

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
SU POLİTİKALARI VE GÜVENLİĞİ ANA BİLİM DALI

**BUĞDAYIN SU AYAK İZİ ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI BİR
DEĞERLENDİRME**

Yüksek Lisans Tezi

Güray Dellal

Ankara, 2023

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
SU POLİTİKALARI VE GÜVENLİĞİ ANA BİLİM DALI

**BUĞDAYIN SU AYAK İZİ ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI BİR
DEĞERLENDİRME**

Yüksek Lisans Tezi

Güray Dellal

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gökşen Çapar

Ankara, 2023

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
SU POLİTİKALARI VE GÜVENLİĞİ ANA BİLİM DALI

**BUĞDAYIN SU AYAK İZİ ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI BİR
DEĞERLENDİRME**

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gökşen Çapar

TEZ JÜRİSİ ÜYELERİ

Adı ve Soyadı:

- 1. Prof. Dr. Mutlu Yılmaz**
- 2. Prof. Dr. Gökşen Çapar**
- 3. Doç. Dr. Vakur Sümer**

Tez Savunması Tarihi:

7 Ağustos 2023

T.C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Prof. Dr. Gökşen Çapar danışmanlığında hazırladığım “Buğdayın Su Ayak İzi Üzerine Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme (Ankara, 2023)” adlı yüksek lisans ☒ - doktora/bütünleşik doktora ☐ tezindeki bütün bilgilerin akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak toplanıp sunulduğunu, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

Tarih: 11.09.2023

Adı-Soyadı

Güray Dellal

İÇİNDEKİLER

TABLolar LİSTESİ.....	1
ŞEKİLLER LİSTESİ	1
ÖNSÖZ.....	2
KISALTMALAR.....	3
1.GİRİŞ.....	5
2. SANAL SU VE SU AYAK İZİ	10
2.1. Sanal Su.....	10
2.2. Su Ayak İzi	14
2.2.1. Küresel Su Ayak İzi	20
2.2.2.Türkiye’de Su Ayak İzi	21
3. TARIMDA SU KULLANIMI.....	24
3.1. Tarımsal Sanal Su ve Hesaplaması.....	26
3.2. Tarımın Su Ayak İzi	29
3.2.1. Dünya Tarımının Su Ayak İzi.....	34
3.2.2. Türkiye Tarımının Su Ayak İzi	35
3.2.2.1. Türkiye Tarımında Üretimin Su Ayak İzi.....	36
3.2.2.2. Türkiye Tarımında Tüketimin Su Ayak İzi	37
3.2.2.3.Türkiye Tarımında İhracatın ve İthalatın Su Ayak İzi.....	38
3.2.3. Dünya Tarımında Su Ayak İzi Araştırmaları	39
3.2.4. Tarımsal Üretimde Su Ayak İzi Senaryoları.....	48
4. BUĞDAY TARIMI.....	49
4.1.Buğday Tarımının Ekonomisi	49
4.2. Buğday Tarımının Biyolojik ve Teknik Özellikleri	52
5.BUĞDAY TARIMININ SU AYAK İZİ.....	54
5.1. Küresel Düzeyde Gerçekleştirilen Buğday Su ayak İzi Araştırmaları.....	60
5.2. Bölge ve Ülke Düzeyinde Gerçekleştirilen Buğday Su Ayak İzi Araştırmaları:	65
5.3. Türkiye’de Buğday Su Ayak İzi Çalışmaları	77
5.3.1.Sektörel Düzeyde Gerçekleştirilen Çalışmalar.....	77
5.3.2.Üniversiteler Tarafından Gerçekleştirilen Çalışmalar:	79
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	85
6.1. Genel Olarak Durum.....	86

6.1.1. Küresel düzeyde araştırmalar.....	86
6.1.2. Buğday Su Ayak İzi Analizlerinde Kullanılan Modeller.....	87
6.1.3. Buğday Su Ayak İzinin Bileşenleri.....	88
6.1.4. Buğday Su Ayak İzinin Sürdürülebilirliği.....	89
6.1.5. Buğday Su Ayak İzi Sonuçlarını Etkileyen Faktörler	93
6.1.6.Net Su İthalatı ve İhracatı Yapan Bölgelerde Buğday Su Ayak İzi	99
6.1.7.Buğday Su Ayak İzinin Çevresel Etkileri	99
6.1.8. Ülkeler Arasındaki Farklılıklar	101
6.1.9. Su Tasarrufu.....	101
6.2. Türkiye’de Durum.....	103
6.2.1. Türkiye İçin Buğday Su Ayak İzinin Önemi.....	103
6.2.2. Buğday Su Ayak İzi Araştırmalarının Genel Değerlendirilmesi.....	103
6.2.3.Türkiye’de Buğday Su Ayak İzi ve Ülkesel Toplam Su Ayak İzi içindeki Payı	105
6.2.4.Türkiye’de Buğday Su Ayak İzinin Bileşenleri.....	106
6.2.5. Türkiye’nin İhracatının ve İthalatının Buğday Su Ayak İzi	109
6.2.6. Türkiye’de Buğday Su Ayak İzi ve İklim Değişikliği Arasındaki İlişkiler: ...	109
6.2.7.Türkiye’de Buğday Su Ayak İzinin İyileştirilmesine Yönelik Öneriler:	109
KAYNAKLAR	113
7. Özet.....	130
8. Summary.....	131

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1: 1997-2002 döneminde küresel düzeyde sektörlere göre su kullanımı ve VW ihracatı	12
Tablo 2: Küresel düzeyde VW akışı ve ihracat ve ithalatı	13
Tablo 3: Üretimin küresel düzeyde su ayak izi (1996-2005)	21
Tablo 4: Türkiye'nin 2020 yılı verilerine göre su potansiyeli	24
Tablo 5: Türkiye'de sektörlere göre 2022 yılında gerçekleşen su tüketimi miktarları	25
Tablo 6: Küresel düzeyde bitkisel üretim için kullanılan su ve toplam su kullanımı içindeki payı	27
Tablo 7: Bazı tarım ürünleri VW içeriği	28
Tablo 8: Bitkisel tarım ürünlerinde sanal suyun hesaplanması	29
Tablo 9: Tarımda su ayak izi bileşenleri ve özellikleri	30
Tablo 10: Dünyada bazı tarımsal ürünlerin ortalama WF	35
Tablo 11: Türkiye üretimin su ayak izi	36
Tablo 12: Bazı ülkelerde tarımsal ürünlerde su ayak izi	47
Tablo 13: Dünyada başlıca ülkelere göre buğday üretimi	50
Tablo 14: Türkiye'de 2020-2022 döneminde buğday ekim alanı	51
Tablo 15: Dünyada 2004 - 2023 döneminde gerçekleştirilen buğday WF çalışmaları*	55
Tablo 16: Türkiye'de 2008 –2019 döneminde buğdayın yıllık ortalama WF istatistikleri	81
Tablo 17: Türkiye'de tahıl grubu ürünlerinin WF miktarları	82
Tablo 18: Trakya Bölgesinde AquaCrop Modeli Tahminlerine Göre Kışlık Buğdayın Gelecek Su ayak İzi Tahminleri	83
Tablo 19: Türkiye'de buğday üretimi üzerindeki WF araştırmaları	104

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Türkiye'de üretimin su ayak izi bileşenlerinin payı (%)	37
Şekil 2: Ülkelere göre kişi başı su ayak izi (m^3 / kişi/yıl)	61

ÖNSÖZ

Buğdayın Su Ayak İzi Üzerine Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme başlıklı yüksek lisans tezimi tamamlamanın heyecanını ve gururunu yaşarken, çalışmamın her aşamasında bana rehberlik eden ve çok değerli görüşlerini, eleştirilerini ve önerilerini sağlayan, kendisinin bilgi birikimi, deneyimi ve sayesinde bu tezi başarıyla tamamlamamı mümkün kılan beraber çalışmaktan ve öğrencisi olmaktan gurur duyduğum danışman hocam Prof. Dr. Gökşen Çapar'a teşekkür ederim.

Son olarak, hayatım boyunca en büyük destekçilerim olan, sevgi ve güvenlerini hiçbir zaman esirgemeyen, bilgiye ve çalışmaya olan açlığımı baki tutan, birlikte bir aileyi paylaşmaya gurur duyduğum, tüm başarılarımı adadığım babam Prof. Dr. Gürsel Dellal'a ve annem Prof. Dr. İlkay Dellal'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi iletiyorum.

KISALTMALAR

ET	: Evapotranspirasyon
ET ₀	: Referans Evapotranspirasyon
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
LCA	: Yaşam Döngüsü Analizi
RIS	: Göreceli Sulama Arzı
TGİSDF	: Türkiye Gıda ve İçecek Sanayi Dernekleri Federasyonu
WFD	: Su Çerçeve Direktifi
WWF	: Dünya Doğayı Koruma Vakfı
WFN	: Su Ayak İzi Ağı
VW	: Sanal Su
mm ³	: Milimetreküp
Mm ³	: Milyar metreküp
Gm ³	: Giga metreküp
Pe _{eff}	: Etkili yağış
WF	: Su ayak izi
WF _{yeşil}	: Yeşil su ayak izi
WF _{mavi}	: Mavi su ayak izi

WFgri : Gri su ayak izi

Ladd : Kirletici yük

Cmax : Ortam suyu kalite standardı

Cnat : Alıcı su kütlesindeki kirleticinin doğal konsantrasyonu

L : Toplam kirletici yük

Qact : Gerçek havza deşarjı/debisi



1. GİRİŞ

Su, insan yaşamında önemli yere sahip olan, insanın yaşamı ile birlikte ekonomik ve sosyal gelişimi için mutlaka gerekli olan temel bir kaynaktır. Bundan dolayı Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinden altıncısı olan “Temiz Su ve Sanitasyona Erişim”, temel bir insan hakkı olarak belirlenmiştir (Aysa, 2021).

Dünya su varlığının sadece %2.5’u tatlı su kaynaklarından oluşurken, geri kalan %97.5’si tuzlu sulardan (okyanuslar: %96.5 ve diğer tuzlu sular: %1) oluşurken oluşmaktadır. Tatlı su kaynaklarının %68.7’si buzullar ve diğer buz kütleleri, %30.1’i yer altı suları, %1.2’si yüzey ve diğer tatlı sulardan oluşmaktadır (USGS, 2019).

Suyun, sınırsız bir kaynak olmadığı ve dünyadaki toplam suyun ancak %1’ine (toplam su varlığının on binde ikisi) erişilebildiği bildirilmektedir. Bununla birlikte yapılan senaryolara göre 2050 yılında dünyada nüfusun yaklaşık 10 milyara, Türkiye’de ise 105 milyona ulaşması beklenmektedir. Bir insanın günlük içme suyu ihtiyacı ortalama 2 litre iken gıda ihtiyacını karşılamak için dolaylı ve doğrudan tüketilen miktar 3000 litreden fazla olabilmektedir. Dolayısıyla gelecekte bu nüfusu doyurmak için %60 daha fazla gıda üretimine ve bu gıdayı üretmek için de %15 daha fazla suya ihtiyaç duyulacaktır. Bu nedenle su güvenliğinin gıda güvencesi olduğu kabul edilmektedir (Kınacı, 2023).

Nüfus artışı ve evsel, endüstriyel ve tarımsal üretim için artan su taleplerine bağlı olarak küresel tatlı su kaynaklarının hızlı bir şekilde azaldığı ve kirlendiği ve bu durumun gelecekte de artarak devam edeceği pek çok araştırma ile bildirilmektedir. Suyun bu öneminden hareketle UNESCO ve Birleşmiş Milletler Dünya Su Değerlendirme Programı tarafından gelecek su arzı senaryolarının oluşturulmasına yönelik bir hazırlık çalışması olan Global Water Futures 2050’de küresel su kaynaklarının geleceğini etkileyen 10 farklı temel faktör belirlenmiştir:

demografi, ekonomi, teknoloji, su depoları, su altyapısı, iklim, sosyal davranış, politika, çevre ve yönetim (Manzardo ve ark., 2014; Ercin ve Hoekstra, 2014).

Su, ülkesel ve küresel düzeyde enerji üretimi, kentsel ve ekonomik yaşamın devamlılığı gibi süreçlerle birlikte tarımsal ekosistemler başta olmak üzere biyolojik ekosistemlerin ve dolayısıyla gıda üretiminin sürdürülebilirliği için mutlak gerekli olan bir girdidir. Bundan dolayı son yıllarda su ve su yönetimine yönelik olarak ‘su sektörü’ terimi geliştirilmiştir. Bu terim; su temini, arıtma ve sanitasyon sektörlerindeki paydaşlarla birlikte sanayi, tarım, ormancılık, turizm, çevre vb. alanlarda kullanılan suyun miktarının ve kalitesinin yönetiminde yer alan ve bu konuda politikalar üreten ve uygulayan tüm ilgili paydaşları içermektedir (Convention on Biological Diversity, 2022).

FAO tarafından dünya nüfusunun artması ve tarımsal ürünlere olan talebin artacak olması, nedeniyle tarımsal üretimin 2050 yılına kadar yaklaşık %70 artırılması gerektiği bildirilmektedir (FAO, 2003).

Ancak son yıllarda tarım sektörü, yeterli ve kaliteli gıda teminin sürdürülebilirliği açısından birçok faktörün olumsuz etkisi ile karşı karşıya olup gerekli önlemlerin alınmaması durumunda gelecekte yeterli ve kaliteli gıda üretimi hususunda çok önemli sorunların yaşanacağı da kabul edilmektedir.

Günümüzde küresel düzeyde tarım, tatlı su kaynaklarından yararlanan esas sektördür ve küresel olarak tatlı su miktarının ortalama %70’ini kullanmaktadır. Yine dünya genelinde üretilen toplam gıdanın %40’ı sulanan tarım arazilerinde üretilirken bu arazilerin dünyadaki tüm tarım arazileri içindeki payı %20’dir. Sulu tarım, yağışa dayalı tarıma göre birim arazi başına en az 2 kat daha verimli olduğundan daha fazla üretim ve ürün çeşitliliği sağlanmaktadır. Ancak geleceğe yönelik yapılan senaryo çalışmaları; su kaynaklarının artmayacağı ve tarımda

kullanılan tatlı suyun %25 - %40'ının özellikle evsel kullanım ve sanayiye aktarılacağını da ortaya koymaktadır (WB, 2022).

Küresel düzeyde son yıllarda tarım sektörü başta olmak üzere tüm sektörlerde ve kentsel yaşamda su kaynaklarının ve kalitelerinin sürdürülebilir bir şekilde korunması ve geliştirilmesine yönelik yoğun çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Özellikle, birden çok hedefi olan çevresel etki analizlerine büyük önem vermeye başlanmıştır. Bu analizlerde; antropojenik üretim süreçlerinin, çevre üzerindeki etkilerini azaltmak ile birlikte bu etkilere karşı uyum sağlayabilmek için birçok uyum stratejisi ve modeli üzerinde de durulmaktadır (Lovarelli ve ark., 2016).

Küresel düzeyde tarım sektöründe iklim değişikliği uyum çalışmalarında, yukarıda belirtilen önemi nedeniyle sürdürülebilir su temini, kullanımı ve yönetimi çalışmaları çok önemli yer tutmaktadır. Ülkesel düzeyde bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar, acil ve/veya sürdürülebilir uyum stratejileri ve politikalarının geliştirilmesi için paydaşlara ve karar vericilere ulaştırılmaktadır. Örneğin, İtalya'da son yıllarda tarımsal üretimde gerçekleştirilen iklim değişikliğine uyum çalışmalarına göre; bu ülkede tarım alanlarının %20'sinden fazlasının sulandığı ancak iklim değişikliğinin yağış trendlerinde çok önemli değişikliklere neden olmasından dolayı sektörün bu duruma uyum sağlamak zorunda olduğu ortaya konmuştur (Natali ve ark., 2009).

