfer sisteminin enerji dengesinde önemli bir rol oynar. Bulutların neden olduğu yağış, taze suyun tek kaynağıdır.

Pek çok bulut, havanın yükselmeyle soğuması sonucu meydana gelir. Gözlenen bulutların pek çoğu aşağıda sıralanan mekanizmaların sonucunda oluşur:

- Yüzeyin ısınması ve konveksiyon
- Topoğrafya
- Konverjans nedeniyle yüzey havanın yükselmesi
- Cephe yüzeyleri boyunca olan yükselme

Yukarıda verilen mekanizmaların bulut oluşumunda oynadıkları rol Şekil 5'de bir arada verilmiştir.

4.2.1. Konveksiyon ve Bulutlar

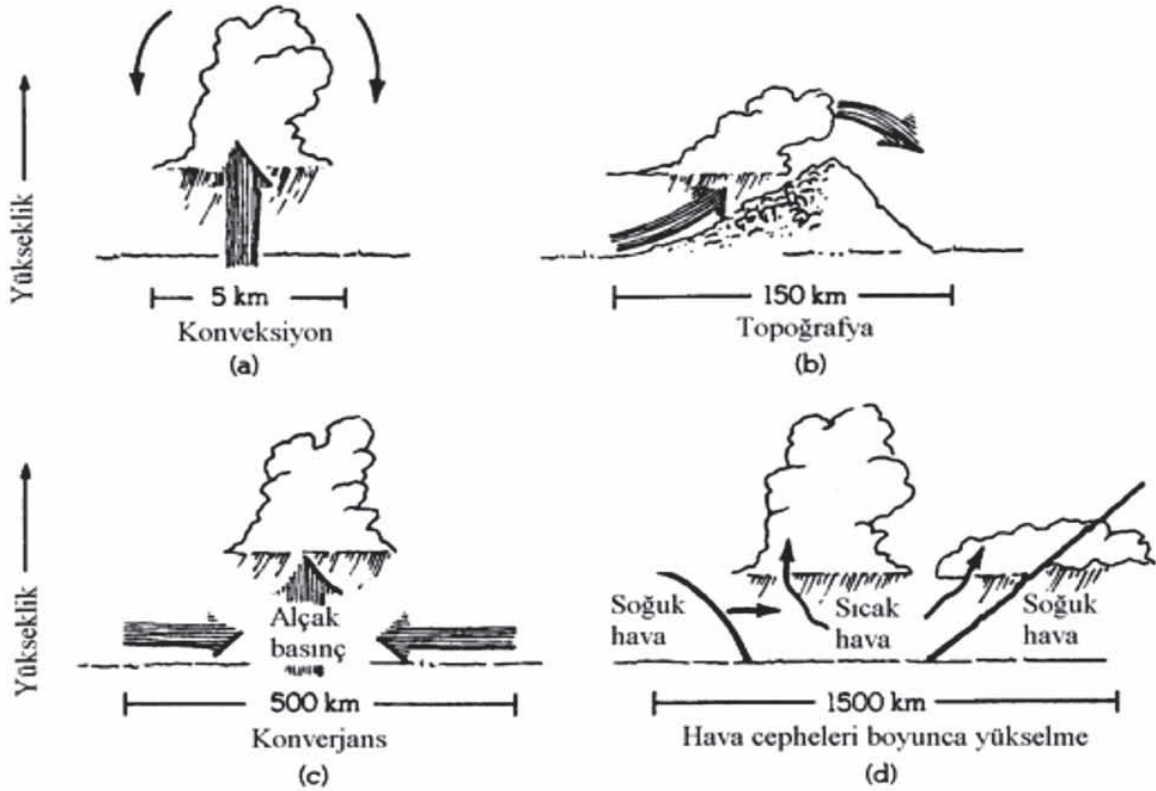
Sıcak bir günde, yer yakınındaki hava temasta olduğu sıcak yeryüzeyi tarafından ısıtılır. Bunun sonucunda hava genişler ve yükselir, (Şekil 5.a). Havanın bu hareketi konveksiyon olarak adlandırılır. Atmosferdeki süreklilik nedeniyle yükselen havanın yerini yukarılardaki soğuk hava alır ve bu şekilde bir konvektif hücre oluşur. Konvektif hücreler genellikle çok hızlı yükselerek ani bir soğumaya ve arkasından şiddetli yağışlara neden olurlar. Bu şekilde oluşan yağışların bir özelliği de etki alanı bakımından sınırlı, süre bakımından ise kısa olmasıdır.

Tepe kısımlarının zamanla örs şeklini aldığı kümülönimbüs bulut yapısıyla ayırt edilen gök gürültülü fırtına konvektif karakterlidir. Bu tip fırtınalar nisbeten dar alanlarda yağış üretirler. Bu yağış yersel dağılım açısından oldukça düzensizdir. Bir yerde şiddetli yağış varken biraz ötede çok hafif şiddette bir yağış olabileceği gibi hiç yağış olmayabilir de.

