Co-funded by
the European Union

2021-1-TR01-KA220-VET-000029507

İklim Değişikliğine Uyum İçin Tarımda Yenilikçi Bir Mesleki Eğitim Perspektifi"

Smart AgroVETs Projesi

Tarımsal su yönetimi konusunda eğitim kursu

A"Erasmus+ / Avrupa Dayanışma Programı kapsamında Avrupa Komisyonu tarafından desteklenmektedir. Burada yer alan içerik yazarın görüşlerini yansıtmaktadır ve bu görüşlerden Avrupa Komisyonu ve Türkiye Ulusal Ajansı sorumlu tutulamaz."

BÖLÜM 6

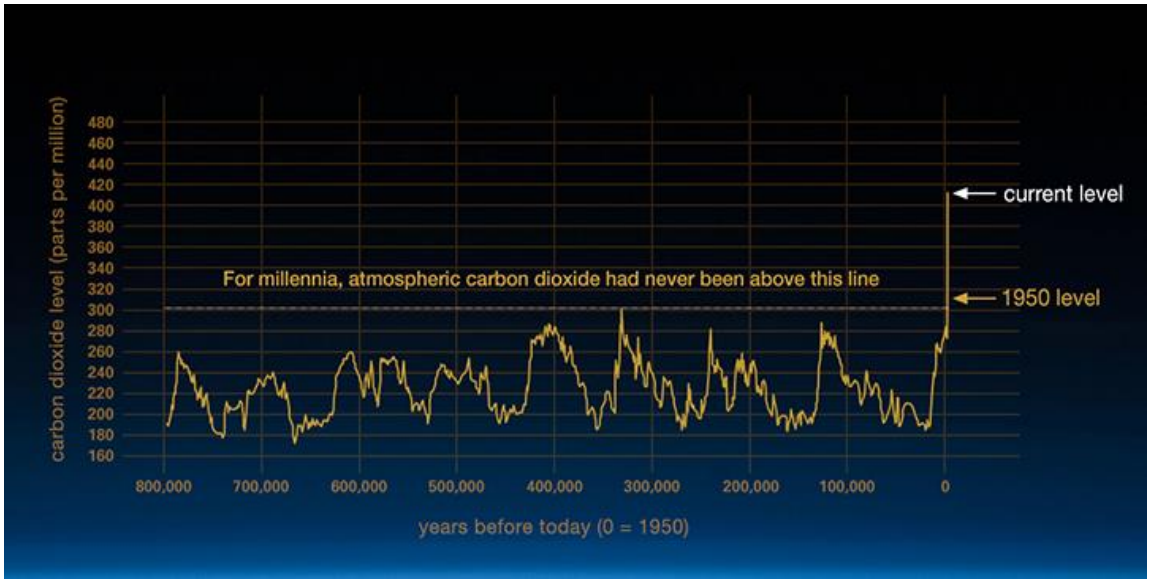
İKLİM DEĞİŞİMİ SÜRECİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMSAL ÜRETİM: İKLİME DUYARLI TARIM (İDT)

6.1. HAVA OLAYLARI, İKLİM VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

Hava durumu, dakikalardan saatlere veya günlere kadar kısa sürelerde yerel olarak meydana gelen atmosferik koşulları ifade etmektedir. Yağmur, kar, bulutlar, rüzgarlar, sel veya gök gürültülü fırtınalar bilinen hava olayları arasındadır. İklim ise mevsimler, yıllar veya on yıllar boyunca sıcaklık, nem ve yağış rejimlerinin uzun vadeli bölgesel ve hatta küresel ortalamasını ifade etmektedir.

İklim değişikliği, dünyanın yerel, bölgesel ve küresel iklimlerini tanımlamaya başlayan ortalama hava modellerinde uzun vadeli bir değişikliktir. Bu değişiklikler, terimle eşanlamlı olan çok çeşitli gözlenen etkilere sahiptir.

Sera gazları (GHG'ler), atmosferi daha sıcak hale getirerek dünyanın iklim sistemini kontrol eder. Sera gazları olmasaydı, dünya, dünyanın mevcut ortalama sıcaklığından yaklaşık 30 °C daha düşük, sürekli bir buzul çağında olurdu. Bu sera gazları dünya üzerinde bir örtü oluşturur, dünya yüzeyinden gelen ısıyı tutarlar. Bu ısı aslen güneşten görünür ışınlar şeklinde gelir ve dünya yüzeyinden kızılötesi radyasyon şeklinde yeniden yayılır. Aksi takdirde, bu ısı atmosferden geçecek ve uzaya kaybolacaktır. En etkiliden en az etkiliye doğru sıralanan sera gazları karbondioksit (CO2), metan (CH4), ozon (O3), su buharıdır.

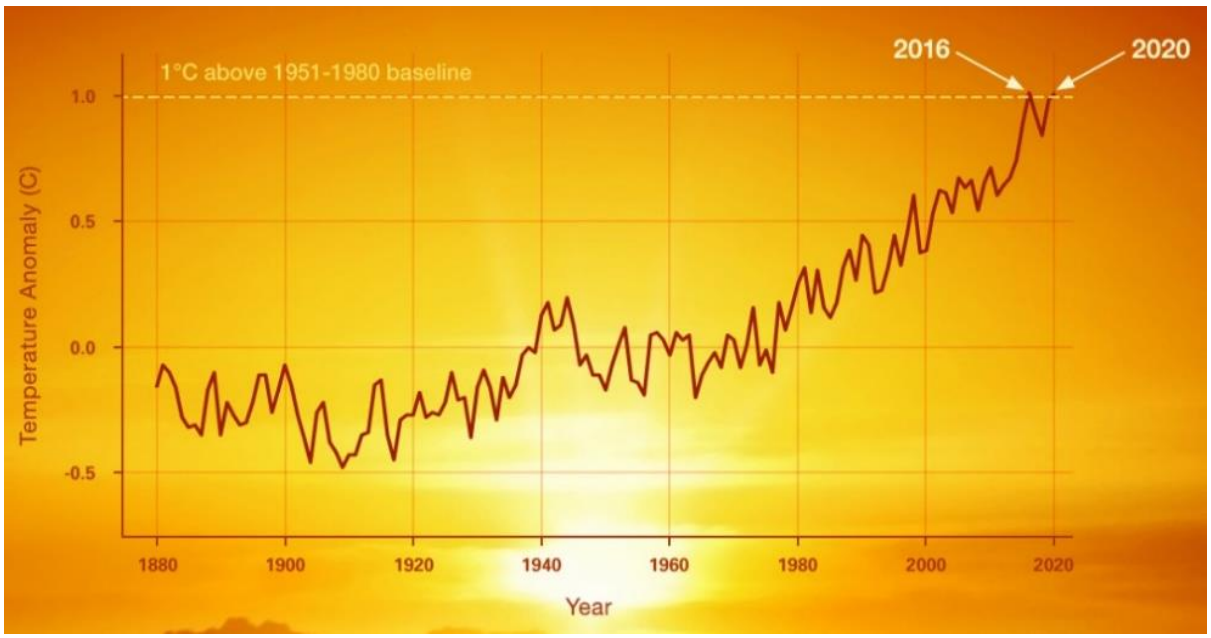


Şekil 6.1. Son birkaç on yılda karbondioksitin amansız yükselişi (Kaynak: https://climate.nasa.gov)

20. yüzyılın başlarından bu yana dünyanın ikliminde gözlemlenen değişiklikler, öncelikle insan faaliyetlerinden, özellikle de atmosferdeki ısıyı hapseden sera gazı seviyelerini artıran ve dünyanın ortalama yüzey sıcaklığını yükselten fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanmaktadır. İnsan kaynaklı bu sıcaklık artışlarına genel olarak küresel ısınma denir. İç değişkenlikler (örneğin, El Nino, La Niña ve Pasifik Decadal salınım gibi döngüsel okyanus kalıpları) ve dış zorlamalar (örneğin, volkanik aktivite, güneşin enerji çıkışındaki değişiklikler, dünyanın yörüngesindeki değişiklikler) gibi doğal süreçler de iklim değişikliğine katkıda bulunabilir (Kaynak: https://climate.nasa.gov).

Sanayi öncesi dönemden bu yana, insan faaliyetlerinin dünyanın küresel ortalama sıcaklığını yaklaşık 1 santigrat derece artırdığı tahmin ediliyor; bu değer şu anda her on yılda 0.2 santigrat derece artıyor. İnsan etkisinin atmosferi, okyanusu ve toprağı ısıttığı kesindir (Kaynak: https://climate.nasa.gov).

Bilim adamları, geçmiş, şimdiki ve gelecekteki iklim değişikliğini izlemek ve incelemek için teorik modellerle birlikte yerden, havadan ve uzaydan gelen gözlemleri kullanmaktadırlar. İklim veri kayıtları, küresel kara ve okyanus sıcaklık artışları, yükselen deniz seviyeleri, dünyanın kutuplarında ve dağ buzullarındaki buz kaybı, kasırgalar, sıcak hava dalgaları, orman yangınları, kuraklık, sel ve yağış gibi aşırı hava koşullarındaki sıklık ve şiddet değişiklikleri, ve bulut ve bitki örtüsü değişiklikleri iklim değişikliğini kanıtlayan temel göstergelerden sadece bazılarıdır.



Şekil 6.2. 1951-1980 ortalama sıcaklıklarına göre, küresel yüzey sıcaklığındaki değişim, 2020 ve 2016 yılları kaydedilen rekor en sıcak yıllar olarak dikkat çekiyor (Kaynak: NASA's Goddard Institute for Space Studies, https://climate.nasa.gov)

6.2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TARIMSAL ÜRETİME ETKİSİ

Tarımsal üretime uygunluk azalacaktır: Türkiye'de Karadeniz bölgesi hariç, sıcaklık ve evapotranspirasyondaki artışa bağlı olarak ilkbahar ve yaz yağışlarındaki azalmalar ayçiçeği, mısır, çeltik, fasulye, nohut, mercimek, şeker pancarı, pamuk, sebze ve meyveler gibi yazlık ürünlerin yanında yonca ve meraların verim ve ekiliş alanlarında düşüşlere yol açacaktır. Bu durum halihazırda baklagiller, yem bitkileri ve yağ bitkilerinde açığı olan ülkemizde üretim açığını daha da artıracaktır. İklim değişikliğinin 2050 yılına kadar Türkiye için stratejik öneme sahip bazı ürünlerin veriminde (buğdayda %8,18, arpada %2,24, mısırda %9,11, pamukta %4,53 ve ayçiçeğinde %12,89) düşüşe neden olacağı tahmin edilmektedir (Dellal ve ark. 2011; Kadıoğlu ve ark. 2017).

Su kaynakları azalacak, sulama suyu talebi ve su stresi artacaktır: İklim değişikliği nedeniyle ihtiyaç duyulan sulama suyu miktarı günümüze göre iki katına çıkabilir. Sulama ile bile çiçeklenme ve dane dolum döneminde bitkiler daha yüksek ve aşırı sıcaklıklara maruz kalacağından yaz bitkilerinin veriminde düşüş olması beklenmektedir. Sıcaklık artışlarının ve yağışların azalmasının yanı sıra ürün yetiştirme mevsiminin uzaması, don günlerinin azalması, ürün yetiştirme mevsiminde toprak su eksikliği, özellikle Karadeniz kıyı şeridinde sel olaylarının sıklık ve şiddetinin artması, bitkisel üretimi ve biyolojik çeşitliliği olumsuz yönde etkileyecektir (Kadıoğlu et al. 2017; Konukcu 2019).

Mevsim kaymalardan kaynaklanan hasarlar: Kışa girişte veya erken ilkbaharda sıcaklıkların beklenenin üzerinde seyretmesi bitkilerin, özellikle meyvelerin, erken çiçek açmasına ve sonrasında yaşanacak don olayı ile verim ve kalite kaybına neden olacaktır. Soğuk kışların kontrol edememesi nedeniyle bazı hastalık ve zararlılar hayatta kalabilir, hatta her yıl daha fazla çoğalarak salgınlara neden olabilir. Sıcaklık ve nem koşulları değiştikçe, yeni hastalıklar ve zararlılar daha önce görülmeyen alanlarda hasara neden olabilir. Sıcaklığın artması, yağışların azalması, mevsimlerin kayması, atmosferde CO2 miktarının artmasıyla birlikte hastalık ve zararlıların artacağı, kültür bitkilerine göre daha rekabetçi olan yabancı ot popülasyonlarında artışlar yaşanacağı, bitkilerde meydana gelen morfolojik değişimler sonucu daha fazla kimyasal ilaç kullanma zorunluluğu doğacağı, bu ise ürün kalitesini olumsuz etkilediği gibi insan ve çevre sağlığını da olumsuz etkileyeceği belirtilmektedir (Amare 2016).

Aşırı iklim olayları nedeniyle risk aratacaktır: uzun süreli kuraklıklar yangın mevsimini uzatacak ve yangın riskini artıracaktır. Beklenmeyen şiddetli yağışlar ve artan nem, ürün kalitesinin düşmesine, hatta bazen tamamen kaybolmasına, tane durgunluğuna ve toprak

erozyonuna neden olacaktır. Aşırı sıcaklıklar ürün kalitesinde ve verimde düşüşe neden olurken, dolu yağışı büyük bir ekonomik kayba neden olabilir.

6.3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ, GIDA GÜVENCESİ VE ZORLUKLAR

Artan nüfusu beslemek için, yıllık dünya gıda üretiminin önümüzdeki otuz yılda yüzde 60 artması gerekmektedir (Bruinsma 2009). Bununla birlikte, sıcaklık artışları, yağış rejimindeki değişiklikler, daha şiddetli ve sık görülen aşırı iklim olayları, ekosistem hizmetleri ve biyolojik çeşitlilikte kayıp ile kendisini gösteren iklim değişikliğinin etkileri, özellikle yoksulluk, açlık ve yetersiz beslenmenin yaygın olduğu gelişmekte olan ülkelerdeki tarımsal üretim sistemlerini ve gıda sistemlerini baltalayacaktır (FAO 2013). Tarım sektörleri (bitkisel üretim, hayvancılık, ormancılık, balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği) de küresel sera gazı salınımına önemli bir katkıda bulunmaktadır. FAO tahminlerine göre, 2010 yılında tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımı sektöründen kaynaklanan salınım, toplam küresel salınımın doğrudan yüzde 22'sini oluşturmaktadır (FAO 2013). Bu nedenle, tarım ve gıda sistemleri gıda güvencesini garanti altına almak için iklim değişikliğine ve doğal kaynak baskılarına uyum sağlamalı ve iklim değişikliğinin azaltılmasına katkıda bulunmalıdır. Birbiriyle bağlantılı olan bu zorluklar, aynı anda ele alınmalıdır.

Bu nedenle, iklim değişimi sürecinde tarım sektörü iç içe geçmiş üç zorluğun aşmak zorundadır (FAO 2010):

- küresel gıda talebini karşılamak için tarımsal verimliliği sürdürülebilir şekilde artırmak;
- iklim değişiminin etkilerine uyum sağlamak; ve
- atmosferdeki sera gazı birikiminin azaltılmasına katkıda bulunmaktır.

Bu amaçları gerçekleştirmek için FAO, İklime Duyarlı Tarım (İDT) kavramını geliştirmiş ve desteklemiştir.

6.4. İKLİME DUYARLI TARIMIN (İDT) TANIMI

FAO tarafından 2010 yılında Lahey Tarım, Gıda Güvenliği ve İklim Değişikliği Konferansı'nda tanımlandığı ve sunulduğu şekliyle İDT, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasına katkıda bulunmaktadır. Gıda güvencesi ve iklim zorluklarını ortaklaşa ele alarak sürdürülebilir kalkınmanın üç boyutunu (ekonomik, sosyal ve çevresel) bütünleştirmektedir. İDT' nin üç önemli sacayağı vardır (FAO, 2010):

- Verimlilik/sürdürülebilirlik/gıda güvencesi: İDT, çevre üzerinde olumsuz bir etki yaratmadan tarımsal üretkenliği ve bitkisel üretim, hayvancılık ve balıkçılıktan elde edilen gelirleri sürdürülebilir bir şekilde artırmayı amaçlar. Bu da gıda ve beslenme güvencesini artıracaktır. Verimliliği artırmayla ilgili anahtar kavram, sürdürülebilirlik üzerine yoğunlaşmaktır.

- Adaptasyon: İDT, çiftçilerin kısa vadeli risklere maruz kalmasını azaltmayı ve aynı zamanda şoklar ve uzun vadeli stresler karşısında uyum sağlama ve gelişme kapasitelerini geliştirerek dayanıklılıklarını güçlendirmeyi amaçlar. Ekosistemlerin çiftçilere ve diğerlerine sağladığı ekosistem hizmetlerinin korunmasına özel önem verilmektedir. Bu hizmetler, üretkenliği korumak ve iklim değişikliklerine uyum sağlama yeteneğimiz için gereklidir.

- İklim değişimini önleme: Mümkün olan her yerde ve her zaman İDT, sera gazı (GHG) salınımlarının azaltılmasına ve/veya ortadan kaldırılmasına yardımcı olmalıdır. Bu, ürettiğimiz her kalori veya kilo gıda, lif ve yakıt için emisyonları azalttığımız, tarımdan kaynaklanan ormansızlaşmadan kaçındığımız ve toprakları ve ağaçları karbon yutağı olarak hareket etme ve atmosferdeki CO2'yi absorbe etme potansiyellerini en üst düzeye çıkaracak şekilde yönettiğimiz anlamına gelir.

İklime duyarlı tarım, sürdürülebilir kalkınmayı desteklemek ve iklim değişikliği altında gıda güvenliğini sağlamak için tarımsal üretim sistemlerini ve gıda değer zincirlerini dönüştürmeye ve yeniden yönlendirmeye yarayan bir yaklaşımdır. Bu, her uygulamanın tüm bölgelerde, bu üç hedefin her biri için olumlu sonuçlar veren 'üçlü kazanç' ürettiği anlamına gelmez. Bunun yerine İDT yaklaşımı, karar vericiler yerel, ulusal ve küresel düzeyde iklim değişimi ile ilgili ele alınacak kısa ve uzun vadeli stratejiler hakkında kararlar verirken hedefleri göz önünde bulundurarak tavizleri azaltmayı ve sinerjiyi teşvik etmeyi amaçlar.

İDT, ekosistem ve sürdürülebilir arazi ve su yönetimi ve peyzaj analizi ilkelerini ve tarımsal üretim sistemlerinde ve gıda sistemlerinde kaynak ve enerji kullanımına ilişkin değerlendirmeleri kullanarak sürdürülebilir tarım yaklaşımları üzerine kuruludur. Bu, özellikle tarımsal büyümenin genellikle birinci öncelik olduğu gelişmekte olan ülkelerde önemlidir.

6.5. İDT KAPSAMINDA SÜRDÜRÜLEBİLİR ÜRETİM

Her bir bitkinin üretimi için verimi sürdürülebilir şekilde artırabilecek ve üretimin zararlı çevresel etkilerini en aza indirebilecek çok sayıda iklim değişikliğine uyum ve azaltma seçeneği

vardır. Bu seçenekler, baş edebilme ve uyum sağlama mekanizmalarına bağlı olarak, her çiftçi ailesi için farklılık göstermektedir. İklim değişikliğine uyum ve etkilerini hafifletme yöntemleri, direkt uyum faaliyetleri ile üretim risklerini ve emisyonları azaltma konusunda uygulamaları içerir. Bitkisel üretime özel iklime duyarlı yaklaşımlar şunları içerir:

- Tarımsal ekosistemde çeşitliliğin artırılması farklı zamansal ve mekansal ölçekte bitkilerin sayısını veya çeşitlerin sayısını artırma şeklinde olabilir;
- Toprak ve arazi yönetiminin sürdürülebilir şekilde iyileştirilmesi (örneğin, arazi kullanımı değişikliğinden kaynaklanan karbon depolama kaybını azaltmak için ekilen alanların ve otlakların genişlemesinin dikkatli bir şekilde kanalize edilmesi);
- Enerji kullanım verimliliğini artırmak; sürdürülebilir mekanizasyonu teşvik etmek (örneğin, çeşitli tarımsal ve özellikle toprak işleme faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarını azaltmak için uygun tarımsal yönetimle birlikte uygun makinelerin mevcudiyetini artırmak); ve
- Basit ve sağlam bilimsel araçlar geliştirmek; çiftçilerin karar verme süreçlerine mevsimlik ve uzun vadeli olarak rehberlik edecek basit ve güvenilir bilimsel araçlar geliştirmektir.

6.6. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİLERİNE ADAPTASYON STRATEJİLERİ

İklim değişikliğine uyum, uygun düzenlemeler ve değişiklikler yaparak iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmak (veya olumlu olanlardan yararlanmak) için doğru önlemleri almayı gerektirir. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC 2007), adaptasyonu, zararı azaltan veya faydalı fırsatlardan yararlanan mevcut veya beklenen iklimsel uyaranlara veya etkilere yanıt olarak doğal veya beşeri sistemlerde yapılan düzenlemeler olarak tanımlar. Aynı zamanda, meydana gelen iklim değişikliğine uyum sağlamak için insanlar, ülkeler ve toplumlar tarafından gerçekleştirilen eylemleri ifade eder. Uyumun üç olası hedefi vardır: zarar riskine maruz kalmayı azaltmak, kaçınılmaz zararla başa çıkma kapasitesini geliştirmek ve yeni fırsatlardan yararlanmak (Akinnagbe ve Irohibe 2014).

İklim değişikliği etkisine uyum için alınabilecek önlemler şu şekilde sıralanabilir:

- Bitki çeşidi/tür seçimi veya ıslahı
- Ürün çeşitlendirme
- Bitki deseninde değişiklik

- Ekim takviminde değişiklik
- Karışık ekim
- Su ve sulama yönetiminde iyileştirme
- Toprak, toprak suyu ve enerji koruma önlemlerinin uyarlanması

Bitki çeşidi/tür seçimi veya ıslahı: İklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı adaptasyon için en kolay yol, olumsuz iklim koşulları (sıcak hava dalgası, kuraklık), hastalık ve zararlılara dayanıklı tür ve çeşitleri seçmektir. İklim değişikliğine bağlı olarak buğday verimini ve kalitesini düşüren aşırı yağış sonucu yatma, nemli koşullarda paslanma ve sıcak hava dalgası altında ısı stresi sık karşılaşılan sorunlardır. Mevcut tahıl çeşitleri arasında daha kısa saplı (yatmaya karşı dayanıklı), sıcak hava dalgasına ve hastalıklara dayanıklı çeşitler seçilebilir. Ancak seçilen dayanıklı yeni çeşitler her zaman öncekiler gibi yüksek verimi garanti etmeyebilir. Diğer stratejik ürün olan ayçiçeğine gelince, kuraklığa ve yüksek ısıya dayanıklı ve özellikle erkenci çeşitlerin seçimi düşünülebilir.

Diğer bir alternatif ise kuraklığa dayanıklı bitki türlerinin tercih edilmesidir. Örneğin buğday, kurakçıl çeltik veya mısıra kıyasla çok daha az sulama suyuna ihtiyaç duyar. Yaz yağışlarının azalması ve artan sıcak hava dalgalarına karşı buğdayın mısıra, kanolanın ayçiçeğine vb. tercihi gibi yaz bitkileri yerine kış bitkileri önerilebilir.

Yerel genetik kaynaklar ve bu alanda gelişen teknolojiler kullanılarak, aşırı iklim koşullarının (yüksek sıcaklık, kuraklık, don vb.) yanı sıra hastalık ve zararlılara dayanıklı çeşitler geliştirilmelidir. Bu konuda Tarımsal Araştırma Enstitüleri ve Üniversitelere özel görevler verilmelidir. Kamu-özel sektör işbirliği sağlanmalıdır.

Ürün çeşitliliğini artırmak: Ürün çeşitliliğini artırmak iklim değişikliğinin akut hale gelmesi ve gelecekte daha da şiddetli olması beklenen aşırı sıcaklık, sık ve yoğun sel, siklon ve diğer doğal afetler altında etkili bir uyum seçeneği olabilir. Ürün çeşitliliğini artırmak doğal biyoçeşitliliği koruyarak agroekosistemin tepki verme yeteneğini güçlendirmekte; çevre kirliliğini, toplam ürün kaybı riskini, hastalık zararlı ve yabancı ot sorunlarının görülme sıklığını azaltmakta; gıda tedarik fırsatlarını güvence altına almakta ve ayrıca üreticilere alternatif gelir elde etme yolları sağlamaktadır. Gıda güvencesi için daha iyi koşullar sağlamakta ve çiftçilerin piyasada satılmak üzere fazla ürünleri yetiştirmelerine ve böylece aile bireylerinin refahı ile ilgili diğer ihtiyaçları karşılamak için daha fazla gelir elde etmelerine olanak tanımaktadır. İklim değişiminden etkilenmiş alanlarda çiftçilerin entegre tarım sistemleri (ürün rotasyonu ve ara mahsuller dahil)

ve iklime dayanıklı üretim teknikleri hakkında bilgi ve beceri kazanmaları gerekmektedir. Ürün çeşitliliğini artırma çok farklı şekilde ve ölçekte uygulanabilir ve çiftçilerin hem dayanıklılığı artıran hem de ekonomik fayda sağlayan bir strateji seçmesine olanak tanır.

Ürün çeşitliliğini artırmak, iklim değişiminin etkilerine karşı dayanıklılığı iki şekillerde artırabilir. Birincisi, iklim senaryolarında şiddetlenecek hastalık ve zararlı salgınlarını bastırmak ve hastalık bulaşmasını azaltma kabiliyeti sağlayabilir. İkincisi, üretimini daha büyük iklim değişkenliği ve aşırı olayların etkilerine karşı tamponlayabilir. Bu tür faydalar, dayanıklılığı artırmak için ürün çeşitliliğinin benimsemenin bariz değerine işaret etmektedir ancak benimsemesi yavaş olmaktadır (Lakhran ve diğerleri, 2017).

Yüksek değerli ürünlere yönelik çeşitlendirme, orta ve uzun vadede mümkündür. Ürün çeşitliliği, hem sulanan hem de sulanmayan alanlarda yüksek öncelikli bir uyum önlemidir. İklim değişikliği projeksiyonu göz önüne alındığında, kuraklığa ve sıcaklığa dayanıklı alternatif bakliyat, yem bitkileri ve yağ bitkileri ürün çeşitliliğine dahil edilmelidir.

Bitki deseninde değişiklik: Tarımsal sistemler, yıldan yıla dönüşümlü olarak yetiştirilen daha az ürün türü ile giderek daha basit hale gelmektedir. Ancak çeşitli rotasyonlar, özellikle düşük yağış ve yüksek sıcaklıkların olduğu yıllarda, sürekli monokültür ile karşılaştırıldığında daha yüksek verim sağlamaktadır. İsveçli, Polonyalı ve İtalyan araştırmacılar bu durumu, güneyden kuzey Avrupa'ya uzanan uzun vadeli tarımsal deneylerinden toplanan tahıl verimi verilerini analiz ederek ortaya koymuşlardır. Ürün rotasyonlarının çeşitlendirilmesi, daha sıcak ve daha kurak bir iklime uyum sağlamak için ortaya çıkmaktadır. Ürün rotasyonu veya çeşitlendirme, toprak verimliliğinin artırılması, faydalı toprak mikroorganizmasının iyileştirilmesi ve yabani ot, zararlı ve hastalık oluşumunun baskılanması yoluyla, olumsuz iklim koşullarından kaynaklanan verim kaybı risklerini azaltmak ve verimi sürdürmek için genel bir strateji olarak önerilmiştir. Ancak dünya çapındaki büyük üretim sistemlerindeki eğilim, tahılların giderek daha kısa rotasyonlarda ve hatta bazı yerlerde sürekli monokültürde yetiştirilmesidir. Birden fazla mahsul türünün yıldan yıla rotasyonla yetiştirilmesi, sürekli bir monokültüre kıyasla her zaman daha yüksek verim sağlamıştır. Kışlık ve yazlık ekilen tahıllarda rotasyonla ortalama verim kazancı sırasıyla 860 ve 390 kg/ha olmuştur. Kışlık hububatta, deneylerin başlangıcından bu yana 50-60 yıllık bir dönemde rotasyonun faydası 500 kg/ha'lık bir kazanıma ulaşmıştır. İklim değişikliği ile daha sık yaşanacağı tahmin edilen sıcak ve kurak yıllarda farklı rotasyonun faydası daha güçlü olmuştur (https://www.slu.se/en/ew-news/2020/11/crop-rotation-a-promising-way-to-improve-food-security-under-a-changing-climate/).

Türkiye'de Trakya Bölgesinde uygulandığı gibi, ekim nöbetinde toprak örtücü bitki olarak yem bitkilerine (korunga, fiğ gibi) yer verilip, ayçiçeği ekiminden önce sürülerek toprağa karıştırılıp organik madde içeriği zenginleştirilebilir veya yem için hasat edilirse sonrasında ikinci ürün mısır ekilebilir.

Ekim takviminde değişiklik: Ekim tarihleri yağıştan etkin bir şekilde yararlanmak, kuraklıktan ve hastalık/zararlılardan kurtulmak için dikkatlice ayarlanmalıdır. Trakya'da sarı cüce hastalığını önlemek için ekim zamanının Kasım ayına kaydırılması, yağışlardan en yüksek düzeyde faydalanmak için erken ilkbaharda ayçiçeğinin ekim zamanının iyi ayarlanması bu önlem için güzel örneklerdir.

Karışık ekim: Karışık ekim, aynı tarlada birbirine yakın iki veya daha fazla mahsulün yetiştirilmesini içerir. Tipik olarak baklagillerin ve tahılların veya yumrulu bitkilerin bir karışımı olan karma ekim, ışık ve su gibi büyüme faktörlerinin tamamlayıcı kullanımı dahil olmak üzere marjinal agroekolojik ortamlarda hastalık ve zararlıları azaltma, toprak erozyonunu önleme, daha fazla toplam biyokütle üretimi, istikrar ve gıda güvenliği sağlama gibi çeşitli işlevleri yerine getiren yaygın bir uygulamadır. Ayrıca, karışımlar, yağışların geç veya erken başlaması veya toprakların verimliliğinin farklı olması gibi koşullarda esneklik sağlar. Meyve bahçesi ağaçları arasına gençken yıllık ürünler ekilebilir.

Su ve sulama yönetiminde iyileştirme: Yenilenebilir tatlı su kaynaklarının %70'inden fazlası sulama amaçlı kullanılmaktadır. Sulama suyunda yaklaşık %15 tasarruf, evsel su ihtiyacına eşittir. Dünyadaki ortalama su kullanım verimliliği %40 ve Türkiye'de %35 olup, çok düşüktür. Su kullanım randımanı ve ekonomik değeri yüksek bitkilerin seçilmesi, kuraklık ve tuzluluk stresi çalışmalarına ağırlık verilmesi, su iletiminde yüksek verimli borulu sistemlerin ve sulama sistemleri (mümkünse damlama) tercih edilmesi kısıntılı sulama tekniğinin uygulanması ile verim her durumda %10-50 oranında artırılabilir.