Küresel ve ülkeler düzeyinde son yıllarda tarım sektöründe paydaşlar tarafından sürdürülebilir su temini ve kullanımına yönelik birçok çalışma yapılmış ve sorunların çözümüne yönelik metodolojiler geliştirilmiştir. Bununla birlikte Hoekstra ve Hung (2002) tarafından ilk defa 2002 yılında tanıtılan "Su Ayak İzi Metodolojisi", tarım sektöründe sürdürülebilir su yönetimi planlama çalışma ve uygulamalarında günümüze kadar kullanılan en etkili yöntemlerden birisi

olmuş ve geçen sürede daha etkili bir su yönetimi için daha da geliştirilmiştir. Dolayısıyla geçen yaklaşık 20 yıla rağmen su ayak izi, yeni bir kavram olarak kabul edilmektedir (WWF, 2014).

Küresel düzeyde su ayak izi metodolojisinin teorik ve uygulamaya yönelik bileşenlerindeki gelişmelere paralel olarak su korumaya yönelik küresel ve ulusal düzeyde birçok yasa ve mevzuat yayınlanmıştır. AB ülkelerinde su kalitesini, kıtlığını ve üretkenliği iyileştirmek için Su Çerçeve Direktifi (WFD) tanımlanmış (Directive 2000/60/EC) ve su ayak izi, ISO tarafından standart bir metodoloji haline getirilmiştir (ISO 14046/2014). Yine su ayak izi çalışmaları için FAO CROPWAT2 ve Su Ayak İzi Ağı (WFN) önemli veri sağlamaktadır (Lovarelli ve ark., 2016).

İklim değişikliği, nüfus artışı, gelişen sanayi, hızla büyüyen kentler vb. faktörleri dikkate alarak yapılan gelecek kuraklık senaryoları tahmin sonuçlarına göre 2030 yılında Türkiye su kıtlığı çeken bir ülke olacaktır (WWF, 2014). Su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve yönetimi bu nedenle önemlidir ve tüm sektörlerde su ayak izi çalışmalarının yapılması sürdürülebilir bir su yönetimi için gerekmektedir.

Türkiye’de tarım ve buğday sektöründe gerçekleştirilen su ayak izi çalışmalarının sayısının yeterli olduğunu söylemek mümkün değildir. Bununla birlikte, son yıllarda üniversiteler dışında iki sivil toplum örgütü tarafından gerçekleştirilen iki çalışmanın bu alana çok önemli katkı yaptığı kabul edilebilir. Bu çalışmalardan ilki 2014 yılında Dünya Doğayı Koruma Vakfı (WWF) tarafından hazırlanan ‘‘Türkiye’nin Su Ayak izi Raporu’’, ikincisi ise 2017 yılında Türkiye Gıda ve İçecek Sanayi Dernekleri Federasyonu tarafından hazırlanan ‘‘Türkiye’de İklim Değişikliği ve Tarımda Sürdürülebilirlik Raporu’dur.

Her iki raporda da Türkiye’de üretilen önemli tarımsal ürünlerin yanında buğdayın su ayak izi üzerinde de durulmuştur. Çünkü buğday ülkemizde tarımı yapılan bitkisel ürünlerin başında gelmektedir, beslenme ve ülke ekonomisi açısından büyük öneme sahiptir.

Orta Doğu'da Bereketli Hilal bölgesinde yabani otlardan evcilleştirilmiş buğday (*Triticum aestivum* L.), kültüre alınan ilk tahıllardandır ve yaklaşık 12.000 yıldır tarımı yapılmaktadır (Charmet, 2011; Nazlı, 2017; Byrne, 2020).

Dünyada buğday, mısırdan sonra en fazla üretilen tahıldır ve insan beslenmesinde önemlidir. Küresel beslenmede enerjinin yaklaşık %20'sinin ve yaklaşık aynı oranda da proteinin buğday tarafından karşılandığı tahmin edilmektedir. Aynı zamanda diğer birçok tarımsal ürüne göre buğday, daha fazla alanda ve çiftçi tarafından üretilmektedir. Buğday hem gıda hem de sanayi için hammadde kaynağıdır. Tüketim alışkanlıklarının değişmesi ve teknolojinin gelişmesi ile, buğday ürünlerine talep de çeşitlenmiştir. Buğday ekmek, bulgur, makarna, bisküvi, irmik gibi ürünler olarak tüketilmektedir. Önemli besin kaynağı olduğu için stratejik bir üründür ve bu nedenle buğdayın gelecek yıllarda da önemini sürdüreceği bilinmektedir (Hububat Sektör Raporu, 2013; Wheat, 2014; Nazlı, 2017).

Küresel düzeyde buğday ve şeker pancarı, tarım sektöründe su ayak izi çalışmalarının en yoğun olarak yürütüldüğü iki tarımsal üründür. Türkiye'de de buğday, insan ve hayvan beslenmesinde yer alan tarımsal ürünlerin başında gelmektedir. Ancak ülkemizde buğday sektöründe su ayak izine yönelik bilimsel ve sektörel çalışmalar yeterli düzeylerde değildir. Buna karşın gerek buğdayın ülkemiz insanının beslenmesine ve ekonomisine yaptığı katkıyı gerekse gelecek yıllarda ortaya çıkması beklenen kuraklık tehlikeleri dikkate alındığında, buğday sektöründe etkili ve sürdürülebilir bir su yönetiminin sağlanması için su ayak izi çalışmalarının hızlandırılması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, öncelikle dünyada tarım sektöründe su ayak izi konusunda yapılan çalışmalar incelenmiştir. Sürdürülebilir su yönetimi ve havza bazlı su tahsisi planlarının hazırlanması çalışmalarında büyük fayda sağlayacak olan su ayak izi kavramı, hali hazırda su stresi yaşayan ve su fakiri bir duruma gerilemesi beklenen ülkemizde daha çok yağışa dayalı

olarak yetiştirilen buğday bitkisi özelinde detaylı olarak incelenmiş ve farklı bölgelerde yetiştirilen buğdayın su ayak izi değerleri arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Buğdayda su ayak izinin analizine yönelik yapılan araştırmalar ve çalışmalar derlenmiş, ülkemiz için öneriler sunulmuştur.

2. SANAL SU VE SU AYAK İZİ

Sanal su (VW) ve su ayak izi (WF), küresel düzeyde tatlı su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi için geliştirilen iki önemli terim/göstergedir. Bu iki terimin, aynı veya birbirini tamamlayan kavramlar gibi görülmesine karşın su kullanımının değerlendirilmesinde içerikleri ve etkileri farklılık göstermektedir.

2.1. Sanal Su

VW, bir ürünün içindeki saklı/gizli suyu ifade etmektedir ve daha çok VW ticareti kavramı içinde uluslararası veya bölgeler arasında gerçekleşen su akışları ile ilgili olarak kullanılmaktadır. Ülkeler, ürünlerin ihracatı ve ithalatında, suyu da sanal olarak ithal ve ihraç etmektedir (Allan ve ark., 1998).

Su yeterliliği; ihtiyaç duyulan mal ve hizmet üretimi için gerekli olan suyun o ülkenin kendisi tarafından karşılanıp karşılanmadığının bir göstergesidir. Su yeterliliğinin yüzde yüz olması durumunda; üretilen mal ve hizmetler için kullanılan su miktarı o ülkenin kendi yerel su kaynaklarından karşılanmaktadır. Ancak su yeterliliğin sıfıra doğru yaklaşması durumunda o ülke, su fakiri ve bağımlısı olmaya ve dolayısıyla da su ihtiyacının bir kısmını VW ithalatı ile karşılamaya zorunlu kalmaktadır.

VW kavramı, ilk kez 1990'ların başında su kısıtlılığı sorununun çözümüne yönelik VW ithali seçeneği üzerindeki çalışmalar sırasında ortaya çıkmıştır. Araştırmacı, mevcut su kaynaklarının

az olduğu bölgelerde ortaya çıkan baskının, VW transferi ile hafifletebileceğini ortaya koymuştur (Lovarelli ve ark., 2016).

İlerleyen yıllarda birçok kurum ve araştırmacı tarafından VW kavramının, daha farklı üretim sistemlerinde ve geniş ölçeklerde uygulanması yönünde araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Özellikle 2000’li yılların başında küresel su kaynaklarının ölçülmesine ve VW kavramı ile WF arasındaki ilişkilerin araştırılmasına başlanmıştır. Geçen süre içinde ise VW kavramının, bir ürün ya da hizmet üretmek için ihtiyaç duyulan su girişinin hesaplanmasında gereken esas özelliklerinden birisi olduğu konusunda görüş birliği oluşmuştur (Hoekstra & Hung, 2002; Chapagain & Hoekstra, 2003; Zimmer & Renault, 2003; Hoekstra, 2003; Oki & ark.,2003). (Çalık, 2018).

Kullanılan toplam su; ülkedeki tüm sektörlerde tüketilen suyun toplamını kapsamaktadır. Ulusal su talebi, farklı sektörlerde kullanılan suların miktarlarından hesaplanmakta ve ileriye yönelik talep projeksiyonları buna göre yapılmaktadır. Buna karşın, her ülkede tüketilen birçok ürün başka ülkelerden ithal edildiğinden gerçekte o ülkedeki su tüketim/kullanım deseni farklılık göstermektedir. Bu nedenle bir ülkenin su talebi, ulusal düzeyde kullanılan suyun miktarından daha yüksek olabilmektedir. Farklı ülkelere ürün ihraç eden ülkeler ise ürünün yanında aynı zamanda bu ürünün üretiminde kullanılan suyu da sanal olarak ihraç etmektedirler (Chapagain ve Hoekstra, 2003).

Tablo 1’den görülebileceği gibi 2003 yılı FAO verilerine göre 1997-2002 yılları arasında küresel toplam su kullanımı 7451 km³/yıl’dır. En yüksek düzeyde su tüketen sektör tarım (6391 km³/yıl) olup bu sektörü sırasıyla endüstri (716 km³/yıl) ve içme kullanma (344 km³/yıl) izlemektedir. Ayrıca, 1997-2002 döneminde bitkisel ve hayvansal ürünler ile sanayi mallarının ihracat yoluyla gerçekleşen toplam yıllık küresel VW akışı 1625 km³/yıl olup, toplam su kullanımının %16’sının VW ithalatı ile karşılandığı tahmin edilmiştir.

Küresel düzeyde toplam VW akışı miktarının en yüksek olduğu sektör tarım (1263 km³/yıl) iken bu sektörü endüstri (362 km³/yıl) izlemiştir. Uluslararası VW akışının bitkisel ve hayvansal ürün ticaretinden kaynaklanan miktar ise sırasıyla, 987 km³/yıl ve 276 km³/yıl'dır. Endüstriyel malların ticaretinden kaynaklanmaktadır VW akışı 362 km³/yıldır. İçme-kullanma sektörünün VW akışı bulunmamaktadır.

Tablo 1: 1997 - 2002 döneminde küresel düzeyde sektörlerle göre su kullanımı ve VW ihracatı (FAO, 2003)

	Tarım	Endüstri	İçme-Kullanma	Toplam
Küresel su kullanımı (km ³ /yıl)	6391	716	344	7451
VW ihracatı (km ³ /yıl)	1263	362	0	1625
VW ihracatının toplam sektörel kullanıma oranı (%)	15	34	0	16

Tablo 2' de 1996-2005 döneminde küresel düzeyde gerçekleşen VW akışı verilmiştir. En büyük net VW ihracatçısı ülkeler; ABD, Kanada, Brezilya ve Arjantin, Hindistan, Pakistan, Endonezya, Tayland ve Avustralya iken net VW ithalatçıları olan ülkeler ise, Kuzey Afrika, Orta Doğu, Meksika, Avrupa, Japonya ve Güney Kore'dir. VW ihracatında lider ülkeler ise sırasıyla ABD, Kanada, Fransa, Avustralya, Çin, Almanya, Brezilya iken VW ithalatında ABD, Almanya, Japonya, İtalya, Fransa, Hollanda, İngiltere'dir. Su kapasiteleri yüksek olan ülkeler, genellikle net VW ihracatçısıdırlar. Gelişmiş ülkelerin VW akışları, gelişmekte olan ülkelere göre daha dengelidir. Ancak VW ihracatçı ülkelerin bazıları da su sıkıntısı çekebilmektedirler (FAO, 2003; Codur, 2015).

Ülkesel VW dengesi, uluslararası brüt VW akışlarını göstermede çok etkilidir. Bu nedenle gelecekte çok daha şiddetli düzeylerde ortaya çıkacak su kıtlığı ve buna bağlı olarak sektörler arasında suya ulaşım için rekabetin ortaya çıkacağı noktasından hareketle su hakları, tahsisi ve

yönetimi sistemleri üzerinde şimdiden çalışılması gerekmektedir. Nitekim 2050 yılında küresel düzeyde yeterli su ve yiyecek kaynaklarının muhtemelen bulunacağı ancak ülkesel düzeyde bu kaynaklara tüm insanların uygun fiyatlarla ulaşabilmeleri için gayret edilmesi gerektiği bildirilmektedir (Mekonnen ve Hoekstra 2011; FAO, 2015; Çalık, 2018).

Tablo 2: Küresel düzeyde VW akışı ve ihracat ve ithalatı (FAO, 2003)

Ülkeler	VW akışı (km ³ /yıl)			
	İhracat	İthalat	Net ihracat	Net ithalat
Avustralya	73	9	64	-
Fransa	79	72	7	-
Kanada	95	35	60	-
ABD	229	176	53	-
Çin	73	63	10	-
Almanya	71	106	-	35
Hollanda	58	69	-	11
Ukrayna	21	4	17	-
Japonya	7	98	-	91
İtalya	38	89	-	51
İngiltere	18	64	-	47
Güney Kore	7	39	-	32
Meksika	21	50	-	29
Hong Kong	1	28	-	27
İran	5	19	-	14
İspanya	31	45	-	14
Suudi Arabistan	1	14	-	13

Küresel düzeyde ihraç edilen toplam VW'nin %34'ü endüstri, %15'i de tarım sektörü tarafından kullanılmaktadır. Küresel ticaret ile VW akışının yaklaşık %80'i tarımsal ürünler yoluyla gerçekleşmektedir (Chapagain ve Hoekstra, 2004).

2.2. Su Ayak İzi

Su ayak izi (WF); doğrudan ürünlerde bulunan suyun hacmi ile birlikte ürün veya hizmet üretmek ve tüketmek için birim zamanda doğrudan ve dolaylı kullanılan (buharlaşma dahil) ve/veya kirletilen toplam temiz-tatlı suyun hacmi olarak tanımlanmaktadır.

Tatlı su kullanımının hacimsel bir ölçüsü olan WF değeri, su kaynakları yönetiminin ve su kullanımının değerlendirilmesinde yeni ve alternatif bir yaklaşımdır. WF verileri, bir ürünün veya hizmetin, su kaynakları üzerindeki baskı düzeyini ifade ettiğinden geleneksel hesaplamalardan farklılık göstermektedir. Yine WF değeri, bir birim ürün elde edebilmek için doğrudan ve dolaylı tüketilen su (hacim, örneğin m³) miktarıdır (Hoekstra ve ark., 2011; Lovarelli ve ark., 2016)

VW ve WF terimleri, 1990'lı yılların başından itibaren geliştirilmiştir. İki terimin birbirleri ile yakın ilişkili olmasına karşın aralarında önemli farklılıklar da bulunmaktadır. VW yalnızca ürünlerde doğrudan bulunan suyun miktarı ile üretim süreçleri sırasında ürün veya hizmet üretmek için gereken su miktarı olarak tanımlanmaktadır. WF ise su tüketimine daha geniş bir açıdan bakmakta ve kullanılan suyun miktarı yanında suyun türü (yeşil, mavi, gri) ve kullanma yeri ve zamanını da içermektedir. Yine VW buharlaşma dahil olmak üzere birim zamanda harcanan ve/veya kirletilen su miktarı ile de ölçülmektedir (Hoekstra ve Hung, 2002;).

VW terimi; yalnızca ürünün içindeki saklı/gömülü suyu ifade etmekte ve esas olarak bölgeler arası veya uluslararası su akışlarının analizinde kullanılmaktadır. Bu durum ise genel olarak “VW akışı” ya da “VW ticareti” olarak adlandırılmaktadır.