4.2.2. Topoğrafya ve Bulutlar

Orografik yağış, nemli havanın dağ sırası örneğinde olduğu gibi fiziksel bir engel tarafından yükselmeye zorlanması sonucu oluşur. Orografik etki rüzgârın denizden sahile doğru esmesi durumunda da ortaya çıkar. Sahilin hafif bir yükseltiye sahip olması ve pürüzlülük nedeniyle rüzgâr hızındaki azalmanın ortak etkisi havayı yükselmeye zorlar. Şekil 5.b'de görüldüğü gibi nemli hava önündeki engelle karşılaştığında yükselmeye başlar ve eylemsizlik nedeniyle yükselme tepenin üstünde bir miktar daha devam eder. Orografik yağış düzenli ve devamlı olma eğilimi gösterir.

Dağın rüzgâraltı tarafındaki koşullar yağış oluşumu için uygun değildir. Hava dağın rüzgâraltı ta-



Şekil 5. Bulut oluşum mekanizmaları

rafında alçalmaya başladığında sıcaklığı artmaya, (havaya fazladan nem eklenmediği için) bağıl nemi azalmaya başlar. Yağış için havanın doymaya ulaşması gerektiğinden, dağın rüzgâraltı tarafında yağış gözlenmez. Yağışın gözlenmediği bu bölge yağmur gölgesi olarak adlandırılır. Orografik yağış analizinde hakim rüzgâr yönü dikkate alınmalıdır. Örneğin hakim rüzgâr yönünün dağ sırasının uzantısına paralel olması durumunda orografik yağış miktarı çok olacaktır.

4.2.3. Konverjansla Yükselme ve Bulutlar

Şekil 5.c'de verildiği gibi yüzey havanın konverjans sonucu geniş bir alan üzerinde yükselmesi, bulut oluşumunda karşılaşılan diğer önemli bir mekanizmadır. Havanın geniş bir alan üzerinde yükselmesinin temel nedenlerinden biri siklonik fırtına sistemleridir. Bu tip sistemler, farklı sıcaklık ve yoğunluktaki havayı ayıran cephelerle yakından ilişkilidir, (Şekil 5.d). Örneğin sıcak cephe yüzeyi boyunca tır-

manan sıcak havanın oluşturduğu bulutlar yüzlerce hatta binlerce kilometre karelik bir alanı kaplayabilir. Bu şekilde oluşan bulutlar sirrostratüs, altostratüs, nimbostratüs gibi tabakalı bulutlardır. Buna karşın, soğuk cephe yüzeyi boyunca yükselmeye zorlanan nemli havanın oluşturduğu bulutlar genellikle düşey gelişimli bulutlardır. Cepheler olmasa bile yüzeydeki bir alçak basınç alanının üzerinde de bulutlar oluşabilir. Hava bütün yönlerden alçak basınç merkezine doğru hareket eder. Merkez civarında karşılaşılan havanın yükselmesiyle de bulutlar oluşur.

4.3. Bulutların Sınıflandırılması

Pek çok gök cisminin ilk astronomlar tarafından bundan yaklaşık 2000 yıl önce isimlendirilmiş olmasına rağmen; farklı bulut tiplerinin ayırt edilmesi ve sınıflandırılması 19. yüzyıla kadar mümkün olmamıştır. İlk bulut sınıflandırması 1802 yılında Fransız doğa bilimcisi Lamarck tarafından önerilmiştir. Ancak Lamarck'ın sınıflandırması fazla kabul görmemiş-

tir. Bundan bir yıl sonra İngiliz doğa bilimcisi Luke Howard genel kabul gören bir bulut sınıflandırması yapmıştır. Howard bulutları tanımlamak için Latince kelimeler kullanmıştır. Bu sınıflandırmada tabaka şeklindeki bulutlar *stratus*, bir yığını andıran kabarık bulutlar *kümülüs*, çok ince bulutlar *sirüs* ve yağmur bulutları *nimbüs* olarak adlandırılmıştır. Bu bulutlar Howard'ın bulut sınıflandırmasındaki dört temel bulut tipidir. Diğer bulut tipleri, temel bulut tiplerinin birleştirilmesi yoluyla tanımlanırlar. Örneğin *nimbostratus* tabakalı bir yapı gösteren yamur bulutunu, *kümülönimbüs* düşey gelişimli bir yapı gösteren yağmur bulutunu isimlendirmede kullanılır.

Günümüzde kullanılmakta olan bulut sınıflandırması 1887 yılında Abercromby ve Hildebrandsson tarafından yapılmıştır. Bu sınıflandırma Howard'ın yapmış olduğu sınıflandırmanın çok az değiştirilmiş bir hâlidir. Bu sınıflandırmada on değişik bulut tipi dört ana bulut grubuna ayrılmıştır. Her bulut grubunun tanımlanmasında, bulut taban yükseklikleri esas alınarak alçak, orta ve yüksek bulutlar şeklinde isimlendirilmiştir. Dördüncü gruba giren bulutlar ise düşey gelişimli bulutlardır. Her bir grup içindeki bulutlar ise görünüşlerine göre sınıflandırılmıştır, (Tablo 1).