Kısıntılı sulama, bir ürüne uygulanan sulama suyunun tam bitki su gereksinimlerini karşılamak için gerekenden daha az olması ve dolayısıyla evapotranspirasyonun (ET) maksimum ürün ET değerinden daha az olması durumudur. Bir bitki için, vejetatif büyümeyi azaltmak, meyve kalitesini ve değerini artırmak, olgunluğu teşvik etmek, hasadı kolaylaştırmak gibi istenen bitki tepkilerini yakalamak için sulama miktarı kasıtlı olarak azaltılmaktadır. Bununla birlikte, çoğu durumda, kısıntılı sulama, verim ve brüt gelirin azalmasına neden olur. Su dağıtımı veya uygulama kısıtlamaları veya sulama programlarındaki hatalar nedeniyle yetersiz sulama

meydana gelebilir veya yetersiz veya pahalı su temini koşulları altında net geliri maksimize etmek kasıtlı bir yönetim uygulaması olabilir (Trout ve Martin, 2020).

Su kaynaklarının sınırlı veya pahalı olması durumunda, üretim hedefini birim alan başına maksimum verim ve brüt gelir yerine, su temini kısıtlamaları dahilinde ekonomik getirileri maksimize edecek verimleri tercih edebilir.

Su temini sınırlamaları uzun vadeli, öngörülebilir veya kısa vadeli, öngörülemeyen olabilir. Kısıtlı sulama yönetimi için planlama, mevcut seçenekleri belirler. Uzun vadeli sınırlamaların farkında olmak, üreticinin su kaynağına uygun arazi ve altyapı yatırımları yapmasına olanak tanır. Mevsimsel sınırlamalar bilindiğinde, tarlaların hazırlanması ve ekim için yıllık yatırım yapılmadan önce işletme maliyetleri beklenen su temini için ayarlanabilir. Yağış eksikliği, su kaynağının fazla tahmin edilmesi veya su dağıtım sistemlerinin arızalanması nedeniyle sezon boyunca beklenmeyen su temini kısıtlamaları meydana gelebilir. Beklenmeyen sezon içi tedarik kıtlığı, üretim maliyetlerini ayarlama yeteneğini sınırlar, ancak yine de, ekili alanları veya tarla bölümlerini terk ederek, kalan arazide sulama suyunu yoğunlaştırmak gibi, ürünler ve alanlar arasında su kaynağının yeniden dağılımına izin verir (Trout ve Martin 2020).

Rasyonel kısıntılı sulama yönetimi için bir bitkinin suya tepkisini bilmek gerekir. Bitki su üretim fonksiyonu, bitki verimi veya değeri ile kullanılan su miktarı arasındaki ilişkiyi tanımlar. Temel su üretim fonksiyonu, üretilen biyokütleyi bitki terlemesiyle ilişkilendirir. Bilimsel çalışmalar, bitki biyokütlesinin buharlaşan su miktarıyla neredeyse orantılı olarak arttığını göstermektedir. Su üretim fonksiyonu bitki ve çeşide, iklime, toprağa ve yönetim uygulamalarına göre değişir. Ortak ülkelerde başlıca bitkiler (veya alternatif bitkiler) için bitki su kullanım verimliliği ve değişken maliyet sonrası getiri, Karar Destek Sistemi-Üretim Sistemi Modeli kullanılarak simüle edilmiş verim temelinde değerlendirilebilir. En karlı ürünler, kıt ve tam sulama koşullarında belirlenmelidir. Kısıtlı sulama ile net geliri maksimize etmek için su üretim fonksiyonları ekonomik parametrelerle birlikte kullanılır. Kısıntılı sulama, sulama suyu kaynakları sınırlı veya pahalı olduğunda net geliri en üst düzeye çıkarabilir (Trout ve Martin 2020).

%15'e varan sulama suyu kayıplarının çoğu, düşük iletim kapasiteli açık kanallardan kaynaklanan sızma ve buharlaşma kayıplarından kaynaklanmaktadır. Bu kanalların en kısa zamanda su iletim kayıplarını en aza indiren borulu sisteme dönüştürülmesi gerekmektedir. Tasarruf edilen su başka sektörlerde de kullanılabilir veya fazladan tarım arazilerinin

sulanabilir. Aksi takdirde su kayıpları, tuzlanma ve yeraltı suyu sorunlarına neden olmaya, toprakların verimliliğini düşürmeye, yeraltı ve yüzey sularını kirletmeye devam edecektir.

Öte yandan, uygulanan sulama yöntemi, kaybedilen su miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Farklı sulama yöntemlerine göre su kayıpları; yüzey sulamada % 20-70, yağmurlama sulamada % 20-35, merkezi pivot sulamada % 10-20 ve damla sulamada % 5-15'tir. Türkiye'de mevcut sulama sistemlerinin %82'si yüzey sulama, %16'sı yağmurlama sulama ve sadece %2'si damla sulamadır.

Geleneksel yüzey sulama sistemleri yerini yüksek verimli basınçlı sulama (damla ve yağmurlama) sistemlerine bırakırken, bu sistemlerin enerji gereksinimleri de dikkate alınmalı, sürdürülebilir enerji kaynakları olan rüzgar ve güneş enerjisi tercih edilmelidir.

Toprak, toprak suyu ve enerji koruma önlemlerinin uyarlanması: İyi bir anız yönetimi ve malçlama teknikleri, toprak işlemesiz veya minimum toprak işlemeli tarım ve artan toprak organik maddesi, toprak suyu ve enerji koruma önlemleri arasındadır.

Bitki kalıntısı, saplar, yapraklar ve kökleri gibi bitki kısımları yanında taneler ve genellikle bitkiler hasat edildikten sonra tarlada kalan yabancı otlar olarak tanımlanır. Bitki kalıntısı, çiftçi için hayvan yemi olarak doğrudan parasal bir değere sahip olabileceği gibi, çevreye göre büyük ölçüde değişen toprak ve verim iyileştirme değerine de sahip olabilir. Ek olarak, bitki kalıntısını tarlada bırakma, işlemesiz veya minimum toprak işleme ve ürün rotasyonu ile birlikte korumalı tarımının (conservation agriculture, CA) bileşenlerinden biridir (Anderson ve Siddique, 2015); erozyon kontrolünde ve toprak organik karbonunun (SOC) artırılmasında öneme sahip olduğu varsayılır (Anderson ve Siddique 2015); toprak verimliliğinin artırılmasında ve sürdürülebilirliğinde ve dolayısıyla uzun vadede bitki veriminin artırılmasında ve sürdürülebilirliğinde büyük role sahiptir.

Teorik olarak, daha iyi bir kalıntı altında, toprağa giren suyun artırılması, malçlama ile buharlaşmanın azaltılması diğer sınırlayıcı faktörlerin yokluğunda organik madde geri dönüşünün artmasına ve böylece bitki veriminin artmasına neden olacaktır (Anderson ve Siddique, 2015; Schwilch et al. 2013). Hasattan sonraki nadas döneminde toprakta sınırlı miktarda düşen yağışın depolanması, bir sonraki ürünün erken aşamalarında toprağın tavını koruması, tohumun çimlenmesi ve çıkışı için çok önemli olabilir (Sommer et al. 2012).

Anız tutma özelliğine sahip toprak işlemesiz sistemlerin geleneksel toprak işlemeye kıyasla toprak organik maddesini artırdığına dair bilimsel kanıtlar (Loss ve ark. 2015) vardır.

Topraktaki organik maddenin artması toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirir ve yağmur suyunun toprağa sızmasını hızlandırır. Ayrıca toprakların su tutma kapasitesini artırarak kök bölgesinin altına su sızmasını engeller ve bu nedenle mahsuller sınırlı yağmur suyundan etkin bir şekilde faydalanır. Türkiye'deki iklim değişikliği tahmini, yağış karakteristiğinin değişeceğini, yani ardışık kurak günlerin sayısının artacağını ve bir seferde çok şiddetli yağışların meydana geleceğini gösteriyor. Bu koşullar altında toprak organik maddesinin artması, bu düzensiz yağıştan maksimum fayda sağlamakta ve toprak erozyonunu önemli ölçüde önlemektedir.

Kalıntının bitki verimini olumsuz etkilediğini gösteren araştırma sonuçları olmakla birlikte (Scott ve ark. 2010), genel olarak arttığı belirtilmektedir (Schwilch ve ark. 2013). Farooq ve ark. (2011), koruyucu tarımın (hem sıfır toprak işleme hem de kalıntı tutma dahil) ürün verimi üzerindeki etkisinin, özellikle daha düşük yağışlarda çoğunlukla olumlu olduğunu bulmuş, ancak koruyucu tarımda bitki veriminin geleneksel sistemlere göre düşük olmasından yabancı otlar ve hastalıklar sorumlu tutulmuştur.

Minimum toprak işleme ve doğrudan tekim uygulamaları, enerji tasarrufuna, dolayısıyla çevrenin korunmasına ve iklim değişikliğinin azaltılmasına da önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır.

Türkiye'nin Trakya bölgesinde yaklaşık son 10 yıldır 3.000 ha alanda buğday, arpa, fiğ veya bezelye hasadı yapıldıktan sonra, toprak suyunun muhafazası, organik maddenin artırılması, ekim maliyetinin azaltılması ve zamanın etkin kullanılması için yazlık silajlık mısırın ikinci ürün olarak doğrudan ekilmektedir. Yerli firmalar pnömatik direkt ekim makinası üretimine başlamıştır. Doğrudan mısır ekimi her geçen gün artarken, yakın gelecekte doğrudan ayçiçeği ekiminin yaygınlaşması beklenmektedir (Şekil 3).

6.7. İDT KAPSAMINDA TARIM SEKTÖRÜNDE REKABET GÜCÜNÜ ARTIRMAYA, SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ SAĞLAMAYA VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİ AZALTMAYA YÖNELİK YAKLAŞIMLAR

Tarımla ilgili önceki araştırmalar sadece ekonomik etkilere odaklanmıştı ancak günümüzde tarımsal sistem performansı çok boyutlu olarak ele alınmakta olup, ekonomik, çevresel ve sosyal boyutları ve bu boyutlar arasındaki etkileşimi de dikkate almaktadır. Teknolojik gelişmeler, çevresel sürdürülebilirlik ve rekabet, geleneksel tarım yanında organik tarım ve iyi tarım uygulamaları, hassas tarım, iklime duyarlı tarım, dijital tarım, dikey tarım uygulamalarının ortaya çıkışına neden olmuştur.

OT ve İTU uygulamaları: Organik tarım, insan sağlığını koruyan ve ekosistemin devamlılığını sağlayan bir üretim sistemi olarak ifade edilmektedir. Bu sistem, olumsuz etkileri olan girdilerin kullanımından ziyade ekolojik süreçlere, biyolojik çeşitliliğe ve yerel koşullara uyarlanmış döngülere dayanmaktadır. İyi tarım uygulamalarında kimyasal girdi uygulamaları söz konusu olsa da bu uygulamalar insan sağlığına ve çevreye zarar vermeyecek şekilde uygulanmaktadır. Dünyada çevre sorunlarının önlenmesinde sürdürülebilir tarım sistemlerinin geliştirilmesi öncelikli hedef olarak görülmektedir. Organik ve iyi tarım uygulamaları çevresel sürdürülebilirlik yanında iklim değişimini önlemede katkı sağlamaktadır. Ülkemizde özellikle iyi tarım uygulamaları kısa süre içinde çok yaygın hale getirilebilir.

Şekil 6.3. Trakya bölgesinde buğday hasadından sonra silajlık ikinci ürün olarak doğrudan yazlık mısır ekimi (Fotoğraflar Ekmen Tarım A.Ş. sahibi Ziraat Yüksek Mühendisi İrfan Ekmen'den alınmıştır)

Hassas tarım: Tarımsal üretim ve gelişen teknolojiyi bir araya getirerek daha düşük maliyet, değişken girdi kullanımı, maksimum gelir beklentisi ve çevreyi koruma ilkelerini hedefleyen, her açıdan yüksek verim elde etme amacına sahip, yenilikçi bir tarım türüdür. Gübre ve herbisit

verimliliği/tasarrufu sağlamaktadır. Drone, GPS ve IoT gibi farklı teknolojilerden faydalanarak planlama, ekme, sulama, hasat süreçlerini minimum insan gücü ve minimum kaynak kullanımıyla sürdürebilmektedir ve böylece maksimum ürün verimliliği yaratmaktadır. Hassas tarımın Türkiye'de yaygın olarak kullanılması için tarımsal işletmelerin orta ve büyük işletmelere dönüştürülmesi ve çiftçilerin eğitim düzeylerinin artırılması gerekmektedir.

Dikey tarım: Dikey katmanlarda ürün yetiştirme uygulamasıdır. Hidroponik, aquaponik ve aeroponik gibi topraksız tarım tekniklerini ve bitki yetiştirmeyi en uygun yapmayı hedefleyen kontrollü-ortam tarımını birleştirmektedir. Dikey tarım daha az birim arazi ihtiyacı ile birlikte daha çok ürün alınabilmektedir. Ayrıca, ürünler iç mekanda olduklarından aşırı veya beklenmedik hava olaylarında daha az kayba uğrar. Dikey tarım teknolojileri geleneksel çiftliklere kıyasla büyük başlangıç maliyetine sahiptirler. Enerji ihtiyacı fazladır. Güneş veya rüzgar enerjisi kullanılmaması durumunda geleneksel tarıma göre daha fazla çevreye zarar verir ve iklim değişikliğine neden olabilir.

Akıllı seralar: Güneş, rüzgar ve jeotermal enerji kullanarak veya sanayi üretiminde açığa çıkan sıcak sular tam otomatize edilmiş hidroponik akıllı seraların ısıtılmasında kullanılabilir. Bu sayede iklim koşullarına bağlı kalmadan daha uzun dönem tarımsal üretim yapma fırsatı doğar.

Organik tarım ve iyi tarım uygulamaları, hassas tarım, iklime duyarlı tarım, dijital tarım, dikey tarım, akıllı seralar gibi uygulamalarının yaygınlaşması, Türkiye'nin tarımsal üretimde rekabet gücünün artırması, çevrenin koruması, iklim değişiminin olumsuz etkilerine karşı uyum ve iklim değişikliğinin önlenmesi gibi faydaları yanında, bu sistemlerle ilgili yeni sanayi kollarının gelişmesine, istihdamın artmasına, sürdürülebilir sosyoekonomik kalkınma ve gıda güvencesinin sağlanmasına da katkıda bulunabilir.

6.8. İKLİME DUYARLI TARIM UYGULAMASININ KURUMSAL YÖNÜ

Kurumlar İDT'yi nasıl destekleyebilir?: Kurumlar, çiftçileri, özellikle küçük toprak sahiplerini, İDT'nin uygulanmasında üç hayati alanda destekleyebilir (FAO 2013):

- Teknik bilgi üretmek ve paylaşmak: Nispeten kaynakları kısıtlı küçük ölçekli çiftçiler için, TDT'yi uygulamaya koymak bilgi ve destek gerektirmektedir. Çiftçiler, yenilikçi İDT uygulamalarının temelini oluşturan bilgilere daha kolay ve daha uygun maliyetli erişime ihtiyaç duymaktadır. Bilgi üreten, paylaşan ve insanların bu bilgileri eyleme dönüştürmesine yardımcı olan kurumlar esastır.

- Finansal hizmetler, kredi ve piyasalara erişim sağlamak: İDT'nin benimsenmesiyle elde edilen faydaların fark edilmesi genellikle zaman alır. Bu arada, çiftçiler işçilik, arazi ve nakit olarak maliyetleri karşılamak zorundadır. Sonuç olarak, krediye ve piyasalara erişimi olmayan yoksul çiftçiler bu teknikleri benimseyememektedir. Bu nedenle, tarımsal piyasaları, finansman mekanizmalarını ve sigorta ihtiyaçlarını desteklemek için kurumları güçlendirmek, İDT'nin başarısı için kritik öneme sahiptir.

- Eylem için iş birliklerini desteklemek: İşbirlikleri, ortak ormanları ve meraları yönetmek ve işlem maliyetlerini düşürmek için kritik öneme sahiptir. Birçok İDT faaliyeti, ancak insanlar birlikte çalışırsa (örneğin, su veya mera yönetiminin iyileştirilmesi) uygulanabilir ve uygun maliyetlidir. Grupların verimli ve etkin bir şekilde çalışmasını sağlayan kurumsal düzenlemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Daha büyük ölçekte, kuruluşlar ve sektörler arasında (örneğin ağlar ve bilgi paylaşım platformları aracılığıyla) koordinasyonu kolaylaştırmak için kurumsal düzenlemelere de ihtiyaç vardır.

İDT girişimleri için kilit kurumlar: Tarımsal uygulamalarda, teknolojilerde veya politikalarda başarılı değişiklikler, farklı bilgi türlerine sahip, üreten veya tüketen tüm paydaşlar arasında diyalog ve işbirliği teşvik edildiğinde mümkündür. Etkili girişimler, araştırmacıların, ilgili paydaşların, özel sektör aktörlerinin ve politika yapıcıların çözmeyi amaçladıkları sorunları ortaklaşa tanımlamalarına olanak tanır (FAO 2013).

Değişen iklim koşullarında, iki tür tavsiyeye ihtiyaç vardır: birincisi, çiftçilik ve geçim sistemlerini uyarlamaya yardımcı olmak için mevcut seçenekler (örneğin teknoloji ve pazar) hakkında bilgi; ikincisi ise, hava tahminleri, mevsimsel tahminler ve uzun vadeli iklim eğilimleri şeklinde iklimin kendisi hakkında bilgilerdir. Kuraklık, sel vb. afetlerde çözüm bulmak yerine erken uyarı ve erken müdahale girişimleri tercih edilmelidir (FAO 2013).

Kamu kurumlarının, sivil toplumun, sivil toplum kuruluşlarının, üniversitelerin ve araştırma kurumlarının, medyanın, özel sektörün, bireysel çiftçilerin, üretici kooperatiflerinin, ulusal ve uluslararası tarım işletmelerinin, ticari danışmanların, bankaların, kredi ve tasarruf kuruluşlarının, karbon kredisi alıcılarının hizmet sağlayıcı veya paydaş olarak rolleri ve sorumlulukları tanımlanmalıdır.

Kurumsal aktörler arasında etkileşimin ve iletişimin kolaylaştırması için elverişli bir ortamın ve sinerjinin yaratılması gerekir. Bu 'kurumsal etkileşim' sadece aynı örgütsel düzeyde yer alan

'yatay' olmamalı, aynı zamanda geleneksel düzeyler ve hiyerarşiler arasındaki perspektifleri birleştirerek kurumları 'dikey olarak' bütünleştirmelidir (FAO 2013).

İDT girişimleri, ilgili kurumsal etkileşim nedeniyle, bilgi alışverişini ve ortaklık kurmayı desteklemek için güvenilir ağlara ihtiyaç duymaktadır. Eşitlik sorunları ve kültürel hususlar da dikkate alınmalıdır.

BÖLÜM 7

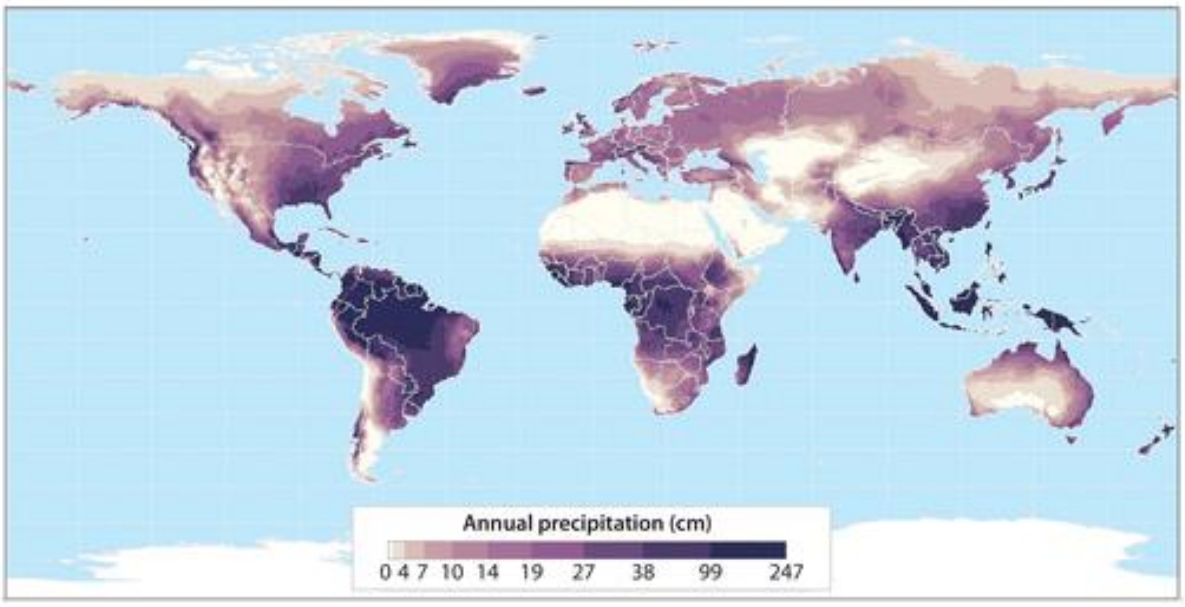
İKLİM DEĞİŞİMİ SÜRECİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR SU KAYNAKLARI YÖNETİMİ

7.1 DÜNYA ÇAPINDA VE ORTAK ÜLKELERDE YENİLENEBİLİR TATLI SU KAYNAKLARI VE SU KITLIĞI

Su, Dünya'daki yaşamın temel maddesidir. Dünya yüzeyinin yüzde yetmişi sudur. Su, üzerimizdeki atmosferde, çevremizdeki okyanuslarda, nehirlerde ve göllerde ve altımızdaki kayalarda bulunmaktadır. Yaşam için önemine rağmen tatlı su, Dünya üzerinde son derece nadir bir kaynaktır. Dünya üzerinde bulunan suyun %3'ten azı tatlı sudur ve geri kalan %97'si okyanuslardaki gibi tuzlu sudur. Dünyadaki tatlı suyun çoğuna insanlar kolaylıkla erişememektedir. Dünyadaki tatlı suyun yaklaşık yüzde 69'u buzullarda ve kutup buzullarında buz şeklinde kilitlenmiş durumda olup, Dünya'nın tatlı suyunun diğer yüzde 30'u yeraltı suyu şeklinde yer altında bulunmaktadır. Dünya'daki tatlı suyun yalnızca %1'inin insan kullanımına hazırdır (Gleick ve Coley 2021).

Su stokları arasındaki yağış, buharlaşma ve nehir akışı şeklindeki ana doğal akışlar hakkında, gözlem ve model tahminlerinin kombinasyonları da dahil olmak üzere çok sayıda çalışma yapılmıştır (Gosling ve Arnel 2016, Wisser et al. 2010). Su dengesindeki bileşenleri yıldan yıla değişmektedir. Bu bileşenlerin ve ölçümün ile ilgili zorluklar ve belirsizlikler bulunmaktadır. Ancak karadaki toplam yağışa ilişkin mevcut tahmin yılda yaklaşık 110.000 kilometreküp (km^3/yıl), doğal buharlaşma ve terleme yaklaşık 68.000 km^3/yıl, nehirlerin okyanuslara ve iç sulara boşaltımı yaklaşık 26 000 km^3/yıldır. Geriye kalan 16.000 km^3/yıl, insanların net su tüketimidir ve bu da kişi başına ortalama 2 000 m^3/yıl'a karşılık gelmektedir (Gleick ve Coley 2021).

Ancak mevcut yüzey tatlı suyu dünya çapında yer ve zaman açısından eşit şekilde dağılmamıştır (Bkz. Şekil 7.1). Brezilya, Rusya, Kanada, Endonezya, Çin, Kolombiya ve Amerika Birleşik Devletleri dünyadaki yüzey tatlı su kaynaklarının çoğuna sahiptir. Sonuç olarak, dünya nüfusunun yaklaşık beşte biri suyun kıt olduğu bölgelerde yaşamakta olup, her bir kişiye ortalama olarak yılda 1.000 metreküpten az su düşmektedir. Bu su eksikliği, insanların temiz, kullanılabilir suya erişiminin yanı sıra, bazı bölgelerin ekonomik kalkınmasını ve jeopolitiğini de etkilemektedir (Gleick ve Coley 2021).



Şekil 7. 1. Yağışın dünya çapında dengesiz dağılımı (Gleick and Coley 2021. Annual Review of Environment and Resources. Vol. 46:319-348 https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-101319).

Birleşmiş Milletler (BM) Dünya Su Kalkınma Raporu'nun (WWDR 2018) 2018 baskısı, temiz su mevcudiyetine ilişkin mevcut eğilimler ve geleceğe yönelik beklentiler hakkında bir güncelleme yapmıştır. Bir nüfusun yeterli miktarda ve kabul edilebilir kalitede suya sürdürülebilir erişimi güvence altına alma kapasitesi anlamına gelen su güvenliği, çoğu insan için halihazırda risk altındadır ve durum önümüzdeki birkaç on yıl içinde daha da kötüleşecektir (Burek et al. 2016, Boretti ve Rosa 2019). Temiz su kıtlığı, 7.7 milyar insanın yaşadığı günümüz dünyasında önemli bir sorundur. Su sistemi üzerindeki baskı, dünya nüfusunun %22 ila %34 artışla 2050 yılına kadar 9.4 ila 10.2 milyara ulaşacaktır. Yerel kaynaklarla orantısız şekilde gerçekleşen nüfus artışı, bu stresi daha da ağırlaştıracaktır. Nüfus artışı, daha çok temiz su kaynaklarının kıt ve halihazırda önemli bir sorun olduğu Afrika ve Asya ülkelerinde beklenmektedir (Boretti ve Rosa 2019).

Şu anda, küresel nüfusun yarısından biraz azı, yani 3,6 milyar insan veya %47'si, her yıl en az 1 ay su kıtlığı çeken bölgelerde yaşıyor (WWDR 2018, Boretti ve Rosa 2019). Temiz su yerine yalnızca kirlilik ve bulaşıcı hastalıklar taşıyabilen kirli suya erişimleri vardır. Kirli su içen toplumlarda ishal, kolera, dizanteri ve diğer hastalıklara yakalanma riski daha yüksektir. Temiz içme suyuna erişim sıkıntısı her yıl 3 milyondan fazla ölüme neden oluyor. Mekonnen ve Hoekstra'ya (2016) göre bu sayı daha da büyüktür; 4,0 milyar insan, yani küresel nüfusun %52'si. 2050 yılına gelindiğinde küresel nüfusun yarısından fazlası (%57) her yıl en az bir ay

su kıtlığı çeken bölgelerde yaşayacaktır (WWDR 2018, Boretti ve Rosa 2019). WWDR'nin su talebi, su kaynakları ve su kalitesi tahmini, tahmin edilmesi zor birçok jeopolitik faktöre bağlıdır. WWDR'de yalnızca kısmen tartışılan su kaynaklarının ve su kalitesinin azalmasının kontrol edilmesi çok daha zor olabilir (Boretti ve Rosa 2019). Bu nedenle WWDR'nin bu tahmini eksik bir tahmin olabilir.

Tatlı suya erişim ekonomik kalkınma için de önemlidir. Örneğin tatlı su kaynakları balıkçılığın gelişmesini sağlar. Dünyanın dört bir yanındaki insanlar bu habitatlardan balık avlayarak dünya çapında 158 milyon insanı beslemeye yetecek hayvansal protein sağlıyor. Bu hem yerel balıkçılar için geçim kaynağı hem de tüccarlar için gelir kaynağıdır (https://education.nationalgeographic.org/resource/freshwater-resources/).

Tatlı su, yaşam alanı olarak kullanımının ötesinde, tarım gibi diğer ekonomik faaliyetlerde de önemli bir kaynaktır. Bir tahmine göre dünyadaki tatlı suyun yaklaşık 70'i tarım için kullanılıyor. Dünyanın dört bir yanındaki çiftçiler, suyu yüzey ve yer altı su kaynaklarından tarlalarına taşıyarak sulama için kullanıyor. Bu tarımsal faaliyetler dünya çapında 1 milyardan fazla insanı kapsamaktadır ve her yıl 2.4 trilyon doların üzerinde ekonomik değer yaratmaktadır. Gelecekte tarımsal tatlı suya olan talep, küresel nüfus arttıkça artacaktır. Bir tahmine göre, talep 2050 yılına kadar yüzde 50 artacaktır. Su kullanımındaki bu artış, Dünya'nın sınırlı olan tatlı su kaynaklarını daha da zorlayacak ve tatlı suya erişimi daha da önemli hale getirecektir (https://education.nationalgeographic.org/resource/ tatlı su kaynakları/).

7.1.1. Küresel ve bölgesel su kullanımı

Bölgelere ve farklı ekonomik sektörlere göre su çekimlerine ilişkin veriler en çok aranan bilgiler arasında yer almaktadır. FAO, ülkelere göre su çekimi tahminlerini standartlaştırmaya çalışan AQUASTAT veri tabanını hizmete açmış olup, sınırlamalarına rağmen mevcut en kapsamlı veri kümeleri arasında yer almaktadır. AQUASTAT veri tabanında su çekimleri üç ana kategoriye ayrılmıştır: tarım, sanayi ve belediye/evsel, ancak su muhasebe sistemlerinde tutarsızlıklar vardır.

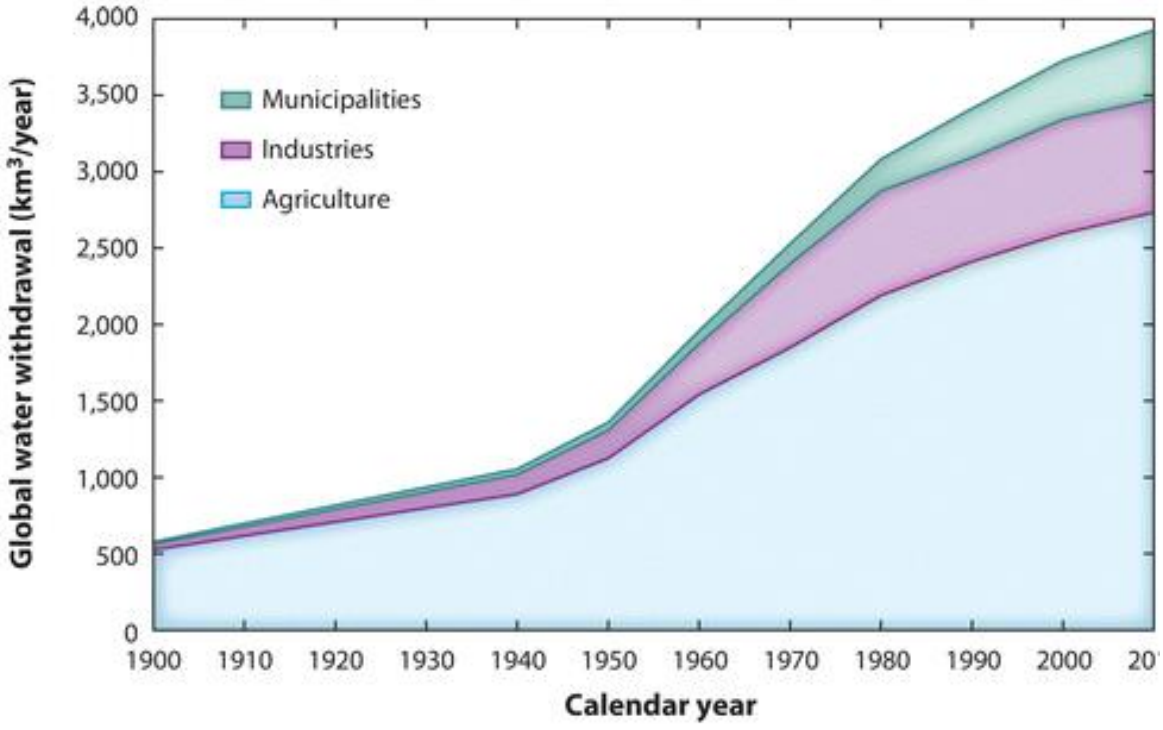
Tarımsal su çekimleri sulama, hayvan sulama ve temizleme ve su ürünleri yetiştiriciliği için kullanılan sulardan oluşmaktadır. Tarım ürünlerinin işlenmesinde kullanılan su, endüstriyel veya belediye su çekimi kapsamına dahildir. Kırsal alanlarda tarımsal su çekimleri sıklıkla evsel kullanım amaçlı suyu da içermektedir.