Bir ürünün WF değeri çok farklı bileşenleri içermektedir. Bu nedenle bir tüketicinin ya da üreticinin tükettiği/kullandığı suyun ölçülmesi ve ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde, VW terimi yerine esas olarak WF terimi kullanılmaktadır. Dolayısıyla su ayak izi terimi; bir

birim ürünün (m^3/t) üretimi, belirli bir alan (ülke, il, havza vb.) ve birey/ topluluk ($m^3/yıl$) için gerekli olan yıllık suyun hacmi ile birlikte kullanılan su kaynaklarının türünü (tatlı su tüketimi: yeşil ve mavi WF; atıkları asimile etmek için kullanılan temiz su: gri WF), kullanım bölgelerini, coğrafi tanımlarını, kullanıldığı üretim süreçlerini ve zamanını, kirlenme miktarını ve ürünlerin ve hizmetlerin VW içeriğini ölçmek amacıyla geliştirilmiş yeni bir hacimsel göstergedir (WWF,2014; Lovarelli ve ark., 2016).

“WF” kavramı, 2002 yılında ilk kez araştırmacı Arjen Hoekstra tarafından ortaya konmuş ve geliştirilmiştir (Lovarelli ve ark., 2016). Gerçek su tüketimi ve suyun etkili bir şekilde yönetimine yönelik WF uygulamalarının çerçevesini tamamlamak ve belirlemek için günümüze kadar esas olarak üç yaklaşım geliştirilmiştir. İlki Su Ayak İzi Ağı yaklaşımı (orijinal yaklaşım) ikincisi Su Ayak İzi Ağı hacimsel yaklaşımı (Vanhamand ve Bidoglio, 2013) ve üçüncüsü; Yaşam Döngüsü Analizi’dir (Lovarelli ve ark., 2016)’dir.

1- Su Ayak İzi Ağı (*Water Footprint Network*) yaklaşımı: Su Ayak İzi Ağı tarafından geliştirilen orijinal yaklaşımdır. Yakın zamanda ikinci bir yaklaşım daha geliştirilmiştir.

2- Su Ayak İzi Ağı hacimsel yaklaşımı- WFN-VA (Volumetric Approach of Water Footprint Network-WFN-VA): Bu yaklaşım, Hoekstra ve Hung (2002) tarafından geliştirilmiştir ve esas olarak VW miktarının belirlenmesi ile ilgilidir. Hesaplamalarda; kapsam, hedefler, muhasebe, sürdürülebilirlik, yanıt formülasyonu vb. bileşenler dikkate alınmaktadır.

3- Yaşam Döngüsü Analizi-YDA) (Life Cycle Analysis-LCA): YDA, en son yayınlanan ISO 14046 standardı ile uyumludur. Diğer YDA çalışmalarına benzer şekilde; amaç ve kapsamın belirlenmesi, envanterin değerlendirilmesi, faktörlerin etki miktarının ve payının ölçülmesi ve sonuçların yorumlanması aşamalarından oluşmaktadır (Hoekstra ve ark., 2011; Lovarelli ve ark., 2016).

WFN-VA ve YDA yaklaşımının her ikisi de WF değeri hesaplamalarında tatlı su tüketiminin çevresel etkilerinin analizi için kullanılan uygun modellerdir. Hesaplamalarda esas olarak Su Stresi İndeksini (WSI) referans alınmaktadır. Bu iki yaklaşım arasındaki en önemli fark, YDA yaklaşımının ürün odaklı, WFN-VA yaklaşımının ise su yönetimi odaklı olmasıdır. Bununla birlikte tahrip edici su kullanım prosesleri dışında her iki yaklaşımın da tutarlı sonuçlar verdiği ancak tüketim amaçlı ve yıkıcı su kullanımı arasındaki ayrımın mutlaka dikkate alınması gerektiği bildirilmektedir (Lovarelli ve ark., 2016).

WF'nin tanıtılmasından sonra bu alanda yapılan araştırma ve çalışmalara bağlı olarak bu terim kapsamında ve uygulama alanlarında önemli gelişmeler sağlanmıştır. WF'nin genel özellikleri ve hedefleri aşağıda açıklanmıştır.

WF'nin esas olarak iki temel özelliği bulunmaktadır. Bunlardan ilki; ürün veya hizmet üretmek için ihtiyaç duyulan tatlı su miktarının üretim değer zincirinin tümünde hesaplanmasını ifade etmesi ve bu nedenle de hesaplamaların, ham ürünlerin üretimi, işlenmesi, pazarlanması ve tüketicinin ürünü kullanmasına kadar geçen tüm genel ve alt süreçler esas alınarak yapılmasıdır. İkincisi ise; üretim ve tüketim süreçlerinde doğrudan ve dolaylı olarak kullanılan suyun miktarını göstermesinin yanında kullanılan suyun bileşenleri hakkında da bilgi vermesidir.

WF bileşenleri, Su Ayak İzi Ağı ve ISO 14046 standardına uygun olarak değerlendirme yapmaya imkan veren üç ana göstergeden oluşmaktadır. Bunlar aşağıda verilmiştir (Hoekstra ve ark., 2011; WWF, 2014; Lovarelli ve ark., 2016; TGİSDF, 2017):

(a) Yeşil WF

(b) Mavi WF

(c) Gri WF

Su ayak iz hesaplamalarında ise mavi WF bileşeni olarak değerlendirilen yüzey ve yeraltı suyu ile yeşil ve gri WF bileşenleri de değerlendirilerek WF değeri toplam olarak ölçülmektedir (Hoekstra ve ark., 2011; Lovarelli ve ark., 2016). Dolayısıyla WF kavramı, VW'a göre daha geniş bir tanıma ve kullanıma sahiptir.

Yeşil WF: Yeşil WF, bir malın veya tarımsal ürünün üretiminde (bitki terlemesi de dahil) kullanılan toplam yağmur suyunun hacmi olarak tanımlanmaktadır (toprakta nem olarak depolanan ve bir süre için toprak üstünde tutulan yağmur suyu). Yağmur suyu üzerinde buharlaşma çok önemli etkiye sahip olduğundan yeşil su, buharlaşan su hacmi kapsamı içinde de değerlendirilmekte ve küresel yeşil su kaynaklarından (toprakta tutulan yağmur suyu) buharlaşan su miktarı olarak belirtilmektedir. Yeşil su arzını ve talebini yağış miktarı etkilediği için, bir bölgenin yeşil su ihtiyacının analizinde iklim değişikliği mutlaka dikkate alınmaktadır (Çalık, 2018; Manzardo ve ark., 2014; Rodriguez ve ark. 2015).

Mavi WF: Mavi WF, bir malın üretilmesi ve tarımsal ürünün yetiştirilmesi için tüketilen yüzey ve yeraltı su kaynaklarının (nehirler, göller ve akiferlerden alınan su) toplam hacmi olarak tanımlanmaktadır. Mavi su, aynı zamanda yüzeyden veya yeraltı suyundan bir başka havzaya gönderilerek su toplama depolarında biriktirilen suyu da içermektedir. Yine ürüne veya prosese bağlı olarak buharlaşma ve ürüne dahil edilen su ile aynı su havzasına geri dönmeyen/verilmeyen veya aynı dönemde geri gelmeyen yeraltı veya yüzey su kaynaklarından çekilen su miktarını da kapsayabilmektedir. Mavi su kaynakları, tatlı su kaynakları olduğundan, buharlaşma ile doğrudan ilişki halindedir. Geleneksel su kullanım istatistikleri sadece mavi suyu dikkate almaktadır (Rodriguez ve ark., 2015; Çalık, 2018).

Gri WF: Gri WF, üretim sırasında kullanılan gerçek su hacmi olmayıp bu süreçte kirletilen suyun kalitesini düzeltmek için gerekli olan suyun hacmidir. Yani gri WF, bir ürünün tüm üretim ve tedarik zinciri sırasında ortaya çıkan tatlı su kirliliğinin (su kirliliği ayak izi) bir

göstergesi olup su kalitesi standartlarına dayalı olarak atık su içindeki kirlilik yükünün ortadan kaldırılması ya da uygun bir konsantrasyona kadar seyreltilmesi ve dolayısıyla atık/kirletilen suyun temizlenmesi için ihtiyaç duyulan tatlı suyun teorik hacmini ifade etmektedir. Bu nedenle gri WF, yeşil ve mavi WF'den farklı olarak su kirliliğinin ve kalitesinin değerlendirilmesine yönelik bir ölçüdür ve fiziksel su miktarının belirtilmesi için kullanılmamaktadır (Rodriguez ve ark., 2015; Lovarelli ve ark., 2016:238; Çalık, 2018).

Tarımsal üretim süreçlerindeki su kullanımı ve yönetiminin değerlendirilmesinde genelde mavi ve yeşil WF üzerinde durulmaktadır. Ancak gri WF, atık sudan kaynaklı kirliliğin giderilmesi için gerekli olan toplam tatlı su miktarını ifade etmektedir ve nüfus ve endüstriyel büyümeyle çok yakın ilişki halindedir. Nüfus yoğunluğunun ve artışının yüksek olduğu havzalarda evsel su kullanımı için gri WF, sanayinin yoğun olduğu havzalarda ise sanayi için gri WF önem taşımaktadır.

Bir ülkenin WF değerinin belirlenmesi, planlayıcı, yatırımcı ve karar vericilere yol göstermektedir. Bir ülkenin dahili ve harici WF değerleri değerlendirilirken, o ülkede üretilen ve tüketilen ürünler, hizmetler, fazlalıklar (ihraç edilen su) ve açıklar (ithal edilen su) dahil olmak üzere tüm ticari süreçler üzerinde etkiye sahip tüm faktörler dikkate alınmaktadır (Bulsink ve ark., 2010; Hoekstra, 2010; 2012; TGİSDF, 2017).

WF değeri, uluslararası ticarete ülkelerarası VW akışlarını da göstermektedir. Tüketim açısından bir ülkenin WF değeri ele alındığında, WF değerinin iç ve dış bölümleri ayrı ayrı dikkate alınmaktadır. Bir ülkede tüketilen mal ve hizmetlerin tümü o ülkede üretilmediği için WF değeri, aynı zamanda yurt içinde üretilen ve ithal edilen ürünlerin üretim süreçlerinde tüketilen su kaynaklarının toplamını da içermektedir. Tüketimin dış WF değeri ise, başka bir ülkede üretilen ve ithal edilen mal ya da hizmetler için kullanılan suyun miktarını belirtmektedir.

İhracatın WF değeri (VW ihracatı); bir ülkenin ihraç ettiği mal ve hizmetlerin üretimi için gerekli toplam suyun (yeşil, mavi, gri) miktarı, ithalatın WF değeri (VW ithalatı); bir ülkenin ithal ettiği mal ve hizmetlerin üretimi için kullanılan toplam su (yeşil, mavi, gri) miktarı olarak tanımlanmaktadır (Hoekstra ve Chapagain, 2008; WWF, 2014; TGİSDF, 2017; Çalık, 2018)

Son yıllarda üretici ve tüketicilerin doğrudan ve dolaylı tatlı su kullanım miktarlarının hesaplanmasına yönelik geliştirilen yeni bir yaklaşım, ‘‘WF muhasebesi’’ kavramıdır. WF muhasebesi, bir ürünün yaşam döngüsü veya tedarik zincirinin çeşitli aşamalarında kullanılan tatlı su hacmini, coğrafi ve mekânsal olarak belirten çok boyutlu bir göstergedir ve esas olarak suyun tüm kullanım süreçlerinde nakil, yüzey akıntısı ve derin sızma yoluyla kaybedilen miktarlarının tahmini için geliştirilmiştir (Manzardo ve ark., 2014; Çalık, 2018).

Yaşam döngüsü analizi esas alınarak WF terimi üzerinden geliştirilen ‘‘WF muhasebesi’’ kavramı, tatlı suyun sürdürülebilir kullanımı ve korunmasına yönelik en sık kullanılan araçlardan birisi olmuştur. Örneğin Avustralya’ da su yönetimi standartlarında yer alan WF muhasebesi; suyla ilgili haklar ve yükümlülüklerle ilgili bilgileri belirleyen, tanımlayan, ölçen, raporlayan, güvence altına alan ve yayınlayan sistematik bir süreç şeklinde tanımlanmaktadır (Hanley, 2011; FAO, 2015).

WF değeri, başta sınırlı su kaynaklarının olduğu tarım ve turizm bölgeleri olmak üzere tüm bölgelerdeki nehir, göl vb. su kaynaklarındaki/havzalarındaki su yönetimi için güçlü bir araçtır (Hoekstra, 2016; Çalık, 2018; Kourgialas ve ark., 2018).

WF terimi esas alınarak geliştirilen diğer bir yaklaşım da ‘‘işletme WF’’ kavramıdır. İşletme WF, kurumsal bir yaklaşım olup bir işletmede sürdürülebilir bir şekilde ürün ve hizmet üretilmesi için doğrudan ve dolaylı kullanılan toplam tatlı suyun hacmi şeklinde tanımlanmaktadır. Bir işletmenin WF değeri, iki bileşenden oluşmaktadır. İlki, üreticinin doğrudan su kullanımı (üretim veya destekleme faaliyetleri için) iken ikincisi, dolaylı su

kullanımıdır (üreticinin tedarik zincirindeki su kullanımı). Bir işletmenin WF değeri, işletmeden çıkan ürünlerinin toplam WF değeri ile aynıdır (Çalık, 2018).

WF metodolojisi; üretim sistemlerinin, bölgelerin ve ülkelerin su yeterliliklerinin hesaplanmasında da çok önemli bir araçtır. Bir ülkenin “kendi kendine su yeterliliği” iç WF değerinin toplam WF değerine oranı olarak tanımlanmakta ve o ülkede üretim, hizmet, tüketim vb. tüm faaliyetler için gerekli olan toplam su ihtiyacının o ülkenin kendisi tarafından karşılanıp karşılanamayacağını göstermektedir. Su yeterliğinin %100 olması; ülke içerisinde tüketilen tüm ürün ve hizmetler için kullanılan toplam su miktarının, ülkenin kendi su kaynaklarından karşılanabildiğini, %0’a yaklaşması ise; o ülkenin tüketilen ürün ve hizmetler için ihtiyaç duyduğu su miktarını VW ithalatı ile karşıladığı/karşılayacağı anlamına gelmektedir.

WF metodolojisi, bireylerin kendi yaşadıkları coğrafi bölgelerdeki su tüketimleri ile birlikte aynı zamanda dünyanın farklı bölgelerindeki su kaynakları üzerindeki etkileri de analiz edebilmektedir. Bu analizler, suyun kıt ve ikamesi olmayan bir doğal kaynak olduğu ve bu nedenle çok bilinçli bir şekilde yönetilmesi gerektiği konusunda insanların algılarını ve geliştirecekleri uygulamaları olumlu etkileyecek veri ve bilgi üretmektedir (Hoekstra ve ark., 2011; WWF, 2014).

2.2.1. Küresel Su Ayak İzi

Günümüzde birçok ülke WF değerleri yüksek olan malları ve ürünleri kendileri üretmeyerek başka ülkelere ithal etmektedir. Bu durum ise su yönetimi ve koruma mevzuatının büyük ölçüde eksik olduğu ihracatçı ülkelerin su kaynakları üzerinde ciddi baskılar oluşturmaktadır. Bu nedenle su kaynaklarının daha iyi yönetilmesi ve gerçek su tüketimi konusunda farkındalığın artırılması için üretim ve tüketim süreçlerinde kullanılan tatlı suyun miktarının doğru bir şekilde belirlenmesinin gerekliliği konusunda ilgili paydaşlar görüş birliği

içindedirler (Hoekstra ve Chapagain, 2008; Hoekstra, 2010; Hoekstra ve ark., 2011; Hoekstra ve Mekonnen, 2011).

Tablo 3'ten görülebileceği gibi 1996-2005 döneminde dünyada tarımsal, endüstriyel ve evsel su kullanımının küresel toplam WF değeri 9087 Gm³/yıl (%74 yeşil, %11 mavi, %15 gri) olarak hesaplanmıştır. Bu tüketimi, en yüksek düzeyde (%92) tarım ürünlerinin WF değeri oluştururken sanayi ürünleri ve evsel su kullanımının WF değerleri sırasıyla %4.7 ve %3.8 düzeyinde kalmıştır. Ürün tipleri düzeyinde ise tahıl üretiminin WF değeri en büyük paya (%27) sahip olup bunu et ve süt ürünleri izlemiştir. Aynı dönemde küresel tüketimin WF değeri ise kişi başına ortalama 1385 m³/yıl olmuştur (Mekonnen ve Hoekstra, 2011).