Tablo 1. Dört temel bulut grubu ve tipleri

Yüksek Bulutlar	Orta Bulutlar	Alçak Bulutlar	Düşey Gelişimli Bulutlar
Sirüs	Altostratus	Stratus	Kümülüs
Sirrostratus	Altokümülüs	Stratokümülüs	Kümülönimbüs
Sirokümülüs		Nimbostatüs	

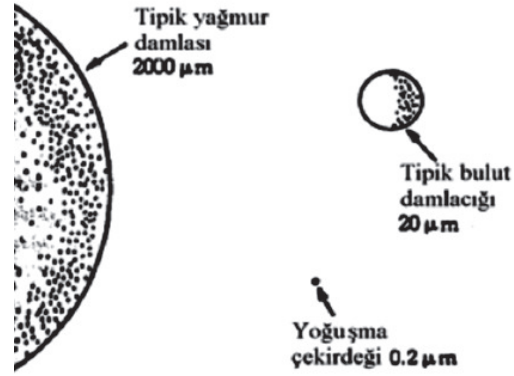
4.4. Yağış Nasıl Oluşur?

Şekil 6'da verildiği gibi tipik bir bulut damlacığının ortalama çapı 20 mm civarındadır ve tipik bir yağmur damlasından 100 kat daha küçüktür. Bulut damlacıkları çok küçüktür ve havada asılı vaziyette kalabilmeleri için, yukarı doğru hafif bir hava hareketinin olması yeterlidir. Bir bulut damlacığının yeterli büyüklüğe ulaşmasında aşağıda verilen süreçler önemli rol oynar:

- Çarpışma-birleşme süreci
- Buz-kristal süreci

a. Çarpışma-Birleşme Süreci

Donma noktasının üzerinde oluşan bulutlara *sıcak bulutlar* denir. Bu tip bulutlardan yağış oluşumunda, damlacıklar arasındaki çarpışmalar önemli rol oynar. Çarpışma yoluyla yağmur damlalarının büyüebilmesi için, bazı damlacıkların diğerlerinden daha büyük olması gerekir.



Şekil 6. Tipik bir yağmur, bulut ve yoğuşma çekirdeğinin büyüklüklerinin karşılaştırılması.

Büyük damlalar, küçük damlalara nazaran daha hızlı düşerler. Dolayısı ile daha büyük damlalar yolları üzerindeki küçük damlalara yetişerek onlarla çarpışırlar. Bulut damlacıklarının çarpışma sonucu kütlelerinin büyümesi *birleşme* olarak adlandırılır. Eğer damlacıklar zıt elektrik yüklerine sahipse, birleşme işleminin daha etkin bir şekilde gerçekleşmektedir. Dolayısı ile bulut damlacıklarının büyümesinde ve yağmur oluşumunda atmosfer elektriği önemli bir rol oynar. Bulut damlacıklarının büyümesinde önemli olan diğer bir faktör de, damlacıkların bulut içerisinde kalış süreleridir. Yükselen hava akımları, damlacığın düşüş hızını yavaşlatır. İçerisinde güçlü yukarı doğru hava akımlarının olduğu kalın bir bulut tabakası durumunda, damlacıkların bulut içerisinde kalış süreleri fazla olmaktadır.

Büyük damlalar hızla düştükleri için yere diğer damlalardan önce ulaşırlar. Bu nedenle büyük damlalar sıcak, konvektif bulutlardan meydana gelen sağanak yağışın başlangıcında görülürler. Çok hafif

yukarı doğru akıma sahip, nisbeten ince bir stratus bulutundan sadece çisenti meydana gelebilir. Buna karşın, içerisinde yukarı doğru kuvvetli hava akımları olan kümülönimbüs bulutları şiddetli sağanak yağışa neden olurlar.

b. Buz-Kristal Süreci

Buz-kristal süreci ile yağmur oluşabilmesi için, donma noktasının altında oluşmuş bir bulutta, buz kristalleri ve sıvı su damlacıklarının bir arada bulunmaları gerekir. Bu süreçle yağmur oluşumu orta ve yüksek enlemlerde önemlidir.

Bulutun sıcak bölgesinde (donma noktasının üstü) yalnızca su damlacıkları vardır. Dolayısı ile bu bölgede bulut damlacıklarının büyümesi çarpışma-birleşme sürecine göre gerçekleşir. Bu bölgenin hemen üzerindeki soğuk bölgede (donma noktasının altı) bulut damlacıklarının büyük bir kısmı hâlen sıvı su damlacıkları şeklindedir. Donma noktasının altındaki sıcaklıklarda sıvı fazda bulunan su damlacıkları, *aşırı soğumuş su* olarak adlandırılır. Bulut içinde daha yukarı seviyelerde buz kristallerinin sayısı artmakla beraber, sıvı su damlacıkları sayıca daha fazladır. Sıcaklığın donma noktasının çok altında olduğu bulutun üst kısmı ise hemen hemen buz kristallerinden oluşmuştur.