Endüstriyel su çekimleri, bir ürünün üretilmesi, işlenmesi, yıkanması, seyreltilmesi, soğutulması veya taşınması gibi amaçlarla kamu dağıtım ağına bağlı olmayan, kendi kendine

yeten endüstriler tarafından kullanılan sudan ve bir ürüne eklenen su; veya üretim tesisinde sanitasyon ihtiyaçları için kullanılan sudan oluşur.

Belediyelerin su çekmeleri, evsel kullanım için suyun yanı sıra bir belediye veya başka bir kamu tedarikçisi tarafından ticari, endüstriyel ve kurumsal amaçlarla sağlanan suyu da içeren geniş bir kategoridir.

2010 yılı mevcut verilerine göre, tarım, küresel su çekiminin %69'unu oluştururken, bunu sanayi (%19) ve belediyeler (%12) takip etmektedir. Ancak bu oranlar önemli bölgesel farklılıklara tabidir. Örneğin Afrika ve Asya'da tarım, çekilen suların %80'inden fazlasını oluştururken, bu oran Okyanusya'da %65, Amerika'da %48 ve Avrupa'da %25'tir. Buna karşılık, Avrupa'da (%54) ve Amerika'da (%37) endüstriyel su çekimi nispeten yüksektir; Okyanusya'da %15, Asya'da %10 ve Afrika'da yalnızca %4 kadardır. Bölgelere göre belediyelerin su kullanım oranları ise Asya'da %9, Okyanusya ve Avrupa'da yaklaşık %20'ye kadar değişmektedir (Gleick ve Coley 2021, FAO 2020). 1900'den 2010'a kadar sektörlere göre küresel su çekimi (km^3/yıl) Şekil 7.2'de sunulmaktadır.



Şekil 7.2. 1900'den 2010'a kadar sektörlere göre küresel su çekimi (km^3/yıl). Küresel su çekiminde sulu tarım hakimdir (Gleick and Coley 2021. Annual Review of Environment and Resources. Vol. 46:319-348 https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-101319).

Küresel su çekimi 1900 ile 2010 yılları arasında neredeyse altı kat artmıştır (Şekil 2.2) (FAO 2020, Gleick ve Coley 2021,). Bu da yıllık %1.8 artış oranına karşılık gelmektedir. Wada et al.

(2016)'ya göre mevcut yıllık büyüme oranının daha düşük, yalnızca %1 olduğunu, ancak bu rakamın iyimser olabileceğini belirtmektedir. Büyümenin en hızlı olduğu dönem, küresel su çekiminin 2.5 kat arttığı 1950 ile 1980 yılları arasındadır. Yüzey ve yeraltı suyu kullanımı da dahil olmak üzere suyun evsel tüketim amaçlı kullanımında da benzer bir eğilim vardır (Wada and Bierkens 2014). Büyüme hızı 1980'de yavaşlamaya başlarken su çekiminin 2000 yılı civarında yavaşlamaya başladığına dair bazı göstergeler vardır. 1951-1960, 1961-1970 ve 1971-1980 yılarını kapsayan 10'ar yıllık dönemlerde %30'luk bir küresel su çekimi artışına kıyasla, 2001 ile 2010 yılları arasında su çekimi yalnızca %2.7 artmıştır.

7.1.2. 2050 yılında kadar küresel su talebi ve arzı

Küresel su talebi önümüzdeki yirmi yılda sanayi, ev ve tarım olmak üzere üç bileşenin tamamında önemli ölçüde artacaktır. Endüstriyel ve yurt içi talep tarımsal talepten daha hızlı büyüyecek ancak tarıma olan talep en büyük talep olmaya devam edecektir. Şu anda yılda yaklaşık 4.600 km^3 olan tüm kullanımlara yönelik küresel su talebi, 2050 yılına kadar %20 ila %30 artarak yılda 5.500 ila 6.000 km^3'e çıkacaktır. 2050 yılına gelindiğinde dünya nüfusu %22 ila %32 artışla 9.4 ila 10.2 milyar kişiye ulaşacaktır. 2050 yılına kadar gıda talebi %60 artacak ve bu artış daha fazla ekilebilir alan ve üretimin yoğunlaşmasını gerektirecektir. Bu da, su kullanımının artması anlamına gelmektedir (Boretti ve Rosa 2019, Gleick ve Coley 2021, WWDR 2018).

Su talebi su mevcudiyetini aşamaz. Su talebi artarken, azalan kaynaklar ve kirlilik nedeniyle su bulunabilirliği azalmaktadır. Kalitenin bozulmasına ve mekansal ve zamansal dağılımın değişmesine rağmen, mevcut yüzey suyu kaynaklarının kıtasal düzeyde yaklaşık olarak sabit kalacağı tahmin edilmektedir. Büyük ihtimalle yeraltı suları daralacak ve kıyı bölgelerine tuz girişimi çok ciddi boyutlara ulaşacaktır. Buna karşılık, nüfus artışı, gayri safi yurt içi hasıla (GSYH) ve su talebindeki artış küresel düzeyde ve eşitsiz bir şekilde artacaktır. Değişiklikler ülke düzeyinden ve küresel ortalamadan ziyade alt bölge düzeyinde çok daha belirgin olacaktır (Boretti an Rosa 2019, Gleick and Coley 2021, Wada et al. 2016).

7.1.3. 2050 yılına kadar diğer ekolojik değişiklikler

Ekosistemlerdeki değişiklikler, su talebindeki ve arzındaki değişikliklerden etkilenecektir. Ekosistemlerin korunması veya restorasyonu, su kaynaklarının hem miktarını hem de kalitesini insanların kullanımına elverişliliği açısından etkilemesi beklenmektedir. Küresel arazi kullanımının yaklaşık %30'u ormanlıktır ve bu alanın %65'i halihazırda bozulmuş durumdadır (FAO 2015, Boretti and Rosa 2019). Geniş orman alanları ve sulak alanlar, hayvan otlatmak

veya bitkisel üretim için otlaklara veya tarım alanlarına dönüştürülmüştür. Doğal sulak alan kaybı 1700 yılından bu yana %87 olmuştur. Sulak alan kaybı oranı 20. yüzyılda ve 21. yüzyılın başlarında %370 daha hızlı olmuştur (Davidson 2014, Boretti and Rosa 2019). Topraklar da değişmektedir. Dünyadaki toprakların çoğu sadece orta, kötü veya çok kötü durumda olup (FAO 2015, Boretti and Rosa 2019), bu durumun gelecekte daha da kötüleşmesi beklenmektedir. Başlıca küresel sorunlar toprak erozyonu, topraktaki organik karbon kaybı ve besin dengesizliğidir. Günümüzde ekim alanlarından kaynaklanan toprak erozyonu her yıl 25 ila 40 milyar ton toprağı alıp götürmektedir. Ürün verimi ve toprağın su, karbon ve besin maddelerini düzenleme yeteneği azalmaktadır. Şu anda karadan 23 ila 42 milyon ton nitrojen ve 15 ila 26 milyon ton fosfor taşınmaktadır. Toprak erozyonu ve besin maddesi akışının su kalitesi üzerinde olumsuz etkileri vardır. Toprakların sodiklik ve tuzluluğu hem sulanan hem de sulanmayan alanlarda küresel bir sorundur. Sodyumluluk ve tuzluluk her yıl 0.3 ila 1.5 milyon ha tarım arazisini yok etmektedir (FAO 2015, Boretti and Rosa 2019). Üretim potansiyeli de 20 ila 46 milyon hektar arasında azalmıştır. Ekosistemlerin, biyolojik çeşitliliğin ve toprak bozulmasının 2050 yılına kadar her zamankinden daha hızlı bir şekilde devam etmesi bekleniyor. Bu bozunumun şüphesiz suyun bulunabilirliği ve kalitesi üzerinde de önemli etkisi olacaktır.

Temiz su talebi arttıkça ve temiz su mevcudiyeti azaldıkça, yerel koşullar küresel seviyeden çok daha kötü olduğundan, temiz su talebi, küresel seviyeden çok daha erken bir zamanda bazı yerel seviyelerde temiz su mevcudiyetini aşacaktır. Bu kırılma noktaları dünyanın birçok bölgesinde 2050'den önce ortaya çıkabilir. Hayati bir kaynağın yetersiz olduğu ve insanların bunun için mücadele edeceği göz önüne alındığında, su krizini önlemek için hiçbir şey yapılmazsa, 2050'ye kadar su temini büyük olasılıkla toplumsal rekabet ve çatışma zeminine kayacaktır (Boretti and Rosa 2019).

7.1.4. Ortak ülkelerin su arzı ve talebi

Türkiye: Türkiye'de yıllık ortalama yağış yaklaşık 574 mm'dir ve bu da yaklaşık 450 Milyar Metreküp (MM) suya karşılık gelmektedir. Günümüzün teknik ve ekonomik koşullarında çeşitli amaçlarla kullanılabilecek yüzey suyu potansiyeli ortalama 94 MM/yıldır. Türkiye'nin tüketilebilir yüzey ve yeraltı suyu potansiyeli 112 MM/yıl olup, bunun 57 MM'ü değerlendirilmektedir (Tablo 7.1).

Tablo 7.1. Türkiye'nin su potansiyelleri (DSİ, 2018: http://www.dsi.gov.tr/)

Ortalama yıllık yağış (mm/yıl)		574
Türkiye Yüzölçümü (km^2)		783 577
Toplam su hacmi (BCM)		450
Yıllık ikinci tur (MM)		186
Kullanılabilir yüzey suyu (MM)		94
Yıllık çekilen yeraltı suyu (MM)		18
Toplam kullanılabilir su potansiyeli (MM)		112
Güncel su kullanımı	Tarım (MM)	44 (%77)
	Şehirler ve sanayi (MM)	13 (%23)
	Toplam (MM)	57 (%100)

Türkiye, Avrupa'daki ülkeler arasında su güvenliği tehdidinin en yüksek olduğu ülkelerden biridir. 1960'lı yıllarda 28 milyon olan nüfusun 2023'te 84 milyona hızlı bir şekilde artması nedeniyle su kaynaklarının mevcudiyeti bugün kişi başına 4000 m^3/yıl'dan 1333 m^3/yıl'a düşmüştür (DSİ, 2018). Türkiye'de su talebi geçen yüzyılın ikinci yarısında yaklaşık iki katına çıkmıştır. Türkiye'nin genel su talebi, kuraklığın (veya iklim değişikliğinin) etkileri ile daha da artmaya devam etmektedir. Türkiye önümüzdeki yıllarda su kıtlığı yaşayacak ülkeler arasında yer alması beklenmektedir. Nüfus artışı ve iklim değişikliğinin etkisiyle su mevcudiyetinin 2050 yılında 1000 m3/yıl civarına düşmesi bekleniyor (SYGM, 2016).

Türkiye'nin toplam su arzının yaklaşık %77'si tarımsal sulamada, geri kalan %23'ü ise içme-evsel ve endüstriyel amaçlarla kullanılmaktadır (DSİ, 2018).

Hem iyimser hem de kötümser senaryolara göre Türkiye'de 2015-2100 yıllarında yağış miktarında azalma beklenmektedir. 2050 yılından itibaren 250-300 mm'ye kadar (ortalama 60 mm) daha belirgin azalmalar öngörülmektedir. Özellikle Ege ve Akdeniz kıyıları ile Güneydoğu ve Doğu bölgelerinde olumsuz yağış anomalileri göze çarpmaktadır. Karadeniz'in doğusunda toplam yağışlarda artış ve aşırı yağış olayları beklenmektedir. Karla kaplı alanlarda ve kar yağışı miktarında ciddi azalma olacağı öngörülmektedir (SYGM, 2016).

2030, 2050 ve 2100 yılları için Türkiye havzalarındaki yüzey sularında %-52 ile %-61 arasında değişim ve %20, %35 ve %50 oranında yüzey sularında azalma tahminleri rapor edilmiştir. 2100 yılına gelindiğinde Türkiye, güney Akdeniz bölgelerinde artan su stresine yol açabilecek kurak alanların genişlemesiyle karşı karşıya kalabilir (Bozkurt ve Şen, 2012).

Avusturya: Avusturya, yüksek miktarda su kaynaklarına sahiptir. Yağış ve yükseklerdeki kaynaklardan gelen sular akış ve nehirlerine dönüşürler, gölleri beslerler, taban suyu veya yeraltı suyu olarak görünmez bir şekilde depolanırlar (Avusturya Cumhuriyeti Federal Bakanlığı - Tarım, Bölgeler ve Turizm 2021)

Ülkede uzun vadeli ortalama 1190 mm'lik toplam yıllık yağış, yaklaşık 99,8 MM'lük su hacmine karşılık gelmektedir. Bu hacmin büyük bir kısmı yüzeye ve/veya yüzeye yakın bir yere akar veya buharlaşır. Yağışların neredeyse %27'si yeraltı suyuna sızmakta ve orta veya uzun vadede orada depolanmaktadır.

Avusturya'daki toplam yıllık su talebi yaklaşık 3,1 MM'dür (bkz. Tablo 7.2). 2050 yılına kadarki potansiyel gelişme Tablo 7.3'te gösterilmektedir.

Kullanımın yaklaşık %60'ı (1.9 MM) yüzey sularından çekilmektedir. Büyük bir kısmı ticaret ve sanayide soğutma suyu olarak, daha küçük bir kısmı ise tarım ve diğer hizmetlerde (yapay kar) kullanılmaktadır.

Yaklaşık 1,2 MM olan toplam su talebinin %40'ı yeraltı sularından karşılanmaktadır (bunun da %68'i kuyular, %32'si kaynaklar). En büyük pay şehirler için kullanılırken, daha küçük bir pay ticaret ve sanayi ile tarım ve hizmetlere ayrılmaktadır.

Tablo 7.2. Avusturya'nın mevcut su talebi

Su talebi (milyon m^3)	Yeraltı Suyu (milyon m^3)	Yüzey Suları (milyon m^3)	Toplam (milyon m^3)	Toplam İçindeki Payı (%)
Şehirler	753		753	24
Tarım	118	6	124	4
Ticaret ve Endüstri	353	1857	2210	70
Diğer hizmetler	7	45	52	2
Toplam	1232	1908	3140	100

2050 yılına ilişkin varsayımlar, ticaret ve sanayi talebinin yaklaşık olarak aynı kalacağını, yurt içi tarım sektörü ve diğer hizmetlere yönelik su temini talebinin ise artacağını ve toplam su talebinin Su Hazinesi "olumlu" ve "olumsuz" senaryolarına göre sırasıyla 3312 – 3359 milyon m^3 aralığında olacağını öngörmektedir.

Tablo 7.3. Avusturya'da 2050 yılına kadar su talebinin milyon m^3 cinsinden potansiyel gelişimi

Su Talebi (MCM)	Mevcut (MM)	Senaryolar 2050 (MM)	Talepteki değişim (%)
Evsel	753	830-850	10.2-12.9
Tarım	124	182-202	46.8–62.9
Sanayi ve ticaret	2210	2237	-
Diğer sektörler	52	63-70	21.2–34.6
Toplam	3140	3312 - 3359	5.5–7.0

Çek Cumhuriyeti: Çek Cumhuriyeti'nin uzun vadeli ortalama yıllık yağış miktarı 2017 mm/yıl olup, bu da ülke genelinde 53.4 MM/yıl su potansiyeline karşılık gelmektedir.

Yenilenebilir yeraltı suyu ve yenilenebilir yer üstü su kaynaklarının (iç ve dış) toplamı yaklaşık 13 MM/yıl, 1215 m³/kişi/yıldır (Tablo 7.4).

Tablo 7.4. Çek Cumhuriyeti'nin su potansiyeli (https://www.worldometers.info/water/czechia-water/#water-precipitation)

Ortalama yıllık yağış (mm/yıl)		2017
Çek Cumhuriyeti alanı (km^2)		78.871
Toplam su hacmi (MM)		53.4
Toplam yenilenebilir su (hem iç hem de dış yüzey ve yeraltı suyu) (MM)		13
Güncel su kullanımı	Tarım (milyon m^3)	44.5 (%3)
	Sanayi (milyon m^3)	981.8 (%60)
	Evsel (milyon m^3)	605.6 (%37)
	Total (milyon m^3)	1.635 (100)

İklim değişimi ile birlikte gelecekte Çek Cumhuriyeti dahil Orta ve Kuzey Avrupa ülkeleri yıllık ortalama su mevcudiyetinde artış göstermektedir (Bisselink et al 2020).

Polonya: Polonya'nın uzun vadeli ortalama yıllık yağış miktarı 600 mm/yıl olup, bu da ülke genelinde 187.6 MM/yıl su potansiyeline karşılık gelmektedir (Tablo 7.5).

Yenilenebilir yeraltı suyu ve yenilenebilir yer üstü su kaynaklarının (iç ve dış) toplamı yaklaşık 61 milyar m³/yıl, 1585 m³/kişi/yıldır.

Tablo 7.5. Polonya'nın su potansiyeli (https://www.worldometers.info/water/poland-water/#water-resources)

Ortalama yıllık yağış (mm/yıl)		600
Çek Cumhuriyeti Alanı (km^2)		312.696
Toplam su hacmi (MM)		187.6
Toplam yenilenebilir su (hem iç hem de dış yüzey ve yeraltı suyu) (MM)		61
Güncel su kullanımı	Tarım (MM)	1.053 (%10)
	Sanayi (MM)	7.483 (%71)
	Evsel (MM)	2.046 (%19)
	Total (MM m^3, %)	10.58 (100)

İklim değişimi ile birlikte gelecekte Polonya dahil Orta ve Kuzey Avrupa ülkeleri yıllık ortalama su mevcudiyetinde artış göstermektedir (Bisselink et al 2020).

7.1.5. Su kıtlığı veya stresi

Su stresi niteliksel olarak evsel, tarımsal ve/veya endüstriyel ihtiyaçlar için yeterli tatlı suyun bulunmaması olarak tanımlanabilir. Su stresi, nüfus artışı, sanayileşme ve/veya koruma uygulamalarının eksikliği nedeniyle su kaynaklarının aşırı kullanımından kaynaklanabileceği gibi, iklim değişiklikleri ve/veya yıl boyunca değişken miktarlarda su alan bölgelerde depolama kapasitesinin olmaması nedeniyle yağışların azalmasından da kaynaklanabilir. Falkenmark'ın çalışmasına dayanarak (Falkenmark 1986), dünyadaki su ile ilgili kurumlar genel olarak "su stresi" koşullarını kişi başına yılda 1700 m^3'ten az kullanılabilir su ve "şiddetli su stresi" ni kişi başına yılda 1000 m^3'ten az olarak tanımlamaktadır.

Su kıtlığının üç temel unsuru olan su talebi, su kaynakları ve su kirliliği, nüfus artışı ve ekonomik büyüme ile güçlü bir şekilde ilişkilidir. Bunlar güçlü bir şekilde birbirine bağlıdır ve küresel koşullardan çok daha kötü olacak yerel koşullarla birlikte zaman ve mekan açısından önemli ölçüde değişmektedir. Bir bölgenin temel hidrolojisi, demografik yapısı ve ekonomisi, su altyapısının seviyesi ve türü, insan taleplerini karşılamak için inşa edilen kurumlar ve bu taleplerin doğası da dahil olmak üzere birçok faktör su kıtlığına neden olmaktadır (Gleick and Cooley 2021).

Hidroloji: Geçici bölgesel nem dengesizliğine kuraklık denir. Temelde su kıtlığı olarak tanımlanan bir iklim olgusudur. Hidrolojik, meteorolojik, tarımsal ve ekonomik olmak üzere birçok farklı kuraklık türü vardır. Örneğin hidrolojik ve meteorolojik kuraklık, ortalama olarak

beklenen su miktarına kıyasla yüzey akışı, yeraltı suyu, yağış veya suyla ilgili başka bir ölçümde eksiklik olarak tanımlanabilir. Tarımsal kuraklık, özellikle kritik bir dönemde bir ürünün başarılı bir şekilde üretilmesi için gerekli suyun kıtlığıdır. Sosyal veya ekonomik kuraklık, suya yönelik belirli bir sosyal veya ekonomik talebin tam olarak karşılanamaması durumunda tanımlanabilir. Ekolojik kuraklık, doğal olarak mevcut su kaynaklarında ekosistemler arasında stres yaratan bir eksikliktir (Mann and Gleick 2015; Wilhite and Glantz 1985).

Demografik ve Ekonomik Faktörler: Nüfus arttıkça kişi başına düşen su miktarı azalır. Basit ölçüm (kişi başına su mevcudiyeti (birim nüfus başına su)) su kıtlığını ölçmenin yaygın bir yoludur. Nüfus ve ekonomik büyümeyle birlikte suya olan talep de geleneksel olarak arttı ve kıtlığa ve arz/talep dengesizliklerine ölçülebilir ve önemli yeni katkılar sağlamıştır. Ekonomik faktörler, yoksulluk nedeniyle insanların ihtiyaç duydukları su hizmetlerini ödeyememeleri ve bu hizmetlere erişimden mahrum kalmaları durumunda algılanan kıtlığı da tetikleyebilmektedir (Molle and Mollinga 2003).

Altyapı ve Kurumlar: Suyun fiziksel veya ekonomik olarak bulunabilirliği bir sorun olmasa bile, yetersiz altyapı veya kurumsallaşma ve su yönetim sistemleriyle ilgili sorunlar istenilen su hizmetlerinin talep noktasına ulaşmasını engellemesi durumunda da, su kıtlığı ortaya çıkabilir. Kurumsal yetersizliklerin bir başka yönü de, su politikalarının kullanılabilecek su miktarını kısıtlamasıdır. Ekosistemleri koruma ve yenileme çabaları (çevresel akış veya minimum akış miktarı) ve insanlar tarafından kullanılmış olan suyun tekrar alıcı ortama verilmesi durumunda çevre koruma tedbirleri kapsamında getirilen kısıtlamalar örnek olarak verilebilir (Fischhendlen and Zilberman 2005).

İklim Değişikliği: İnsan kaynaklı iklim değişiklikleri hızlanmıştır. Su ve iklim değişikliği ayrılmaz bir şekilde bağlantılıdır. Aşırı hava olayları suyu daha kıt, daha öngörülemez, daha kirli veya bunların üçünün birden ortaya çıkmasına neden olabilir. Su döngüsü boyunca meydana gelen bu etkiler sürdürülebilir kalkınmayı, biyolojik çeşitliliği ve insanların suya ve sanitasyona erişimini tehdit etmektedir.

İkim değişim ile birlikte sıcaklık arttıkça buharlaşma ve terleme oranlarındaki artışlar; su ve buz stokları ve akışlarındaki bölgesel değişimler; kuraklık ve sel gibi aşırı hava olayların yoğunluk ve sıklığındaki değişiklikler; deniz seviyeleri yükseldikçe kıyı akiferleri ve haliçlerdeki tatlı su-tuzlu su dengelerindeki değişimler ve daha fazlası artık kaçınılmaz olan sonuçlar arasında yer almaktadır (Field et al.2014). İklim değişikliklerinin aynı zamanda tatlı

su arzını ve talebini değiştirerek su kıtlığı üzerinde doğrudan ve dolaylı etkileri olması beklenmektedir. İklim modelleri gelişmeye devam etse de, iklim değişikliğinin bölgesel ve yerel hidroloji açısından uzun vadeli ayrıntılı etkilerine ilişkin belirsizlikler devam etmektedir. İklim değişiklikleri hızlandıkça, yüz milyonlarca insan için su kıtlığı riskinin artması beklenmektedir. Bu durum, kıtlık risklerini azaltmaya yönelik büyük çabaların da önüne geçmektedir (Gampe at al. 2016).

7.2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TARIMSAL SU YÖNETİMİNE ETKİSİ

Bitkisel ve hayvansal üretim sistemleri yağış ve sıcaklık gibi iklimsel değişkenlere kritik derecede bağlı olduğundan tarım, iklim değişikliğinden en ciddi şekilde etkilenebilecek sektördür. İklim değişikliği özellikle tarımsal su ihtiyacını, su mevcudiyetini ve su kalitesini etkilemektedir (Kundzewicz et al. 2007, Cai et al. 2015). İklim değişikliğinin su yönetimi üzerindeki etkileri, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (Turral et al. 2011), Uluslararası Gıda Politikası Araştırma Enstitüsü (IFPRI) (Nelson et al. 2009), IPCC (2013, 2014) gibi uluslararası kuruluşların yakın zamanda sunduğu çok sayıda özel raporda değerlendirilmiştir. Daha yakın zamanlarda Cai et al. (2015) iklim değişikliğinin tarımsal su yönetimi üzerindeki etkilerine ilişkin bir rapor yayınlamıştır. Bu çalışmaların hepsi ortak bir sonuca varmaktadır: İklim değişikliği tarımı olumsuz etkileyecek, dolayısıyla küresel gıda güvenliğini de tehdit edecektir (Cai et al. 2015).

İklim değişikliği, yerel ve bölgesel düzeyde değişen sıcaklıklar ve yağışların bir sonucu olarak hem su mevcudiyetini hem de ürünlerin su ihtiyacını önemli ölçüde değiştirmektedir. Bitkilerin su ihtiyacı (Evapotranspirasyon = ET) toprak ve su yüzeyinden atmosfere doğru meydana gelen su buharlaşması (evaporsayon = E) ve bitkilerin yüzeyinden meydana gelen terleme (T)'nin toplamı ile ifade edilmektedir. Yağışlar ve sulama suyu ile bitkilerin su ihtiyacının karşılanabilmesi, bitkisel üretimi belirleyen önemli faktördür (Cai et al. 2015).

7.2.1. İklim değişikliği altında bitki su ihtiyacı (ET)

Bitki su tüketimi (ET), kuru koşullarda yağışlarla (yani etkili yağış ile), sulanan ürünlerde hem yağış hem de sulamayla tamamen veya kısmen karşılanabilir. Yağmurla beslenen ürünlerin su açığı (yani ET ile etkili yağış arasındaki fark) iklim projeksiyon senaryolarına karşı duyarlıdır (Zhang and Cai 2013).

Genellikle sıcaklıkların artmasıyla buharlaşma talebinin de artması beklenir; ancak daha sıcak bir atmosfer mutlaka daha yüksek buharlaşmaya neden olmayabilir (Zhang and Cai 2013, Ohmura and Wild 2002). Bunun nedeni muhtemelen daha sıcak iklimlerde ET'de gözlemlenen

düşüşün Günlük Sıcaklık Aralığındaki (GSA) düşüş olmasıdır (GSA, günlük maksimum sıcaklık ile günlük minimum sıcaklık arasındaki fark olarak tanımlanır); Son IPCC raporları (2014 Kısım A ve Kısım B), GRS'nin azalmasının ET'nin azalmasına yol açan birincil faktör olduğunu göstermiştir.

İklim değişikliğinin bitkinin su gereksinimleri üzerindeki etkilerinin bölgesel heterojenliği önemlidir. Sulanan bitkilerde sulama ihtiyacı ve su açığında bazı eğilimler tanımlanabilir. Afrika, Avustralya ve Çin'de su gereksinimlerinin azalması beklenebilirken diğer bölgeler (Avrupa, Kuzey Hindistan, Güney Amerika'nın doğu kısmı ve Amerika Birleşik Devletleri'nin doğusu) iklim değişikliğinden olumsuz etkilenebilir (Zhang and Cai 2013).

Bitki su ihtiyacı ve açığı Batı Avrupa'da azalacak, ancak Doğu Avrupa'da artacaktır. Değişen yağışlar nedeniyle Güney Avrupa'nın kuzeye göre yine benzer şekilde su ihtiyacı ve açığı artacaktır. Akdeniz ülkeleri (Portekiz, İspanya ve Türkiye) ile Orta ve Doğu Avrupa'nın bazı bölgelerinde su stresinin yoğunlaşması muhtemeldir (Bates et al. 2008).

Türkiye'nin Trakya Bölgesi'nde yapılan bir araştırma (Deveci 2015) sonuçlarına göre 2012 yılı ortalama ETo değerleri Penman Monteih (Allen ve ark. 1998) yöntemine göre 3.0 mm/gün olarak hesaplanmıştır. İklim değişikliği projeksiyonları dikkate alındığında ETo'ın 2016 ile 2025 yılları arasında 3.2 mm'ye (%7 artış), 2046-2055 arasında 3.6 mm'ye (%20 artış) ve 2076 ile 2085 arasında 4.0 mm'ye (%33 artış) çıkması bekleniyor.

Belirli bitkiler için büyüme mevsiminin zamanlamasının değişmesi, iklim değişikliği altında sulama gereksinimlerinin tahminini de karmaşık hale getirmektedir (Mínguez et al. 2007). Artan sıcaklık, büyüme periyodunu uzatarak kuzey ılıman bölgelerde hem daha erken ekime hem de daha geç hasada olanak tanıyacak, ancak dünyanın diğer tüm bölgelerinde büyüme periyodunu kısaltacaktır (Turral et l. 2011). Daha uzun büyüme dönemleri muhtemelen mahsulün su ihtiyacını artıracaktır. Ayrıca iklim değiştikçe bir ürün belirli bir bölgede ekime uygun olmayabilir. Bu tür tarımsal değişiklikler, bitkinin su ihtiyacına ilişkin tahminleri daha karmaşık hale getiriyor. Ayarlanan ürün takvimleri, artan bitki su kullanım etkinliği ve gelişmiş sulama teknolojileri gibi adaptasyon önlemleri, bitkilerin su ihtiyacını daha da azaltabilir (Cai et al. 2015).