Tablo 3: Üretimin küresel düzeyde su ayak izi (1996-2005)(Mekonnen ve Hoekstra, 2011)

Üretimdeki küresel WF değeri (Gm ³ /yıl)	Tarımsal üretim			Endüstriyel Üretim	Evsel su kullanımı	Toplam
	Tahıl üretimi	Meralar	Hayvansal Üretim			
Yeşil	5771	913	-	-	-	668
Mavi	899	-	46	38	42	1025
Gri	733	-	-	363	282	1378
Toplam	7404	913	46	400	324	9087
İhracat için WF değeri (Gm ³ /yıl)	1597			165	0	1762
İhracat için WF değerinin, Toplam WF değeri içindeki payı (%)	19			41	0	19

2.2.2. Türkiye’de Su Ayak İzi

Türkiye’de ülke genelinde WF değeri hesaplama çalışmaları günümüze kadar 1996-2005, 2002-2011 ve 2014 olmak üzere üç dönem için gerçekleştirilmiştir.

1996 - 2005 dönemi verileri esas alınarak yapılan hesaplamalara göre Türkiye’de kişi başı ortalama WF değeri, 1.642 m³/yıl olup, dünya ortalamasından (1.385 m³ /yıl) yaklaşık %20 fazladır. 2006-2011 döneminde Türkiye’de kişi başı WF değeri, 1.977m³/yıl olarak

hesaplanmış ve bu artışın, değişen tüketim alışkanlıklarından ve artan üretim hacminden kaynaklandığı ileri sürülmüştür. 2014 yılında Doğal Hayatı Koruma Vakfı-DHKV (WWF-Türkiye) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise kişi başına ortalama WF değeri 1.519 m³/kişi/yıl şeklinde hesaplanmıştır. Bu çalışmanın bazı sonuçları aşağıda verilmiştir:

1-Türkiye’de WF değeri, üretimin ve tüketimin WF değeri olmak üzere iki ana başlık altında analiz edilmiştir. WF değeri için doğrudan su kullanımının yanı sıra, bir mal veya hizmet üretiminde tüm tedarik zinciri içindeki dolaylı ölçüm de hesaba katılmıştır (WWF, 2014; TGİSDF, 2017).

2-Nüfus 75.627.384 kişi, kullanılabilir tatlı su varlığı 112 Mm³/yıl ve kişi başı tatlı su miktarı 1.519 m³/kişi/yıl olarak dikkate alınmıştır. Kişi başı WF değeri, ülke içerisinde tüketilen mal ve hizmetlerin üretimi için kullanılan toplam su miktarı, yani tüketimin WF değeri nüfusa bölünerek elde edilmiştir (WWF, 2014).

3- Üretimin WF değeri, suyun nasıl kullanıldığı, bu kullanımın uygun ve sürdürülebilir olup olmadığı ile ilgilidir. Türkiye’de üretimin WF değeri, ülke içerisinde üretilen tüm ürünler için gereken toplam su (yeşil, mavi ve gri) miktarı olarak tanımlanmış ve yaklaşık 139.6 Mm³/yıl olarak hesaplanmıştır. Sektörlere göre üretimin WF değerini en yüksek oranda tarım sektörü (%89) oluşturmuş ve bu sektörü evsel su kullanımı (%7) ve endüstriyel üretim (%4) izlemiştir. Türkiye’de üretimin WF değerinin %64’ü yeşil WF bileşeni, %19’u mavi WF bileşeni ve %17’i de gri WF bileşenidir. Türkiye’de tüketimin WF değeri ise yaklaşık 140.2 Mm³/yıldır ve bu WF değerinin %66’sını yeşil WF bileşeni, %17’sini mavi WF bileşeni ve %17’ sini gri WF bileşeni oluşturmaktadır. Tüketimin WF değerinde de en büyük payı (%89) tarım sektörü alırken bu sektörü sırasıyla endüstriyel (%6) ve evsel su kullanımı (%5) izleri izlemiştir (WWF, 2014).

4- Türkiye’de toplam WF değerinin içinde evsel ve endüstriyel WF değerinin payları düşüktür. Bu iki WF değeri büyük oranı gri sudan oluşmaktadır (sırasıyla %87 ve %92). Yani üretimin

WF değerinde evsel ve endüstriyel su kullanımında gri WF bileşeni ön plana çıkmaktadır, su kalitesi üzerindeki etkisinin önemli olduğunu göstermektedir. Bu durum ve gelecekte ortaya çıkacak ekonomik büyüme ve nüfus artışı tahminleri birlikte değerlendirildiğinde, su kalitesi açısından gri WF değerinin risk oluşturacağı ileri sürülmüştür. Ancak endüstriyel ve evsel su kullanımının, su kaynakları üzerindeki etkilerinin de düşük düzeyde olmadığı bildirilmektedir (WWF, 2014).

5-Türkiye’de günlük kişi başi su miktarı 228 litredir (TÜİK, 2020). Fakat WF yaklaşımı çerçevesinde VW da dikkate alındığında 5.416 litre/kişi’dir. Türkiye’de tüketimin WF değerinin çoğunluğu ülke içerisinde üretilen ürünlerdendir. İthalattan kaynaklanan WF değeri (yani ithal edilen VW miktarı) tüketimin WF değerinin %17’si’dir (WWF, 2014).

Türkiye’de üretimin ve tüketimin WF değerinin %80’i, iç su kaynaklarına bağlıdır ve bu durum, tatlı su kaynaklarının sürdürülebilirliğinin ülke ekonomisi üzerinde çok önemli etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Türkiye’de tüketimin ve üretimin WF değeri yaklaşık olarak eşittir. Benzer şekilde; ülkeye ithalatla giren VW, ihracatla çıkan VW miktarına yaklaşık denktir. Bu durum VW bütçesinin denkliğinin yanında su kaynaklarını korumasının önemini de işaret etmektedir. Türkiye’nin ihraç ettiği ürünlerin büyük bir kısmını ithal edilen hammaddelerin işlenmesi sonucu elde ettiği ürünler oluşturmaktadır. Dolayısıyla Türkiye’den ihraç edilen mallar diğer ülkelerin tüketim WF değerini de oluşturmaktadır. Türkiye’nin üretimin ve tüketimin WF değerinde en büyük payı yeşil WF almaktadır. Bu durum, Türkiye’de üretimin ve tüketimin yağışlara ve iklim koşullarına duyarlı olduğu anlamına gelmektedir (WWF, 2014).

Türkiye’de kişi başi mavi WF bileşeni, dünya ortalamasının üstündedir. Bu, esas olarak tüketilen ürünlerin mavi su yoğunluğunun, diğer ülkelere oranla daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Mavi WF bileşeni, tüketilen ürünlerin türüne, ürünlerin üretildikleri bölgedeki su kaynaklarının durumuna, üretim süreçlerinin bu kaynaklar üzerinde yarattıkları

etkilere ve iklim koşullarına bağlıdır. Bu nedenle mavi WF bileşenini güvenilir bir şekilde hesaplamak için bu faktörlerin daha detaylı analiz edilmesi gerekmektedir (WWF, 2014).

Tablo 4: Türkiye'nin 2020 yılı verilerine göre su potansiyeli (DSİ, 2020)

SU KAYNAKLARI POTANSİYELİ	
Yıllık ortalama yağış	574 mm/yıl
Yıllık yağış miktarı	450 Mm ³
YÜZEY SUYU	
Yıllık yüzey akışı	186 Mm ³
Kullanılabilir yüzey suyu	94 Mm ³
YERALTI SUYU	
Yıllık Çekilebilir Su Miktarı	18 Mm ³
Toplam Kullanılabilir Su (Net)	112 Mm ³
GELİŞME DURUMU	
Sulama Suyu	44 Mm ³
İçme-Kullanma ve Sanayi Suyu	13 Mm ³
Toplam Kullanılan Su	57 Mm ³

3. TARIMDA SU KULLANIMI

Dünyada tatlı su miktarının ortalama %70'ini tarım sektörü sulamada kullanmaktadır. Sulu tarım, yağışa dayalı tarıma göre daha verimli olduğundan daha fazla üretim ve ürün çeşitliliği sağlanmaktadır (WB 2022). Bu nedenle sulanan alanlar da gün geçtikçe artmaktadır. Diğer yandan dünyada kuraklık ve kalıcı su kıtlığına maruz kalan bölgelerde yaklaşık 2 milyar insan yaşamakta ve bu bölgeler, dünya yüzölçümünün yaklaşık %41'ini oluşturmaktadır (FAO, 2015; Çalık, 2018).

Türkiye’de yer üstü ve yer altı suları olmak üzere iki önemli su kaynağı bulunmaktadır. Türkiye’nin 2022 yılında potansiyel olarak, 94 Mm³’nün yüzey ve 18 Mm³’nün yer altı suları ile 112 Mm³ su varlığı bulunmaktadır. Toplam kullanılan su miktarı 57 Mm³’tür. Toplam su tüketimi içinde sektörel olarak en yüksek payı sırasıyla tarımsal sulama almaktadır (Tablo 5, DSİ, 2023).

Tablo 5: Türkiye’de sektörler göre 2022 yılında gerçekleşen su tüketimi miktarları (DSİ, 2023)

Sektörler	Su Tüketimi (Mm ³)
	2022 (% Gerçekleşen)
Tarımsal sulama	44 (%73)
İçme-Kullanma ve Sanayi Suyu	13 (%16)
Toplam	57

Türkiye’nin toplam 112 Mm³ düzeyindeki su potansiyelinin mevcut ve tümünün kullanılabilir olması gerekmektedir. Ancak toplam suyun tümünün kullanılamayacağı, aynı zamanda küresel iklim değişikliği ile azalan yağışlar sonucunda tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyelinde önemli düşüşler olabileceği öngörülmektedir. Bu nedenle, Türkiye sanıldığığının aksine su kıtlığı sınırında olan bir ülke olarak değerlendirilmektedir (DSİ, 2023).

Küresel düzeyde olduğu gibi Türkiye’de de yeraltı suları, iklim değişikliğinden kaynaklanan, başta kuraklık olmak üzere olumsuzluklara karşı teminat olabilecek en önemli “stratejik” kaynaklardan birisi haline gelmiştir. Yeraltı suları, yağmur, kar, dolu olarak yeryüzüne düşen yağışların, topraktaki çatlak ve yarıklarından sızarak yer altındaki boşluklarda birikmesi ile oluşmaktadır. Sızma veya süzülme olayı, geçirimli topraklarda daha fazladır. Yer altı suları içme, kullanma, tarımda sulama, fabrikaların su ihtiyaçlarının temininde büyük önem taşımaktadır. Ancak bu su kaynağı, son yıllarda aşırı bir şekilde tüketilmektedir. Bu nedenle tarımsal ve hidrolojik kuraklıkla mücadelede yer altı suları da önemli bir yer tutmaktadır (SYGM, 2016; TGİSDF, 2017).

Türkiye’de yağış halinde düşen ortalama 509.109 m^3 suyun %38’i (186.5109 m^3) akarsularla akış haline geçmektedir. Günümüz teknik ve ekonomik şartları altında, çeşitli amaçlara yönelik olarak tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli ortalama yıllık toplam 94 Mm^3 ve bunun 95 Mm^3 ’ü yurt içindeki akarsulardan, 3 Mm^3 de komşu ülkelerden yurdumuza gelen akarsulardan oluşmaktadır (DSİ, 2009; SYGM, 2016; TGİSDF, 2017).

Tarımsal bitkilerin su talepleri başta evapotranspirasyon olmak üzere iklim, bitki türü, toprak vb. faktörlere göre değişim göstermektedir. Evapotranspirasyon (ET), toprak yüzeyinden olan buharlaşma (evaporasyon) ile bitki tarafından yapılan terleme (transpirasyon) sonucu atmosfere aktarılan toplam su buharı olarak da tanımlanmaktadır. ET’ler, doğrudan lizimetreler ile belirlenebildiği gibi iklimsel veriler kullanarak çeşitli ampirik yöntemlerle de tahmin edilebilmektedir. Lizimetreler, ET tahmininde en doğru ve güvenilir yöntemler olmakla birlikte uygulaması zor ve pahalı bir yöntemdir (Karaca ve ark., 2017). Bu nedenle, ET hesabında kullanılan eşitlikleri, referans bir bitkinin evapotranspirasyon (ET_o) değerlerini kullanarak standartlaştırma görüşü ortaya atılmıştır (Jensen, 1968; Jensen ve ark., 1971). Dolayısıyla günümüzde bitki su gereksinimlerinin hesaplanmasında ET_o terimi yaygın olarak kullanılmaktadır. Gerçekte ET_o , atmosferin buharlaştırma gücünü gösteren bir iklimsel parametredir ve belirli bir iklim rejiminde topraktaki nemin bitki yoluyla meydana gelen evapotranspirasyondur. Tropik ve subtropik iklim bölgelerine yakın ülkelerde yetiştirilen bitkilerin yetiştirme dönemlerindeki su gereksinimleri yüksektir ve daha yüksek referans evapotranspirasyon değerlerine sahiptir (Chapagain ve Hoekstra, 2004).

3.1. Tarımsal Sanal Su ve Hesaplaması

Dünyada insanlar tarafından yılda yaklaşık 3.8 Mm^3 su kullanılmaktadır ve bunun (Türkiye’ye benzer bir şekilde) %70’i tarım sektörü tarafından tüketilmektedir. İsraf, vb. nedenlerle tüketiciye hiç ulaşamayan ürünlerle küresel olarak boşa harcanan VW miktarının 550 Mm^3

olduğu tahmin edilmektedir. 2050' ye kadar gıda talebini karşılamak için su gereksiniminin yılda 10-13,5 Mm³ olabileceği, dolayısıyla insanlar tarafından yıllık olarak kullanılacak su miktarının, şu an kullanılanın 3 katı kadar daha fazla olacağı beklenmektedir. Bu nedenle sınırlı su kaynaklarının bulunduğu bölgelerde bitkisel ve hayvansal üretim sektörünün tüm üretim değer zincirlerinde ön VW ve WF hesaplamaları ile birlikte su muhasebesi ve su dengesi çalışmalarının yapılması gerektiği kabul edilmektedir (FAO, 2015; Çalık 2018).

Küresel ölçekte tarımsal üretimde çeşitli bitkiler tarafından kullanılan su düzeyleri Tablo 6'da görülmektedir. Çeltik, 1,359 km³/yıl ile tarımda kullanılan suyun %21'ini tüketmektedir. İkinci sırada buğday (793 km³/yıl ve %12), üçüncü sırada mısır (%9) gelmektedir. Daha sonra soya (%4), şeker kamışı (%3), kütü pamuk (%3) yer almaktadır (Chapagain ve Hoekstra, 2004).

Tablo 6: Küresel düzeyde bitkisel üretimi için kullanılan suyun toplam su kullanımı içindeki payı (Chapagain & Hoekstra, 2004)

Ürün	Kullanılan su oranı (%)	Ürün	Kullanılan su oranı (%)
Darı	2	Mısır	9
Hindistan cevizi	2	Buğday	12
Sorgum	3	Pirinç	21
Arpa	3	Kahve	2
Kütü pamuk	3	Yağlı palmiye meyvesi	2
Şeker kamışı	3	Yer fıstığı	2
Soya fasulyesi	4	Cassara	2
Doğal kauçuk	1	Kakao çekirdeği	1
Patates	1	Diğer bitkiler	26

Küresel düzeyde ihraç edilen toplam VW değerinin %34'ü endüstri, %15'i ise tarım sektörü tarafından kullanılmaktadır. Küresel ticaret ile VW akışının yaklaşık %78 - %80'ni tarımsal ürünler yoluyla gerçekleşmektedir (Chapagain ve Hoekstra, 2004). Bir tarımsal ürünün VW miktarı, iklim ve coğrafi bölge yanında kullanılan girdi ve teknolojiye bağlı olarak elde edilen verim düzeyi ile önemli ilişki göstermektedir. Tarımsal ürünler, üretim süreçlerinde farklı miktarlarda su kullandıkları için VW içerikleri de değişim göstermektedir. Tablo 7'den

görülebileceği gibi hayvansal ürünlerin VW içerikleri bitkisel ürünlere oranla genellikle daha yüksektir. Hayvansal ürünler içinde et ve derinin VW içerikleri oldukça yüksektir. Çiftlik hayvanı et türleri içinde en yüksek VW içeriğine sahip olan et ise sığır etidir. 1 kg kemiksiz sığır eti için 6.5 kg tahıl, 36 kg saman, silaj, yeşil ot vb. ve 155 litre içme-kullanma suyu tüketilmektedir. VW içerikleri yüksek olan bitkisel tarım ürünleri içinde ise sırasıyla kahve, çay, pamuk, sorgum, hindistan cevizi, çeltik vb. ürünler yer almaktadır. Tarım bitkisi üretiminde en yüksek düzeyde suyu çeltiğin kullanmasına karşın uluslararası ticarete buğdayın payının daha yüksek olması, VW akışında buğdayı ön plana çıkarmaktadır. Dünyada VW akışında en önemli ülke olan ABD'nin VW ihracatının %48'i yağ bitkileri ve yağ, %38'i tahıl ürünleri iken VW ithalatının %50'si kahve, çay ve kakao ürünlerinden oluşmaktadır (Chapagain ve Hoekstra, 2004).