Sıvı bulut damlacıklarının yoğuşma çekirdekleri üzerinde oluşması gibi, buz kristalleri de donma noktasının altındaki havada bulunan *buz çekirdekleri* üzerinde meydana gelirler. Kil mineralleri, meteorik tozlar ve buz kristalleri bilinen en ideal buz çekirdekleridir. Bunun dışında geometrik yapıları buz kristaline benzeyen partiküller de buz çekirdeği olarak görev yaparlar.

Bir soğuk bulutta her bir buz kristalinin etrafında aşırı soğumuş çok sayıda sıvı su damlacığı bulunur. Su üzerindeki doymuş buhar basıncının, buz üzerindeki doymuş buhar basıncından daha büyük olması nedeniyle, su damlaları çevresinde buz kristaline nazaran daha çok sayıda subuharı vardır. Damlacık çevresinde subuharının daha fazla sayıda olması, damladan buz kristaline doğru bir buhar transferinin

meydana gelmesine neden olur. Bunun sonucunda damlacık buharlaşırken buz kristali büyür. Bu aşamada başka mekanizmaların devreye girmesiyle buz kristalinin büyümesi hızlanır. Bazı bulutlarda buz kristalleri aşırı soğumuş su damlacıkları ile çarpışır. Çarpışma sonucu su damlacığı donar ve buz kristaline yapışır. Bu süreç *yapışma* olarak adlandırılır. Yapışma süreci sonucunda *kar topakları* meydana gelir. Kar topakları düşmeleri esnasında bulut damlacıkları ile çarpışarak daha küçük buz partiküllerine dönüşürler. Küçük buz partikülleri daha sonra tekrar kar topaklarına, kar topakları da tekrar küçük buz partiküllerine dönüşürler. Daha soğuk bulutlarda ise buz kristalleri, diğer buz kristalleri ile çarpışarak, aşırı soğumuş damlacıkların temas etmeleri durumunda donmalarına neden olacak daha küçük buz kristallerine dönüşürler. Sonuç olarak her iki süreç durumda, çok sayıda buz kristali üreten zincirleme bir reaksiyon başlamış olur. Düşmeleri esnasında buz kristallerinin birbirleri ile çarpışması ve yapışması sonucu, buz kristallerinin bir kümesi olan *kuşbaşı kar* oluşur. Eğer kar tanesi yere düşmeden önce erirse, yeryüzüne bir yağmur damlası olarak ulaşır. Bu nedenle, yaz mevsiminde bile, orta ve daha yukarı enlemlere düşen yağmurun önemli bir kısmı kar olarak başlar.

4.5. Yağış Çeşitleri

Bu başlık altında sadece yağmur, kar ve dolu gibi başlıca yağış çeşitleri üzerinde durulacaktır.

4.5.1. Yağmur

Buluttan düşen herhangi bir sıvı su damlasının *yağmur* olarak adlandırılabilmesi için, çapının 0.5 mm veya daha büyük olması gerekir. Çapı bundan daha küçük olan üniform su damlacıklarından meydana gelen yağış çisenti olarak adlandırılır. Çisenti çoğunlukla stratüs bulutundan düşer. Bununla birlikte doymamış bir hava içerisinde düşen yağmur damlaları kısmen buharlaşarak yere çisenti olarak düşebilirler. Bağlı nemin çok düşük olması durumunda meydana gelen hızlı buharlaşma nedeniyle, buluttan düşen yağmur yere hiç ulaşmayabilir. Bir buluttan düşen yağmur damlaları, yukarı doğru bir hava akımıyla karşılaşmaları durumunda da yere

ulaşamayabilirler. Yukarı doğru olan hava akımının zayıflaması veya yön değiştirmesi durumunda, havada asılı hâlde bulunan damlalar hızla yere doğru inerler. Bu şekilde ani olarak bastıran yağış, *sağanak* olarak adlandırılır. Düşey gelişimli bir buluttan düşen sağanaklar kısa sürede çok miktarda yağış bırakır. Sürekli yağış ise, düşey hava hareketinin daha zayıf, kapladığı alan daha geniş olan tabakalı bulutlardan meydana gelir. Bu bakımdan nibostratüsler bol ve sürekli yağış meydana getiren bulutlardır.

Yere ulaşan yağmur damlalarının çapı ender olarak 6 mm'yi geçer. Çünkü büyük damlaların çarpışma olasılığı daha büyüktür ve çarpışma sonucu daha küçük damlalara parçalanırlar. Diğer yandan belli bir büyüklüğü aşan damlalar daha kararsız bir hâle gelir ve bölünürler.