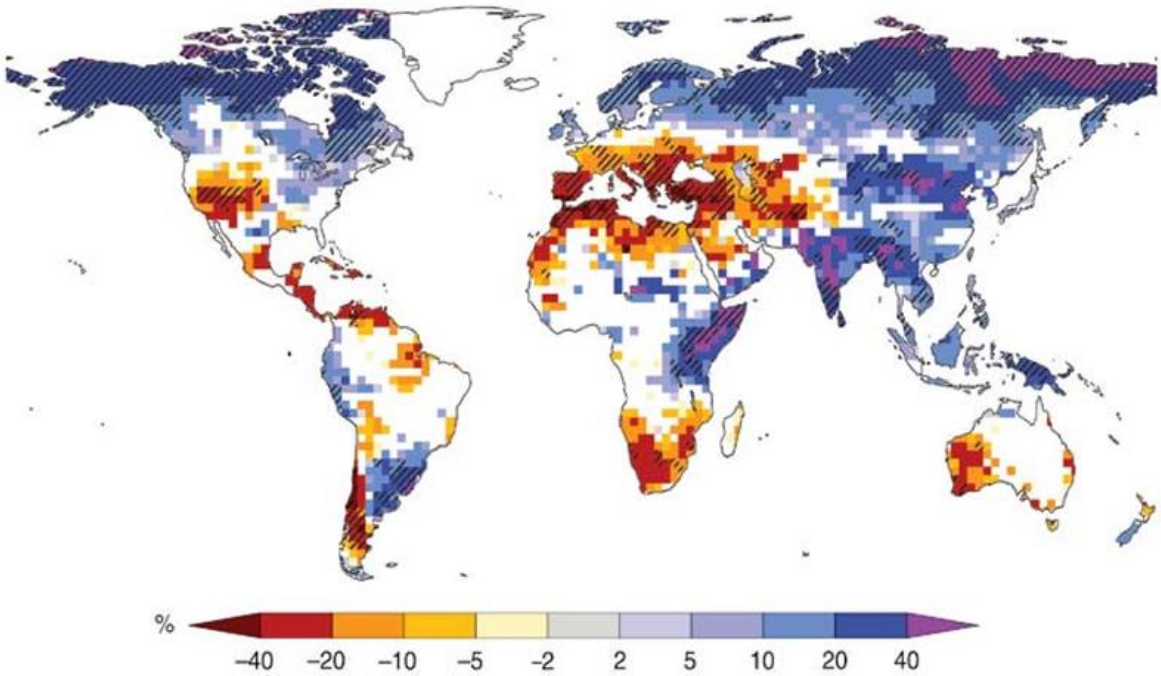
7.2.2. İklim değişikliği altında su mevcudiyeti

Tarımda, kuru tarım koşulları için mevcut olan suya yeşil su denir (yani toprakta depolanan ve bitkinin büyümesi için kullanılabilen su). Nehirler, göller ve yeraltı sularındaki sulara ise mavis u denir. Sulanan bitkiler için mevcut su hem yeşil suyu hem de mavi suyu içerir (Falkenmark

ve Rockström 2006). Toplam yağış miktarı yanında mevsimsel yağış dağılımındaki değişim, yağmurla yetieşn bitkiler için belirleyici bir faktör olacaktır. Sulama, mavi suyun yüzey veya yer altı su kaynaklarından çekilmesi yoluyla bitkinin büyüme mevsimi içindeki su kıtlığının etkisini hafifletmeye yönelik bir önlemdir. Yağış ve sıcaklıktaki yerel ve bölgesel değişiklikler sulama suyu miktarını etkilemektedir (Schewe et al. 2014, Rosegrant 2002).

Yüzey suyu: İklim değişikliğinin nehirler, göller, rezervuarlar ve sulak alanlardaki yüzey suyu kaynakları üzerindeki etkileri öncelikle yağışın zamanlaması, yeri, miktarı ve şekli (kar veya yağmur) tarafından belirlenir (Bates et al. 2008). Yerel dağoılım yağış açısından sıcaklıktan daha değişkendir ve önemlidir.

Yağış ve sıcaklıktaki değişiklikler yüzey akışında ve su mevcudiyetinde değişikliklere yol açmaktadır (Şekil 7.3). Yüzyılın ortasına kadar yüksek enlemlerde ve Doğu ve Güneydoğu Asya'nın kalabalık bölgeleri de dahil olmak üzere bazı nemli tropikal bölgelerde akışın %10 ila %40 oranında artacağı ve bazı kurak bölgelerin orta enlemlerde ve kurak tropik bölgelerde yağışların azalması ve buharlaşma oranının artması nedeniyle akışın %10 ila %30 oranında azalacağı yüksek bir güvenle tahmin edilmektedir. Ayrıca birçok yarı kurak bölgenin (örneğin, Akdeniz Havzası, Batı Amerika Birleşik Devletleri, Güney Afrika ve Kuzeydoğu Brezilya) iklim değişikliği nedeniyle su kaynaklarında azalmaya maruz kalacağına dair daha kuvvetli tahminler vardır (IPCC 2007).



Şekil 7.3. 1980-1999'a kıyasla 2090-2099 dönemi için yıllık akışta (yüzde cinsinden su mevcudiyeti) büyük ölçekli göreceli değişiklikler (Kaynak: IPCC 2007, SYR Şekil 3.5).

Dünyadaki birçok büyük ölçekli sulama sistemi yüzey suyuna bağlıdır: İklim değişikliğinin etkisi, nehir havzası ölçeğinde memba-mansap su tahsisi sorunları ve birçok bölgede uluslararası su paylaşımı problemleri nedeniyle sulama suyu yönetimi daha karmaşık hale gelebilir (Cai et al. 2015, Turral et al. 2011).

Kar ve Buzullar: Buzul buzu, küresel tatlı suyun yaklaşık %70'ini 'depolayarak' Dünya üzerindeki en büyük tatlı su rezervi olarak kabul edilmektedir. Buzul buzu/karı olarak depolanan su, özellikle tarıma yönelik bir bölgenin hidrolojik sigortası olarak değerlendirilmektedir. Dünyadaki pek çok sulama sistemi, ürün gelişme mevsiminde memba buzul alanlarında eriyen karlardan elde edilen su akışına bağlıdır. Kışın veya ilkbaharın başlarında artan sıcaklık, sulama mevsimi öncesinde ve/veya sonrasında su akışını arttırmakta, ancak mahsul mevsimi içindeki akışı azaltmaktadır(Cai et al. 2015).

Küresel ısınma etkilerinin karın hakim olduğu bölgelerde hidrolojik döngüyü önemli ölçüde değiştirme potansiyeli vardır. Kış yağışlarının kardan yağmura dönüştüğü yerlerde artan sıcaklığın nehir akış rejimlerinin mevsimselliğini değiştireceği yönünde önemli kanıtlar elde edilmiştir. Bu, birçok kıtasal ve dağlık bölgede kar erimesinden kaynaklanan en yüksek akarsu akışlarının zamanlamasını değiştirecektir. Sonuç olarak, karların daha erken erimesi nedeniyle kış aylarında akış artarken, yaz aylarında akış azalmaktadır. Marjinal miktarda kar yağışı olan alçak rakımlı yerler bu etkiye karşı daha hassastır ve çoğu durumda en yüksek akış suya en çok ihtiyaç duyulan dönemden önce meydana gelebilir. Rezervuar depolama kapasitesi maksimum akıştaki bu değişimi karşılamak için yetersiz olduğundan, "erken suyun" çoğu boşa gidecek ve okyanusta son bulacak (Kundzewicz et al. 2007, Barnett et al. 2005, IPCC 22013, Cai et al. 2015).

Örneğin iklim değişikliği projeksiyonlarına göre Türkiye'de karla kaplı alanlarda ve kar yağışı miktarlarında azalma öngörülüyor. Türkiye'nin doğusunda kış ve ilkbahar aylarında kar örtüsü kalınlığının azalması yağışın karakterinde bir değişikliğe işaret etmektedir. Doğu Anadolu Bölgesi'nde karların azalması, günümüzde erimenin yaşandığı ilkbahar ve yaz aylarında derelerin debilerinde ciddi düşüşlere neden olabilecektir. Bu durum Türkiye'nin tarım sektöründe ve enerji sektöründe ekonomik kayıplara neden olacaktır. Özellikle sıcaklıkların artmasına bağlı olarak artan buharlaşma, tarım sektöründe sulama ihtiyacını da artıracaktır (SYGM 2016, Konukcu et al. 2019).

Yeraltı Suyu Kaynakları: Yeraltı suyu, aşırı iklim olayları sırasında tampon görevi gördüğü için birçok topluluğun su güvenliği açısından hayati öneme sahiptir. Sulama, birçok bölgede yeraltı

suyunun birincil kullanıcısıdır. Bununla birlikte, sulama için yoğun yeraltı suyu pompalaması halihazırda yeraltı suyunun tükenmesine neden olmuştur ve bu durum, iklim değişikliği nedeniyle gelecekte daha da kötüleşebilir ve yeraltı suyunun sürdürülebilirliğini tehdit edebilir (Taylor et al. 2013).

İklim değişkenliği ve değişimi yeraltı suyu sistemlerini doğrudan yeraltı suyunun beslenmesi yoluyla ve dolaylı olarak da insanların su temini için yeraltı suyunun çekilmesini değiştirerek etkilemektedir (Taylor et al. 2013). Buzulların erimesi üzerindeki ısınma etkileri ilkbaharda yüzey akışını artırıp yazın azaltabilir ve yeraltı suyuna olan talebi daha da artırabilir. Kuraklıkların ve diğer aşırı iklim olaylarının artması nedeniyle bu tür durumlar daha da kötüleşebilir (Hagg et al. 2007). Üstelik iklim değişikliği, deniz seviyesinin yükselmesi ve yer altı sularına tuzlu su girişimi nedeniyle adalar ve kıyı bölgelerindeki yeraltı su kaynakları üzerinde büyük bir tehdit oluşturabilir (Bates et al. 2008).

Bu nedenle, ek yüzey suyu depolama kapasitesinin yanı sıra, özellikle yağışlı yıllarda bitkilerin büyüme mevsimi öncesinde ve sonrasında yeraltı suyuna yapay besleme, bazı bölgelerde hidrolojik sigortayı geliştirmek için etkili önlemler olabilir.

Toprak nemi: Yağmur suyu ile beslenen bitkiler, iklim sisteminin önemli bir değişkeni olan toprak nemine bağlıdır. Toprak nemi yağış, sıcaklık ve rüzgar hızı gibi diğer iklim değişkenlerinin yanı sıra toprağın fiziksel koşullarından da etkilenir. Bu nedenle, öngörülen iklim değişikliğinin yerel ve bölgesel ölçekte toprak nemi üzerinde önemli etkileri olabilir (Seneviratne et al. 2010, Cai et al. 2015). Bu tür bir değişikliğin yağmur suyu ile beslenen ürünler üzerinde doğrudan olumlu veya olumsuz etkisi olabilir. Küçük ölçekli yağış hasadı projeleri, yağış değişiminin hem miktar hem de zamansal dağılım üzerindeki etkisini azaltmanın anahtarıdır (Turral et al. 2011, IPCC 2013).

7.2.3. Su kalitesi

İnsanlar ve çevre için su bulunabilirliği yalnızca su miktarına değil aynı zamanda su kalitesine de bağlıdır çünkü su kalitesi ve miktarı birbiriyle bağlantılıdır ve birbirini etkiler. Ancak iklim değişikliğinin su kalitesi üzerindeki etkisi, su miktarına kıyasla yeterince araştırılmamıştır (Kundzewicz et al. 2007, Bates et al. 2008). İklim değişikliği su kütlelerindeki su sıcaklıklarının değişmesi yoluyla su kalitesini doğrudan etkilemektedir. Öte yandan, tarım ve diğer sektörlerdeki insan faaliyetleri, atık suyun bertarafı nedeniyle dolaylı olarak su kalitesinin bozulmasından birincil derecede sorumludur.

İklim değişikliği nedeniyle tarımsal faaliyetlerden dolayı su kalitesinin bozulmasının birçok nedeni vardır: i) tarım arazilerinde toprak erozyonu, ii) kıyı bölgelerde yeraltı suyunun aşırı çekilmesi sonrası küresel ısınmanın nedeniyle yükselen deniz suyunun kara içlerine doğru girişim sonucu akiferleri tuzlulaştırması, iii) toprak işleme, gübreleme ve pestisit uygulamaları da dahil olmak üzere arazi kullanımı ve yönetimi, iv) kuraklık sırasında kanalizasyon arıtma tesislerinden gelen suyla sulama, v) geleneksel sulama yöntemleriyle aşırı su uygulaması (özellikle yüzey sulama) sonucu kirlenmiş dönüş (yüzey drenaj) suyunun akıma karışmasıdır (Cai et al. 2015).

Tarımsal faaliyetlerin daha uzun büyüme sezonlarına ve azalan su mevcudiyetine uyum sağlaması gerekecektir. Yeni ürünler daha kuru ve daha sıcak koşullara uygun olacak ve bu da daha yüksek konsantrasyonlu daha düşük hacimli atık su deşarjına yol açacaktır. İstenmeyen su kalitesi etkilerini, özellikle de tarımla ilgili olanları ele almaya yönelik planlar, su kaynaklarının korunması, tarımsal uyum faaliyetleri ve su temini, kentsel drenaj ve arıtma sistemleri gibi diğer sektörlerdeki operasyonel prosedürlerden, iklim değişimine bağlı olarak değişebilecek müdahalelerin entegrasyonunu gerektirecektir (Murdoch et al. 2000, Cai et al. 2015).

7.2.4. Aşırı iklim olayları

İklim değişikliği yalnızca sıcaklık ve yağış gibi iklim değişkenlerindeki uzun vadeli eğilimleri ve değişimleri değil, aynı zamanda aşırı olayların sıklığını, yoğunluğunu ve süresini de etkilemektedir. Aşırı iklim olayı, bir iklim değişkeninin değerinin bir üst (veya alt) eşiğin üzerinde (veya altında) meydana gelmesi olarak tanımlanabilir. Aşırı iklim olayları arasında sel, kuraklık, sıcak hava dalgası, kasırga ve tayfun yer alır. Geçtiğimiz yüzyılın ikinci yarısındaki 'milyar dolarlık felaketlerin' yüzde 70'inden fazlası aşırı iklim olaylarıyla ilgiliydi (Cai et al. 2015).

Tarım, tüm dünyada aşırı iklim olaylarından önemli ölçüde etkilenmektedir (Nelson et al. 2009, Turral et al. 2011, IPCC 2012). Bu aşırı olayların sıklığı ve şiddetinin gelecekte iklim değişikliği nedeniyle daha da artması muhtemeldir (IPCC 2012). Aslında gözlemler, küresel ölçekte olağandışı sıcak gün ve gecelerin sayısında artış, yoğun yağışların sayısında artış gibi çeşitli aşırı iklim koşullarında son 60 yılda artan bir eğilimin olduğunu göstermektedir: tropik dışı siklonların kutup yönüne doğru kayması, karların erimesi ve buzullarla beslenen nehirlerde ilkbaharda zirve nehir akışlarının daha erken ortaya çıkması gibi (IPCC 2012, Cai et al. 2015). Burada, pek çok aşırı iklim olayı arasında tarım için en önemli iki olay olan sel ve kuraklık ele alınacaktır.

Taşkınlar: Taşkınlar veya seller birçok bölgede en çok rapor edilen doğal afet olayıdır ve yılda ortalama 140 milyon insanı etkilemektedir. Yağış yoğunluğunda gözlenen artış, iklim değişikliğinin taşkınların şiddeti ve sıklığı üzerinde halihazırda bir etkisi olduğunu göstermektedir (WDR 2003, 2004).

Taşkın üreten süreçler arasında yoğun ve/veya uzun süreli yağışlar, kar erimesi, baraj yıkılması, buz heyelanlar veya fırtına nedeniyle akımın tıkanması yer alır. Taşkınlar yağış şiddet ve miktarına, zamanlamasına, yağış şekline (yağmur veya kar), nehirlerin ve drenaj havzalarının önceki koşullarına (kar ve buzun varlığı), toprağın durumuna (donmuş veya doymuş olup olmadığı), kar/buz erimesinin hızı ve zamanlaması, kentleşme, bentlerin, barajların ve rezervuarların varlığına bağlıdır (WDR 2003, 2004).

Tarım arazileri, taşkın genişleme alanları ve taşkın yataklarının içinde veya yakınında konumlanmaları nedeniyle taşkınlara karşı yüksek hassasiyete sahip olduğundan, taşkınlar genellikle kayıp ve hasar açısından kırsal alanlar üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Ayrıca yoğun yağışlar toprakta aşırı nem oluşmasına neden olur ve bu da tarımsal üretimi önemli ölçüde etkiler. Aşırı yağışlar aynı zamanda zararlılar ve bitki hastalıkları, kültürel faaliyetlerin gecikmesi, toprak erozyonu nedeniyle tarımsal kayıplara neden olduğu gibi salgın hastalıklar, yaprak mantarı patojenlerinin yaygınlığı ve toprak kaynaklı patojenlerin enfekte olmayan alanlara yayılması gibi çevresel sorunlara da neden olmaktadır (Rosenzweig et al. 2012). 2001, Cai et al. 2015).

Çoğunlukla şiddetli su baskınlarına neden olan kasırgalar ve tayfunlar belki de en yıkıcı aşırı iklim olaylarıdır. Çok kuvvetli rüzgarlar ve çok şiddetli yağışların birleşiminden oluşurlar ve genellikle deniz seviyesinin yükselmesiyle ilişkilendirilirler. İklim değişikliği kaynaklı kasırgaların sıklığının ve yoğunluğunun gelecekte değişmesi muhtemeldir, ancak eğilimlere ilişkin belirsizlikler yüksek seviyede ve etkileri de karmaşıktır (Knutson and Tuleya 2004, Cai et al. 2015).

Kuraklık: Kuraklık, esas olarak kuru (yani yağış eksikliği) ve sıcak (yani yüksek sıcaklık) hava koşullarıyla ilişkili olan ve bazı aşırı durumlarda sıcak hava dalgalarının da eşlik ettiği bir aşırı iklim şeklidir (Mishra and Singh 2010).

Kuraklık meteorolojik sistemlerden tarımsal sistemlere kadar genişlemekte, su miktarını, kalitesini, tarımsal üretimi (Calanca et al. 2007, Mishra and Singh 2010), gıda güvenliğini (Schmidhuber and Tubiello 2007) ve ekonomiyi (Wang et al. 2011) yerel, bölgesel ve ulusal ölçeklerde büyük ölçüde olumsuz etkilemektedir. 'Tarımsal kuraklık', ürünleri etkileyen,

toprağın en üstteki bir metre kadarındaki (kök bölgesi) nem eksikliğiyle ilgilidir (Trenberth et al. 2007).

Kuraklık, tarımda sıcaklık stresi, zararlılar ve su kıtlığı gibi birçok faktör nedeniyle kayıplara neden olmaktadır Örneğin Orta ve Doğu Avrupa'da kuraklık sırasında böceklerin yayılması nedeniyle verimlilik genellikle düşmektedir (Eitzinger et al. 2013).

Son yıllarda meydana gelen iklim değişikliğiyle birlikte kuraklığın arttığına veya azaldığına dair kesin bir kanıt olmamasına rağmen, Güney ve Orta Avrupa, Alp Bölgesi, Orta Kuzey Amerika, Akdeniz Bölgesi, Avustralya, Güney Afrika, Meksika ve Kuzeydoğu Brezilya gibi bazı bölgelerde kuraklığın gelecekte yoğunlaşması beklenmektedir (Calanca et al. 2007, Wang et al. 2011, IPCC 2012, Sheffield et al. 2012, Eitzinger et al. 2013, Cai et al. 2015).

Isı dalgalarına genellikle kuraklık olaylarının eşlik etmesi ve periyodunun uzaması bitkisel ve hayvansal üretim üzerinde baskılar oluşturmaktadır (Lobell et al. 2013). Sıcak hava dalgalarından kaynaklanan ekonomik kayıplar oldukça fazladır (Beniston 2009, García-Herrera et al. 2003). Örneğin, Avrupa'da 1540 yılından bu yana en sıcak yazı yaşanmasına neden olan 2003 sıcak hava dalgası, Avrupa'da brüt birincil üretimin %30 oranında azalmasına neden olmuştur (Ciais et al. 2005). 21. yüzyılın sonuna ilişkin tahminlere göre sıcak hava dalgalarının gelecekte daha sık meydana gelmesi bekleniyor (Meehl and Tebaldi 2004).

7.3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ KAPSAMINDA SÜRDÜRÜLEBİLİR SU YÖNETİMİ STRATEJİLERİ/POLİTİKALARI

İklim değişikliğine uyum seçeneklerinin mutlaka ve mutlaka yatırımları, gelişmiş ve uygulanabilir yönetim ve politikaları, kurumların kapasite geliştirmelerini kapsaması, geliştirmesi ve birleştirmesi gerekmektedir. Bu tür seçeneklerin de farklı ölçeklerde uygulanması gerekmektedir: tarla ve çiftlik ölçeğinde; sulama projesi (özellikle büyük şebekeler) ölçeğinde; yüzey veya yeraltı suyu havzası ölçeğinde; nehir havzalarında (sınır ötesi nehir havzaları dahil); ve ulusal düzeyde (Tablo 2.6) (FAO 2013, Turral et al 2011). McGray et al (2007) ve OECD (2009), kalkınmadan iklim değişikliğine kadar uzanan süreci kapsayan uyum faaliyetlerinin dört kategoride düzenlenebileceğini bildirmiştir. Bu kategoriler:

İnsani gelişmenin desteklenmesi: Bu faaliyetler yoksulluğun azaltılmasına ve nedeni ne olursa olsun insanları zarar görmeye açık hale getiren faktörlerin ele alınmasına odaklanmaktadır.

Müdahale kapasitesinin oluşturulması: Çoğunlukla kapasite geliştirme niteliğinde olan bu faaliyetler, kalkınma çabalarından uyarlanan kurumsallaşma ve teknolojik yaklaşımları içerme eğilimindedir.

İklim riskinin yönetilmesi: Bu kategorideki faaliyetler özellikle tehlikelere ve etkilere odaklanmakta ve iklim riski yönetimi kavramını takip etmektedir.

İklim değişikliğiyle yüzleşmek: Neredeyse yalnızca iklim değişikliğinin etkilerini ele almaya odaklanılmaktadır. Bu kategorideki faaliyetler, tarihsel iklim değişkenliğinin ötesinde iklim değişikliğine bağlı riskleri hedefleme eğilimindedir.

7.3.1. Su kıtlığıyla başa çıkmak

Su kıtlığı halihazırda dünya çapında birçok nehir havzasında tarımın karşı karşıya olduğu temel zorluktur. Suyun kıt olduğu bölgelerde iklim değişikliğinin gerilimleri artırması ve su rekabetini artırması beklenmektedir. Tarımın gıda ve diğer mallara olan talebi karşılamaya devam etmesi durumunda, hem arz hem de talep tarafında çaba gösterilmesi gerekecektir (FAO 2013). Su kaynaklarının geliştirilmesi şu başlıkları içermektedir:

- geleneksel su kaynaklarına erişimin arttırılması ve bunların yönetiminin iyileştirilmesi;
- habitat rehabilitasyonu;
- baraj operasyonları;
- drenaj suyunun ve atık suyun yeniden kullanımı;
- nehir havzaları arasında suyun transferi;
- tuzlu suyun arıtılması ve kirlilik kontrolüdür.

Tablo 7.6. Su kaynakları için farklı ölçeklerde iklim değişikliğine uyum seçenekleri (Kaynak: FAO 2013, Turral et al. 2011)

Seçenek	Tarla/çiftlik	Sulama şebekesi	Havza/ akifer	Nehir havzası	Ulusal
1. Yatırım					
Çiftlikte su depolama: su hasadı	+				
Yeraltı suyu gelişimi	+				
Sulama altyapısının modernizasyonu		+			
Kuraklık ve taşkınlara karşı dayanıklılık için bitki ıslahı	+				
Baraj inşaatı/iyileştirme		+	+	+	
Drenaj	+		+	+	

Uygun balık türlerinin getirilmesi	+		+	+	
2. Arazi, su ve bitki yönetimi					
Toprağın nem tutma kapasitesinin arttırılması	+				
Ürün desenini değiştirme ve çeşitlendirme	+				
ürün (ve balık hasadı) takviminin uyarlanması	+				
Destekleme sulama	+	+			
Kısıntılı sulama		+			
Alternatif ıslak ve kuru çeltik üretim sistemi	+	+			
Drenaj ve taşkın yönetimi		+	+	+	
Sulama şebekelrinin işletiminin iyileştirilmesi		+			
Entegre su kaynakları yönetimi				+	
Baraj işletme kurallarının uyarlanması				+	
Nehirlerde kıyı habitat restorasyonu veya oluşturulması				+	
3. Politikalar, kurumlar ve kapasite geliştirme					
Sulama ve drenaj altyapısının iklim koşullarına dayanıklı olması		+	+	+	
Suyun yeniden tahsisi (sektörler arasında veya sektörler içinde)	+	+	+	+	+

Arazi/su haklarına erişimin güçlendirilmesi	+	+	+	+	+
Ürün sigortaları	+		+	+	
Geliştirilmiş hava tahmini kapasitesi	+	+	+	+	+
Geliştirilmiş hidrolojik izleme				+	
Sel/kuraklık gelişimi					+
Gıda saklama stratejilerinin gözden geçirilmesi					+

Talep yönetimi, su talebini kontrol eden bir dizi eylem olarak tanımlanır.:

- doğal bir kaynak olarak kullanımının genel ekonomik verimliliğini artırarak,
- veya su kaynaklarının sektör içi ve sektörler arası yeniden tahsisini yürütmek.

Çiftçilerin daha az suyla daha fazla üretmesine yardımcı olmak için teknik, yönetimsel, yasal ve yatırım seçeneklerinin bir kombinasyonuna ihtiyaç vardır. Bu seçeneklerin, çiftçileri su kıtlığı konusunda uyaran ve suyun çiftlik düzeyinde daha verimli kullanımını ödüllendiren bir politika ve teşvik çerçevesiyle desteklenmesi gerekmektedir (FAO 2013).

7.3.2. Direnç geliştirme

Direnç oluşturmak, çiftçilerin şoklara maruz kalmasını veya hassasiyetini azaltmayı veya tepki verme kapasitelerini arttırmayı içerir. Daha değişken yağmur suyu kaynakları karşısında tarımsal sistemlerin tamponlama kapasitesinin artırılabilmesi birincil öneme sahiptir. Bu, toprakta, yüzey rezervuarlarında veya yer altı rezervuarlarında su depolama kapasitesinin arttırılmasını gerektirir. İhtiyaç duyulduğunda suya erişim kapasitesini artıran herhangi bir eylem, iklim değişkenliğine karşı dayanıklılığı artıracaktır (FAO 2013).

Su depolama kapasitesini artmak için çiftlik düzeyinde yapılması gereken faaliyetler (FAO 2013):

- su hasadı;
- toprağın nem tutma kapasitesinin arttırılması;
- toprağın su emme (infiltrasyon) ve su tutma kapasitesinin artırılması; ve,
- Mümkün olan yerlerde yeraltı suyuna daha sistematik erişim.

Ürün sezonunun kritik dönemlerinde destek sulama, ürün kayıplarını azaltabilir ve verimliliği artırabilir.

7.3.3. Tarla ve çiftlik seviyesinde adaptasyon

Tarla ve çiftlik seviyesindeki adaptasyon şunları içerir (FAO 2013):

Buharlaşma kayıplarını azaltan daha verimli sulama teknolojileri: Basınçlı sulama, özellikle damla sulama vaya damla sulama ile birlikte malç ve gece sulaması gibi önlemler, sulanan alan miktarının artırılması yerine, su verimliliğini sağlayan kısıntılı sulama yaklaşımı ile aynı hacim su ile daha fazla alanı sulayarak çiftçinin hasat ettiği toplam ürünü artırmayı amaçlamaktadır.

Bitki seçimi ve tarımsal faaliyetlerin takvimlerindeki değişiklikler: Bu, çiftçilerin yeni sıcaklıklara ve yağış düzenlerine uyum sağlamasına yardımcı olacaktır. Kurak dönemlere karşı daha iyi dayanıklılığa sahip mahsullerin veya çeşitlerin kullanılması tercih edilecektir. Erkenci çeşitlerin seçimi ve yazlık ürünlerde, ilkbaharda mümkün olabilecek en erken tarihte ekim yapmak yaz kuraklıklarından kaçarak daha az etkilenme ve ilkbahar yağışlarından maksimum faydalanmayı sağlayabilir.

Çeşitliliğin artırılması: Ağaçların, ekilen ürünlerin, balıkların ve hayvanların daha iyi entegrasyonunu içeren tarımsal çeşitlendirme, riski azaltacak ve tarım sistemlerinin dayanıklılığını artıracaktır. Özellikle yoğun göç gerektirmeyen ve çevresel toleransları geniş olan su türlerinin yetiştirilmesi ve avlanması, su ürünleri yetiştiriciliği ve avcılığın yeni iklim koşullarına uyum sağlamasına yardımcı olacaktır.

Artan taşkın sıklığına ve daha şiddetli yağışlara karşı daha sistematik önlemler benimsemek: Çiftçilerin ayrıca artan sel sıklığına ve daha yoğun yağışlara yanıt vermek için daha sistematik önlemler alması gerekecektir. Erozyon kontrolü eylemleri ile daha iyi drenaj kapasitelerinin bir kombinasyonuna ihtiyaç duyulacaktır.

7.3.4. Sulama şebekesi düzeyinde uyum faaliyetleri

Sulama şebekesi düzeyindeki uyum faaliyetleri şunlar üzerinde yoğunlaşmıştır (FAO 2007, FAO 2013):

Sulama sistemlerinin modernizasyonu: Sulama planlarında iklim değişikliğine uyum sağlamaya yönelik eylemlerin, sulama modernizasyonunun genel bağlamında ele alınması gerekmektedir. Modern sulama sistemleri, daha iyi su tahsis mekanizmalarına, su kıtlığıyla ilgili uyarıların çiftçilere net bir şekilde iletilmesine ve suyun daha esnek ve güvenilir dağıtımı için hem altyapının hem de yönetimin uyarlanmasına ihtiyaç duymaktadır (FAO, 2007).

Sulama planı dahilinde ara depolama ve mümkün olduğunda yeraltı suyuna erişim: Bunlar, su temininin dayanıklılığını ve güvenilirliğini oluşturmaya yönelik seçeneklerin bir parçasıdır ve sulama planlarına yönelik uyum planlarında dikkate alınmalıdır.

Suyun fiyatlandırılması ve su piyasalarının kurulması: Bunlar genellikle daha iyi su kullanımını teşvik etmek ve su israfını azaltmak için talep yönetimi araçları olarak savunulur. Bu seçeneklerin bazı yerlerde etkili olduğu kanıtlanmış olsa da, teknik, kurumsal ve politik nedenlerin birleşiminden dolayı uygulanması genellikle zordur. Daha verimli su kullanımı davranışını teşvik etmek için daha basit ve daha etkili olabilecek, mevsimsel tahsislerin kullanıcılara veya kullanıcı gruplarına sınırlandırılması gibi başka seçenekler de vardır.