Tablo 7: Bazı tarım ürünleri VW içeriği (Chapagain & Hoekstra, 2004)

Tarımsal Ürün	VW İçeriği (m ³ /ton)	Tarımsal Ürün	VW İçeriği (m ³ /ton)
Çeltik	2291	Koyun eti	6143
Kahve	17.373	Kütlü pamuk	3644
Buğday	1334	Piliç eti	3918
Çay	9205	Lif pamuk	8242
Mısır	909	Yumurta	3340
Sığır eti	15.497	Süt	990
Soya	1789	Sorgum	2853
Domuz eti	4856	Peynir	4914
Şeker kamışı	175	Deri	16.656
Hindistan cevizi	2545	Arpa	1388

Tarımsal ürünlerde VW değerinin hesaplanmasında; üretim, ekiliş alanı, bitkinin sulama suyu gereksinimi ve bitkiden elde edilen ürünün ihracat ve ithalat değerlerinden yararlanılmaktadır (Velasquez, 2007). Tablo 8'den görülebileceği gibi hesaplamalarda genel olarak 5 eşitlik kullanılmaktadır. Doğru sonuçların elde edilmesi için bölgesel, ulusal ve küresel düzeyde elde edilecek verilerin güvenilir olması gerekmektedir.

Tablo 8: Bitkisel tarım ürünlerinde sanal suyun hesaplanması (Lovarelli ve ark., 2016)

Eşitlik No	Formül	Açıklama
Eşitlik 1	$R = Y / T$	Y: Üretim miktarı (ton) T: Ekim alanı (ha) R: Ortalama verim (ton/ha)
Eşitlik 2	$SWU = CWR / R$	CWR: Bitki su ihtiyacı (m ³ /ha) R: Ortalama verim (ton/ha) SWU: Her bitki için spesifik su kullanımı (m ³ /ton)
Eşitlik 3	$VWX = X \times SWU$	X: İhracat miktarı (ton) SWU: Her bitki için spesifik su kullanımı (m ³ /ton) VWX: İhraç edilen VW miktarı (m ³)
Eşitlik 4	$VWM = M \times SWU$	M: İthalat miktarı (ton) SWU: Her bitki için spesifik su kullanımı (m ³ /ton) VWM: İthal edilen VW mik. (m ³)
Eşitlik 5	$NVW = VWX - VWM$	VWX: İhraç edilen VW miktarı (m ³) VWM: İthal edilen VW miktarı (m ³) NVW: Net VW dengesi (m ³)

3.2. Tarım Su Ayak İzi

Bir tarımsal ürünün WF değerinin ölçülmesi için tüm üretim değer zincirinde tüketilen su miktarlarının hesaplanması gerekmektedir (Hoekstra and Chapagain, 2008).

Günümüzde dünya tatlı su kaynakları, en yüksek düzeyde tarım sektörü tarafından kullanılmaktadır. Diğer sektörlerde olduğu gibi tarım sektöründe de bir ürün veya hizmetin WF değeri; yeşil, mavi ve gri WF bileşenlerinin toplam hacminden (m³) oluşmaktadır. Tarımsal üretimde bu bileşenlerin hesaplanmasında kullanılması için farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen eşitlikler Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9’dan görülebileceği gibi her bir bileşenin anlamının ve fonksiyonun farklı olması nedeniyle bunların, toplam hacme yaptıkları nispi katkılarının dikkate alınması gerekmektedir (Hoekstra, 2013). Genellikle ürünler için ton ve bireyler, topluluklar ve belirlenmiş coğrafi alanlar için yıl esas alınmaktadır.

Tablo 9: Tarımda su ayak izi bileşenleri ve özellikleri (Lovarelli ve ark.,2016)

Su ayak izi bileşenleri	Hesaplama da kullanılan eşitlikler ve Açıklamalar	Kaynak
Yeşil su ayak izi (WF _{yeşil})	<u>Eşitlik 1</u> = $ET \geq Peff \rightarrow WF_{yeşil} = Peff$ <u>Eşitlik 2</u> = $ET < Peff \rightarrow WF_{yeşil} = ET$ Peff=Etkili yağış ET=Evapotranspirasyon WF_{yeşil}=Yeşil su ayak izi - Eğer ET, ürünün büyümesi sırasında meydana gelen etkili yağıştan daha yüksek ise, yeşil su ayak izi, Peff'e eşit olmaktadır (Eşitlik 1) - Fakat ET, Peff'ten düşük ise bu durumda WF_{yeşil}, ET'ye eşit olmaktadır (Eşitlik 2)	(Bocchiola et al., 2013).
Mavi su ayak izi (WF _{mavi})	<u>Eşitlik 3</u> = Eğer $ET \geq Peff$ ise bu durumda $WF_{mavi} = ET - Peff$'dir <u>Eşitlik 4</u> = Eğer $ET < Peff$ ise bu durumda $WF_{mavi} = 0$'dır.	Hoekstra et al. (2011)
Gri su ayak izi (WF _{gri})	<u>Eşitlik 5</u> $WF_{gri} = L_{add} / C_{max} - C_{nat}$ L_{add} (Gg/yr)= Kirletici yük C_{max} (mg/dm³) = Ortam suyu kalite standardı (maksimum kirletici için kabul edilebilir konsantrasyon) C_{nat} (mg/dm³) = Alıcı su kütlesindeki kirleticinin doğal konsantrasyonu <u>Eşitlik 6</u> $L_{add} = L - C_{nat} \times Q_{act}$ L (Gg/yıl) = Toplam kirletici (veya besin) yükü Q_{act} (m³/yr) = Gerçek havza deşarjı/debisi Gg (Gigagram)1.000.000.000 (1 milyar) grama ve 1.000.000 (1 milyon) kilograma eşit olan ölçü birimi	Hoekstra (2010)
Toplam su ayak izi (WF _{toplam})	<u>Eşitlik 7</u> $WF_{toplam} = WF_{yeşil} + WF_{mavi} + WF_{gri}$	

Tarımsal üretim aşamalarında yaygın olarak kullanılan suyun büyük bölümünü yeşil su oluşturmaktadır. Bir tarımsal ürünün üretiminde toplam yeşil su hacmini; topraktan buharlaşan, bitki kökü tarafından emilerek üst organlara aktarılan yağmur suyu ve hasat edilen ürüne dahil edilen su bileşenleri oluşturmaktadır (Hoekstra ve ark., 2011). Tarımsal üretimde yeşil suyun hesaplanmasında genellikle ilk kez Allen ve ark. (1998) tarafından ortaya atılan ve daha sonra revize edilen eşitlikler kullanılmaktadır. Yeşil su, doğal süreçlerden kaynaklandığı için herhangi bir fırsat maliyeti yoktur.

Mavi su, diğer insan faaliyetleri ile birlikte yüksek bir fırsat maliyetine sahip olduğu için kullanımı pahalıdır. Örneğin; İtalya’da tarımda sulama amacıyla yaklaşık 26 Gm³/yıl su kullanılmakta ve bu, ülkenin toplam su ihtiyacının %49'unu oluşturmaktadır (Antonelli ve Greco, 2013). Dolayısıyla mavi su kullanımının düşmesi durumunda; üretim maliyetleri (pompalama için enerji, satın alınacak ve yönetilecek makineler ve tesisler vb.) ve olumsuz çevresel etkileri de (enerji, malzemeler, tesisler vb. nedeniyle) düşmektedir.

Tarım sektöründe kullanılan mavi suyun miktarı; ürünün çeşidine ve su yetersizliğine karşı gösterdiği toleransına, sulama verimliliğine ve yeşil suyun durumuna bağlılık göstermektedir (Tablo 9/Eşitlik 4) (Bocchiola et al.,2013).

Tarımda mavi su ayak izi hesaplamalarında; sulama yöntemi (yüzey, yağmurlama ve damla sulama vb.) ve programı (sulama sırası, otomatik sulama vb.), su hacmi, toprak su içeriği, ürünün büyüme özellikleri (kök derinliği, kapladığı alan vb. örtüsü), nihai su stresi vb. alanlara ait daha ayrıntılı bilgi ve verinin bulunmaması durumunda, Eşitlik 3’ün (Tablo 9) kullanılması önerilmektedir. Ancak sulama, toprak ve ürün hakkındaki bilgilerin mevcut olması durumunda ise mavi su miktarının daha detaylı olarak analiz edilmesi tavsiye edilmektedir (Hoekstra et al., 2011).

Su stresi oluştuğunda, verim olumsuz etkileneceğinden mavi su miktarının, su dengesi girdi-çıktı değerlendirmesinin ardından belirlenmesi gerektiği ve bu adımın önemli bir uygulama olduğu kabul edilmektedir. Bu analizlere yönelik olarak Garcıa Morillo ve ark. (2015), tarafından açıklanan Göreceli Sulama Arzı (RIS) göstergesinden yararlanmanın faydalı olabileceği bildirilmektedir (Lovarelli ve ark.,2016).

Günümüzde su kirliliği ve kalitesi için sınırlar oluşturulmuştur. Suya karışan kirletici ürünlerin düzeylerinin birçok çevresel nedenden dolayı azaltılması önemlidir. Suyun az kirlenmesi ve hatta hiç kirlenmemesi, su ve toprak sistemlerini ve ekosistemleri etkileyerek çevresel sürdürülebilirliğe ve halk sağlığına olumlu katkı yapmaktadır (Watkins et al., 2006; Mekonnen ve Hoekstra, 2011).

Genel olarak, doğal ekosistemlerde su kaynaklarındaki doğal konsantrasyon sıfır değildir (Aldaya ve Hoekstra, 2010; Mekonnen ve Hoekstra, 2011) ve insan yapımı kirleticileri dikkate alarak (Franke ve diğerleri, 2013) genellikle sıfır olması kabul edilmektedir.

Tarımsal üretime yönelik yapılan farklı çalışmalarda; kirleticilerin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve gerçek su hacimlerine entegre edilmesindeki zorluklar nedeniyle gri su ayak izi yeterince analiz edilememiştir.

Tarımsal gri su ayak izini; esas olarak gübre kullanımı ve kanalizasyon ve endüstriyel atık sulardan gelen besin yükü oluşturmaktadır (Liu vd., 2012; Mekonnen ve Hoekstra, 2015). Azotlu gübrelerin, tarlada çok yaygın olarak kullanılması nedeniyle tarımsal gri su ayak izini en yüksek düzeyde azot (N) etkilemektedir. Küresel düzeyde her kirletici madde için izin verilen maksimum kullanım ve bulunma limitleri bölgesel ve yerel koşullara göre değişmektedir.

Tüm müdahalelere rağmen su ayak izinin doğruluğu ve güvenilirliği, yanlış verilerden olumsuz etkilenmektedir (Hoekstra ve Chapagain, 2008). Bu nedenle Franke ve ark. (2013) tarafından gri su ayak izi muhasebesi için üç ayrı yöntem (Kademe 1, Kademe 2 ve Kademe 3) tanımlanmış ve kılavuz haline getirilmiştir. Ayrıca gri su ayak izinin etkisi, havzalardaki kirleticiyi özümsemek için yapılan deşarja bağlı olduğundan, su kirlilik seviyesinin de (WPL) ölçülmesi önerilmektedir. Dolayısıyla gri su ayak izi, tüketilen bir nehir havzasının kirlilik asimilasyon kapasitesinin oranını da göstermektedir.

Tarımsal üretimde yeşil, mavi ve gri su ayak izi bileşenleri ayrı ayrı ölçülmekte ancak tek bir gösterge elde etmek toplanarak tek bir değer/sayı haline getirilmektedir (Tablo 9/ Eşitlik 7). Bileşenlerini içermeyen toplam su ayak izinin hesaplanması ve kullanılması genellikle önerilmemektedir. Bu durumun nedeni olarak her üç ayak izinin ekonomik, çevresel ve sosyal etkilerinin (fırsat maliyetleri, arazi kullanımı, su tüketimi vb.) farklı olması nedeniyle sektörlerin ekonomilerine olan nispi katkılarının da farklı olabileceği gösterilmektedir. Özellikle endüstriyel, evsel ve tarımsal su kullanımı arasında ayrım yapılmaktadır. Endüstriyel ve evsel sektörlerde en yüksek paylar mavi suya tarım sektöründe ise yeşil suya atfedilmektedir. Ayrıca, tarım sektörü, su kullanımında en yüksek küresel katkıya sahiptir (>90%) (Mekonnen ve Hoekstra, 2010).

Yeşil ve mavi su ayak izinin sosyal ve çevresel etkileri de tanımlanmıştır. Buna göre; sosyal açıdan bakıldığında, arazi kullanımındaki değişimler ve yeşil ve mavi suyun başka amaçlarla kullanımı, gelecekte insanların ihtiyaç duyacakları bu su kaynaklarının miktarını ve dolayısıyla sosyal konumlarını olumsuz yönde değiştireceği ileri sürülmektedir. Çevresel etkiler ise esas olarak doğal arazilerden tarım arazilerine geçişler ve/veya tersi ve doğal ekosistemlerin ve biyolojik çeşitliliğin kaybı ve sulama suyunun diğer endüstriyel alanlardaki kullanımındaki rekabet ile ilgilidir (Brown ve Matlock, 2011).

3.2.1. Dünya Tarımının Su Ayak İzi

Dünyada son yıllarda iklim değişikliğin olumsuz etkileri nedeniyle tarım sektörüne yönelik su ayak izi çalışmaları da yoğunlaşmıştır. Ancak farklı ülke, bölge, üretim sistemi ve genetik ve çevresel uygulamalara göre su ayak izi çalışmalarının kapsam ve hedefleri ve hesaplama modelleri değişim gösterdiğinden bir tarım ürünün su ayak izi de ülkeler içinde ve arasında farklılık göstermektedir.

Küresel düzeyde toplam su ayak izi, çok büyük oranda (%92) tarımsal üretimden kaynaklanmaktadır. Tarımsal ürünlerin üretimde kullanılan toplam suyun ve dolayısıyla su ayak izinin en önemli kısmını ise yeşil su ayak izi oluşturmaktadır (Lovarelli ve ark., 2016). Tarım sektöründe, toplam su ayak izinin %19'u ihracata yönelik iken sanayi sektöründe bu oran %41'dir. Evde su temini ve kullanımının ihracat payı bulunmamaktadır. Bu üç sektörün ortalama su kullanım kaynakları ve miktarlarına göre küresel su ayak izinin %19'unu, ihracatın su ayak izi oluşturmaktadır (Mekonnen ve Hoekstra, 2011).

Tablo 10' da küresel düzeyde farklı tarımsal ürün ve gıdaların üretimi için tüketilen su miktarları/ayak izleri verilmiştir. Su ayak izinin en yüksek olan ürünler genellikle sığır eti, kahve, çikolata, pamuk, koyun eti ve çaydır. Dünyada tarım sektörünün toplam su ayak izinin yaklaşık %30'unu hayvansal ürünler oluşturmaktadır. Sığır, koyun ve tavuk eti üretiminin su ayak izi, sebze üretiminin su ayak izine göre çok daha yüksektir. Buğdayın su ayak izi ise 900-2000 lt/kg'dır. En çok tüketilen buğday ürünü olan ekmek için ise su ayak izi 1300-1608 lt/kg'dır.