4.5.2. Kar

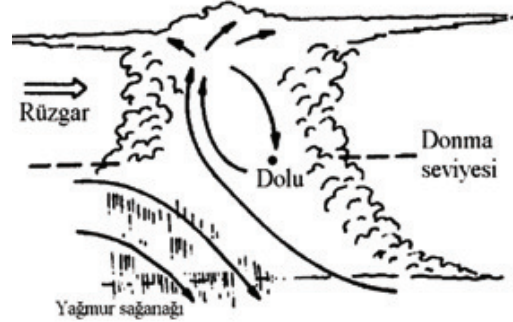
Daha önce de bahsedildiği gibi, yere ulaşan yağış çoğunlukla kar olarak başlar. Yaz mevsiminde donma seviyesi yerden genellikle daha yüksektedir ve kuşbaşı kar taneleri yere ulaşmadan erir. Diğer taraftan kışın donma seviyesi daha aşağıdadır ve kuşbaşı kar taneleri erimeden yeryüzüne kadar ulaşabilir. Kuşbaşı kar, tamamen erimeden donma seviyesinin 300 m altına kadar düşebilir. Bulutun alt kısmındaki havanın nisbeten kuru olması durumunda kuşbaşı kar kısmen erir. Sıvı suyun buharlaşması kuşbaşı kar tanesini soğutur ve erime hızını yavaşlatır. Dolayısı ile hava sıcaklığının donma noktasının üzerinde olduğu nisbeten kuru hava koşullarında bile kuşbaşı kar taneleri erimeden yere ulaşabilirler.

Gelişmekte olan bir kümülüs bulutundan düşen kar genellikle *hafif kar sağanağı* şeklindedir. Bu sağanak durumunda kar, kesikli olarak yağar ve yerde az miktarda birikme oluşturur. Daha şiddetli kar sağanağı *tam kar sağanağı* olarak adlandırılır. Bu sağanak da, hafif kar sağanağında olduğu gibi düşey gelişimli bulutlardan meydana gelir, kısa süreli fakat şiddetli kar yağışı ile karakterize edilirler. Sürekli kar yağışı ise daha çok nibostratüs ve altostratüs bulutlarından meydana gelir.

4.5.3. Dolu

Dolu taneleri şeffaf veya kısmen opak; büyüklüğü bir bezelye tanesinin büyüklüğünden bir golf topunun büyüklüğüne kadar değişebilen buz parçalarıdır. Dolu taneleri küresel veya şekilsiz bir görünümde olabilirler.

Dolu, kümülönimbüs bulutu içerisinde *embriyo* görevi üstlenen bir kar topağı, donmuş yağmur damlası veya herhangi bir partikülün (bu bir böcek de olabilir) üzerinde gelişir. Aşırı soğumuş su damlacıkları embriyo ile çarpışarak hızla donarlar ve embriyo üzerinde birikirler. Bir dolu tanesinin golf topu büyüklüğüne ulaşabilmesi için 5-10 dakikalık bir süre boyunca bulut içinde kalması gerekir. Çok şiddetli yukarı doğru hava akımları embriyoyu bulut içinde donma seviyesinden yukarı doğru taşır. Bu seviyede aşağı doğru düşmeye başlayan embriyolar diğer bir akım tarafından tekrar yukarı doğru taşınırlar, (Şekil 7).



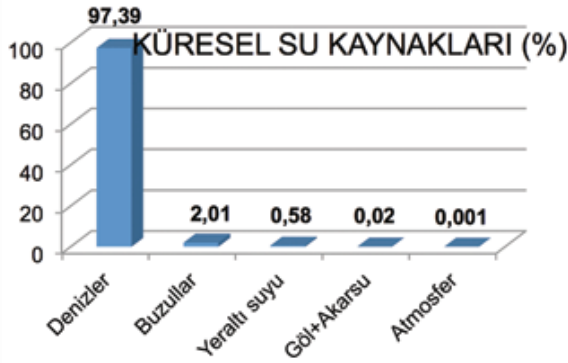
Şekil 7. Kümülönimbüs bulutu içinde bir dolu tanesinin büyüme mekanizması.

Her aşağı ve yukarı taşınım esnasında, üzerine biriken bir buz tabakasıyla embriyo gittikçe büyür. Bulut içinde bu şekilde belli bir süre kalan embriyo sonunda farkedilebilir bir büyüklüğe ulaşır ve yükselen hava akımlarının artık tutamayacağı bir büyüklüğe ulaştıklarında, bulutun altındaki daha sıcak havanın içerisine doğru düşerler. Bu esnada daha küçük olan dolu taneleri erirler. Buna karşın daha gelişmiş bir kümülönimbüs bulutundan düşen dolu taneleri erimeden yere kadar ulaşabilirler.

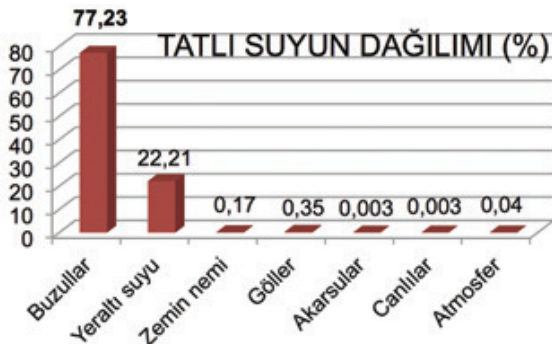
5. Su Kaynaklarının Küresel Dağılımı

Doğa su miktarı bakımından dinamik denge hâlinindedir. Yerküresinin toplam su miktarı zamanla değişmez. Uzun bir süre gözönüne alındığında hidrolojik çevrimin herhangi bir parçasına giren ve çıkan su miktarları birbirine eşittir. Örneğin yeryüzüne bir yılda düşen yağış, o yıl içinde buharlaşarak havaya geri dönen su miktarına eşittir. Ancak kısa bir zaman aralığında bakılırsa çevrimdeki su miktarında büyük değişimler olduğu görülür.