7.3.5. Havza, nehir havzası ve ulusal düzeyde adaptasyon

Daha üst seviyelerde iklim değişikliğine uyum, politika düzenlemeleri ile altyapı ve yönetime yapılan yatırımların bir kombinasyonunu içermektedir. Nehir havzalarında aşırı hava olaylarının artan sıklığı ve şiddeti, barajların depolama kapasitesinde ve yönetiminde ve nehir koruma çalışmalarında düzenlemeler yapılmasını gerektirmektedir (FAO 2013).

Taşkın yönetimi planları: Taşkın yönetimi planları, arazi kullanım planlaması, erken uyarı sistemleri ve sigortalama gibi yapısal düzenlemeler ile eğitimim, farkındalık ve kapasite geliştirme gibi yapısal olmayan düzenlemelerin bir kombinasyonu olmalıdır (FAO 2013).

Kuraklık yönetim planları: Benzer şekilde, kuraklığa acil müdahaleden, önleme, hazırlık, yardım ve rehabilitasyon ile kuraklığın etkilerini hafifletmeye yönelik uzun vadeli önlemleri içeren kuraklık yönetim planlarına geçiş yapılmasına ihtiyaç duyulacaktır (FAO ve NDMC, 2008, FAO 2013).

Taşkın ve kuraklığa uyum için bitki tür ve çeşidi seçimi: Kuraklık ve taşkın durumunda bitki tür ve çeşidi seçiminde, su yöneticileri ve çiftçiler tarafından taşkın ve kuraklığa karşı kullanılan adaptasyon yaklaşımları sistematik olarak dikkate alınmalıdır. Taşkın zararlarını azaltmak ve erozyon kontrolünü sağlamak için habitat mühendisliği ve rehabilitasyona da ihtiyaç duyulacaktır. (FAO 2013).

Nehir havzalarında entegre su kaynakları yönetimi: Artan su kullanımı ve aşırı iklim olayları nehir havzalarında yaşayan insanlar ve toplulukların birbirine bağımlılığını artıracağı ve eylemlerle birlikte nehir havzalarında entegre su kaynakları yönetimi giderek daha önemli hale gelecektir. Havzanın bir kısmında meydana gelen bir olumsuzluğun havzanın aşağı kısmındaki insanlar üzerinde etkileri olacaktır. İklim değişikliğinin su kıtlığının artmasına neden olduğu yerlerde, su sağlamanın iyileştirilmesi ve talep yönetimi seçeneklerinden oluşan tüm paketin

dikkate alınması gerekecektir (FAO 2012). Hayvancılık ve balıkçılık da dahil olmak üzere suyun çoklu kullanımına uyum sağlamak için arazi ve su kaynakları kullanımında daha etkin ve sürdürülebilir yönetimin prensiplerinin benimsenmesi gerekmektedir (FAO 2013).

Gelişmiş hava tahmini ve hidrolojik izleme veya meteorolojik okur-yazarlık: Gelişmiş hava tahmini ve hidrolojik izleme, modern uyum stratejilerinin kritik bir unsuru haline gelecektir (Faurès et al. 2010). Ancak mevsimsel tahminlerin zamanlaması ve güvenilirliğindeki gelişmeler, çiftçiler için yeni fırsatlar sunmaktadır. Çabalar bu tahminlerin doğruluğunu artırmaya odaklandıkça, bilginin çiftçilere iletilme şeklinin iyileştirilmesine ve çiftçilerin iklim bilgisinden en iyi şekilde yararlanma kapasitelerinin geliştirilmesine artık daha fazla önem verilmelidir (Gommes et al. 2010). Ürün sezonu boyunca izleme ve erken uyarı, çiftçilerin bilinçli kararlar almasına yardımcı olmak için bir öncelik olmaya devam etmektedir (FAO 2013).

Tarım sigortaları: Sigortalar, uyum stratejilerinin bir parçası olarak sistematik olarak dikkate alınması gereken potansiyel bir çözümü temsil etmektedir. Ulusal ürün sigorta programları, sel, kuraklık, dolu hasarı vb. aşırı iklim olaylarının neden olduğu felaketler açısından eleştirel bir şekilde yeniden değerlendirilmelidir. Ulusal hükümetlerin ürün sigortalarını teşvik etmedeki rolü, ulusal çıkarları yansıtmalı ve aynı zamanda özel sigorta şirketlerinin sorunsuz işleyişini sağlamalıdır. Bu, üreticiler, sigorta şirketleri ve hükümetler arasında paylaşılan risk kavramına dayanmalıdır (FAO 2013).

7.3.6. İklim değişimine başarılı bir uyum için gerekli koşullar

İklim değişikliğine uyum hem kırsal kalkınma hem de su kıtlığı programlarında ana akım haline getirilmeli ve ayrı ayrı yürütülmemelidir. Su, toprak ve gıda politikaları daha uyumlu hale getirilmeli ve iklim değişikliği perspektifinden değerlendirilmelidir. Özellikle tarım ve kırsal kalkınma hedeflerinin su planlamasına dahil edilmesi ve diğer su kullanım sektörlerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Büyük ölçüde doğrudan su yönetimiyle ilgili olan afet risk yönetimi stratejileriyle de bağlantı kurulmalıdır (FAO 2013).

7.3.7. İklim değişikliğinin önlenmesi/azaltılması için su yönetimi

Sulu tarım, küresel tarım alanının yalnızca yüzde 20'sini oluşturmakta ancak daha yoğun bir şekilde yönetilmektedir. Ortalama olarak sulu tarım, kuru tarım sisteminden daha fazla miktarda inorganik gübre ve diğer tarımsal kimyasallar kullanmaktadır. Sonuç olarak, geliştirilmiş ürün yönetimi uygulamaları yoluyla sera gazlarını azaltmaya yönelik çabaların,

kuru tarım alanlarına göre sulanan alanlarda daha fazla etkiye sahip olması beklenmektedir (FAO 2013).

Sulanan arazilerin yüzde 38'inde yeraltı suyu sulama amaçlı kullanılmaktadır. Yeraltı suyunun kullanımı yaygınlaşmakta (Siebert et al. 2010) ve bu da fosil yakıtların kullanımını artırmakta ve sonuçta su sağlamada enerji maliyetleri ve sera gazı salınımı artmaktadır (FAO 2013).

Tarımsal metan (CH_4) emisyonları, insan faaliyetlerinden kaynaklanan CH_4 emisyonlarının yüzde 50'sinden fazlasını oluşturmaktadır. Bu emisyonların üçte biri sürekli göllendirme yöntemi ile çeltik tarımı yama sonucu oluşan anaerobik koşullardan kaynaklanmaktadır. Sulanan çeltik alanları nispeten hızlı bir şekilde yetiştirilirse, çeltik tarlalarından kaynaklanan CH_4 emisyonlarındaki gelecekteki artışların küçük olması beklenmektedir (HLPE 2012).

Büyüme mevsimi sırasındaki emisyonlar, aerobik çeltik yetiştirmek ve koşulların izin verdiği durumlarda alternatif ıslatma ve kurutma gibi çeşitli su yönetimi uygulamaları kullanılarak azaltılabilir. Çeltik yetiştirilmediği zaman suya doygunluğun önlenmesi ve çeltik yetiştirme mevsimi boyunca sürekli göllendirme süresinin kısaltılması, çeltik tarlalarından kaynaklanan CH_4 emisyonlarının azaltılmasında etkili seçeneklerdir. Şu anda, gerçek aerobik çeltik verimi nispeten daha düşüktür (hektar başına 2 tondan az) ve bu, doğal drenaj koşulları uygun olsa bile benimsenme konusunda etli (Comprehensive Assessment 2007). Aerobik çeltik su tasarrufu sağlamakta ve nitröz oksit emisyonlarını azaltabilir (HLPE 2012).

Sulanan alanlarda karbon emisyonunu azaltmanın en etkili yöntemlerinden birisi de pompalama enerji gereksiniminin fosil yakıtlar yerine güneş veya rüzgar gibi sürdürülebilir enerji kaynaklarından karşılanması olabilir.

BÖLÜM 8

İKLİM DEĞİŞİMİ SÜRECİNDE SULAMA YÖNETİMİ

8.1. SULAMAYA GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızlı artışına paralel biçimde insanların beslenme ihtiyacı da artmaktadır. Nüfusun 10 milyarın üzerinde olacağı öngörüsüyle tarımsal üretimin 2050 yılına kadar yaklaşık %70 oranında artması gerekeceği tahmin edilmektedir. Dolayısıyla bitkisel üretimin çoğaltılması için birim alan verimlerinin arttırılması gerekmektedir. Fakat yağışın yetersiz olduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde bir çok kültür bitkisi ya yetişmemekte ya da çok azı yetişmektedir. Bu bitkisel üretim miktarını sınırlandırmaktadır. Bu sorun ancak sulama uygulamalarıyla aşılabilmektedir.

Sulama: Genel bir biçimde ideal bir bitki gelişimi için gerekli olan suyun yağışlarla karşılanamadığı durumda bazı yöntemlerle toprağa verilmesidir.

Su, tarımsal üretim için kritik bir girdidir ve gıda güvenliğinde önemli bir rol oynamaktadır. Sulu tarım, dünyada toplam ekili alanın yüzde 20'sini oluşturmaktadır. Ayrıca sulu tarım dünyada üretilen toplam gıdanın yüzde 40'ına katkıda bulunmaktadır. Sulu tarım, sulamasız tarıma göre birim arazi başına en az iki kat daha verimlidir. Böylece daha fazla üretim ve ürün çeşitliliği sağlamak mümkündür.

Bitkisel üretimde topraktaki nem azlığı doğru bir planlama ile giderildiği taktirde bitkilerin verimlerinde ciddi artışlar olur. Bu da bölge üreticisinin refahını arttırır. Verimdeki bu artışın yanında topraktaki fazla tuzların yıkanması, taban taşının yumuşatılması yine sulama sayesinde olur.

İklim değişikliği nedeniyle tarımsal üretimin ilerleyen yıllarda azalacağı öngörülmektedir. Dolayısıyla gıdanın güvence altında olması gerekmektedir. Gıda güvencesi ise her insanın yeterli, kaliteli gıdaya her zaman ulaşabilmesidir. Sürdürülebilir gıda üretimi gıda güvencesinin en önemli öğelerindendir. Sürdürrülebilir tarımın en önemli ilkelerinden biri de iyi bir toprak ve su yönetimidir.

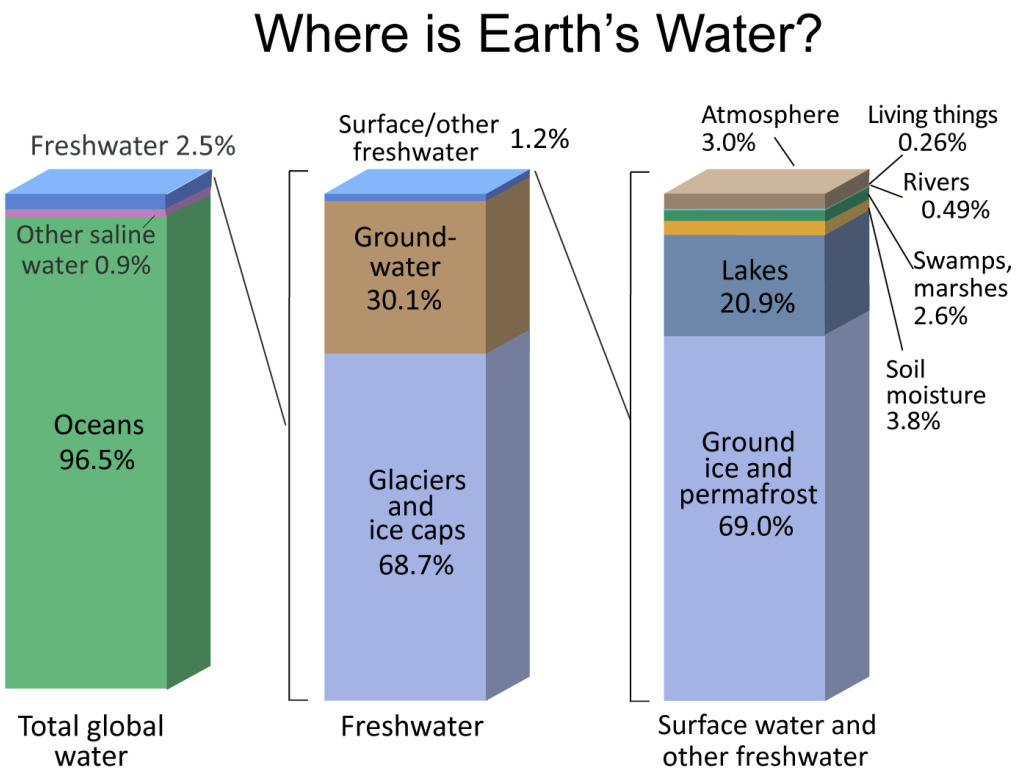
Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) 1996 yılındaki Dünya Gıda Zirvesi'nde, gelecekte ihtiyaç duyulan ekstra gıdanın yüzde 60'ının sulu tarımdan gelmesi gerektiğini öngörmüştür. Uluslararası Sulama ve Drenaj Komisyonu (ICID), mevcut gıda üretiminin önümüzdeki 25 yıl içinde iki katına çıkması gerekeceğini tahmin etmektedir. ICID'in Gıda için Su Vizyonunu uygulamaya

yönelik stratejisi, sulu tarımın gelecekteki dünya gıda tedarikinin sürdürülmesindeki rolüne ilişkin aynı FAO tahminine atıfta bulunmaktadır (FAO 2003).

Sulama yoluyla gıda üretiminin arttırılması çok önemlidir. Sulanan alanların ve su kaynaklarının genişletilmesi ve mevcut su kaynaklarının kullanım etkinliğinin arttırılması gerekmektedir. Fakat Sulu tarımın verimli bir şekilde genişletilmesi ve yoğunlaştırılması yoluyla gıda üretimi ihtiyaçlarının karşılanamaması, arazi kaynakları üzerindeki baskıyı artıracak ve çevresel bozulma sürecini hızlandıracaktır (Carruthers, 1997).

8.1.1. Dünyada, Avrupada ve Türkiye'de Sulama

Dünyadaki su miktarının yaklaşık %97,5'i tuzlu sulardan oluşmaktadır. Geriye kalan %2,5'i tatlı sulardır. Bu suyunda yaklaşık %68,7'si buzullarda, %30,1'i yeraltında ve %1,2'si de yüzeyde bulunur (Şekil 8.1). Yüzey suyu yaşamın hemen hemen tüm su ihtiyacını karşılamaktadır.



Credit: U.S. Geological Survey, Water Science School. https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school
Data source: Igor Shiklomanov's chapter "World fresh water resources" in Peter H. Gleick (editor), 1993, Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources. (Numbers are rounded).

Şekil 8.1. Dünya su potansiyeli

Kaynak:https://www.usgs.gov/media/images/distribution-water-and-above-earth#:~:text=About%2071%20percent%20of%20the,in%20you%20and%20your%20dog.

Günümüzde tarım, küresel olarak çekilen tüm tatlı su miktarının (ortalama olarak) yüzde 70'ini kullanmaktadır. Diğer sektörler olan evsel kullanım %11 ve endüstride kullanım %19 oranındadır. FAO'nun 2021 yılı verilerine göre dünya GENELİ sulamaya uygun hale getirilen toplam arazi alanı 352 milyon ha ile yaklaşık son 20 yılda %20'lik artışla dünya toplam ekim alanının % 22'sine ulaşmıştır (FAO 2023a). Dünya genelindeki bu 352 milyon ha sulanabilir arazinin kıtalardaki dağılımına baktığımızda Asya 248,2 milyon ha ile 1. Sıradadır. Kuzey ve orta Amerika 36,3 milyon ha ile 2. Sırada, 27.2 Milyon ha ile Avrupa 3. Sırada, Güney Amerika 19,3 milyon ha ile 4. Sırada, 17 milyon ha ile Afrika 5. Sırada ve son olarak 3,3 milyon ha ile Okyanusya 6.sıradadır (FAO 2023a).

Ülkemiz topraklarının da bulunduğu Avrupa kıtası 273 milyon ha ekilebilir araziye sahiptir. Bu miktarın yaklaşık %10'u yani 27.2 milyon ha'ı sulanabilir arazi büyüklüğünü oluşturmaktadır (FAO 2023a). EU-28 ülkelerine baktığımızda ise ekilebilir 166 milyon ha arazi varlığına sahiptir. Bu alanın % 11,3 ü yani 18,6 milyon ha'ı sulanabilir alandır. Sulamaya ise 10,2 milyon ha'ı açılmış durumdadır. Sulanabilir alanlarını sulamaya açan ülkelere baktığımzda % 77 ile Yunanistan ilk sırada gelmektedir. Önemli tarım alanlarına sahip İtalya % 72, Fransa % 51, İspanya % 43 oranında sulanabilir alanlarının sulamaya açmış durumdadır (EUROSTAT 2016). Sulamaya açılmış bu alanlarda ağaç meyveciliğinde önemli yetiştirici ülkeler göz önüne alındığında meyve ağaçlarının sulanma oranı %80, bağların sulanma oranı %30 civarındadır. Buğdayda bu değer %10 civarındayken, mısırda % 50'nin üzerindedir.

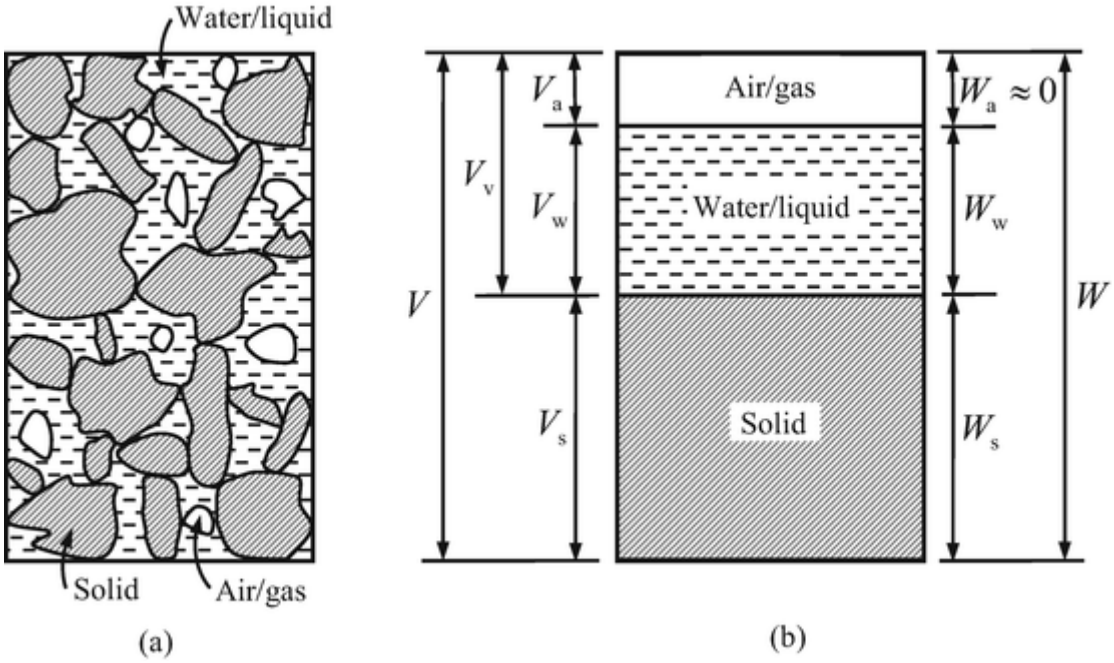
Türkiye'nin yüz ölçümü 78 milyon hektar olup, bu alanın 24 milyon hektarı tarım arazisidir. Gerçekleştirilen etüt çalışmalarına göre; halihazırdaki su potansiyeli ile sulanabilecek tarım arazisi miktarı 8,5 milyon hektar olarak hesaplanmıştır. 2019 yılı sonuna kadar 6,65 milyon ha arazi sulamaya açılmış olup sulanabilir arazilerini sulamaya açma oranı %78 olmuştur. Halen 1,85 milyon ha arazi için çalışmalar devam etmektedir (DSİ 2023).

Türkiye'nin yıllık ortalama yağış miktarı 574 mm olarak hesaplanmaktadır. Bu düşen yağışın yılda ortalama olarak 450 milyar m^3 suya karşılık geldiği söylenebilir. Türkiye'nin yerüstü suyu potansiyeli yılda ortalama toplam 94 milyar m^3 ve yapılan çalışmalar neticesinde belirlenen yeraltı suyu miktarımız da 18 milyar m^3'tür. Dolayısıyla Türkiyenin tüketilebilir toplam su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 milyar m^3 civarındadır. Bu suyun da 44 milyar m^3'ü sulamada, 13 milyar m^3'ü ise içme-kullanma ve endüstride olmak üzere toplam 57 milyar m^3'ü kullanılmaktadır (DSİ 2023).

8.2. TOPRAK VE SU

İyi bir kök gelişimi için toprakta yeterli bir hava-nem dengesi esastır. Bu dengenin iyi bir şekilde kurulması halinde üretim miktarı artar, dengenin bozulması halinde ise verimde ciddi kayıplar meydana gelir.

Toprak üç fazdan oluşan bir yapıdır. Bunlar katı, sıvı ve gazdır. Katı faz inorganik ve organik taneciklerden oluşur. Sıvı faz toprak suyunu, gaz faz ise toprak havasını ifade eder. Sıvı faz ve gaz fazı ise katı taneler arasında kalan boşluk hacmini oluşturur (Şekil 8.2a-2b).



Şekil 8.2. a) Toprakta üç fazın formu b) toprak faz diyagramı (source: Shukla 2017)

Toprak Bünyesi (toprak tekstürü): Toprağın inorganik kısmını oluşturan kil, silt ve kum gibi farklı irilikteki toprak gruplarının oransal miktarıdır. Bu grupların çapları 2 mm'den küçüktür. Killerin büyüklükleri 0,002 mm'den küçüktür. Mil tanelerinin büyüklüğü 0,002-0,05 mm arasındadır. Kum tanelerinin büyüklüğü ise 0,05-2 mm arasındadır. Killi topraklara ağır bünyeli, Kumlu topraklara hafif bünyeli, tınlı topraklara orta bünyeli toprak denilmektedir.

Toprak yapısı (toprak strüktürü): Toprağın katı fazını oluşturan toprak tanelerinin kümeleşmesi, dizilmesi ve gruplaşmasıdır. Toprağın su iletim ve geçirgenlik özelliği, su tutma kapasitesi, havalanma durumu, toprak işleme kolaylığı, bitki besin maddelerinin uygunluğu, mikroorganizma etkinlikleri, bitki kök gelişimi dolayısıyla toprak üretkenliği strüktür ile yakın ilişkilidir.

Alınmış bir toprak numunesine ilişkin katı, sıvı ve gaz fazları Şekil 1b'de şematize edilmiştir. Hacimler V ile ağrılıklar W sembolü ile gösterilmiştir. Toprağın fiziksel koşullarının ve özelliklerinin daha iyi tanımlanabilmesi için üç fazın birbirinden ayrıymış gibi yaklaşım

yapılması ve temel bazı fiziksel özelliklerin ve bunlar arasındaki ilişkilerin açıklanması gerekmektedir.

Katı tanecik yoğunluğu (toprağın özgül ağırlığı): Belli hacimdeki toprak katı kısımları ağırlığının eşit hacimdeki saf suyun ağırlığına oranına denir. Toprağın yoğunluğunu ifade eden bir ölçüdür.Özgül ağırlık, toprağın mineral bileşimi ve kılcal suyun varlığı gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir.

Toprak hacim ağırlığı: Kurutulmuş (Fırın kuru) toprak örneği ağırlığının örnek hacmine oranıdır. Hacim ağırlığı, toprağın sıkılığı, nem içeriği ve mineral bileşimi gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Düşük hacim ağırlığı, hafif, gevrek toprakları; yüksek hacim ağırlığı ise sıkışmış, yoğun toprakları gösterir.

Porozite: Porozite, toprak içindeki boşlukların oranını ifade eder ve toprak partiküllerinin arasındaki boşluk miktarını ölçer. Genellikle yüzde (%) cinsinden ifade edilir. Porozite, toprak suyunun depolanması ve hareket etmesi için önemlidir. Yüksek porozite, daha fazla suyun ve hava hareketinin mümkün olduğu daha gevşek bir toprak yapısını gösterir.

Gözenek oranı: belli bir toprak kütlesi içindeki gözenek hacminin (su + hava), kütlenin katı kısım hacmine oranıdır.

Saturasyon derecesi: Saturasyon, toprak porozitesinin suyla ne kadar doldurulduğunu ifade eder. Genellikle yüzde (%) cinsinden ifade edilir. Saturasyonun yüzde 100 olduğu durumda, toprak tamamen suyla doldurulmuş demektir.

Toprak neminin ölçülmesi ve miktarının belirlenmesi, sulamanın zamanının planlanmasında ve verilecek su miktarının eldesi için çok önemlidir. Toprak nemi sulama açısından farklı şekillerde açıklanabilir.

Gravimetrik nem: Belli bir toprak kütlesi içerisindeki suyun kütlesidir.

Hacim nem: Belli bir toprak kütlesi içerisindeki suyun hacminin, örneğin toplam hacmine oranıdır.

Derinlik nem: Birim toprak derinliğindeki su derinliğini ifade eder.

Toprak nem gerilimi : Toprak suyunun toprak taneleri tarafından tutulma gücüdür. Toprakta nem azaldıkça toprağın suyu tutma gücü artar.

Sulama uygulamaları açısından, toprağın belli noktalarda suyu tutma kabiliyetini belirlenmesi gerekmektedir. Toprak nem sabiteleri adı verilen ve tamamıyla toprağın fiziksel özellikleri ile

ilgili olan ve bilimsel olarak kabul edilmiş bu noktalarda nem farklı tansiyonlarda tutulur. Bu bağlamda toprak suyunun 4 farklı tansiyonda tutulduğu açıklanır, Bunlar;

1. Doyma Noktası: Doyma noktası, toprak nem içeriğinin üst sınırıdır. Topraktaki tüm gözenek boşluklarının suyla dolduğu ve toprağın daha fazla tutamadığı noktadır.

2. Tarla Kapasitesi: Tarla kapasitesi, toprağın yerçekimi kuvvetine karşı tutabileceği maksimum su miktarıdır. Başka bir deyişle, toprağın nemi yerçekimine karşı 1/3 atm basınç altında tuttuğu noktadır. Tarla kapasitesi önemli bir parametredir, Bitki su kullanımı için en üst nem noktasıdır.

3. Solma Noktası: Solma noktası, toprağın suyu ortalama olarak 15 atm basınç tuttuğu ve bitkilerin onu bünyesine alamadığı nem seviyesidir. Bitki su kullanımının alt sınırını temsil eder. Bu koşulda toprak nemi arttırılsa bile, bitkilerin solduğu ve fizyolojik ölümlerin gerçekleştiği nokta olarak tanımlanır.

4. Fırın kuru: Fırın kuru, tüm nem içeriğini gidermek için bir fırında ısıtılarak tamamen kurutulduğunda toprağın durumunu ifade eder. Topraktaki tüm suyun buharlaşmasını sağlamak için 24 saat boyunca 105 ° C sıcaklıkta kurutma yapılır. Fırın kuru toprak, çeşitli toprak nemi özelliklerini hesaplamak için referans olarak kullanılır.

Toprak nemi sabitelerinden sonra bunlarla ilişki olan bazı tanımlamaları yapmak gerekmektedir.

Kullanılabilir Su: Bitkiler tarla kapasitesi ile solma noktası aralığındaki sudan yararlanabilir. Kullanılabilir su, toprakta o andaki mevcut nem ile solma noktası arasındaki farktır.

Kullanılabilir su tutma kapasitesi: Kullanılabilir su tutma kapasitesi, tarla kapasitesi ile solma noktası arasındaki nem açığıdır.

Higroskopik su: Toprak tarafından bitkilerin kökleri ile alamayacağı kadar sıkı bir şekilde tutulan toprağın nem içeriğidir. Esasen bitki kullanımı için kullanılamaz. Higroskopik su, Solma noktası ile fırın kuru arasındaki bölgede toprakta bulunan nemdir.

8.2.1. Toprak nemi ve ölçülmesi

Toprak nemi, sulama çalışmalarında bitki gelişimi açısından önemli bir faktördür. Nemin doğru bir şekilde belirlenmesi sulama zamanının planlanmasını ve sulama suyu miktarının doğru tespit edilmesini sağlayacaktır. Toprak nemini ölçmek için çeşitli yöntemler ve araçlar vardır. Toprak nemini ölçmek için bazı yaygın teknikler şunlardır:

1. **Gravimetrik Yöntem**: Bu yöntemde, toprak örnekleri burgu yardımı ile her 30 cm'de bir alınır (Şekil 8.3), tartılır, mevcut nemi yok etmek için bir etüvde kurutulur. Daha sonra nem içeriğini belirlemek için kuru hali yeniden tartılır. Bu yöntem en doğru sonuçları verir ancak yöntem zaman alıcı ve iş gücü gerektirir.

Şekil 8.3. a-Örneğin burgu ile alınması, b-örneğin etüvde kurutulması (Foto:Erhan GÖÇMEN)

2. **Tansiyometreler:** Tansiyometreler, bir bitkinin kökleri aracılığıyla topraktan suyu alması için gereken enerji olan toprağın matrik potansiyelini ölçen aletlerdir. Aletin ucunda geçirgen bir uç vardır. Üstten saf su doldurulur. Sızdırmaz bir tıpa ile sıkıca kapatılır. Aletin gövdesini oluşturan şeffaf borunun üst kısmında yer alan monometre ile toprak matriks potansiyeli santibar veya kilopascal cinsinden ölçülür. Bitkilerin suya erişebileceği aralıktaki toprak nemini ölçmek için uygundurlar. Yaklaşık 85 cb civarına kadar ölçüm yapabilir. Çeşitli derinliklerde üretilirler (Şekil 8.4).

Şekil 8.4. Tansiyometre (Fotoğraf:Erhan GÖÇMEN)

3. **Elektriksel direnç blokları (Watermark):** Çalışırken, toprak nemi sürekli olarak emilir veya serbest bırakılır ve elektrotlar arasındaki elektrik direnci değişir. Bu direnç bir okuyucu sayesinde okunur ve toprağın matriks potansiyeli cbar veya Kpa cinsinden belirlenir (Şekil 8.5). Tansiyometreden en büyük avantajı 200 cb'a kadar ölçüm yapılabilmesidir. Çeşitli derinliklere yerleştirilebilirler.