Tablo 10: Dünyada bazı tarımsal ürünlerin ortalama WF (Gleick, 2000; Guy ve ark., 2004; Hoekstra, 2008; Mekonnen ve Hoekstra, 2010; Hoekstra ve ark., 2011; WWF, 2014)

Ürün	Birim	Su ayak izi (Litre)
Buğday	1 kg	900 - 2000
Ekmek (Buğdaydan)	1 kg	1300 - 1608
Sığır eti	1 kg	15000
Kahve	1 kg	21000
Pamuk	1 kg	11000
Koyun eti	1 kg	6100 - 10412
Çay	1 kg	8860 - 9200
Tereyağı	1 kg	5553
Peynir	1 kg	3178 - 5000
Pirinç	1 kg	1900-5000
Zeytin	1 kg	3025 - 4400
Soya	1 kg	1100 - 2000
Yonca	1 kg	900 - 2000
Mısır/Dane Mısır	1 kg	900 - 1800
Patates	1 kg	250-1500
Arpa	1 kg	1423
Süt	1 x 250 ml bardak	255
Domates	1 kg	214
Yumurta	1	196
Çay	1 x 250 ml fincan	27
Şeker (Şeker kamışından)	1 kg	1500

3.2.2. Türkiye tarımının su ayak izi

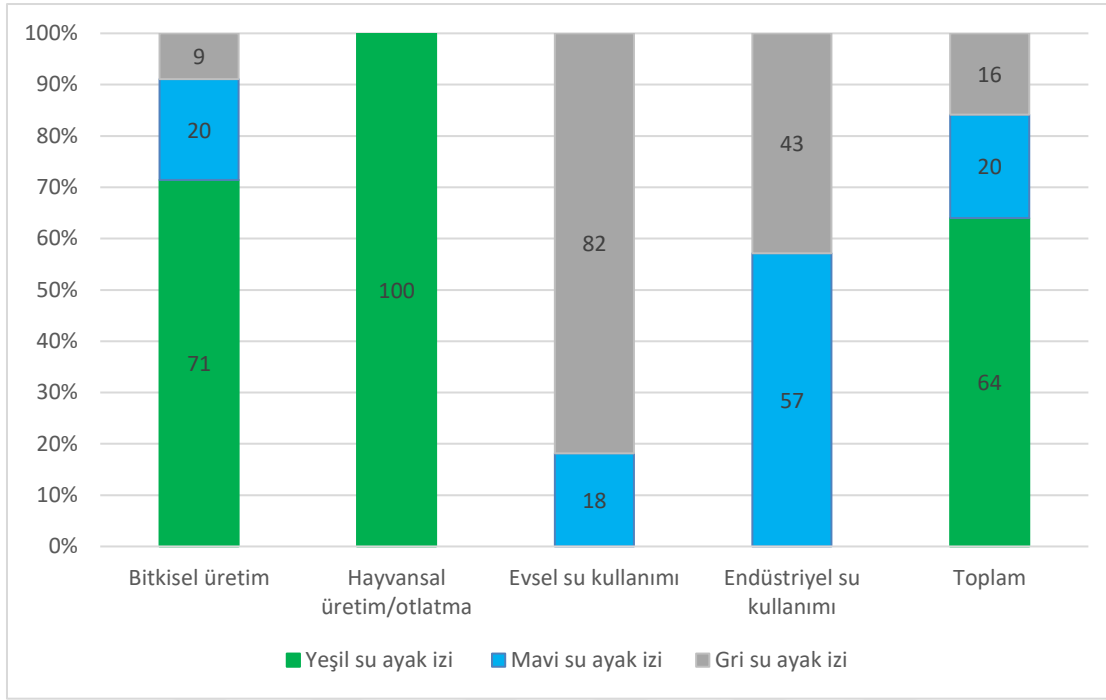
Türkiye’ de son yıllarda, üniversiteler dışında, tarımda su ayak izinin analizine yönelik sektörel düzeyde iki önemli çalışma gerçekleştirilmiştir. Bunlardan ilki 2014 Doğal Hayatı Koruma Vakfı (WWF-Türkiye) tarafından hazırlanan “Türkiye’nin Su Ayak İzi Raporu”, ikincisi ise 2020 yılında Ambalajlı Süt ve Süt Ürünleri Sanayicileri Derneği tarafından hazırlanan “Türkiye Sütçülük Sektörünün Kırılganlıkları Raporu”’dur.

3.2.2.1. Türkiye Tarımında Üretimin Su Ayak İzi

WWF (2014) tarafından hazırlanan rapora göre Türkiye’de üretimin toplam WF değeri yılda yaklaşık 139.6 Mm³ olarak hesaplanmıştır. Bu miktarın %89’u tarım sektöründen kaynaklanırken, %7’si ve %4’ü evsel su kullanımı (%7) ve endüstriyel üretimden kaynaklanmıştır. Tarım sektörünün toplam su ayak izini ise bitkisel üretimle (%92) ve hayvan otlatma (%8) oluşturmaktadır. Tarımsal bitkiler içinde en büyük su ayak izi tahıllara aittir (%38) (Tablo 11) (WWF, 2014).

Tablo 11: Türkiye üretimin su ayak izi (WWF, 2014).

Sektör	Toplam Su Ayak İzi (Mm ³)	Alt Sektörler	
Tarım	124,6 (%89)	Bitkisel üretim (%92)	• Tahıllar (%38)* • Yem bitkileri (%31) • Meyveler (%13) • Endüstri bitkileri (%3) • Yağ bitkileri (%5) • Sebzeler ve baklagiller (%2)
		Hayvan/otlatma (%8)	-
Evsel su kullanımı	9,8 (%7)	-	-
Endüstri	5,6 (%4)	-	-
Toplam	139,6		



Şekil 1: Türkiye’de üretimin su ayak izi bileşenlerinin payı (%) (WWF, 2014)

Bu hesaplamalara göre; tarım sektörünün WF değerinde en büyük pay olan yeşil WF bileşeni, tarımsal üretimin iklim koşullarına olan hassasiyetini, ikinci büyük bileşen olan mavi WF bileşeni ise, mevcut su kaynaklarının sürdürülebilirliği için sulama uygulamalarının önemini göstermektedir. Tahıllar ve endüstri bitkileri mavi WF bileşeninde en büyük paya sahiptir. Bu durum, tahılların ve endüstri bitkilerinin mevcut su kaynaklarına daha fazla ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Dolayısıyla bu tarımsal üretim kollarının sürdürülebilirliği açısından, sulama uygulamalarının iyi yönetilmesi ve mevcut su kaynaklarının etkin kullanımı çok önemli hale gelmektedir (WWF, 2014).

3.2.2.2. Türkiye Tarımında Tüketimin Su Ayak İzi

Bir ülkede tüketimin WF değeri; ülke içinde tüketilen malların ve hizmetlerin üretiminde kullanılan tatlı su miktarı olarak tanımlanmaktadır.

Türkiye’de tüketimin WF değeri yaklaşık 140,2 Mm³/yıl’dır. Tüketimden kaynaklanan WF değerinin %66’sı yeşil WF bileşeni olup bunu eşit oranlarda mavi WF bileşeni (%17) ve gri

WF bileşeni (%17) izlemektedir. Türkiye’de tüketimin WF değeri büyük oranda ülke içi üretimden kaynaklanmaktadır. İthalat kaynaklı WF değeri, tüketimin WF değerinin %17’sidir. (WWF, 2014).

Türkiye’de tüketimin WF değerinde en büyük pay (%89) tarıma aittir. Endüstriyel ve evsel su kullanımı ise tüketimin WF değerinin sırasıyla %6’sını ve %5’ini oluşturmaktadır. Tüketimin WF değerinde en büyük paya sahip olan tarım sektörü içinde en yüksek WF değerine (%92) bitkisel üretim sektörü sahiptir. Bitkisel üretimde tüketimin WF değerini ise yükseklik sırasına göre tahıllar (%35), yem bitkileri (%34), meyveler (%11), sert kabuklu meyveler (%9), yağ bitkileri (%6), sebzeler ve baklagiller (%5) oluşturmaktadır (WWF, 2014).

Türkiye’de sektörlere göre tüketimin “yeşil, mavi ve gri WF” bileşenleri sırasıyla şu şekilde hesaplanmıştır: Bitkisel üretimde yeşil su %83, mavi su %22, gri su %9; hayvan otlatma yeşil su %8; sanayi mavi su %2, gri su %5; endüstriyel su kullanımı mavi su %3, gri su %7. Görüldüğü gibi bitkisel üretimden ve otlatmadan oluşan tarım sektöründe yeşil WF bileşeni ön plana çıkmaktadır (WWF, 2014).

3.2.2.3. Türkiye Tarımında İhracatın ve İthalatın Su Ayak İzi

Türkiye’de ürünler çoğunlukla ülke içinde tüketilmektedir, ancak üretimin su ayak izinin bir bölümü ihracat yoluyla diğer ülkelerin tüketiminin su ayak izini de oluşturmaktadır. Yine, Türkiye’de tüketimin su ayak izinin bir bölümü ithal edilen mallardan kaynaklanmaktadır (WWF, 2014).

Tarımsal ürünlerin ihracatının ve ithalatının su ayak izini, ülkeler arası VW akışının miktarı, iklimsel faktörler, tarımsal üretim kaynakları, sistemleri ve pazarlama politikaları vb. birçok faktör etkilemektedir (WWF, 2014).

3.2.3. Dünya Tarımında Su Ayak İzi Araştırmaları

Dünya tarımında yaklaşık 2015 yılına kadar yapılan su ayak izi araştırmaları, Tablo 12’de yer almaktadır. Bu araştırmalar üzerinde yapılan değerlendirmenin sonuçları aşağıda verilmiştir.

Küresel düzeyde 2000-2015 döneminde tarımsal üretimde su ayak izi araştırmaları yoğunluk sırasına göre şu alt üretim kollarında gerçekleştirilmiştir: Tahıllar (%33), şeker kamışı ve pancarı (%16), sebzeler (%16), kakao, kahve ve çay (%14), meyveler (%13), diğerleri (%10) ve pamuk (%6) (Lovarelli ve ark.,2016).

Dünyada 2008 yılına kadar su ayak izi çalışmalarının önemli bir kısmı tarım alanında gerçekleştirilmiş ve tarımsal üretim ve tüketimde gerçekleşen küresel VW ticaretine (ithalat ve ihracat) odaklanılmıştır. Bu döneme kadar su ayak izi hesaplamalarının metodolojik temelleri genel olarak ortaya çıkmış ve dünya genelinde birçok tarımsal ürünün su ayak izi için ortalama değerler saptanmıştır (Lovarelli ve ark.,2016).

2009 - 2010’ dan itibaren belirli bir bölgede tarımın yüksek mekânsal çözünürlükte değerlendirildiği bir veya birkaç ürünün veya bir bölgeyi karakterize eden tüm ürünlerin WF değerleri üzerinde artan sayıda araştırma yapılmıştır. Özellikle de tahıllar üzerinde daha ayrıntılı çalışılmıştır. Tahıllardan mısırın su ayak izi düşük, pirincin orta ve buğdayın yüksek olarak saptanmıştır. Şeker mahsulleri ve sebzelerin WF değerleri çok düşük, meyvelerin orta, bakliyatlar, baharatlar ve kuruyemişlerin ise yüksek düzeylerde hesaplanmıştır (Lovarelli ve ark.,2016).

Dünyada bazı ülkelerde farklı tarım ürünlerinin tükettikleri su miktarına yönelik ilk küresel hesaplamalar Hoekstra ve Hung (2002), Chapagain ve Hoekstra (2004), Chapagain ve ark. (2006); Chapagain ve Hoekstra, (2011); Mekonnen ve Hoekstra, (2011) tarafından yapılmıştır. Ancak 2008 yılına kadar yapılan çalışmalarda toplam WF değeri yeşil, mavi ve gri su

bileşenlerine ayrılmamıştır. Sonraki yıllarda bu üç bileşenin ekonomik, sosyal ve çevresel etkileri bakımından farklı etkileri dikkate alınarak (örneğin, organik ve geleneksel tarım sistemleri arasında karşılaştırma) WF değeri ayrı olarak ölçülmüştür (Lovarelli ve ark.,2016).

Su ayak izi içinde yeşil, mavi ve gri su bileşenlerinin ayrı ayrı hesaplanmasının önemi esas olarak Mekonnen (2011) tarafından yapılan çalışma ile ortaya çıkmıştır. Nitekim 2000-2015 döneminde tarımsal WF değeri çalışmalarının %48'inde yeşil, mavi ve gri WF bileşenleri ayrı, %28'inde yeşil ve mavi WF bileşenleri ve %8'inde yalnızca mavi WF bileşeni hesaplanırken %18'inde WF bileşenleri bakımından bir ayırım yapılmamıştır (Lovarelli ve ark.,2016).

2002-2015 döneminde yapılan araştırmalarda tahılların VW içeriklerinin ve WF değerinin hayvansal ürünlerden daha düşük olduğu ve bu durumun, hayvansal ürün üretimi için gerekli olan yem üretimi için de su tüketilmesinden kaynaklandığı ortaya konulmuştur (Hoekstra ve Hung, 2002; Oki ve ark., 2003; Hoekstra, 2003; Chapagain ve Hoekstra, 2004; Enne ve ark., 2006; Mekonnen ve Hoekstra, 2012; Gerbens-Leenes ve ark., 2013; Palhares ve Pezzopane, 2015; Pahlow ve ark., 2015; Vanham ve ark., 2013; Lovarelli ve ark.,2016). Fakat bu araştırmalarda coğrafi ve zamansal konumlar, iklim, teknoloji ve bölgesel/yerel verim düzeyleri vb. faktörlerin dikkate alınmaması nedeniyle elde edilen ortalamaların küresel düzeyde genelleştirilemeyeceği bildirilmiştir. Nitekim 2015 yılında hayvansal ürünlerin WF değerini bölgesel düzeyde ölçen araştırma sayısındaki artış, bu görüşü desteklemiştir.

2000-2015 döneminde gerçekleştirilen tarımsal su ayak izi çalışmalarının %49' unda yeşil su ayak izinin değerlendirilmesinde FAO tarafından bildirilen CROPWAT modeli kullanılırken %8'inde kullanılan farklı modellerin sadece isimleri verilmiştir (Cropsyst, MRIO, Lund-Potsdam-Lena, Waterstat, PCR-Globwb vb.) Geri kalanlarda ise kullanılan model belirtilmemiştir (Lovarelli ve ark.,2016).

Gri WF bileşeni ölçümlerinde su kalitesi restorasyonu için yalnızca azot (N) düzeyleri dikkate alınmıştır. Su kalitesi limitlerinin belirlenmesinde çoğunlukla ABD-EPA ve AB tarafından izin verilen N limitleri esas alınmıştır (sırasıyla 45 mg/dm³ NO₃-N ve 50 mg/dm³ NO₃-N). Gri WF bileşeninin ölçüldüğü çalışmaların %25'inde ABD EPA ve %8'inde AB limitleri kullanılırken, %67'sinde herhangi bir limit protokolü verilmemiştir (Lovarelli ve ark.,2016).

Buğday dışındaki tarımsal ürünlerin WF değeri konusunda yapılan araştırmalardan bazılarının sonuçları şu şekildedir:

Pamuk: Tarımsal bitkilerin üretiminde WF değerinin hesaplanmasına yönelik ilk çalışmalar pamukta gerçekleştirilmiştir. Chapagain ve Hoekstra, (2003, 2004) ve Hoekstra ve Hungi (2002) tarafından yapılan öncü çalışmalardan sonra küresel düzeyde en kapsamlı çalışma Chapagain ve ark. (2006) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada Dünya’da en çok pamuk üreticisi olan 15 ülkenin pamuk üretiminin WF değeri hesaplanmıştır. Bu çalışmada, önceki çalışmalardan farklı olarak yeşil, mavi ve gri WF bileşenleri de dikkate alınmış ve toplam WF değeri 9800 Gm³/yıl olarak hesaplanmıştır. En düşük pamuk WF değeri, ABD ve Brezilya’dadır. Çin ve ABD dışındaki çoğu ülkenin, su yoğun pamuk üreticisi olduğu saptanmıştır. Gri suyu ayak izi, her pamuk işleme sürecinde AB-EPA (2005) tarafından izin verilen sınırlar kullanılarak hesaplanmış ve dikkate değer bir öneme sahip olduğu bildirilmiştir. Ülkeler arasındaki VW akışı 204 Gm³/yıl (%40 yeşil su, %43 mavi su, %17 gri su) olarak hesaplanmıştır. AB’nin pamuğa bağlı WF değerinin %84’ünün esas olarak Hindistan kaynaklı olduğu ortaya konmuştur (yüksek mavi su izi= 5,75 Gm³/yıl).