Herhangi bir anda suyun yerküresinin çeşitli kısımları arasında dağılımına bakarsak çok büyük bir kısmının (%97.4) denizlerde olduğunu görürüz, (Şekil 8). Karalarda ve atmosferde bulunan tatlı suyun dağılımı ise şöyledir: %77.23 kutup buzlarında, %22.21 yeraltı suyu hâlinde, %0.35 göllerde, %0.17 zemin nemi hâlinde, %0.04 akarsularda, %0.003 canlılar ve %0.001 atmosferde.



Şekil 8. Dünyadaki toplam suyun yüzde olarak bileşenleri.



Şekil 9. Tatlı suyun yüzde olarak bileşenleri.

6. Ana Hatları ile Su Sorunu ve Çözüm Önerileri

1. Sağlıklı suya ulaşmak her şeyden önce temel bir insan hakkıdır. Diğer bir deyişle su, toplumsal bir değer olarak düşünülmalıdır. Su sorununun çözümüne öncelikle insanların suya bakış açılarını sorgulamakla başlanmalıdır. Günlük yaşamda sıklıkla duyduğumuz “sudan ucuz”, “sudan bahane”, “havadan sudan konuşmak” vb deyimler ne yazık ki suyun sınırsız, ucuz ve önemsiz bir kaynak olduğu izlenimini vermektedir. Bu düşüncelerle yetişmiş bir insanı su tasarrufuna alıştırmak daha zordur.

2. Ülkemizin yarı-kurak bir iklim kuşağında olduğu daima göz önünde bulundurulmalı, bütün su politikaları buna göre oluşturulmalıdır.

3. Kuraklık meteorolojik kuraklıkla başlar, bunu hidrolojik, tarımsal ve sosyo-ekonomik kuraklık takip eder. Bu nedenle yağışın yersel ve zamansal dağılımı çok iyi takip edilmelidir.

4. Su sorununun çözümünde su tüketiminin sektörlerarası dağılımı dikkate alınmalıdır. Türkiye genelinde toplam suyun %72’si tarımda, %12’si sanayide, %16’sı da içme ve kullanma amaçlı olarak tüketilmektedir. Gerek tarımsal, gerek sanayi ve gerekse bireysel amaçlı olsun suyu kullanan sonuçta insandır. Bu nedenle kullanıcıların bilinçlendirilmesi son derece önemlidir. Bu konuda diğer önemli bir nokta da bütün sektörlerin aynı kalitede su kullanımının yanlış olduğudur.

5. Ülkemiz sanıldığı kadar su zengini bir ülke değildir. Su varlığına göre ülkeler, yılda kişi başına düşen ortalama kullanılabilir su miktarı 1000 m³ den az olan ülkeler “su fakiri”, 1000 m³ ile 3000 m³ arasında olanlar “su sıkıntısı” çeken ülkeler, 3000 m³ ile 10000 m³ arasında olan ülkeler “yeterli suyu olan” ülkeler, 10000 m³ den fazla olan ülkeler ise “su zengini” ülkeler olarak kabul edilmektedir. Ülkemizde kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı yaklaşık olarak 112X109/70X106=1600 m³/yıl dir. Buna göre ülkemiz su sıkıntısı çeken ülkeler arasında yer almaktadır.

6. Ülkemizde nüfusun ve suyun yersel dağılımı bir birinin tam tersidir. Bu çarpıklığın düzeltilmesi için çalışmalar yapılmalıdır.