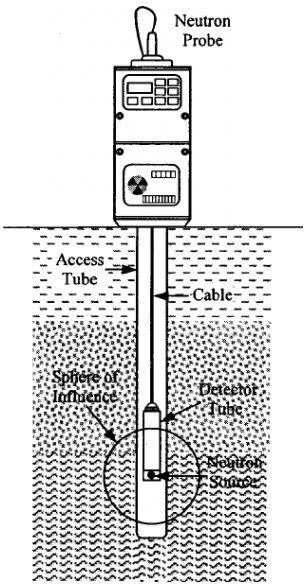
Şekil 8.5. Elektriksel direnç blokları (Watermark) Foto:Erhan GÖÇMEN

4. **Zaman Alanı Reflektometrisi (TDR):** TDR, toprağa yerleştirilen bir probdan elektromanyetik dalgalar gönderip ve dalgaların geri yansıması için geçen süreyi ölçen aletlerdir (Şekil 3.6). Toprağın nem içeriği bu dalgaların gidiş-dönüş hızını etkileyerek ölçüm yapılır. İstenilen derinliklere yerleştirilirler.

Şekil 8.6. TDR toprak nem ölçer.(Kaynak : *Photo by Maja Krzic, University of British Columbia, Vancouver BC. Erşim:* https://labmodules.soilweb.ca/time-domain-reflectometry/ *13.10.2023)*

5. **Frekans Alanı Reflektometrisi (FDR):** FDR, TDR'ye benzer ancak farklı frekanslarda çalışır. Toprağın dielektrik sabitini ölçer. Ölçümü yapılacak derinliklere yerleştirlirler.

6. **Nötron Metre**: Bu araçlar, toprak nem içeriğini tahmin etmek için nötron saçılımını kullanır. Cihaz bir kablo ucuna bağlı bir radyoaktif madde ve kontrol ekranından oluşmaktadır (Şekil 8.7). Toprak içerisine yaklaşık 6 cm çapında delikler açılır ve içerisine istenilen uzunlukta nötron geçirgenliği yüksek alüminyum tüpler yerleştirilir. Kablo sayesinde istenilen derinliğe indirilen radyo aktif madde sayesinde kantrol ekranı aracılığıyla çalıştırılıp nötron yayılımı başlatılır. Nötronlar toprak içerisinde su içerisindeki hidrojenlere çarparak yavaşlar. Yavaşlayan bu nötronlar tekrar geri yansıtılır ve dedektör tarafından sayılır. Okuma yapılmadan su dolu bir tank içerisinde kalibre edilen cihaz gelen verileri buna göre değerlendirerek nem miktarını verir. Son derece hassastır ve diğer nem sensörleriyle karşılaştırıldığında toprak içerisinde daha büyük bir alanda ölçüm yaptığından daha doğru sonuçlar verir. Ancak radyasyon kullanımı nedeniyle tipik olarak özel eğitim ve lisans gerektirirler.



Şekil 8.7. Schematic of neutron gauge (Kaynak:Li et al 2003)

7. **Uzaktan Algılama**: Uydular ve havadan görüntüler gibi uzaktan algılama teknolojileri, geniş alanlardaki toprak nemini tahmin etmek için kullanılabilir. Geniş alanlarda elde edilecek nem daha kısa zamanda ve düşük maliyetle elde edilebilir.

8.2.2. Toprakta Suyun Hareketi

Toprak içerisindeki boşlukların tamamen su ile dolu olduğu koşula doymuş koşullar denir. Ancak toprak profilinin tamamıyla su ile dolu olması mümkün değildir. Çünkü bir miktar hava sıkışması meydana gelmektedir. Ancak üst toprak profilinde tamamen doygun koşullar elde edilir. Akışın yönü, daha yüksek matriks potansiyeline sahip bir bölgeden, daha düşük matriks nem potansiyeline sahip bir bölgeye doğrudur.

Toprak içerisindeki boşlukların tamamen dolu olmadığı koşula doymamış koşul adı verilir.Bu koşullarda akışın yönü, daha düşük matriks potansiyeline sahip bir bölgeden, daha yüksek matriks nem potansiyeline sahip bir bölgeye doğrudur.

Sulama sırasında su infiltrasyon ile toprağa giriş yapar, yerçekimi ve kapillarite ile aşağı doğrultuda hareket eder. Sulama tamamlandıktan sonra üst toprak katmanından buharlaşma meydana gelmeye başlar. Bitkiler kökleri aracılığıyla bu üst katman altındaki (yaklaşık 15-45 cm) bölgedeki sudan yararlanırlar. Bu bölgede su hareketi köklere doğru ve çok az bir kısmı yukarı buharlaşma bölgesine doğrudur. İkincil kök bölgesinin olduğu 45-90 cm civarındaki nemin büyük bölümü köklere ve aşağıya doğrudur. Çok azı daha alt katmana sızabilir. Suyun bitkiler tarafından alınmasını sağlayan durum yüksek ozmotik basınçtır. Yüksek ozmotik basınç

toprak geriliminden büyük olursa bitki kılcal kökleri aracılığıyla suyu bünyesine alır. Tersi durumda toprak gerilimi ozmotik basınçtan büyük olduğunda bitki solmaya başlayacaktır.

İnfiltrasyon: Suyun toprak yüzeyinden toprak içerisine doğru hareketine denir. Birim zamanda toprağa giren su miktarına infiltrasyon hızı denir.

İnfiltrasyon hızına etki eden etmenler:

- Toprak bünyesi,
- Toprak yapısı,
- Gözenek büyüklük dağılımı ve geometrisi,
- Toprağın organik madde içeriği,
- Bitki örtüsü,
- Kil ve diğer kolloidlerin şişme dereceleri,
- Toprağın başlangıçtaki nem durumu,
- Topoğrafik durum (toprak yüzey şekli),

Hafif bünyeli topraklarda infiltrasyon hızı yüksek, ağır bünyeli topraklarda ise düşüktür.

İnfiltrasyon hızı çift silindir infiltrometre testleri ile belirlenmektedir. Testte kullanılacak materyal iç içe geçmiş iki silindirdir (Şekil 8.8). Dış silindir 40 cm çapında, iç silindir 20-25 cm çapındadır. Yükseklikleri 40 cm ‘dir. Silindirler yaklaşık 15-20 cm çakılır. Daha sonra su ile doldurulur. İçteki silndirden bir kronometre ile belli zmaanda azalan su miktarı tespit edilir ve kaydedilir. Azalma oldukça silindirler içerisinde sürekli su eklenir ve kaydedilir. Bu ölçüm en az 5 saat sürer. Örneğin 10 mm/h bir su alma hızı, toprak yüzeyindeki 10 mm'lik su yüksekliğinin infiltrasyonunun bir saat süreceği anlamına gelir.

Şekil 3.8. İnfiltrasyon testinin yapılmasıv (Kaynak: https://americangeoservices.com/soil-infiltration-testing.html, Erişim:29.09.2023)

8.3. BİTKİ SU İHTİYACI

Bitkilerin ihtiyaç duydukları suyu yağışlarla karşılayamadıklarında geri kalan miktar sulama ile sağlanır.

Bitkilerin sulama suyu ihtiyacını belirleyebilmek için;

- Bitki su tüketiminin,
- Etkili yağışın,
- Sulama randımanının belirlenmesi gerekmektedir.

Bitki su tüketimi (evapotranspirasyon): Toprak yüzeyinden olan buharlaşma (evaporasyon) ve bitki yapraklarından olan terleme (transpirasyon) miktarlarının toplamının mm cinsinden ifadesidir.

Bitkinin tükettiği su miktarı, toprağa, bitki cinsine ve iklim koşullarına göre değişir. Bazı iklim parametreleri ve bitki su tüketimi arasında sıkı bir ilişki vardır.

- Sıcaklık arttıkça, bitki su tüketimi artar.
- Rüzgar hızı arttıkça, bitki su tüketimi artar.
- Güneşlenme süresi arttıkça, bitki su tüketimi artar.
- Bağıl nem arttıkça, bitki su tüketimi azalır.

Toprak özellikleri açısından değerlendirildiğinde özellikle tarla kapasitesinin üstündeki nem değerlerinde buharlaşma daha da artacağı için bitki su tüketimi artacaktır. Aynı şekilde tarla kapasitesi değerlerinin altındaki nem değerlerinde de toprak matriks potansiyeli artacağı için buharlaşma miktarları da azalacaktır. Arazinin işlenmesi bitki su tüketimini arttıracaktır. Arazinin bitki örtüsüyle kaplı olması gölgeleme yapacak ve buharlaşma miktarını düşürecektir.

Örneğin yaprak büyüklüğü ve gözenek sayısı bitki su tüketimini etkiler. Bitki gelişme devreleri de bitki su tüketiminde önemli rol oynar. Bitki büyüdükçe, yapraklardan olan terleme miktarı artmaktadır. Fakat bitki geliştikçe gölgelenme oranı artacağı için toprak yüzeyinden olan buharlaşma miktarı düşmektedir. Bitkinin ilk gelişme dönemlerinde buharlaşma terlemeye göre oldukça fazladır. Bitki örtüsünün gelişmesiyle terleme oranı artmakta ve en yüksek değere ulaştığında terleme buharlaşma değerlerinden daha fazla ölçülmektedir. Yetişme periyodu uzunluğu bitki su tüketimini etkilemektedir.

Doğrudan ölçüm yöntemleri

Doğrudan ölçme yöntemleri daha sağlıklı sonuç vermesine karşın hem oldukça pahalı hem de zaman alıcıdır. Bu nedenle, bitki su tüketiminin doğrudan ölçülmesi ancak iklim verilerinden tahmin eşitliklerinin kalibrasyonu ve yöresel bitki katsayılarının bulunması amacıyla yapılmaktadır (Güngör ve ark. 2004).

- Tank ve lizimetreler
- Tarla deneme parselleri
- Toprakta nem azalmasının kontrolü
- Havzaya giren ve çıkan akışın ölçülmesi

İklim verilerinden tahmin yöntemleri

Doğrudan ölçüm yöntemlerinin pahalı çok zaman alıcı olması tahmin yöntemlerinin gelişmesine neden olmuştur. Bir kaç iklim verisinin kullanılıp bitki su tüketimini tahmin eden yöntemler olduğu gibi çok fazla iklim verisinin kullanıldığı doğruluğu daha fazla olan karmaşık yöntemler de mevcuttur.

Bitki su tüketiminin tahmininde önce bir kıyas bitki su tüketimi belirlenir. Arkasından kıyas bitki su tüketimini bitkisel özellikler dikkate alınarak elde edilen bitki katsayısı (k_c) değerleri ile çarpılarak düzeltilir.

$$ET=k_c x ET_0 \qquad 8.1$$

Burada,

ET: Bitki su tüketimi mm/gün

k_c=Kc deneysel olarak elde edilen bitk katsayısı,

ET_0=Kıyas bitki su tüketimi mm/gün'dür.

Kıyas bitki su tüketimi: İyi sulanan, aktif olarak büyüyen bir referans bitkiden (çayır bitkileri) meydana gelebilecek kıyas bitki su tüketimini ifade eder.

Uygulamada pek çok yöntem ve ampirik eşitlik olmasına rağmen en çok kullanılanlar A sınıfı kap buharlaşma yöntemi ve Penman-Monteith yöntemidir.

Kıyas bitki su tüketimi araziye yerleştirilen buharlaşma kaplarından da belirlenebilmektedir. Kaptan meydana gelen buharlaşmaya neden olan tüm iklim parametreleri aynı zamanda bitki su ketimine etkili olduğu yaklaşımı yapılmaktadır. Yöntem ile elde edilen sonuçlar oldukça sağlıklıdır. Elde edilen günlük buharlaşma değerleri yöre koşullarına göre elde edilen bir buharlaşma kabı katsayısı ile düzeltilerek bitki su tüketimi elde edilir.

$ET=k_pxE_p$ 8.2

Burada,

ET: Bitki su tüketimi mm/gün

K_p=Yöre koşullarına göre elde edilen kap katsayısı,

E_p=Kaptan olan günlük buharlaşma mm/gün'dür.

A sınıfı buharlaşma kabı, 121 cm çapında, 25,5 cm yüksekliğinde, 2 mm galvanizli saçtan yapılmış üstü açık bir silindirden oluşmaktadır. Kap içerisindeki suyun hayvanlar tarafından içilmesini önlemek amacıyla kabın üzerine tel bir kafes yerleştirilir. Kaptaki su düzeyi değişimleri günlük olarak derinlik ölçme aracı ile ölçülür. Şekil 8.9'da alanda bulunan A sınıfı buharlaşma kabı görülmektedir.

Şekil 8.9. A sınıfı buharlaşma kabı. (Fotoğraf: Erhan GÖÇMEN)

İklim verilerinden yararlanılarak referens bitki su tüketiminin tahmin edilmesinde, Allen ve ark. (1998) tarafından Penman-Monteith yönteminin revize edilmesi ile elde edilen ve FAO-56-PM olarak tanımlanan yöntem aşağıda verilmiştir.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta + (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad 8.3$$

Eşitlikte;

ET_0 : Referens bitki su tüketimi (mm/gün),

R_n : Bitki yüzeyindeki net radyasyon (MJ/m^2/gün),

G : Topraktaki ısı akımı (MJ/m^2/gün),

T : Ortalanma sıcaklık (^{o}C),

u_2 : 2 metre yükseklikteki rüzgâr hızı (m s^{-1}),

e_a : Doygun buhar basıncı (kPa),

e_d : Gerçek buhar basıncı (kPa),

Δ : Doygun buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa/^{o}C),

γ :Psikometrik sabite (kPa/^{o}C) değerlerini göstermektedir.

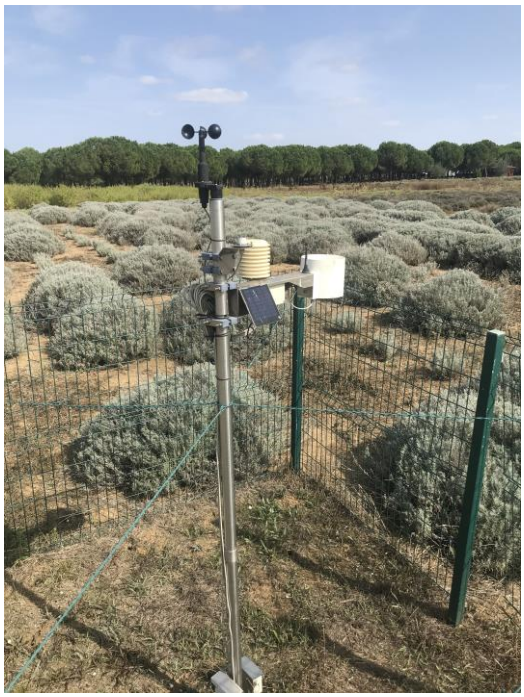
Sulama modelleri ve teknolojileri

Sulama modeline bir örnek, FAO'nun Toprak ve Su Geliştirme Bölümü tarafından geliştirilen ücretsiz CROPWAT 8.0 yazılımıdır. Model, toprak, iklim ve ürün verilerine dayalı olarak bitkinin su ve sulama gereksinimlerinin hesaplanmasına yönelik bir bilgisayar programıdır.

CROPWAT'ta kullanılan tüm hesaplama prosedürleri, FAO'nun Sulama ve Drenaj Serisinin No. 56 "Bitki Evapotranspirasyonu - Bitki su gereksinimlerinin hesaplanması için kılavuzlar" ve No. 33 "Su verim tepkisi" başlıklı iki yayınına dayanmaktadır.

CROPWAT 8.0, bitki. toprak ve meteorolojik verilerini içerir. İklim verileri mevcut değilse, bunlar dünya çapında 5.000'den fazla istasyon için ilgili iklim veri tabanı CLIMWAT'tan elde edilebilir. Bitki su tüketiminin hesaplanmasında yukarıdaki eşitlikteki formül kullanılmaktadır. Program ile bitki su tüketimine ilişkin sonuçlar çok hızlı değerlendirilir (FAO, 2023b).

Ayrıca sıcaklık, güneşlenme, bağıl nem, rüzgar hızı ve yağış gibi meteorolojik verileri çalışma alanında ölçüp Penman-Monteith eşitliği sayesinde kıyas bitki bitki su tüketimini anında hesaplayıp tüm sonuçları internet üzerinden anlık olarak ileten akıllı meteoroloji istasyonlarından yararlanılmaya başlanmıştır. Bilgisayar, tablet veya telefon üzerinden bu veriler kolaylıkla izlenebilmektedir. Bahsedilen meteoroloji istasyonu Şekil 8.10'da gösterilmiştir.



Şekil 8.10. Otomatik akıllı meteoroloji istasyonu

Etkili Yağış: Büyüme mevsimi boyunca bitkilerin su ihtiyacını bir kısmını karşılamak için faydalandığı yağış miktarı olarak tanımlanır. Kök bölgesinin altına sızma ve yüzey akış olmaksızın, toprakta depolanıp bitkiler tarafından etkili bir şekilde kullanılabilen yağış miktarını hesaba katar. Etkili yağış, tarımsal sulama planlamasında, verilecek sulama suyunun miktarının belirlenmesi için dikkate alınması gereken önemli bir faktördür.

Sulama randımanı: Sulama randımanı, bitki büyümesini sürdürmek için suyun tarımda ne kadar etkili kullanıldığını ifade eder. Bir sulama sisteminin suyu bitkilere ne kadar iyi ulaştırdığının ve bitkilerin bu suyu ne kadar verimli kullandığının bir ölçüsüdür.

Sulama randımanını etkileyen tüm randımanlar aşağıda açıklanmıştır.

Bunlar,

İletim ve dağıtım sistemi randımanı: Sulama altyapısının durumu ile alakalıdır. Suyun kaynaktan alınıp alana götürülmesinde bakımı iyi yapılmış ve uygun şekilde tasarlanmış bir sulama sisteminde iletim ve dağıtım randımanı yüksek olur.

Su uygulama randımanı: Suyun alanda ne kadar eşit ve etkili bir şekilde dağıtıldığıyla ilgilidir. Kök bölgesinde depolanan suyun tarlaya verilen suya oranıdır. Homojen olmayan dağıtım, bazı bölgelerde aşırı sulamaya, bazılarında ise yetersiz sulamaya neden olabilir. Basınçlı sulama yöntemleri su uygulama randımanını arttırır.

Su kullanım randımanı: Su kullanım verimliliği, bitkilerin kendilerine sağlanan suyu ne kadar etkili kullandıklarını ifade etmektedir. Diğer bir ifade ile bitkinin kullandığı suyun kök bölgesine uygulanan su miktarına oranı biçiminde tanımlanır. Kuraklığa dayanıklı bitkilerin seçilmesi veya organik madde ilavesi yoluyla toprak kalitesinin iyileştirilmesi, su kullanım verimliliğini artırabilir.

Toplam sulama randımanı: Tüm randımanların birlikte ifadesidir. Bitkinin su tüketiminin kaynaktan saptırılan suya oranı şeklinde ifade edilir.

Sulama Stratejileri

Artan nüfusun sayesinde gıda ihtiyacıda artmaktadır. Tarımsal sulama ile bitkisel üretimde artışlar sağlanmaktadır. Ancak su kaynaklarınında büyük bir baskı altında olduğuda açıktır. Sulu tarımın, verimi maksimuma çıkarmaya yönelik biyolojik hedeften ziyade, net faydaların maksimuma çıkarılması gibi ekonomik hedefe dayalı yeni bir yönetim paradigmasını benimsemesi gerekecektir (English et al. 2002). Dolayısıyla bazı sulama stratejileri ortaya çıkmıştır.

Tam sulama: Tam sulama, bitkiyi strese sokmaksızın bitki su ihtiyacının tamamının karşılandığı bir stratejidir. Tam sulamada amaç, bitkiler için toprakta yeterli nem bulundurmak için toprak nemini tarla kapasitesinde veya yakınında tutmaktır. Bu, bitki büyümesini ve verim potansiyelini en üst düzeye çıkarmak için yeterli su sağlamak anlamına gelir. Su miktarının bol olduğu bölgelerde uygulanır.

Tam sulamanın temel özellikleri:

- Su, bitkilerin tüm su gereksinimlerini karşılayacak miktarlarda sağlanır.
- Toprak nemi, tarla kapasitesinde veya yakınında tutularak optimum yetiştirme koşulları sağlanır.
- Tam sulama, genellikle verimi en üst düzeye çıkarmanın çok önemli olduğu yüksek değerli Bitkiler için kullanılır.
- Su ve enerji kullanımı en üst düzeydedir.

Tam sulamayı daha iyi anlamak için yapılan bilimsel çalışmalara bakmak yeterlidir. Örneğin buğdayda tam sulama koşullarında en yüksek ortalama tane verimi 830 kg/da elde edilirken en düşük verim ise 290 kg/da ile sulama yapılmayan (sadece yağmurla beslenen) uygulamadan elde edilmiştir. Verim yaklaşık 3 kat artmıştır (Sezen ve Yazar, 2006). Al-Ghobari ve Dewidar, (2018) iki farklı yöntemde tam sulamanın farklı kısıtları altında yürüttükleri araştırmalarında maksimum domates verimi hem yüzey hem de yüzey altı damla sulamada tam sulama

uygulamasından elde edildiğini açıklamışlardır. Tüm uygulamalarda yüzey damla sulama yöntemine kıyasla yüzey altı damla sulama yönteminde su tasarrufunun daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Kısıtlı sulama: Su kaynaklarının az olduğu durumlarda bir bitkinin su ihtiyacını tam olarak karşılamayıp verimde kabul edilebilir bir azalma meydana getiren bir sulama stratejisi olarak tanımlanabilir. Su tasarrufu yapmak amacıyla bitkinin tam sulama düzeyinde eksiklik yaratılabilir. Buradaki düşünce uygulanan sulama suyu miktarı ile elde edilen verim arasında ilişki kurmak ve su kullanım etkinliğinin en yüksek olduğu koşulu bulmaktır. Böylece hem su tasarruf sağlanır hemde az bir verim kaybı ile optimum verim elde edilir.

Kısıtlı sulamanın temel özellikleri:

- Genellikle su kıtlığı olan veya su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde kullanılır.
- Su, bilinçli olarak tam sulamanın altında bir seviyede uygulanır ve kontrollü bir su açığı yaratılırr.
- Ürüne zarar verebilecek aşırı stresi önlemek için dikkatli izleme ve karar verme gereklidir.

Yapılmış bilimsel çalışmalar kısıtlı sulamayı daha net bir şekilde ortaya koyar. Örneğin Tejero ve ark. (2011) tam ve kısıtlı sulama altında yetiştirilen narenciye bahçelerinde yaptıkları araştırmada, tam sulanan bitkilerde benzer verim sağlamak için çiçeklenme veya meyve büyüme dönemlerinde en stresli kısıtlı sulamanın uygulanmaması gerektiğini belirtmişlerdir. 1000 m^3 ha^{-1}'e kadar su tasarrufu sağlayan kısıtlı sulama stratejileri ile, tam sulamaya çok yakın verimlerle elde edildiğini belirtmişlerdir. Karam ve ark (2011) yarı kurak iklimde damla sulama ile sulanan patlıcanların su stresine tepkisini incelemişlerdir. Yetersiz sulama nedeniyle taze verimde meydana gelen azalma, ortalama meyve ağırlığı ve su verimliliğindeki artışla telafi edildiğini belirtmişlerdir. Su kaynaklarının sınırlı olduğu durumlarda, çiçeklenmeden önce ve bitki yaprak gelişimini tamamladıktan sonra kısıtlı sulama yapılması, verimde en az azalmaya yol açacağını belirtmişlerdir.

Destekleme sulama: Yağışın normal bitki büyümesi için yeterli nemi sağlayamadığı durumlarda verimi artırmak ve dengelemek için bitkilere sınırlı miktarda sulama suyu uygulamasının yapılmalıdır. Su kıtlığı esas olarak ilkbaharda ekilen bitkileri ve sığ topraklarda yetişen bitkileri etkilediğinden her ikisi de ek sulama gerektirebilir (Debaeke and Aboudrare, 2004) .Özellikle kritik bitki büyüme aşamalarında destekleme sulama, bitki verimini ve su verimliliğini artırabilir.

Destekleme sulamanın temel özellikleri:

- Doğal yağışı tamamlar ve mevsimsel ve hava değişikliklerine göre ayarlanarak gerektiğinde kullanılır.
- Kurak dönemlerde kuraklık stresini ve ürünl kıtlığını önlemeye yardımcı olur.
- Destekleme sulama, yağışlı dönemlerde aşırı sulamayı önlediği için tam sulamaya kıyasla su tasarrufu sağlayabilir.
- Değişken yağış düzenine veya sınırlı su kaynaklarına sahip bölgelerde yaygın olarak kullanılır.

Destekleme sulama ile yapılmış çalışmlara bakıldığında yağmur suyuyla beslenen koşullar altında yetiştirilen meyve ağaçlarıdan şeftali (Oweis ve Hachum, 2012) ve zeytinde yapılan destekleme sulama (Razouk ve diğerleri, 2013) meyve verimini ve meyve kalitesini arttırmıştır. Ayrıca zeytin ağaçlarında destekleme sulama yağ içeriğini etkilememiş ve su kullanım verimliliği artmıştır. Zegbe ve Servin-Palestina (2021) Kaktüs armut ağaçlarının farklı çeşitlerinde 3 yıl yürüttükleri çalışmalarında meyve verimi, ortalama meyve kütlesi, pazarlanabilir meyve, su kullanım verimliliği, sulama suyu kullanım verimliliği ve su verimliliği Destekleme sulama ve Tam sulama altında sulanan bitkiler arasında benzer olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, Tam sulamaya kıyasla Destekleme sulama uygulaması, ortalamada tüm çeşitlerde %51-52 oranında su tasarrufu sağladığını bildirmişlerdir. Oweis ve ark. (2020) Akdeniz koşullarında mercimeği destekleme sulamanın 3 farklı oranı ile ve sulamasız koşulda yetiştirmişlerdir. Sonuçlar, artan destekleme sulama suyu miktarı ile mercimek tanesi ve biyokütle veriminin arttığını göstermiştir. Yağmurla beslenen koşullar altında 1,04 t ha^{-1} olan ortalama tahıl verimi 1/3 DS'da 1,42 t ha^{-1}, 2/3 DS'da 1,69 t ha^{-1} ve tam DS'da 1,81 t ha^{-1} olmuştur. Çalışmanın sonuçları, 2/3 destekleme sulama seviyesinin hem tahıl hem de biyokütle için maksimum su verimliliğini sağladığını gösterdiği açıklanmıştır.

Özetle, tam sulama, Bitkilere ihtiyaç duydukları tüm suyu sağlamayı, kısıtlı sulamanın belirli hedeflere ulaşmak için su kaynağını stratejik olarak azaltmayı ve destekleme sulama, optimum toprak nem seviyelerini korumak için doğal yağışı desteklemeyi amaçlar. Sulama yaklaşımının seçimi, Bitki türü, yerel iklim, su mevcudiyeti ve Bitki üretimi ve kalitesi için belirli hedefler gibi faktörlere bağlıdır.

8.4. TARIMSAL SU DAĞITIMI VE TEKNOLOJİLERİ

8.4.1. Sulama suyunun alana iletilmesi ve alanda dağıtılması

Akarsu, baraj, gölet, kuyu gibi yapılardan suyun alınarak gerekli alanlara iletilmesini ve dağıtılmasını sağlayan yapılara su iletim ve dağıtım sistemi adı verilir.

Su iletim ve dağıtım sistemleri;

- Açık kanal sistemleri
- Kanaletler
- Boru sistemler olarak sınıflandırılır.

Sistem, bitkilerin ihtiyacını tam olarak karşılayacak hacimde suyun, erozyona oluşturmadan ve yüksek randımanlı bir biçimde uygulamalıdır.

Açık kanal sistemleri: Toprak ve beton kaplamalı kanallar olarak yapılırlar. Genelde trapez kesitli olarak üretilirler.

Suyun yerçekimi iletildiği bu sistemlerde

- İletim kanalı,
- Ana kanal,
- Sekonder kanal,
- Tersiyer kanal ve
- Tarla içi su iletim kanalı bulunmaktadır.

İletim kanalı: Sulama suyunu depolama yapısından alarak ana kanala ileten kanaldır. Bu kanaldan sulama yapılmaz.

Ana kanal: Sulama suyunu sulama alanı içinde taşıyan ve sekonder kanallara ileten kanaldır (Şekil 8.11). Tesviye eğrilerine paraleldir. Ana kanalda akan suyun hızı tıkanma ve sedimantasyon olmaması için 0.30 m/s den küçük, oyulma ve aşınma oluşturmaması açısından 2.4 m/s nin üzerinde olmamalıdır. Ana kanalın boyu 100 km ye kadar olabilir. Ana kanal eğimi çok küçük 0.0002-0.0005 arasında değişen küçük bir değerdir.

Şekil 8.11. Ana kanal (Kaynak: https://www.dsi.gov.tr/Haber/Detay/6932 Erişim 20.10.2023)

Sekonder kanal: Suyu ana kanaldan alıp tersiyerlere ulaştırır. Sulama alanında eş yükseklik eğrilerine dik olarak yol alır. Kanal aralıkları 5-6 km civarında olabilir. Kanal eğimleri 0.0007'nin altında olmalıdır.

Tersiyer kanal: Yedek kanaldan aldığı suyu sulama alanına ileten kanaldır. Eş yükseklik eğrilerine paraleldir. Eğimi 0.0002-0.0005 arasında değişir. Tersiyerler arası mesafe 300-400 m'dir. Tersiyerlerin uzunlukları 2-3 km kadar olabilir. Bir tersiyer kanal en fazla 1200 dekar sulama alanına hizmet eder. Tersiyer üzerinde 200-250 m'de bir priz yeri olur. Prizden alınan su, araziye veya tarla başı kanalına verilir.

Tarla içi su dağıtım ve iletim yapıları: Tersiyer prizinden suyu alıp tarla içinde dağıtan kanallardır. Çiftçi tarafından inşa edilir. En fazla 500 m boyundadır. Aralıkları ise 200 m kadardır.

Kanalet sulama sistemleri: En kesiti eliptik veya yarım daire şeklinde olan prefabrike sulama kanallarıdır (Şekil 8.12).

Şekil 8.12. Kanalet sistemi

Borulu sulama sistemleri: Borulu sulama sistemleri toprak altına gömülü düşük basınçlı sistemlerdir. Sulama suyu kaynaktan araziye getirilmesi gömülü bir ana boru hattı ile sağlanır ve gömülü lateral boru hatlarıyla tarla parsellerine dağıtılır. Tarla başında su, baca adı verilen yapılarla toprak yüzeyine çıkarılır. Arazi kaybı ortadan kalkar. Sistem basınçlı olduğundan su bayır yukarı eğimde de iletim sağlanır. Boru hatlarında sızma ve buharlaşma kayıpları yok denecek kadar azdır. Su iletim randımanı %100'e çok yakındır. Şekil 8.13'te sulama suyu iletim hattının yapımı görülmektedir.

Şekil 8.13. Kapalı sulama suyu iletim hattı.
(Kaynak:https://www.dsi.gov.tr/Galeri/ResimgaleriDetay/2863 Erişim:21.10.2023)

Toprak kanallarda sızma kayıpları toprak tipine bağlı olarak %50 üzerinde olabilmektedir. Beton kaplamalı kanallarda bu değer daha düşüktür. Sulama şebekelerinde ortalama %10'luk bir iletim kaybı belirtilmesine rağmen, uygulamada bu kayıplar çok daha büyük olduğu belirtilmektedir (Çakmak ve ark. 2008).