Engin (2019) tez çalışmasında, Türkiye’de pamuk üretiminin WF değerini incelemiştir. Türkiye’de 2016-2018 pamuk yetiştiriciliğinde önemli illeri (Şanlıurfa, Aydın, Hatay, Diyarbakır ve Adana) için sulama randımanı hesaplanmıştır. Üretim döneminde pamuğun su tüketimi ortalama 832 mm olup, yeşil su ihtiyacı ortalama 95 mm’dir. Pamuk için yıllık toplam

WF değeri 2016 yılında 3,3 Mm³ iken 2018 yılında 4,4 Mm³ olduğu, yıllık toplam WF değerinin yaklaşık %4'ü yeşil WF bileşeninden, %96'sı ise mavi WF bileşeninden oluştuğu belirlenmiştir (Engin, 2019).

Domates: Domates üretiminin WF değeri ile ilgili esas olarak İspanya, İtalya, ABD ve Avustralya'da 4 önemli çalışma yürütülmüştür.

İspanya'daki ilk çalışma Chapagain ve Orr (2009) tarafından yürütülmüştür. Bu ülkede domates sera alanları en yaygın üretim alanlarından birisidir (60.000 ha) ve toplam bahçe alanlarının %14'ünü oluşturmaktadır. Bu nedenle domates üretiminin hem açık hem de sera alanlarındaki WF değerleri incelenmiştir. Açık alanlarda yeşil suyu ayak izinin hesaplanmasında CROPWAT modeli kullanılmıştır. Seralarda domatesin buharlaşma dinamiklerinin farklı olması nedeniyle, iç mekan iklim verilerine göre evapotranspirasyonun açık alanların %70-80'i kadar olduğu varsayılmıştır. Gri WF bileşeni ortalama 7,2 m³/t olarak saptanmıştır.

İtalya'da endüstriyel domates üretiminin WF değeri Aldaya ve Hoekstra (2010) tarafından analiz edilmiş ve 114 m³/t (%30 yeşil su, %50 mavi su ve %17 gri su) olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, Chapagain ve Orr (2009) tarafından İspanya'da elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında, mavi su bileşenin uyumlu olmasına karşın farklı iklim koşulları ve gübre girdileri nedeniyle İtalyan üretim sisteminde yeşil ve gri WF bileşenlerinin çok daha yüksek olduğu bildirilmiştir.

ABD'de domates üretimi ve domates sosu işlemenin WF değerleri sırasıyla 125 dm³ (%1 yeşil, %72 mavi ve %34 gri) ve 7,6 dm³ (%22 mavi ve %78 gri) olarak hesaplanmıştır (Manzardo ve ark., 2015). Yine 1 kg kurutulmuş domates üretimi ve kurutma işleminin WF değerlerini sırasıyla 37 dm³/kg, 85 dm³/kg ve 15 dm³/kg şeklinde bulunmuştur (Ramírez ve ark., 2015).

Mısır: İtalya'da Po Vadisi'nde iklim değişikliği senaryolarının, mısır verimi ve WF değeri üzerindeki etkileri çalışılmış ve mısırın yerel iklimden ve su eksikliğinden önemli düzeyde etkilendiği ortaya konmuştur (Bocchiola ve ark., 2013). Yine Nana ve ark. (2014) Po Vadisi'nde dane mısır üretiminin WF değerini 479 kg/kg (%41 yeşil su ve %59 mavi su) şeklinde belirtmişlerdir.

Kahve ve çay: Hollanda'da kahve ve çay üretimi ve tüketimi Chapagain ve Hoekstra (2003, 2007) tarafından incelenmiş; bir fincan kahve ve çayın WF değerleri sırasıyla 140 dm³/fincan kahve ve 34 dm³/fincan çay olarak hesaplanmıştır. Jefferies ve ark. (2012) tarafından Kenya, Endonezya ve Hindistan'da üretilen, İngiltere'ye gönderilen ve Belçika'da paketlenip (50 g) dağıtılan çayın ve Almanya'da üretilen ve satılan margarinin (500 g) WF değeri incelenmiştir. Yeşil ve mavi WF bileşenleri CROPWAT modeli ile değerlendirilmiştir. Çay ile ilgili olarak, Chapagain ve Hoekstra (2003, 2007), Mekonnen ve Hoekstra (2010) ve Jefferies ve ark. (2012) tarafında hesaplanan WF değerinin, hesaplamada kullanılan sistemlerin birim ve fonksiyon bakımında farklı olduklarından, karşılaştırılamayacağı bildirilmiştir.

Zeytin: İtalya'da geleneksel, yoğun ve yüksek yoğunluklu üretim sistemlerinde gerçekleştirilen zeytin üretiminin WF değeri analiz edilmiştir. Geleneksel sistemin en yüksek (3434 m³/t: %64 yeşil, %24 mavi ve %12 gri), yüksek yoğunluklu sistem (2782 m³/t: %25 yeşil, %72 mavi ve %3 gri) ise en düşük WF değerine sahiptir. Bu değerler, küresel ortalamanın (3015 m³/t) %14 fazlası ve %8 eksigi arasındadır (Pellegrini ve ark., 2015).

Patates: Büyük Britanya'da patatesin WF değeri, ortalama 75 m³/t (%85 yeşil, %15 mavi) olarak ölçülmüştür (Hess ve ark., 2015). Bu ortalama, Chouchane ve ark. (2015) tarafından ölçülen değerden (250 m³/t : %44 yeşil, %48 mavi ve %8 gri) çok daha düşüktür. Bu farklılık, patates üretiminde su kullanımında Güney ve Kuzey ülkeleri arasındaki farklılıktan ileri

gelmiştir. Arjantin’de patatesin WF değeri 324 m³/t (%56 yeşil ve mavi, %44 gri su) olarak belirlenmiştir (Rodriguez ve ark., 2015).

Portakal ve çilek: Portakal ve çileğin WF değeri YDA kullanılarak Mordini ve ark. (2009) tarafından değerlendirilmiştir. Kilogram portakal üretimi başına en yüksek VW tüketimi olan ülkeler sırasıyla Çin, İspanya, İtalya, Brezilya ve ABD’dir. Üretim alanı bazında ise ABD ve Çin’in VW tüketimleri yaklaşık 5000 m³/ha’dır. Çilek üretiminde m³/kg olarak Polonya ve m³/ha olarak da Fas ve İspanya en yüksek WF değerine sahiptirler. İngiltere ve Polonya’da hektar başına benzer su tüketilmesine (yaklaşık 2500 m³/ha) rağmen, daha yüksek verim nedeniyle İngiltere’de kg başına tüketim daha düşüktür.

Pirinç: Küresel pirinç üretiminin WF değeri ilk kez Chapagain ve Hoekstra (2004) tarafından 1391 Gm³/yıl olarak hesaplanmıştır. Daha sonra Chapagain ve Hoekstra (2010); pirinç üreten en önemli 13 ülkenin (küresel üretimin %90’ından fazlası, ortalama verim 4,49 t/ha) tatlı su tüketimini incelemiş ve ortalama WF değerini 1325 m³/t (%48 yeşil, %44 mavi ve %8 gri) olarak saptamışlardır.

Kore’de Kore pirincinin WF değeri 829 m³/t - 844.5 m³/t olarak belirlenmiştir (Yoo ve ark., 2013). Arjantin’ de ise pirinç üretiminin WF değeri Kuzey bölgelerinde 845 m³/t (%43,5 yeşil ve %56,3 mavi) ve Güney bölgelerinde 987 m³/t (%36,5 yeşil ve %63,5 mavi) şeklinde hesaplanmıştır. İklim farklılıkları dikkate alınarak en büyük değişkenliğin mavi su kullanımında görüldüğü bildirilmiştir (Marano ve Filippi, 2015).

Darı: Huang ve ark. (2012); darı üretiminin WF değerini 868 m³/t (%48,5 yeşil, %0,5 mavi, %51,0 gri) olarak belirlemiştir.

Şarap: AB’de şarabın WF değeri çalışmaları daha çok İtalya’da yürütülmüştür. Bu ülkede ilk kez Mekonnen ve Hoekstra (2011) tarafından şarabın WF değeri ortalama 697 dm³/dm³ olarak

saptanmıştır. Daha sonra Lamastra ve ark. (2014); bağ üretimi ve şaraphane sürecinde yeşil, mavi ve gri WF bileşenlerini hesaplamışlardır. Bu çalışmada; İtalyan şarap üretimi sisteminin WF değeri, $745 - 1084 \text{ dm}^3/\text{dm}^3$ arasında belirlenmiştir. Şaraplık üzüm üretiminde sulama düzeyinin çok düşük olması nedeniyle şarap üretiminin mavi WF bileşeni, %7'dir. Ancak gri WF bileşeninin, şarap toplam WF değerinin yaklaşık %17'sini oluşturması nedeniyle, İtalyan sistemi şarap üretiminde önemli bir rolü olduğu belirtilmiştir.

Süt: Palhares ve Pezzopane (2015) tarafından geleneksel ve organik süt çiftliklerinin WF değerleri sırasıyla $1422 \text{ m}^3/\text{kg ECM}$ süt ve $1510 \text{ m}^3/\text{kg ECM}$ süt olarak belirlenmiştir.

Domuz eti: deMiguel ve ark. (2015), İspanya'da domuz eti üretimi ve işlenmesinde WF değerini $19,5 \text{ Mm}^3/\text{yıl}$ (%82 yeşil su, %8 mavi su ve %10 gri su) olarak hesaplamışlardır.

Çitlik balığı ve kabuklusu: Pahlow ve ark. (2015) tarafından çiftlik balıklarının ve kabukluların her ikisi içinde WF değerini $1974 \text{ m}^3/\text{t'a}$ (%83 yeşil su, %9 mavi su ve %8 gri su) olarak saptanmıştır.

Aşağıdaki bölümde tarımsal ürünlerin WF değerleri üzerinde yapılan araştırmaların özetleri ülkelere göre verilmiştir.

Endonezya: Bu ülkede en kapsamlı WF değeri çalışması pirinç, kahve, palmiye yağı, hindistancevizi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu ürünlerin Endonezya'daki toplam su kullanımının %86'sından sorumlu oldukları belirlenmiştir. Sonuçlara göre WF değerleri; pirinç $3473 \text{ m}^3/\text{t}$, kahve $22.907 \text{ m}^3/\text{t}$, kakao $9414 \text{ m}^3/\text{t}$ 'dur. En büyük VW akışlarını ise esas olarak palmiye yağı, kahve ve hindistan cevizi yağı oluşturmaktadır (Bulsink ve ark., 2010).

Çin: Çin'de tarımsal üretimde su tüketimi ve ayak izi çalışmaları 2010'lu yılların başından itibaren yoğunluk kazanmıştır.

Çin’de bitkisel üretimde ilk çalışma Huang ve ark. (2012) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada patates, soya fasulyesi, yer fıstığı, karpuz ve sebzelerin WF değerleri hesaplanmıştır. Tatlı patates üretiminin WF değeri 823 m³/t, soya fasulyesinin ve yer fıstığının WF değerleri sırasıyla 1816 m³/t ve 1330 m³/t ‘dur. Karpuzun WF değeri ise en düşüktür (136 m³/t).

Dong ve ark. (2014)’e göre; Çin ’de tarım, en çok su tüketen (%70) sektördür. Ancak güney (Guangdong: 27,5 Mm³/yıl) ve kuzey bölgesinde (Qingha: 2,72 Mm³/yıl) yer alan illerin su tüketimleri bakımından çok önemli farklılıklar vardır.

Wang ve ark. (2014); Çin’de en yüksek ve en düşük WF değerine sahip olan tarımsal ürünün sırasıyla pirinç (1,36 m³/kg) ve mısır (0,91 m³/kg) olduğunu belirlemiştir.

Song ve ark. (2015); 27 bitkisel ve hayvansal ürünü analiz ederek Çin nüfusunun ortalama su tüketimini kişi başına 673 m³/yıl olarak saptamıştır. Bu tüketimin en yüksek bileşenleri sırasıyla domuz eti ve pirinç üretimidir. Gıda atıklarından kaynaklanan atık su miktarı ise kişi başına 18 m³/yıl’dır.

Cao ve ark. (2015); buğday, pirinç, mısır, soya fasulyesi ve patates ile ilgili olarak Çin eyaletleri için su kullanımını ve su verimliliğini ölçmüşler ve tüm mahsuller için yeşil ve mavi WF bileşenleri oranını sırasıyla %57 ve %43 olarak belirlemişlerdir.

Xu ve ark. (2015) ve Liu ve ark. (2015); aynı ilde ve aynı tahıllar için WF değerlerinin 1960 yılından 2010 yılına kadar arttığını ancak 1980’lerde artış ve 2000 yıllarında azalma eğilimi görüldüğünü saptamışlardır.

Fas: Bu ülkede tarımda WF değeri çalışması ilk olarak Schyns ve Hoekstra (2014) tarafından gerçekleştirilmiştir. Sektörel düzeyde WF değerinde en büyük paya tarım sahiptir (%77). Hesaplamalarda tarımsal ekonomik değerleri en düşük olan ürünlerin (buğday vb.) WF değerinin en yüksek, tarımsal ekonomik değerleri en yüksek olan ürünlerin (domates vb.) WF

değerlerinin ise en düşük olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla ekmeklik buğday üretiminin yıllık WF değeri 11 Gm³/yıl olarak en yüksektir. Buna karşın, domates, portakal ve mandalınanın WF değerleri sırasıyla 0,10 Gm³/yıl, 0,44 Gm³/yıl ve 0,20 Gm³/yıl olarak belirlenmiştir. Araştırmacılar, bu bulgulara göre, su ekonomisi açısından Fas'ta tarımsal üretim desenin yeniden değerlendirilmesinin faydalı olacağını ileri sürmüşlerdir.

Tunus: Bu ülkede Chouchane ve ark. (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada; bademin WF değeri en yüksek düzeyde (20.820 m³/t) saptanmıştır. Bu miktar, küresel ortalamanın iki katıdır. Buna karşın domatesin WF değeri en düşüktür (120 m³/t). Badem ve zeytinin yeşil WF değerleri en yüksek olup toplam WF değerinin sırasıyla %85 ve %96'sını oluşturmuşlardır. Hurma ve incir ise mavi WF değerleri yüksek olup, toplam WF değerlerinin sırasıyla %74 ve %37'sine katkı yapmaktadırlar. Badem, aynı zamanda en yüksek gri WF bileşenine (%5) sahiptir ve bunu, arpa ve incir izlemiştir (sırasıyla %4 ve %3). Bu ülkede Güney bölgelerde yetiştirilen yaklaşık tüm ürünlerin WF değerleri, Kuzey ve Orta bölgelerde yetiştirilenlere göre daha yüksektir.