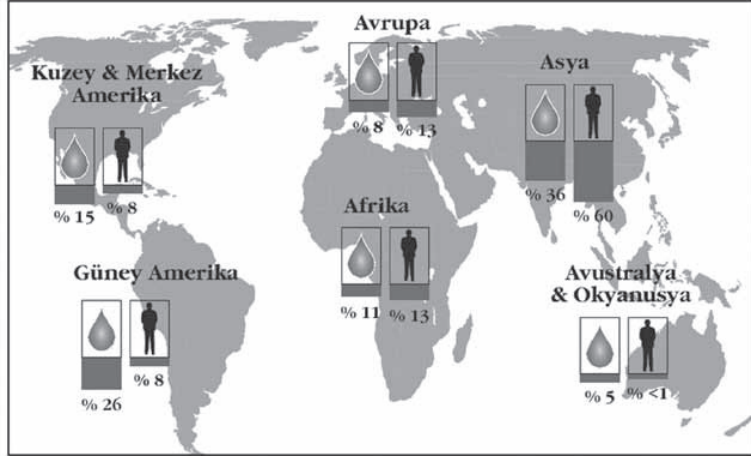
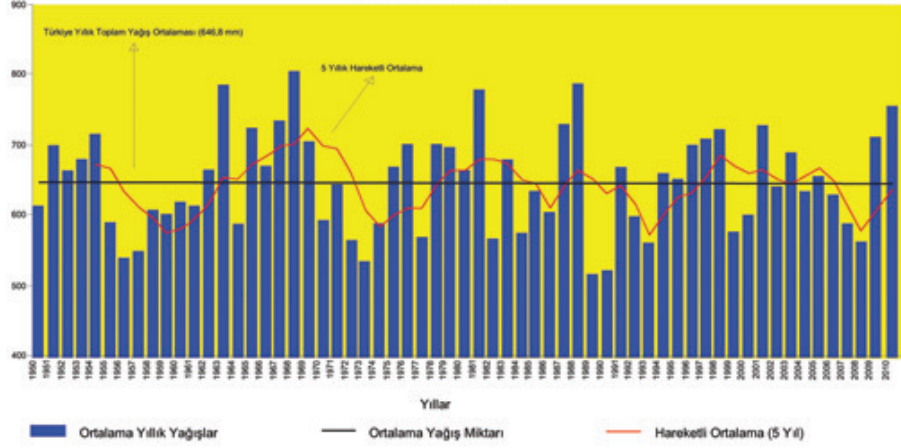
7. Su probleminde kriz yönetimi değil risk yönetimi mantığı ile yaklaşılması, bu bağlamda arz ve talebin doğru yönetilmesi, doğru yatırımların doğru zamanda yapılması vb. son derece önemlidir.

8. Su hakkında söz sahibi otorite sayısının en aza indirilmesi, su kaynaklarının daha etkin yönetimini sağlayacaktır.

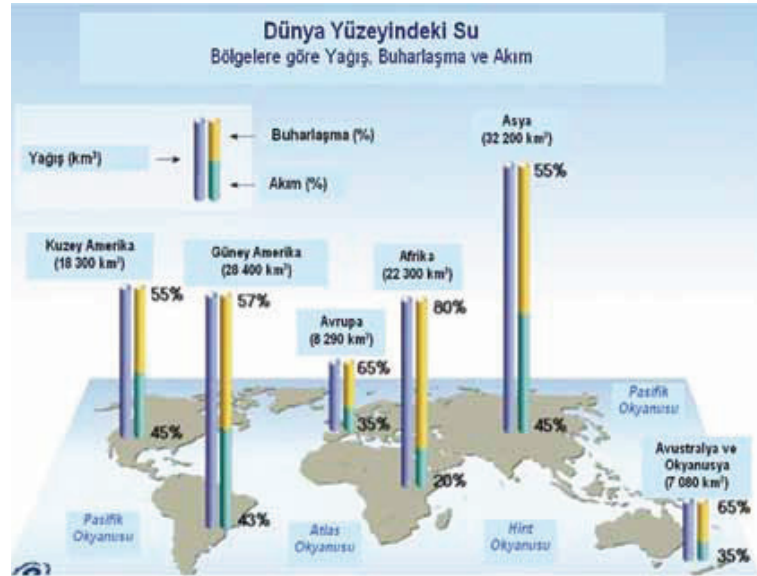
9. Kuraklığı ülke genelinde izleyecek, gerekli uyarıları zamanında yapacak, alınması gerekli önlemleri yetkililere ve kamuoyuna zamanında duyuracak, kuraklık konusunda bilimsel araştırmalar yapacak bir merkezin kurulması gerekmektedir.

10. Sınır aşan sularla ilgili ikili anlaşmalar değişen iklim koşulları dikkate alınarak yapılmalıdır. Ülkemizin brüt su potansiyeli içinde sınır aşan altı su havzasının payı yaklaşık %36'dır. Bu havzaların beşinde kaynak ülkesi olduğumuz gerçeği göz önüne alındığında, havza bazında su yönetiminin ve sınır aşan su politikalarının önemi ortaya çıkmaktadır. Diğer taraftan hızla artan nüfus nedeniyle daha fazla suya gereksinim duyulacağından, aynı su havzalarından yararlanan ülkeler arasında su yüzünden ciddi anlaşmazlıklar çıkabilecektir. Son yıllarda yaşananlar dikkate alındığında bu durum artık bir teori olmaktan öteye geçmiştir. Birleşmiş Milletler, Sudan'ın Darfur bölgesindeki

YILLIK ORTALAMA YAĞIŞLAR TÜRKİYE GENELİ (1950-2010)



Kaynak : UN World Water Development Report, 2003



kanlı savaşın arkasında su kıtlığı olduğunu bildirmektedir. Diğer taraftan Somali kuraklık yüzünden savaşa gebe ülkelerin başında gelmektedir. Bununla birlikte ülkeler arasındaki su sorununun çözümünde tek çare karşılıklı anlayış ve işbirliğidir.