DSİ'ce Geliştirilen Sulamalarda Uygulanan Sulama Sistemlerine bakıldığında toplam 2.623.908 ha alanın %34,2'sinde klasik sistem, %35,3'ünde kanalet sistemi, %30,5'inde borulu sistem vardır. Borulu sistemin yıllar içerisinde arttığı görülmektedir. DSİ'ce İşletilen ve Devredilen Sulama Tesislerinin Sulama Randımanı oranının 2015 yılında %43 iken 2020 yılında %48 olmuştur (DSİ 2021). Bu rakamlara göre açık kanallarla iletilip dağıtılan ve arazide yüzey sulama suyu uygulanan koşullar, basınçlı borulu hatlara ve basınçlı sulama yöntemleriyle revize edilmesi durumunda sulama randımanının en az % 80'e yükseleceği göz önüne alınırsa alana saptırılan sudan % 40 tasarruf edilecektir.

8.4.2. Sulama Yöntemleri

Topraktaki nem eksikliği gidermek için sulama suyunu toprağa verilmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler yüzey sulama yöntemleri ve basınçlı sulama yöntemleri olarak ikiye ayrılmaktadır.

Yüzey sulama yöntemlerinde su bir eğim yönünde ve yerçekimi ile ilerleyip toprak içerisine girerek depolanır. Yüzey sulama yöntemleri tava sulama yöntemi, uzun tava sulama yöntemi ve karık sulama yöntemleridir. Basınçlı sulama yöntemlerinde ise su bir pompa birimi sayesinde alana iletilir ve yöntemin gerektirdiği bir şekilde toprağa verilir. Sistem basınçlı olduğundan topoğrafik koşullardan etkilenmez. Basınçlı sulama yöntemleri yağmurlama ve damla sulama yöntemidir. DSİ'ce geliştirilen sulamaların yapıldığı toplam 1.843.125 ha alanda uygulanan sulama yöntemlerinin oranlarına bakıldığında %61'inde yüzey sulama, %21,6'sında yağmurlama sulama yöntemi ve %17,3'ünde damla sulama yöntemi kullanılmaktadır (DSİ, 2021).

Tava sulama yöntemi: Yöntemde tavalar, suyun bitişikteki tarlalara akmasını önlemek amacıyla tarlanın etrafını belli yükseklikte setlerle kuşatılmaktadır. Genelde sıraya ve sık ekilen bitkilerde ve özellikle çeltik gibi durgun sudan etkilenmeyen bitkilere uygulanır. Tava sulamasına ait bir görünüm Şekil 8.14'te gösterilmiştir.

Şekil 8. 14. Tava sulama yönteminin uygulandığı çeltik alanlarından bir görünüş. (Kaynak: Anadolu Ajansı, 2023. https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/bafra-ovasinda-bereketli-yaz-sezonu-icin-hazirlik-yapiliyor/2601033 erişim: 12.10.2023).

Uzun tava sulama yöntemi: Arazinin tarla boyunca setlerle ayrılmış birden fazla şeride bölünerek sulanmasına uzun tava sulama yöntemi denir (Şekil 8.15). Bu yöntemde tarla

kanalından gelen sulama suyu, basit bir şekilde tarla çıkışı oluşturularak veya sifon veya kapaklar kullanılarak sınırlar arasına alınır. Her iki yandaki set sayesinde tava uzunluğunda akarak arazinin sonuna gelir ve arazi sulanmış olur. Fazla su arazi sonunun açık olması sayseinde dren kanalına boşalır.

Şekil 8.15 Uzun tava sulama yöntemi. (Kaynak: Ankara Belediyesi, 2023. (https://www.ankara.bel.tr/files/7814/3893/6464/SULAMA_SEZA-OKCU.pdf erişim: 12.10.2023).

Karık Sulama yöntemi: Bu sulama yöntemi, yeterli drenaj ve yeterli neme ihtiyaç duyan sıra bitkileri için yaygın olarak kullanılır. Karıklar bitki sıraları arasında suyu iletmek için tarla eğimi boyunca inşa edilen küçük kanallardır (Şekil 8.16). Bitkiler genellikle karıklar arasındaki sırtlarda yetiştirilir. Bu yöntem bitkinin su ile temasını kestiği için suda uzun süre duramayan bitkiler için uygundur

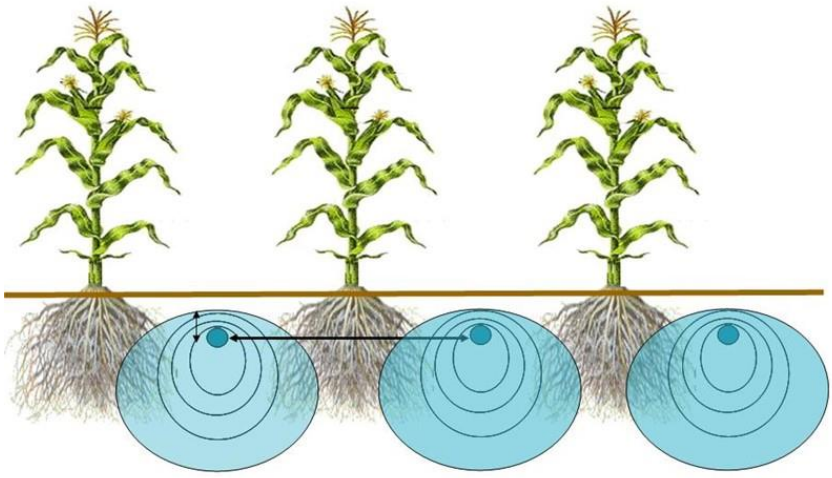
Şekil 8.16. Karık Sulama Yöntemi (Kaynak: Jeff Vanuga, USDA. Erişim : https://www.usgs.gov/media/images/irrigation-methods-furrow-or-flood-irrigation, 10.12.2023)

Yağmurlama sulama yöntemi: Yağmurlama sulama yöntemi, yağmura benzer şekilde suyun kontrollü olarak bitkilerin üzerinden uygulanması biçimidir (Şekil 8.17). Su, pompalar, vanalar, borular ve sprinklerlerden oluşan birçok ekipman aracılığıyla alanda dağıtılır. Genel olarak yağmurlama sulama yaprak ve gövdelerinin ıslanmasına duyarlı olabilecek çok az bitki dışında her türlü bitkinin sulanmasında yararlanılabilecek bir yöntemdir. ABD'de yapılan bir çalışmada soğanın sulanmasında karık, yağmurlama ve damla sulama yöntemleri karşılaştırılmıştır. En yüksek sulama randımanı yağmurlama sulama yönteminden elde edilmiş ve soğan sulamasında su tasarrufu açısından bu yöntem önerilmiştir (Al-Jamal ve ark. 2001). Uygan ve ark. (2021) Şekerpancarını doğrusal hareketli yağmurlama sulama kullanarak tam ve eksik sulama koşulları altında yetiştirmişlerdir. Tam sulama en yüksek şeker pancarı verimini sağlamış ancak en yüksek net karı sağlamamıştır. Bunun temel nedeninin şeker pancarı satış fiyatının şeker içeriğine göre belirlenmesi olduğunu açıklamışlardır. Denemede artan sulama suyuyla birlikte şeker pancarının şeker içeriğinin azaldığı açıklanmıştır. En yüksek net kar tam sulamanın %80'inin uygulandığı konudan elde edilmiştir. Bu aynı zamanda tam sulamaya kıyasla %20 daha düşük sulama suyu tasarrufu sağlamıştır. Ayrıca sulama suyunda ciddi bir kıtlık olması durumunda %40 su tasarrufunda çok az bir net kar azlığıyla göz önünde bulundurulması gerektiğini bildirmişlerdir.

Şekil 8.17. Yağmurlama sulama yöntemi. (Kaynak: Anadolu ajansı 2020. Erişim: https://www.aa.com.tr/tr/sirkethaberleri/enerji/dicle-elektrikten-elektrik-tasarrufu-icin-tarimsal-sulama-arastirmasi/658755, 10.12.2023)

Damla sulama yöntemi: Damla sulama yönteminde su, belli bir basınç altında ince borular üzerinde yer alan damlatıcılar aracılığıyla toprağa damlalar halinde verilir. Her bitkinin yalnızca kök bölgesi ıslatılır. Bu nedenle sulama randımanı yüksek etkili bir sulama yöntemidir (Şekil 8.18). Toprak altı damla sulama ile daha yüksek randımanlar elde edilmektedir. Buharlaşma kayıpları daha azdır. Toprak altı damla sulama yöntemine ait bir şema Şekil 3.19'da verilmiştir. Zeytin bahçelerinin sulanması üzerine Yapılan bir araştırmada yüzey damla sulama ve yüzeyaltı damla sulama yöntemi karşılaştırılmıştır. Zeytin verimi ve zeytin yağı verimi açısından karşılaştırıldıklarında yüzey altı damla sulama ile sulanan ağaçlarda daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlara göre yüzeyaltı damla sulama yöntemiyle %20'ye varan su tasarrufu sağlanmıştır (Martinez ve Reca 2014).Tüm bitkilerin sulanmasında ve tüm toprak koşullarında bu yöntemden yararlanılabilir.

Şekil 8.18. Damla sulama yöntemi. (Kaynak Erhan GÖÇMEN)



Şekil 8.19. Subsurface drip irrigation. (Source Figure: Roberto Bartolini, Erişim: https://www.ilnuovoagricoltore.it/i-sistemi-a-goccia-su-mais-e-soia-unirrigazione-a-regola-darte/ 13.10.2023)

8.5. TARIMSAL SU YÖNETİMİ VE İDARESİ

Su yönetimi; su kaynaklarının planlı bir şekilde geliştirilmesi, adil dağıtılması ve etkin kullanılmasını amaçlamaktadır. Sulama yönetimi ise; tarımsal sulama amaçlı suyun dağıtım ve kullanımını organize eden bir sistemdir. Ülkemizde tarımsal sulama yönetiminin kapsadığı çalışma alanları; sulama mevsiminde su dağıtımı programlarının hazırlanması, uygulanması ve izlenmesi ile sulama mevsimi sonunda değerlendirilmesi çalışmalarıdır (Çakmak ve ark., 2008).

Artan nüfusun gıda ihtiyaçlarını karşılayabilmek için sulama önemli bir tarımsal uygulamadır. Ancak kıt bir kaynak olan bu suyun, kaynaktan bitkiye kadar nasıl yönetildiği çok önemlidir.

8.5.1. Türkiye'de Su Yönetimi

Türkiye'de su yönetiminde Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) ile Su yönetimi genel Müdürlüğü sorumludur. Yine İl Özel İdareleri ve Büyükşehir belediyeleri de suyu yönetmekte bir yere kadar yetkilidir. Ayrıca Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Doğa Koruma ve Milli Parklar genel Müdürlüğü, Yenilebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Sağlık Bakanlığı, Tarım ve Orman Bakanlığı, İller Bankası, Sulama Birlikleri, Kültür ve Turizm Bakanlığı ve Kalkınma Bakanlığı Türkiye su kaynakları yönetimi, gelişim ve korunumu açısından doğrudan veya dolaylı olarak sorumludurlar.

DSİ Genel Müdürlüğü 6200 Sayılı Kanun'la 18 Aralık 1953 tarihinde kurulmuş ve 1954 yılında teşkilatlanmıştır.

Bir kamu kuruluşu olarak kendine verilen; taşkın koruma, sulu ziraatı yaygınlaştırma, hidroelektrik enerji üretme ve büyük şehirlere içme suyu temini yanı sıra Belediye Teşkilâtı Olan Yerleşim Yerlerine de İçme suyu temini gayelerini etkin bir şekilde yerine getirebilmesi bakımından, söz konusu dört maksadın ortak noktası olan baraj çalışmaları konusunda öncelikli faaliyetlerini sürdürmektedir. Bu sebeple DSİ Genel Müdürlüğü ülkemizde barajlar yapan bir kuruluş olarak bilinir. Aynı zamanda ülkemizdeki su kaynaklarının çeşitli kullanım maksatlarına tahsisinde otorite kuruluştur.

DSİ Genel Müdürlüğü faaliyetlerini; 6200, 167 ve 1053 Sayılı Kanunlara göre yürütür. Bu kanunlar aşağıda özetlenmiştir:

28/02/1954 tarih ve 6200 Sayılı Teşkilât ve Vazifeler Hakkındaki Kanun ile;

- Yeraltı suyu etüt ve araştırmaları için kuyu açmak veya açtırmak,
- Yeraltı suyu tahsisi yapmak,
- Yeraltı sularının korunması ve tescili,
- Arama, kullanma ve ıslah-tadil belgesi vermek,

03/07/1968 tarih ve 1053 Sayılı Ankara, İstanbul ve Nüfusu 100 000'den Büyük şehirlere içme Suyu Temini Hakkında Kanun ile;

- Baraj ve isale hattı,
- Su tasfiye tesisi inşaatları,
- Su depoları yapmak,

görevleri DSİ'ye verilmiş iken, 18/04/2007 tarih ve 5625 sayılı Kanun ile 1053 sayılı kanunun 10. maddesinin değişmesi neticesinde nüfus kriteri kaldırılarak Belediye teşkilatı olan tüm yerleşim yerlerinin içme kullanma ve endüstri suyu ve gerekmesi halinde atık su tesislerinin yapımında DSİ yetkili kılınmış olup 1053 sayılı Kanunun adı da "Belediye Teşkilâtı Olan Yerleşim Yerlerine İçme, Kullanma ve Endüstri Suyu Temini Hakkında Kanun" olarak değiştirilmiştir.

2011 yılında kurulan Su Yönetimi Genel Müdürlüğünün 10/7/2018 tarihli ve 1 sayılı "Cumhurbaşkanlığı Teşkilatı Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi" Madde 421'de açıklanan görev ve yetkileri şunlardır:

- Su kaynaklarının korunması, iyileştirilmesi ve kullanılmasına ilişkin politikaların belirlenmesi amacıyla çalışmalar yapmak,
- Su kaynaklarının kıyı suları dahil olmak üzere koruma-kullanma dengesi gözetilerek, sucul çevrenin ekolojik ve kimyasal kalitesinin korunması ve geliştirilmesini sağlamak amacıyla havza bazında nehir havza yönetim planları hazırlamak, hazırlatmak, bütüncül nehir havzaları yönetimi ile ilgili mevzuat çalışmalarını yürütmek,
- Su kaynaklarının korunması ve yönetimi ile ilgili uluslararası sözleşmeler ve diğer mevzuattan kaynaklanan süreçleri takip etmek, sınır aşan ve sınır oluşturan sulara ilişkin işleri ilgili kurumlarla işbirliği içinde yürütmek,
- Ulusal su veri tabanı oluşturmak,
- Su kirliliği açısından hassas alanları ve nitrata duyarlı hassas alanları tespit etmek ve izlemek,

- İçme ve kullanma suyu arıtma tesislerinin tasarım esaslarını, normlarını ve kriterlerini belirlemek, projeleri onaylamaya yetkili kurum ve kuruluşları tespit etmek, tesisleri işletecek elemanların eğitimlerini temin etmek, sertifikalarını vermek,
- İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi ile ilgili çalışmalar yapmak,
- Havza bazında kirliliğin önlenmesi ile ilgili tedbirleri ilgili kurum ve kuruluşlarla birlikte belirlemek, değerlendirmek, güncellemek ve uygulamaların takibini yapmak,
- Yer üstü ve yer altı sularının kalite ve miktarının korunmasına yönelik hedef, ilke ve alıcı ortam standartlarını ilgili kurum ve kuruluşlarla birlikte belirlemek, su kalitesini izlemek veya izletmek,
- Taşkınlarla ilgili strateji ve politikaların belirlenmesi amacıyla çalışmalar yapmak ve ilgili mevzuatı ve taşkın yönetim planlarını hazırlamak,
- Nehir havza yönetim planlarına uygun olarak sektörel bazda su kaynaklarının tahsislerine ilişkin gerekli koordinasyonu yapmak,
- Türkiye'de su yönetiminin temelini oluşruran üç kanundan söz edilebilir. Bunlar; Çevre kanunu, DSİ kuruluş Kanunu ve Yeraltı suları Kanunudur (Muluk ve ark, 2013).

8.5.2. Dünyada Su Yönetimi

Dünyada su yönetiminde başta Birleşmiş Milletler olmak üzere, BM Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), Dünya Su konseyi, İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Konseyi, Avrupa Birliği, Dünya doğayı Koruma Birliği gibi pek çok kurum ve kuruluş su yönetiminde söz sahibidir.

Avrupa'da temelleri 1975'lerde başlayan, Kasım 2000 yılında Su Çerçeve Direktifi yürürlüğe girmiştir. Direktifin başlıca ilkesi suyu "... bir ticari ürün değil, aksine korunması, savunulması ve gereğince davranılması gereken bir miras" olarak tanımlamaktadır. Direktif, bu temel ilkeden hareketle yeni ve bütüncül bir yaklaşım öngörmektedir. Avrupa'daki bütün suların korunması ve durumlarının iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. (Kibaroğlu ve ark 2006).

Sulama yönetiminde karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri

Su yönetimi konusundaki sorunlar su kaynaklarının geliştirilmesinden başlayıp suyun tarla içerisinde verilmesine kadar olan tüm aşamalarda ortaya çıktığı söylenebilir.

Fiziksel Altyapı Yetersizliği ile ilgili sorunlar

- Sulama alanında, tarla içi geliştirme hizmetleri (arazi toplulaştırma, tesviye ve drenaj gibi) tamamlanamadığından dolayı sürdürülebilir bir su yönetimi yapılamamaktadır.

- Sulama kanalları, kanaletleri,vb. Tüm sanat yapıları hem iklimin hem de kullanıcı tahribatına maruz kaldığı için randımanlı kullanılamamaktadır.
- Sulamada, sulama alanının ihtiyacından fazla su iletimivsu ve enerji israfına neden olmaktadır.
- Su kaynağı yeterli olmayan sulamalarda çiftçilerin kaçak yeraltısuyu kuyularına yönelme eğilimini artırarak sulama randımanının düşmesine neden olmaktadır.
- Kanal şebekelerinin çoğunda ara depolamalar bulunmadığı için özellikle pik dönemler dışında gece sulaması da yapılmadığı için şebekeye iletilen sular tahliyeye gitmektedir.
- Kanallarda aşırı sedimantasyon birikimi ya da tahribatlar olmaktadır. Dolayısıyla bakım ve onarım giderlerinin yüksek olmasına neden olmaktadır.

Sulama Sistemlerinin İşletimi ile İlgili Sorunlar

- Türkiye'de sulama suyu fiyatlarının düşük olması tarımda aşırı su kullanımına neden olmaktadır. Mevcut su ücretleri işletme ve bakım masraflarını karşılamaya yeterli değildir.
- Bilinçsiz sulama uygulamaları ve sulama şebekelerinin çoğunun eski olması tarımda aşırı su kullanımına yol açmaktadır. Suyun aşırı kullanımı sulama randımanını düşürmekte ve tuzlulaşma, taban suyunun yükselmesi, göllenme ile kirlilik gibi çevresel sorunlara neden olmakta ve sulama alanının tamamı sulanamamaktadır.
- Çiftçiler tarafından hala yüzey sulama yöntemlerinin kullanılmaktadır..
- Bitkilerin optimum gelişebilmeleri için ihtiyaç duydukları miktarda ve zamanda su verilmesi gerekmekte iken aşırı bir kullanım söz konusudur. Bu değer ihtiyacın 2-3 katını bulabilmektedir.

Kirlilik ile ilgili sorunlar

- Türkiye'de nüfus artışı, kentleşme, sanayileşme ve tarımsal ilaçlar ile gübrelere bağlı olarak akarsu, göl ve denizlerde su kirliliği hızla artmaktadır.
- Yeraltı sularının da bu tehlikeye maruz kalabileceği göz önüne alınmalıdır.

Yönetimsel sorunlar

- Türkiye'de su kaynaklarının entegre yönetimi için gerekli kurumsal yapı, sadece merkezi hükümet seviyesinde bulunmaktadır. Su kalitesi yönetiminde ise, ilgili kuruluşlar arasında benzeri bir koordinasyon bulunmamaktadır.

- Ülkemizde kuruluşlar arası görev alanları ve yetki sınırlarında önemli örtüşmeler bulunmakta olup, bu durum koordinasyon eksikliklerine ve hizmetlerin aksamasına neden olmaktadır.
- Bugün sulama birliklerinde görev yapan sulama mühendisleri ve su dağıtım teknisyenlerinin eğitimleri ilgili çalışmalar yapılmasına rağmen yetersizdir.

Çözüm önerileri

- Tarımda sürdürülebilir bir su yönetiminin sağlanması için tesviye, toplulaştırma ve drenaj gibi tarla içi geliştirme çalışmaları sulama sistemleri ile birlikte inşa edilmelidir. Sulama projelerinin başarısının fiziksel altyapı proje alanındaki toprak-su-insan ilişkilerinin düzenlenmesine bağlı olduğu unutulmamalıdır.
- Suyun iletiminde açık kanal sistemleri yerine kapalı boru sistemleri, Suyun bitkiye verilmesinde yüzey sulama yöntemleri yerine yağmurlama ve damla sulama yöntemleri kullanılması gerekmektedir. Böylece %20 ile %30'luk bir su tasarrufu sağlanmış olur.
- Tarım topraklarının amaç dışı kullanımı engellenmelidir.
- Tarımda etkin su kullanımını sağlayan araç ve tekniklerin kullanımı sağlanmalıdır. Ayrıca gelişmiş sulama teknolojileri ile çevreye zarar vermeden aynı miktarda veya daha fazla ürünü, daha az sulama suyu ve iş gücü ile üretmek mümkün olmaktadır.
- Toprak ve su kaynaklarının geliştirilmesi ile ilgili kanun, tüzük ve yönetmelikler günümüz şartlarına uymamaktadır. Toprak kaynaklarının etkin kullanımı için tarım arazilerinin tarım dışı kullanımını, toprak ve su kaynaklarının kirlenmesini ve kaybını engelleyecek yasal düzenlemeler yapılmalıdır.
- Etkin su kullanımını sağlamak için çiftçilerin bilgilendirilmesi, çiftçi örgütlerinin ekonomik açıdan sürdürülebilirliklerinin sağlanması ve güçlü bir mali yapıya kavuşturulması için gerekli yapılandırma ve eğitim çalışmalarına öncelik verilmelidir (Çakmak ve Aküzüm, 2006).

8.6. SÜRDÜRÜLEBİLİR AKILLI TARIMSAL SU YÖNETİMİ

Birinci bölümde tartışıldığı gibi, 2050 yılına kadar dünya nüfusu 9,1 milyar civarında olacak ve bu da küresel gıda talebini önemli ölçüde artıracaktır. Dünya çapında gıda üretiminin %60 oranında artması, sadece gelişmekte olan ülkeler dikkate alındığında ise %100'e kadar artması beklenmektedir. (FAO 2011, 2021). Şu anda yeraltı sularından, akarsulardan ve göllerden elde

edilen tatlı suyun %70'i sulamada kullanılıyor (FAO 2011, 2017, 2021) ve gıda üretiminde beklenen artışın sürdürülebilmesi için bu oranın artması gerekmektedir. Arazinin, kullanılabilir suyun ve biyolojik çeşitliliğin tükenmesi, iklim değişikliğiyle birleştiğinde gelecekte tarımsal verimliliğin küresel gıda talebini karşılamaya yeterli olmayacağına dair endişeye yol açmaktadır (FAO, 2011, 2017, 2021).

Böyle bir krizden kaçınmak ve beklenen su kıtlığını tespit etmek için Akıllı su yönetiminin acilen uygulamaya konulması gerekmektedir. Mevcut su tesislerinin çoğu eski SCADA modelleri (Denetleyici Kontrol ve Veri Toplama) tarafından yönetilmektedir. Bu endüstriyel tesisler verimsizdir ve pratik kısıtlamalar nedeniyle su dağıtımını büyük ölçüde izleyememekte, tespit edememekte veya çalıştıramamaktadır.

Burada verimli ve etkili tarım yöntemleri sağlamaya ve Akıllı IoT tabanlı su yönetimine yönelik yeni çağ teknolojileri tanıtılacaktır.

Sensör tabanlı teknolojilere sahip akıllı su yönetimi, minimum insan müdahalesiyle verimli ve etkili operasyonlar gerçekleştirir. Akıllı su yönetimi, su kullanımının optimize edilmesine yardımcı olabilir ve gerçek zamanlı arazi ve hava koşullarına göre hızlı yanıt sağlayan IoT sensörlerinin ve bağlı saha düğümlerinin uzaktan izlenmesi ve kullanılmasıyla uzaktan sulama sistemi sorunlarının çözülmesindeki zorlukları ortadan kaldırır. Su tesislerinde akıllı su yönetimi kullanmanın temel faydaları kaynak tüketiminin optimizasyonu ve bileşen izlemedir. Akıllı su yönetiminin sızıntı, su israfı ve kalite, bileşen ve cihaz çalışma sürelerinin tespitinden su temini taleplerini karşılamaya kadar en iyi uygulama seçeneklerini sağlar (Bhardwaj 2022).

Sulama suyunu verimli kullanmak için bitki su kullanımının dinamiklerini, hava durumunu, bitki fizyolojisini ve toprak özelliklerini anlamamız gerekir. Geliştirilen ve önerilen çeşitli sulama planlama yöntemleri arasında en önemli 3 tanesi geleneksel yaklaşımlarda hava durumuna dayalı, toprak nemine dayalı ve bitki su durumuna dayalı (Ahmad ve ark. 2023) yöntemlerdir.

Yenilikçi bir akıllı sulama sistemi, yapay zeka (AI) ve derin öğrenme (DL) vb. dahil olmak üzere çeşitli hesaplama teknikleri aracılığıyla birbirine bağlanan donanım yazılımı, yazılım ve donanımdan oluşur. Bu yenilikçi sistem bitkilere uygun zamanda doğru miktarda uygulaması sayesinde su kullanım randımanını ve verimi artırmakta, gübre kullanımını azaltmakta, işçilik maliyetini düşürmekte ve enerji tasarrufu sağlamaktadır. Kanopi ve hava sıcaklığı, buharlaşma, terleme, yağış ve güneş radyasyonu gibi değişkenleri izleyerek sulama sistemi verimliliğini artırmak için çeşitli kontrol yöntemleri kullanılır. Akıllı sulama sistemleri, birden fazla

kaynaktan gelen bilgileri entegre ederek mahsul üretimini ve kaynak yönetimini önemli ölçüde iyileştirebilir. Aşağıdaki bölümde tarımda akıllı sulama sistemleriyle ilişkili çeşitli yeni teknikler sunulmaktadır (Ahmad ve ark. 2023).

Yapay Zeka (AI) ve Derin Öğrenme (DL)

Yapay zeka, bir makinenin insan beynine benzer görevleri öğrenme ve uygulama yeteneğidir ve bilgisayarlar tarafından desteklenmektedir. Yapay zeka algoritmaları belirli bir sorun alanına uygulandığında insanın karar verme sürecini taklit edebilir. Sulama sistemleri, bulanık mantık, uzman sistemler ve Yapay Sinir Ağları (YSA) aracılığıyla uyarlanabilir karar verme için yapay zeka ile entegre edilmiştir (Ahmad ve ark. 2023).

YSA, insan beyninin çalışmasından ilham alan, bilgiyi işlemeye yönelik bir algoritmadır. İnsan beyni nöronları gibi, bir YSA da bir sinir ağı içerir, ancak sinapsların yerini önyargılı bağlantılar ve ağırlıklar alır. Bu, girdi ve çıktı ilişkilerinin haritalanmasını kolaylaştırır. YSA tabanlı kontrol sistemleri değişken dinamikleri öğrenip bunlara uyum sağlayabilir, bu da onları sulama sistemleri için ideal kılar. Ayrıca YSA'lar, ilk ilkelere dayalı matematiksel modellerin formüle edilmesi sorununun çözümünde akıllı stratejiler olarak kullanılmışştır. Son zamanlarda birçok araştırmacı sulama planlaması için YSA yöntemlerini kullanmaktadır. Dinamik bir sinir ağıyla entegre edilmiş AQUACROP modelini kullanan Adeyemi ve ark. (2018) patates için toprak nemini simüle etmiştir. Karasekreter ve ark. (2013), çilek tarlasında toprağın fiziksel özellikleri ve nem içeriği ile entegre bir YSA uygulayarak sırasıyla %23,9 ve %20,5'e kadar enerji ve su tasarrufu sağladığını göstermiştir. Umair ve Muhammad (2010), iklim değişkenlerini girdi olarak kullanarak MATLAB'da YSA tabanlı bir kontrolör modeli tasarlamışlardır.

Tsang ve ark. (2016), sulamayı kontrol etmek için tarım alanlarının havadan görüntülerini kullanarak toprak nem koşullarını değerlendirmek için hibrit yapay zeka olarak bilinen yedi farklı makine öğrenimi algoritması kullanmıştır. Sonuçlar zamanlama, sulama seviyesi ve konum hatalarının azaltılmasıyla su tüketiminde %52'lik bir azalma olduğunu göstermiştir.

Derin öğrenme yöntemi ise son yıllarda uygulanmaya başlamıştır. DL, yapay zekanın karşılaştığı sorunları uzun sürede çözebilmesine karşılık geliştirilmiştir. Yazılımda kullanılacak verilen karmaşıklıklığı nedeniyle tarım ve hidroloji alanlarında derin öğrenme uygulanmıştır (Ahmad ve ark. 2023).

Model Tahminli Kontrol (MPC) sistemi

MPC, bir tesisin gelecekteki tepkisini tahmin etmek için açık bir süreç modeli kullanan, gelişmiş bilgisayar kontrollü algoritmalar kategorisini ifade eder. 1960'larda geliştirilen Model

Tahminli Kontrol, optimum kontrolden kaynaklanır. MPC'nin temel prensibi, sistem davranışını tahmin etmek için dinamik bir model kullanmak ve mevcut zamanda kontrol hareketine karar vermek için tahmini optimize etmektir. Esnekliğine ek olarak, Model öngörülü kontrol, kısıtlı optimal kontrol sorunlarını çevrimiçi olarak tekrar tekrar çözer.