11. Su talebinin karşılanmasında yerel kaynakların akılcı kullanımı ön plana alınmalı, komşu havzalardan getirilen suyun toplam talebin belli bir yüzdesini aşmamasına dikkat edilmelidir. Her şeyden önce su alınan havzadaki mevcut ekosistemin dengesinin korunmasına özen gösterilmeli; bir sorunu çözmeye çalışırken birden çok soruna neden olmanın yaratacağı kısır döngüden kaçınılmalıdır. Diğer taraftan başka kaynaklardan gelecek suya gereğinden fazla bağımlılık son derece risklidir. Çünkü su alınan havza da her an kuraklık tehdidi altına girebilir. Kuraklığın noktasal değil bölgesel çapta bir doğal afet olduğu gerçeği unutulmamalıdır.

12. Gerekli önlemlerin alınmaması durumunda gelecekte ülkemizde ve civar ülkelerde artan sıklıkta yaşanacak daha şiddetli kuraklıkların ulusal güvenliğimiz için ciddi bir tehdit unsuru olduğu, üzerinde önemle durulması gereken bir husustur. Özetle su, stratejik bir doğal kaynaktır ve bu özelliği ile ulusal güvenlik stratejilerinin ayrılmaz bir parçası olarak dikkate alınmak zorundadır.

13. Su bir barajdan çıkıp kullanıldığı yere gelinceye kadar çeşitli kayıplara uğramaktadır. Bunlar sırasıyla buharlaşma kayıpları, sızma kayıpları, şebeke kayıpları ve bilinçsiz su tüketiminden kaynaklanan kayıplardır. Bu kayıpların dünya standartlarına çekilmesi sağlanmalıdır. Ülkemizin bir deprem ülkesi olduğu gerçeğinden hareketle barajların yapımı için yer seçimi dikkatlice yapılmalıdır. Şehir şebekesinin periyodik bakım ve yenilemesi asla ihmal edilmemelidir.

14. Yeraltı suları stratejik su kaynaklarıdır. Bu kaynaklar, acil durumlarda kullanılmak üzere yeraltına depolanmış su varlığı olarak düşünülmelidir. Ülkemizin önemli bir kısmı deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Ciddi depremde mevcut su şebekesinin büyük ölçüde tahrip olması söz konusudur. Diğer taraftan ülkemiz yarı-kurak bir iklim kuşağındadır. Bütün bu doğal afetlerden en az zarar görecektir.

olan yine yeraltı su kaynakları olacaktır. Bilindiği gibi yeraltı ve yerüstü su kaynakları karşılıklı bir etkileşim içindedirler. Yeraltı su seviyesinin önemli ölçüde azalması yerüstü su kaynaklarını da olumsuz etkileyecektir. Artan nüfus ve sanayileşme sonucu yeraltı sularının önemli bir kısmı kirlenmiş, aşırı kullanmaya bağlı olarak da bazı bölgelerde tuzlanma sorunları ortaya çıkmıştır. Bu nedenle yeraltı sularının kullanımı çok sıkı denetlenmeli, bu konudaki hukuki altyapı günün koşullarına uydurulmalıdır.

7. Sonuç

Buraya kadar ana hatları ile suyun doğada nasıl meydana geldiğini, dünya genelinde suyun durumunu, yine ana hatları ile su sorununun hangi bileşenlerden oluştuğu üzerinde duruldu. Temiz bir çevre ve sürdürülebilir bir kalkınma için su en önemli faktördür. Tarihe baktığımızda geçmiş tüm uygarlıkların başarı ya da başarısızlıkları, su problemini çözmede ortaya koydukları yetenekle doğru orantılı olmuştur.

Günümüzde su kaynakları ciddi tehlikelerle karşı karşıyadır. Bunların başında nüfus artışı, çarpık kentleşme, arazi kullanımı ve ormansızlaştırma, üretimde eski teknolojilerin kullanımı sayılabilir. Özellikle son yıllarda bilim adamlarının dikkat çektiği diğer önemli bir konu da küresel iklim değişimidir. İklim değişimi karşısında takınılacak en gerçekçi tavır, değişen iklim koşulları altında yaşamayı, üretim yapmayı, su ve toprak kullanmayı öğrenmektir. Bunun yolu da hava, su ve toprak ortamını bozmadan, kirlenmeden kullanmayı öğrenmekten ve hepsinden önemlisi gelecek nesillerin yaşam hakkına saygı duymaktan geçmektedir.

KAYNAKÇA

- Ahrens, C.D. 2000: Meteorology Today, An Introduction to Weather, Climate, and the Environment, West Publishing Company.
- Bayazit, M. 1999: Hidroloji, İstanbul Teknik Üniversitesi. http://web.itu.edu.tr/~kkocak/su_sorunu.htm
<http://web.itu.edu.tr/~kkocak/iklim.html>
<http://web.itu.edu.tr/~kkocak/atmevrim.html>
- Yıldız, S. 2008: Su Fakirliği Kapımızda mı? TÜBİTAK, Bilim ve Teknik, sayı:489.