Model tahmin sistemi sulama planlamasında, sulama kanalı kontrolünde, toprak nemi ve gövde suyu potansiyelinin düzenlenmesinde kullanılmıştır. Model öngörülü kontrol (MPC), geçit operasyonuna ve kanal akışının kontrolüne uygulanabilirliğini ortaya koymuştur. Kanallar için model öngörülü kontrolün yönetim hedefi, su seviyesini mümkün olduğu kadar ayar noktalarına yakın tutmaktır. Bu nedenle kanal-su seviyelerinin dinamiklerini düzenleyen uygun bir modele ihtiyaç vardır. Kanallardaki su hareketini modellemek, belirli bir su seviyesini farklı yerlerde tutmak ve bu su seviyelerini etkileyen su akışını modellemek için bir model tahminli kontrol sistemi kullanılmıştır. Kontrol araçları, düzenleyicinin yönetim hedeflerine ulaşabilmesini sağlayan su akışını korur. Bununla birlikte, giriş ve çıkışlardaki değişiklikler tüm su sistemini kesintiye uğrattığından bu hedefe ulaşmak kolay değildir. Kontrol faaliyetlerine ve aksaklıklara yanıt olarak gelecekteki su akışlarını ve seviyelerini tahmin etmek için su sisteminin (kontrolör, kanal erişimleri, aksaklıklar ve yapılar) modellenmesi gerekir. Birçok yazar kanalların sulama akışını yönlendirmek için MPC'yi uygulamıştır. Örneğin su kaynağından kullanıcıya ve Guadiana Nehri'nin sulama bölgesine kadar akış kontrolü yaklaşımları oluşturmak için MPC uygulamıştır. Sonuçlar MPC uygulamasının kullanışlılığını ortaya koymuştur (Ahmad ve ark. 2023).

Değişken Oranlı Sulama (VRI)

VRI, farklı sulama yönetim bölgelerinde değişken oranlarda sulamanın tüm tarla boyunca optimize edilmiş bir şekilde uygulanmasına yönelik bir yöntemdir. Normalde sulama suyunun uygulanması tarlanın tamamında aynıdır. Ancak topoğrafyadaki, toprağın hidrolik özelliklerindeki ve bitki örtüsündeki mekansal değişkenlik nedeniyle toprağın nem içeriği eşit değildir. Bu tür toprak mekansal değişkenliği önemli hale geldiğinde, alan aynı toprak özelliklerine ve ürün koşullarına sahip tarla alanlarından oluşan farklı yönetim bölgelerine bölünür. Daha sonra farklı yönetim bölgelerinde farklı oranlarda sulama uygulanır. Bu tür değişken sulama yönetimi, su kullanım randımanını iyileştirerek, verimliliği artırarak ve besin yıkanmasını azaltarak sulamanın ekonomik değerini artırabilir. Bu, toprağın mekansal-zamansal özelliklerine ve bitki ihtiyacına bağlı olarak doğru ve zamanında su uygulamasına olanak sağlar (Ahmad ve ark 2023).

Yani VRI teknolojisi, doğru miktarda suyun, doğru zamanda, doğru bölgeye uygulanmasını sağlayarak önemli miktarda su tasarrufu sağlar. VRI teknolojisinin ana bileşenleri arasında sensörler, tanımlama haritaları, mekansal bilgiler ve ürün alanında VRI reçetesini (lateral sulama) uygulayacak bir birim sistemi bulunur. VRI reçetelerinin optimizasyonu genellikle uzaktan algılama, verim haritaları, topografya, toprağın elektrik iletkenliği ve toprak haritaları kullanılarak belirlenir. VRI ayrıca bitki besin gereksinimlerindeki değişkenliği eşleştirmede fayda sağlayacak değişken oranlarda gübre uygulamasını da destekler (Ahmad ve ark. 2023).

VRI'nin çeşitli avantajlarının yanı sıra, yüksek maliyet, toprak haritalarının geliştirilmesindeki karmaşıklık ve sistemin bakımı gibi bazı dezavantajları da vardır. Genel olarak VRI teknolojisi, değerli su kaynaklarının hassas şekilde kullanılması için iyi bir seçenektir ancak bu teknolojiyi uygun fiyatlı ve daha kullanıcı dostu hale getirmek için önemli çabalara ihtiyaç vardır (Ahmad ve ark. 2023).

Sulama yönetimi için İnsansız Hava Araçları (İHA'lar)

Drone olarak da adlandırılan İHA'lar, silah olarak kullanıldıkları ve istihbarat servislerinde yer aldıkları için sıklıkla askeri operasyonlarla ilişkilendirilmektedir. Drone'lar aynı zamanda IoT ağında kızılötesi veya termal görüntüleme kameraları kullandıklarından sulama izleme için de kullanışlıdır.

Son zamanlarda IoT tabanlı sensör ağlarına sahip İHA'lar akıllı sulama amacıyla kullanılmaya başlanmış ve böylece bitki verimliliği önemli ölçüde artmıştır. Araştırma sonuçları, İHA tabanlı çok bantlı görüntülerin kullanışlı olduğunu ve hassas sulama ve tarım yönetimi için önemli araç olduğunu göstermiştir. Bitki örtüsü endekslerini değerlendirmek için görünür yansımayı kullanarak mahsul biyokütlesini belirlemek için RGB (kırmızı, yeşil ve mavi) kameralar drone ile birlikte kullanılabilmektedir (Ahmad ve ark 2023).

Karar Destek Sistemleri (DSS) ile akıllı sulama teknolojisinin tahmin edilmesi

Karar destek sistemi (DSS), ham verilere, belgelere ve kişisel bilgilere dayalı kararları tanımlamak, analiz etmek ve iyileştirmek için kullanılan etkileşimli, yazılım tabanlı bir sistemdir. Su kullanım randımanını iyileştirmek amacıyla sulama suyunu yönetmek için çeşitli karar destek sistemleri (DSS'ler) tasarlanmıştır. Akıllı ve etkili bir DSS, sulama planlamasını geliştirmek için toprağın su durumu, bitki türü, sulama yöntemi, hava durumu bilgileri ve uygulama gibi çeşitli faktörleri dikkate almalıdır. Tarladaki toprak nemi tahminlerindeki hataları en aza indirerek hassas sulama planlamasını kolaylaştırmak için DSS'ler yalnızca o

güne ait sulama programları sağlamakla kalmaz, aynı zamanda gelecek günlere ait sulama uygulamalarını da tahmin etmeye yarar (Ahmad ve ark. 2023).

Sulama zamanını tahmin etme fikrine dayanarak, son zamanlarda kurak bölgeler için "sulama planlama için karar destek sistemi (DSSIS)" olarak adlandırılan bir sulama planlama DSS prototipi geliştirilmiştir. Bu DSSIS, önümüzdeki 4 günün hava durumu bilgilerini kullanarak o gün için sulama uygulamasını tahmin etme ve aynı zamanda gelecek için sulama tahmin etme yeteneğine sahiptir (Chen ve diğerleri 2019).

Bu sistem (DSSIS), kurak bir bölgede tam, kısıntılı, deneyimle ve sensör bazlı sulama uygulamaları altında pamuk sulama planlaması için test edilmiştir. Kısıtlı sulama altında DSSIS, deneyime dayalı sulamaya göre verimde %4'lük bir artış ve su verimliliğinde %80'e varan artışla sulama suyunda %50 tasarruf sağlamıştı (Chen ve ark 2022).

Akıllı, sürdürülebilir ve kullanıcı dostu sulama sistemleri tasarlamanın zorlukları

Akıllı, sürdürülebilir ve kullanıcı dostu sulama sistemleri tasarlamak için dikkate alınması gereken bazı zorluklar vardır. Bunlar:

- Toprak tekstüründeki değişkenlik hayati bir belirsizlik kaynağıdır çünkü bir alanda hem dikey hem de sonraki mevcut ve potansiyel toprak su depolama tahminlerini etkilemektedir. Bu nedenle sahaya özel toprak analizi, bu sorunu düzeltmenin ve doğru sulama planlaması için gereken tam toprak parametresi bilgisini elde etmenin bir yoludur.
- Akıllı sulama sistemleriyle ilgili deneylerin çoğu, ticari tarım uygulamalarını temsil edemeyen, araştırma alanlarında veya kontrollü çevre koşullarında küçük ölçekte gerçekleştirilmiştir. Çiftlikte geniş alanlarda çalışmalara ihtiyaç vardır.
- Uygun fiyatlı ve kullanıcı dostu ekipmanların yerel düzeyde üretilmesi gerekmektedir.
- Kurak bölgelerdeki çiftçilerin çoğu iyi eğitimli değildir ve uzman yayım çalışanları tarafından akıllı sulama sistemlerinin uygulamalı gösterimi yoluyla eğitilmeleri gerekmektedir.
- Ayrıca hükümetler bu teknolojilerin geniş çapta yaygınlaştırılması için çiftçilere sübvansiyon sağlamalıdır.

KAYNAKLAR

Adeyemi, O.; Grove, I.; Peets, S.; Domun, Y.; Norton, T. Dynamic neural network modelling of soil moisture content for predictive irrigation scheduling. Sensors 2018, 18, 3408.

Al-Ghobari, HM ve Dewidar, AZ (2018). Kurak bölgelerde su tasarrufuna yönelik bir strateji olarak açık sulamanın yüzey ve yüzey altı damla sulamaya entegre edilmesi. Tarımsal Su Yönetimi , 209 , 55-61.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109.

Ahmed, Z.; Gui, D.; Murtaza, G.; Yunfei, L.; Ali, S. An Overview of Smart Irrigation Management for Improving Water Productivity under Climate Change in Drylands. Agronomy 2023, 13, 2113.

Akinnagbe .M and Irohibe I. J (2014). Agricultural adaptation strategies to climate change impacts in Africa: a review. Bangladesh J. Agril. Res. 39(3): 407-418.

Alberto Boretti A, Rosa L. (2019). Reassessing the projections of the World Water Development Report. Clean Water (2019) 2:15 ; https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9.

Al-Jamal, M. S., Ball, S., & Sammis, T. W. (2001). Comparison of sprinkler, trickle and furrow irrigation efficiencies for onion production. Agricultural water management, 46(3), 253-266.

Allen R, Pereira L. S, Raes D ve Smith M (1998). Crop Evapotranspiration–Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. No: 56. Rome.

Amare, T. (2016). Review on Impact of Climate Change on Weed and Their Management. American Journal of Biological and Environmental Statistics. Vol. 2, No. 3, pp. 21-27. doi: 10.11648/j.ajbes.20160203.12.

Anderson, W.K and Sıddıque K.H.M (2015). The role and value of crop residues in dryland agriculture. Indian Journal of Agronomy 60 (3): 332-340.

Barnett T, Adam J, Lettenmaier D. Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. Nature 2005, 438:303–309.

Bates B, Kundzewicz Z, Wu S, Palutikof J. Climate change and water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC Secretariat; 2008.

Beniston M. Linking extreme climate events and economic impacts: examples from the Swiss Alps. Energy Policy 2007, 35:5384–5392.

Bhardwaj A, Kumar M, Alshehri M, Keshta I, Abugabah A and Sharma SK (2022) Smart water management framework for irrigation in agriculture, Environmental Technology, DOI: 10.1080/09593330.2022.2039783.

Bisselink B., Bernhard J., Gelati E., Adamovic M., Guenther S., Mentaschi L., Feyen L., and de Roo, A, Climate change and Europe's water resources, EUR 29951 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-10398-1, doi:10.2760/15553, JRC118586.

Bruinsma, J. 2009. The resource outlook to 2050. Expert Meeting on How to Feed the World in 2050. FAO, Rome.

Bozkurt, Deniz & Sen, Omer. (2012). Climate change impacts in the Euphrates–Tigris Basin based on different model and scenario simulations. Journal of Hydrology. 480. 10.1016/j.jhydrol.2012.12.021.

Burek, P. et al. Water Futures and Solution: Fast Track Initiative (Final Report). IIASA Working Paper (International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria, 2016).

Calanca P. Climate change and drought occurrence in the Alpine region: how severe are becoming the extremes? Glob Planet Change 2007, 57:151–160.

Carruthers, I., Rosegrant, M. W., & Seckler, D. (1997). Irrigation and food security in the 21st century. *Irrigation and Drainage Systems*, *11*, 83-101.

Ciais P, Reichstein M, Viovy N, Granier A, Ogée J, Allard V, Aubinet M, Buchmann N, Bernhofer C, Carrara A, et al. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. Nature 2005, 437:529–533.

Chen, X.; Qi, Z.; Gui, D.; Gu, Z.; Ma, L.; Zeng, F.; Sima, M.W. A model-based real-time decision support system for irrigation scheduling to improve water productivity. Agronomy 2019, 9, 686.

Chen, X.; Feng, S.; Qi, Z.; Sima, M.W.; Zeng, F.; Li, L.; Wu, H. Optimizing Irrigation Strategies to Improve Water Use Efficiency of Cotton in Northwest China Using RZWQM2. Agriculture 2022, 12, 383.

Comprehensive Assessment. 2007. Water for food, water for life: the comprehensive assessment of water management in agriculture, D. Molden, ed. London, Earthscan and Colombo, International Water Management Institute.

Çakmak B, Tanrıvermiş H, Benli B (1999). Türkiye'de Sulama ve Tarımsal Kalkınma. VII. Kültürteknik Kongresi, 17-25. Kapodakya.

Çakmak B, Yıldırım M, Aküzüm T (2008). Türkiye'de Tarımsal Sulama Yönetimi, Sorunlar ve Çözüm Önerileri. TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi, 215-224, Ankara.

Çakmak, B., Yıldırım, M., & Aküzüm, T. (2008). Türkiye'de tarımsal sulama yönetimi, sorunlar ve çözüm önerileri. TMMOB 2. Su PolitikalarıKkongresi.

Davidson, N. C. How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. Mar. Freshw. Res. 65, 934–941 (2014).

Dellal, I., McCarl, B.A., Butt, T. (2011). The Economic Assessment of Climate Change on Turkish Agriculture, Journafl of Environmental Protection and Ecology, Vol: 12, No: 1, 376-385.

Deveci, H. (2015). Modeling the Effects of Climate Change on Surface Water Resources, Soil Moisture and Plant Yield in the Thrace Region. PhD Thesis Tekirdag Namık Kemal university.

Debaeke P, Aboudrare A. Adaptation of crop management to water-limited environments, European Journal of Agronomy, 2004, vol. 21 (pg. 433-446).

DSİ 2021. DSİ 2020 Yılı Resmi Su Kaynakları İstatistikleri https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/1499 Erişim 13.01.2023

DSİ, 2023. Toprak Su Kaynakları.https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754.

Eitzinger J, Trnka M, Semerádová D, Thaler S, Svobodová E, Hlavinka P, Šiška B, Taká˘c J,Malatinská L, Nováková M, et al. Regional climate change impacts on agricultural crop production in Central and Eastern Europe–hotspots, regional differences and common trends. J Agric Sci 2013, 151:787–812.

English, M. J., Solomon, K. H., & Hoffman, G. J. (2002). A paradigm shift in irrigation management. *Journal of irrigation and drainage engineering*, *128*(5), 267-277.

Eurostat (2016): Agriculture, forestry and fishery statistics. The Eurostat website Eurostat, Luxembourg. Avaiable at https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/7777899/KS-FK-16-001-EN-N.pdf/cae3c56f-53e2-404a-9e9e-fb5f57ab49e3 (19.09.2023).

Falkenmark M, Rockström J. The new blue and green water paradigm: Breaking new ground for water resources planning and management. J Water Resour Plann Manage 2006, 132:129–132.

Falkenmark, 1986 M. Falkenmark Fresh water—time for a modified approach Ambio, 15 (4) (1986), pp. 192-200.

Farooq, M. and Siddique, K.H.M. (2015). Conservation Agriculture: Concepts, brief history, and impacts on agricultural systems. (In) Conservation Agriculture, Farooq, M., Siddique, K.H.M. (Eds.), p. 3–17, Springer International Publishing Switzerland.

FAO, 2003. The irrigation challenge. Issues paper 4. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FAO,2023a.FAOSTAT. https://www.fao.org/faostat/en/#data/RL Erişim:10.10.2023

FAO,2023b.CropWat.https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/ Erişim 20.10.2023

FAO & National Drought Mitigation Center (NDMC). 2008. The Near East drought planning manual: guidelines for drought mitigation and preparedness planning. Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for the Near East, Cairo and University of Nebraska-Lincoln, National Drought Mitigation Center.

FAO. 2010. "Climate-smart" agriculture: policies, practices and financing for food security, adaptation and mitigation. Rome.

FAO. (2013). Climate Smart Agriculture Sourcebook. Rome. https://www.fao.org/climatechange/37491-0c425f2caa2f5e6f3b9162d39c8507fa3.pdf.

FAO Global Forest Resources Assessment 2015: How are the World's Forests Changing? Second edition (FAO, Rome, 2016). www.fao.org/3/a-i4793e.pdf.

FAO/Intergovernmental Technical Panel on Soils (AO/ITPS). Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. (FAO, Rome, 2015). www.fao.org/3/a-i5199e.pdf.

FAO (UN Food Agric. Organ). **2020**. AQUASTAT—FAO's global information system on water and agriculture. *Food and Agricultural Organization of the United Nations.* **http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm.**

FAO. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture-Managing Systems at Risk; Food and AgricultureOrganization of the United Nations: Rome, Italy, 2011. United Nations: Rome, Italy, 2012.

FAO. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture–Systems at Breaking Point (SOLAW 2021); Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2021.

FAO. The State of Food and Agriculture 2017. Leveraging Food Systems for Inclusive Rural Transformation; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2017.

Faurès, J.M., Bernardi, M. & Gommes, R. 2010. There is no such thing as an average: how farmers manage uncertainty related to climate and other factors. International Journal of Water Resources Development, 26: 4, 523—542.

Federal Ministry Republic of Austria - Agriculture, Regions and Tourism. Umweltbundesamt: Helga Lindinger, Johannes Grath, Heike Brielmann, Arnulf Schönbauer, Ingrid Gattringer,

Christina Formanek, Martine Broer, Thomas Rosmann; Ingenieurbüro Holler: Christian Holler, Manfred Szerencsits; BOKU: Roman Neunteufel, Nadine Sinemus, Maximilian Grunert, Verena Germann. Project lead: Günter Liebel, Ernst Überreiter. Foto credits: Ernst Formann (Coverfoto: Kläfferquelle S.1). (2021). Austria's Water Treasure. Stubenring 1, 1010 Vienna.

Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, et al. 2014. Summary for policymakers. In Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, ed. CB Field, VR Barros, DJ Dokken, KJ Mach, MD Mastrandrea, et al., pp. 1–32. Cambridge, UK/New York: Cambridge Univ. Press.

Fischhendler I, Zilberman D. **2005**. Packaging policies to reform the water sector: the case of the Central Valley Project Improvement Act. *Water Resour. Res.* 41:W07024.

Gampe D, Nikulin G, Ludwig R. 2016. Using an ensemble of regional climate models to assess climate change impacts on water scarcity in European river basins. Sci. Total Environ. 573:1503–18.

García-Herrera R, Díaz J, Trigo R, Luterbacher J, Fischer E. A review of the European summer heat wave of 2003. Crit Rev Environ Sci Technol 2010, 40:267–306.

Gosling SN, Arnell NW. 2016. A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. Clim. Change 134:371–8510.

Gleick PH, Coley H 2021. Annual Review of Environment and Resources. Vol. 46:319-348 https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-101319.

Gommes, R., Acunzo, M., Baas, S., Bernardi, M., Jost, S., Mukhala, E. & Ramasamy, S. 2010. Communication approaches in applied agrometeorology, In K. Stigter, ed. Applied Agrometeorology, pp. 263–287, Heidelberg, Springer.

Güngör, Y., Erözel, Z., ve Yıldırım, O. 2004 Sulama. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 1540, Ankara.

Hagg W, Braun L, Kuhn M, Nesgaard T.Modelling of hydrological response to climate change in glacierized Central Asian catchments. J Hydrol 2007, 332:40–53.

High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition (HLPE). 2012. Climate change and food security. A report by the HLPE of the Committee on World Food Security, Rome.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Climate change 2014: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the

Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

IPCC. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press; 2012.

IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press; 2013.

IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press; 2014.

IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press; 2014.

Kadioglu, M., Unal, Y, Ilhan, A. and Yuruk, C. (2017). Türkiye'de İklim Değişikliği ve Tarımda Sürdürülebilirlik. Türkiye Gıda ve İçecek Sanayii Dernekler Federasyonu Yayını. https://www.tgdf.org.tr/wp-content/uploads/2017/10/iklim-degisikligi-rapor-elma.compressed.pdf.

Karasekreter, N.; Basciftci, F.; Fidan, U. A new suggestion for an irrigation schedule with an artificial neural network. J. Exp. Theor. Artif. Intell. 2013, 25, 93–104.

Karam, F., Saliba, R., Skaf, S., Breidy, J., Rouphael, Y., & Balendonck, J. (2011). Yield and water use of eggplants (Solanum melongena L.) under full and deficit irrigation regimes. Agricultural Water Management, 98(8), 1307-1316.

Kibaroğlu, A., Sağsen, İ., Kaplan, Ö., Sümer, V., 2006. Türkiye' nin Su Kaynakları Politikasına kapsamlı bir bakış: Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi ve İspanya örneği. TMMOB Su Politikaları Kongresi, 21-23 Mart 2006, Bildiriler Kitabı, Cilt 1, Ankara, s.184-194.

Knutson T, Tuleya R. Impact of CO2-induced warming on simulated hurricane intensity and precipitation: sensitivity to the choice of climate model and convective parameterization. J Clim 2004, 17:3477–3495.

Konukcu, F., Albut, S. Ve Altürk A. (2019). TR21 Trakya Bölgesinde İklim Değişikliğinin Etkileri ve Uyum Stratejileri. Namık Kemal Üniversitesi Yayınları No: 2.08-027-0030/A-I, 46-60.

Kundzewicz ZW, Mata LJ, ArnellNW, Döll P, Jimenez B, Miller K, Oki T, ¸Sen Z, Shiklomanov I. Freshwater resources and their management. In: Parry M, Canziani O, Palutikof J, van der Linden P, Hanson C, eds. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability.Contribution ofWorking Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press; 2007.

Lakhran, H., Kumar, S., and Bajiya, R., (2017). Crop Diversification: An Option for Climate Change Resilience. Trends in Biosciences 10(2), 516-518, 2017.

Lal, R. (2010). A dual response of conservation agriculture to climate change: reducing CO2 emissions and improving the soil carbon sink. (In) Proceedings of the European Congress on Conservation Agriculture-Towards Agro-environmental Climate and Energetic Sustainability, Madrid, Spain, 4–7 October 2010. pp. 3–18.

Li, J., Smith, D. W., Fityus, S. G., & Sheng, D. (2003). Numerical analysis of neutron moisture probe measurements. *International Journal of Geomechanics*, *3*(1), 11-20.

Lobell D, Hammer G, McLean G, Messina C, Roberts M, Schlenker W. The critical role of extreme heat for maize production in the United States. Nat Clim Change 2013, 3:497–501.

Loss, S., Haddad, A., Khalil, Y., Alrijabo, A., Feindel, D. and Piggin, C. (2015). Evolution and adaptation of conservation agriculture in the Middle East. (In) Farooq, M., Siddique, K. H.M. (Eds.) Conservation Agriculture. Springer International Publishing Switzerland. pp. 197–224.

Martínez, J., & Reca, J. (2014). Water use efficiency of surface drip irrigation versus an alternative subsurface drip irrigation method. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, *140*(10), 04014030.

Mekonnen, M. M. & Hoekstra, A. Y. Four billion people facing severe water scarcity. Sci. Adv. 2, e1500323 (2016).

Mann ME, Gleick PH. 2015. Climate change and California drought in the 21st century. PNAS 112:3858–59.

Meehl G, Tebaldi C. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. Science 2004, 305:994–997.

Mínguez M, Ruiz-Ramos M, Díaz-Ambrona C, Quemada M, Sau F. First-order impacts on winter and summer crops assessed with various high-resolution climate models in the Iberian Peninsula. Clim Change 2007, 81:343–355.

Mishra A, Singh V. A review of drought concepts. J Hydrol 2010, 391:202–216.

Mueller Schmied H, Adam L, Eisner S, Fink G, Flörke M, et al. 2016. Variations of global and continental water balance components as impacted by climate forcing uncertainty and human water use. Hydrol. Earth Syst. Sci. 20:2877–9811.

Muluk ÇB., Kurt B., Turak A., Türker A., Çalışkan MA., Balkız Ö., Gümrükçü S., Sarıgül G., Zeydanlı U. Türkiye'de Suyun Durumu Ve Su Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar: Çevresel Perspektif. İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği-Doğa Koruma Merkezi. 2013.

Murdoch P, Baron J, Miller T. Potential effects of climate change on surface-water quality in North America. J Am Water Resour Assoc 2000, 36:347–366.

Molle F, Mollinga P. 2003. Water poverty indicators: conceptual problems and policy issues. Water Policy 5:529–44.

Nelson GC, Rosegrant MW, Koo J, Robertson R, Sulser T, Zhu T, Ringler C, Msangi S, Palazzo A, Batka M, et al. Climate Change Impacts on Agriculture and Costs of Adaptation. Washington, DC: International Food Policy Research Institute; 2009.

Ohmura A, Wild M. Is the hydrological cycle accelerating? Science 2002, 298:1345–1346.

Oweis, T. and Hachum, A. (2012) Supplemental irrigation. In: A highly efficient water-use practice. Aleppo, Syria: International Centre for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA).

Oweis, T., Hachum, A., & Pala, M. (2004). Lentil production under supplemental irrigation in a Mediterranean environment. Agricultural water management, 68(3), 251-265.

Razouk, R., Ibijbijen, J., & Kajji, A. (2013). Optimal time of supplemental irrigation during fruit development of rainfed olive tree (Olea europaea, cv. Picholine Marocaine) in Morocco. American Journal of Experimental Agriculture, 3(4), 685-697. Rodell M, Beaudoing HK, L'Ecuyer T, Olson WS, Famiglietti JS, et al. 2015. The observed state of the water cycle in the early twenty-first century. J. Climate 28:8289–318.

Rasheed, M. W., Tang, J., Sarwar, A., Shah, S., Saddique, N., Khan, M. U., ... & Sultan, M. (2022). Soil moisture measuring techniques and factors affecting the moisture dynamics: A comprehensive review. *Sustainability*, *14*(18), 11538.

Rosegrant M, Cai X, Cline S.World Water and Food to 2025: Dealing with Scarcity. International Food Policy Research Institute & International Water Management Institute: Washington, DC and Colombo; 2002.

Rosenzweig C, Iglesias A, Yang X, Epstein P, Chivian E. Climate change and extreme weather events; implications for food production, plant diseases, and pests. Glob Change Hum Health 2001, 2:90–104.

Schewe J, Heinke J, Gerten D, Haddeland I, Arnell NW, Clark DB, Dankers R, Eisner S, Fekete BM, Colón-González FJ, et al. Multimodel assessment of water scarcity under climate change. Proc Natl Acad Sci USA 2014, 111:3245–3250.

Schwilch, G., Laouina,A., Chaker, M., Machouri, N., Sfa, M. And Stroosnijder, L. (2013). Challenging conservation agriculture on marginal slopes in Sehoul, Morocco. Renewable Agriculture and Food Systems: available at http://journals. cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=9095422.

Schmidhuber J, Tubiello F. Global food security under climate change. Proc Natl Acad Sci USA 2007, 104:19703–19708.

Seneviratne SI, Corti T, Davin EL, Hirschi M, Jaeger EB, Lehner I, Orlowsky B, Teuling AJ. Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: a review. Earth-Sci Rev 2010, 99:125–161.

Sheffield J, Wood E, Roderick M. Little change in global drought over the past 60 years. Nature 2012, 491:435–438.

Shiklomanov IA, Balonishnikova JA. 2003. World water use and water availability: trends, scenarios, consequences. Int. Assoc. Hydrol. Sci. Publ. 281:358–64.

Shukla, S.K. (2017). Basic Description of Soil and Soil Reinforcement. In: Fundamentals of Fibre-Reinforced Soil Engineering. Developments in Geotechnical Engineering. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3063-5_1.

Siebert, S., Burke, J., Faures, J. M., Frenken, K., Hoogeveen, J., Döll, P.& Portmann, F. T. 2010. Groundwater use for irrigation – a global inventory. Hydrology and Earth System Sciences, 14: 1863–1880.

Sommer, R., Piggin, C., Haddad, A., Hajdibo, P., Hayek, P. And Khalil, Y. (2012). Simulating the effects of zero tillage and crop residue retention on water relations and yield of wheat under rainfed semiarid Mediterranean conditions. Field Crops Research 132: 40–52.

Taylor RG, Scanlon B, Döll P, Rodell M, van Beek R, Wada Y, Longuevergne L, Leblanc M, Famiglietti JS, Edmunds M, et al. Ground water and climate change. Nat Clim Change 2013, 3:322–329.

Tejero, I. G., Zuazo, V. H. D., Bocanegra, J. A. J., & Fernández, J. L. M. (2011). Improved water-use efficiency by deficit-irrigation programmes: Implications for saving water in citrus orchards. Scientia Horticulturae, 128(3), 274-282.

Trenberth, K. E. et al. in Climate Change 2007: The Physical Science Basis (eds Solomon, S. et al.) 235–336 (IPCC, Cambridge Univ. Press, 2007).

Trout T.J, and Martin D.L. (2020). Deficit Irrigation Strategies for the Western U.S. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 63(6): 1813-1825.

Turral H, Burke J, Faurès J. Climate Change, Water and Food Security. Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations; 2011.

Tsang, S.W.; Jim, C.Y. Applying artificial intelligence modeling to optimize green roof irrigation. Energy Build. 2016, 127, 360–369.

Umair, S.; Muhammad, R.U. Automation of irrigation system using ANN based controller. Int. J. Elec. Comp. Sci. 2010, 10, 41–47.

Uygan, D., Cetin, O., Alveroglu, V., & Sofuoglu, A. (2021). Improvement of water saving and economic productivity based on quotation with sugar content of sugar beet using linear move sprinkler irrigation. Agricultural Water Management, 255, 106989.

Wada Y, Bierkens MF. 2014. Sustainability of global water use: past reconstruction and future projections. Environ. Res. Lett. 9:104003.

Wada, Y. et al. Modelling global water use for the 21st century: The Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches. Geosci. Model Dev. 9, 175–222 (2016).

Wang D, Hejazi M, Cai X, Valocchi A. Climate change impact on meteorological, agricultural, and hydrological drought in central Illinois. Water Resour Res 2011, 47.

Wilhite DA, Glantz MH. 1985. Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. Water Int. 10:111–20.

Wisser D, Fekete BM, Vörösmarty C, Schumann A. 2010. Reconstructing 20th century global hydrography: a contribution to the Global Terrestrial Network-Hydrology (GTN-H). Hydrol. Earth Syst. Sci. 14:1–24.

WDR, 2003: World Disaster Report: Focus on Ethics in Aid. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva, 240 pp.

WDR, 2004: World Disaster Report: Focus on Community Resilience. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva, 240 pp.

Ximing Cai, Xiao Zhang, Paul H. Noël and Majid Shafiee-Jood Impacts of climate change on agricultural water management: a review. WIREs Water 2015, 2:439–455. doi: 10.1002/wat2.1089.

Zegbe, J. A., & Servín-Palestina, M. (2021). Supplemental irrigation to save water while growing cactus pear in semi-arid regions. Irrigation and Drainage, 70(2), 269-280.

Zhang X, Cai X. Climate change impacts on global agricultural water deficit. Geophys Res Lett 2013, 40:1111–1117.