Tablo 12: Bazı ülkelerde tarımsal ürünlerde su ayak izi

Ülke	Ürün	Değer	Yüzdelik Dağılım	Kaynak
Endonezya	Pirinç	3473 m ³ /t	%73, yeşil su, %21 mavi su, %6 gri su	Bulsink ve ark., 2010
	Kahve	22.907 m ³ /t	%96 yeşil su, %0 mavi su, %4 gri su	Bulsink ve ark., 2010
	Kakao	9414 m ³ /t	%94 yeşil su, %0 mavi su ve %6 gri su	Bulsink ve ark., 2010
Çin	Tatlı patates	823 m ³ /t	%59 yeşil, %29 mavi, %12 gri	Huang ve ark. (2012)
	Soya fasulyesi	1816 m ³ /t	%66 yeşil, %19 mavi, %15 gri	Huang ve ark. (2012)
	Yer fıstığı	1330 m ³ /t	%66 yeşil, %19 mavi, %15 gri	Huang ve ark. (2012)

	Karpuz	136 m ³ /t	%29 yeşil, %32 mavi, %39 gri	Huang ve ark. (2012)
	Pirinç	1,36 m ³ /kg	-	Wang ve ark. (2014)
	Mısır	0,91 m ³ /kg	-	Wang ve ark. (2014)
Fas	Buğday	11 Gm ³ /yıl	-	Schyns ve Hoekstra (2014)
	Domates	0,10 Gm ³ /yıl	-	Schyns ve Hoekstra (2014)
	Mandalina	0,20 Gm ³ /yıl	-	Schyns ve Hoekstra (2014)
	Portakal	0,44 Gm ³ /yıl	-	Schyns ve Hoekstra (2014)
Tunus	Badem	20.820 m ³ /t	%85 yeşil, %9 mavi ve %6 gri	Chouchane ve ark. (2015)
	Domates	120 m ³ /t	%50 yeşil, %42 mavi, %8 gri	Chouchane ve ark. (2015)

3.2.4. Tarımsal Üretimde Su Ayak İzi Senaryoları

Tatlı su kıtlığı ve kirliliğinin gelecekteki durumunun tahminine yönelik birçok senaryo çalışması yürütülmüştür. Senaryolarda iklim, mevsim, nüfus, beslenme, su stresi vb. faktörler modellere dahil edilmiştir. Senaryo çalışmalarının sonuçları genel olarak şunlardır:

(1) Senaryoların hepsine göre gelecekte insanın tatlı suya bağımlılığı ile birlikte gıda güvencesi ve çevresel sürdürülebilirlik sorunları da artacaktır. Özellikle, 2025 yılında küresel nüfusun yaklaşık %67'sinin su kıtlığı ve %15'inin mutlak su kıtlığı (kişi başına 500 m³/yıldan az) yaşayacağı ileri sürülmüştür (Alcamo ve ark.,2000; Vörösmarty ve ark., 2000; Galli ve ark., 2012; Lovarelli ve ark.,2016'dan).

(2) Bioenerji ve biyoyakıt üretiminde 2030 yılına kadar mavi su kıtlığında %5,5 düzeyinde artış yaşanacağını bildirmiştir (Gerbens-Leenes ve ark.,2012).

(3) Yağmurla beslenen tarımdan sulu tarıma geçişin iklim değişikliği etkisini dengelemek için yeterli olmayacağı ileri sürülmüştür (Elliott ve ark.,2014).

(4) Nüfus, ekonomik büyüme, üretim/ticaret modelleri, beslenme, biyoenerji kullanımı, iklim, sosyal davranış, politika ve teknolojik gelişme gibi etmenleri dikkate alarak 2050 yılına kadar WF değerinde ortaya çıkacak değişimler tahminlenmiştir. Bu faktörlerin farklı etkilerine göre WF değeri de farklı düzeylerde artış göstermektedir. Özellikle nüfus artışının WF değerinde, diğer faktörlerin değişmesi koşuluyla bir azalma tahmin edilmiştir. Ancak azalan su miktarının, bazı ülkelerin WF değerini düşürürken ihracat kapasitelerini de azaltacağı bildirilmiştir (Ercin ve Hoekstra , 2014; Orłowsky ve ark., 2014).

(5) Türkiye'nin 25 nehir havzasında, iklim değişikliği senaryoları esas alınarak 2100 yılına kadar üç dönem için su varlığı tahmin edilmiş, tarımsal üretime ve gelire etkisi belirlenmiştir. Tarımsal ürünlerin hacimsel WF değerini su bütçesi yaklaşımıyla ele alan ilk kapsamlı çalışmadır. Araştırma sonuçlarına göre, iklim değişikliğinin su mevcudiyeti üzerindeki en yüksek etkisinin 2015–2040 döneminde gözlemlenebileceği, RCP 4.5 senaryosu için, 2040'a kadar %36'lık bir azalma ve referans yıldan 2100'e kadar %7'lik bir azalma beklenmektedir. Benzer şekilde, RCP 8.5 senaryosu, 2040'a kadar ortalama %40'lık bir azalmayı ve ek olarak referans yıldan 2100 yılına kadar %10'luk bir azalma beklenmektedir (Pilevneli ve Çapar, 2023).

4. BUĞDAY TARIMI

4.1. Buğday Tarımının Ekonomisi

Tarımının diğer ürünlere göre kolay, adaptasyonun yüksek olması, un, ekmek, makarna, irmik vb. gıda ürünlerinin üretimi için uygun olması gibi avantajları nedeniyle hem üretim hem de tüketimde önemlidir. Türkiye’de buğday tüketimi ortalama yıllık 225 kg’dır ve nüfus için yaklaşık 19 milyon ton buğday gereklidir.

Dünya genelinde buğday üretimi, özellikle Asya, Avrupa ve Kuzey Amerika gibi bölgelerde yoğunlaşmış olup, yaklaşık 2.4 milyar da alanda buğday yetiştirilmektedir. Dünya buğday ekim alanı bakımından ilk sırada yer alan Hindistan'da yaklaşık 31 milyon hektar alanda buğday yetiştirmektedir. FAO'nun verilerine göre, dünya buğday üretimi 2022 yılında 770 milyon tona ulaşmıştır. Buğdayın en büyük üreticileri arasında Çin, Hindistan, Rusya, Amerika Birleşik Devletleri, Fransa, Ukrayna, Avustralya, Pakistan, Kanada, Almanya ve Türkiye yer almaktadır (Tablo 13). Buğdayın dünya ticaretindeki önemi de giderek artmaktadır. Dünya genelinde buğday ticareti, yıllık 150 milyar dolara yakın bir değere sahiptir. Buğdayın en büyük ihracatçıları, Amerika Birleşik Devletleri, Rusya, Avustralya, Kanada, Fransa, Arjantin ve Ukrayna'dır. Buğdayın en büyük ithalatçıları ise Mısır, Endonezya, Japonya, Cezayir, Bangladeş ve Fas'tır. Son yıllarda, iklim değişikliği ve diğer faktörler nedeniyle buğday üretimi üzerinde bazı zorluklar ortaya çıkması, başta kuraklık gibi afetlerin buğday üretimi üzerindeki olumsuz etkileri, tarımsal üretimde su kullanımını gündeme getirmektedir. Dünya genelinde artan nüfus, nüfusun gıda ihtiyacının artması, yağışların ve su kaynaklarının azalması, sulama suyu kaynaklarının sınırlı olması, buğday üretiminde önemli bir zorluk haline gelmektedir. Çünkü buğday yetiştirilmesi için, bitki büyüme döneminde yeterli miktarda suya ihtiyaç vardır. Bu nedenle, buğday üretimi için su yönetimi önemlidir. Çiftçilerin suyu daha verimli bir şekilde kullanmak için modern sulama sistemleri kullanması, tarım arazilerinin iyi bir şekilde drenajlanması ve toprağın nemini korumak için uygun bir toprak yönetimi uygulaması önemlidir.

Tablo 13: Dünyada başlıca ülkelere göre buğday üretimi (FAO,2023)

Sıra	Ülkeler	Buğday Üretimi (Ton/Yıl)	Toplamdan alınan pay (%)
1	Çin	136.946.000	17,8
2	Hindistan	109.590.000	14,2
3	Rusya Federasyonu	76.057.258	9,9

4	Amerika Birleşik Devletleri	44.790.360	5,8
5	Fransa	36.559.450	4,7
6	Ukrayna	32.183.300	4,2
7	Avustralya	31.922.555	4,1
8	Pakistan	27.464.081	3,6
9	Kanada	22.296.100	2,9
10	Almanya	21.459.200	2,8
11	Türkiye	17.650.000	2,3
	İlk 11 Ülke Toplamı	556.918.304	72,2
	Diğer	213.958.769	27,8
	Genel Toplam	770.877.073	100

Türkiye’de ekilen tarım alanlarının yaklaşık %71’inde (11.13 milyon hektar) tahıl ekimi yapılmaktadır. Tahıl ekim alanı içerisinde buğday %62’lik oranla ilk sırada yer alırken, bu sıralamayı %28’lik oranla arpa ve %6,2’lik oranla da mısır takip etmektedir. Türkiye’nin neredeyse hemen her bölgesinde ve çoğunlukla kuru koşullarda (yağışa dayalı) yetiştiren buğday, yaygın olarak İç Anadolu Bölgesi’nde üretilmektedir. Buğday üretiminin yoğun olduğu iller arasında Konya, Şanlıurfa, Samsun, Adana ve Mardin gibi iller yer almaktadır (Anonim 2020). Türkiye’de buğday ekim alanlarında yıllar itibariyle azalma vardır. 2010 yılında 8.103.400 hektar alanda buğday ekilirken, 2022 yılında 6.628.739 hektara gerilemiştir. Toplam buğday alanının büyük bölümüne ekmeklik buğday ekilmektedir. Buğday üretimi ise aynı dönemde 19-22 milyon ton arasındadır (Tablo 14).

Tablo 14: Türkiye’de 2020-2022 döneminde buğday ekim alanı (TÜİK,2023)

Yıllar	Makarnalık Buğday (hektar)	Ekmeklik Buğday (hektar)	Toplam Buğday (Hektar)	Buğday üretimi (Ton/Yıl)
2010	1334000	6769400	8103400	19674000
2015	1273773	6593114	7866887	22600000
2020	1258056	5664180	6922236	20500000
2021	1201369	5543297	6744665	17650000
2022	1204960	5423780	6628739	19750000

Buğday, Türkiye'nin tarım sektöründe önemli bir yere sahip olan temel ürünlerden biridir. Türkiye, dünya genelinde buğday üretiminde önemli bir aktördür ve ekonomik açıdan büyük bir etkiye sahiptir. Buğday tarımının ekonomik etkileri arasında tarım geliri, ihracat geliri, iç talep, istihdam ve dış ticaret dengesi bulunmaktadır. Türkiye'nin buğday üretimi, tarım sektöründe önemli bir gelir kaynağıdır ve çiftçiler için önemli bir geçim kaynağı sağlamaktadır. Buğday üretimi aynı zamanda ihracat potansiyeli olan bir sektördür ve Türkiye, buğday ihracatında dünya genelinde önemli bir oyuncu konumundadır.

Buğday fiyatları, hem üretici hem de tüketici açısından büyük önem taşır. Üretici fiyatları, çiftçilerin gelirini doğrudan etkilerken, tüketici fiyatları gıda enflasyonu üzerinde etkili olabilir. Bu nedenle, buğday fiyatlarının istikrarlı olması ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi önemlidir.

Buğday tarımının ekonomik etkileri arasında istihdam da bulunmaktadır. Buğday üretimi için tarlalarda çalışan işçiler, tarım sektöründe istihdamın önemli bir parçasını oluştururlar. Ayrıca, buğdayın işlenmesi, depolanması, taşınması ve pazarlanması için de iş gücü gerekmektedir, bu da ilgili sektörlerde istihdam sağlamaktadır.

Türkiye'deki buğday tarımının ekonomisi, üretim, ticaret, fiyatlar, istihdam ve diğer faktörler üzerinde geniş bir etkiye sahiptir. Buğdayın bu katkılarının devam etmesi için WF değeri açısından en etkili yöntemin izlenmesi önemlidir.

4.2. Buğday Tarımının Biyolojik ve Teknik Özellikleri

Buğday karasal iklimde yetişen, dünyada ikinci en çok ekimi yapılan (mısırdan sonra) tahıldır. Buğday, insan beslenmesi, hayvan beslenmesinde önemlidir.

Küresel düzeyde ekonomik önemi olan buğday çeşitlerinin yaklaşık 3/4'ü ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L) grubunda yer alırken, 1/4'ü ise makarna ve irmik ürünlerinin üretiminde

kullanılan makarnalık ya da sert buğdaylar (*Triticum durum* L; *Triticum turgidum* ssp.) grubunda yer almaktadır.

Ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitleri, yabani emmer (*T. dicoccum*) buğdayından evcilleştirilmiştir. Ekmeklik buğdayın geniş ölçekli ekimi ise esas olarak MÖ geçen yüzyıl civarında Roma Döneminde başlamıştır (Elçi ve ark., 1994; Balint ve ark., 2000).

Günümüzde buğdaylar, küresel düzeyde genellikle elde edilecek ürünlere göre makarnalık, ekmeklik ve bisküvilik buğday olarak sınıflandırılmaktadır. Türkiye’de hepsi yetiştirilmektedir.

Buğday tarımının teknik özellikleri aşağıdaki bölümde özetlenmiştir (Elçi ve ark.,1994; Süzer, 2022).

Buğday, serin iklim tahılı olmasına karşın farklı iklim ve çevre koşullarına başarı bir şekilde uyum gösterebilmektedir. Bu özelliği nedeniyle dünyanın farklı bölgelerinde kışlık ve yazlık çeşitleri ekonomik olarak yetiştirilebilmektedir.

Buğday bitkisi yetiştirme döneminin ilk devrelerinde düşük sıcaklık ve bol nemli hava istemektedir. Buğday gelişmesinin ikinci devresi olan sapa kalkmada ise 10–15 °C sıcaklık ve %65 oranında nispi nem isteği olmaktadır. Buğdayın su ihtiyacı, büyüklüğü ve su emme kapasitesi ile ilgilidir. Yazlık ve kışlık buğday çeşitleri kardeşlenme, sapa kalkma, başakçık ve çiçek oluşumu, çiçeklenme ve tane dolum dönemlerinde suya daha fazla ihtiyaç duymaktadır. Buğday bitkisinin vejetasyon boyunca istediği su miktarı gelişme dönemlerine göre farklılık göstermektedir. Buğday bitkisi iyi bir çimlenme ve uygun bir çıkış sağladıktan sonra ekimden kaleme kalkma dönemine kadar olan dönemde su isteği fazla olmayıp, verim üzerine de çok etkili değildir. Buğday bitkisinde, hızlı bir kütleli büyümenin olduğu ve başak taslağının olduğu sapa kalkma dönemiyle birlikte su ihtiyacı gittikçe artar, başaklanma döneminde maksimuma ulaşmakta ve yüksek su talebi tane doldurma döneminde de devam etmektedir.

5.BUĞDAY TARIMININ SU AYAK İZİ

Dünyada diğer tarımsal ürünlerle kıyaslandığında tahılların WF değeri üzerinde daha fazla durulmuştur. Tahıllar içinde üzerinde en çok durulan ürünler ise mısır ve buğdaydır. 2004 yılından günümüze kadar buğdayın WF değeri üzerinde yoğunlaşan araştırma sayının 60'in üzerinde olduğu söylenebilir. Tablo 15' de 2004 -2023 döneminde buğday WF değeri üzerinde gerçekleştirilen toplam 32 araştırmanın yıllara göre dağılımı verilmiştir. Ancak bu tabloya iklim değişikliği alanında ve Türkiye' de gerçekleştirilen araştırmalar dahil değildir. Dünya genelinde buğday su ayak izi üzerindeki ilk çalışma Chapagain ve Hoekstra (2004) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bölgesel düzeyde 4 araştırma gerçekleştirilmiştir ve bu araştırmaların tamamı Avrupa kıtasına özgüdür. Ülkesel düzeyde gerçekleştirilen çalışma sayısının dağılımı ise şu şekildedir: Çin 13, İtalya 3, Avusturya 1, Fransa 1, Fas 1, Mısır 1, Irak 1, İran 1, Tunus 1, Zimbabwe 1. kullanılmıştır. Çin'in çalışma sayısının yüksekliğini, bu ülkedeki buğday üretimi ve tüketiminin yüksekliği, İtalya'nın çalışma sayının yüksekliğini ise pizza üretimine yönelik makarnalık buğday üretiminin yüksekliği ile açıklamak mümkündür (Hoekstra ve ark., 2011).

Tablo 15: Dünyada 2004 - 2023 döneminde gerçekleştirilen buğday WF değeri çalışmaları*

No	Dönem	Su Ayak İzi				Kullanılan Yöntemler	Kaynak	Not
		Yeşil	Mavi	Gri	Toplam			
	Dünya Geneli							
1	1997-2001	-	-	-	1.300 m ³ /ton	Allen ve ark., (1998)	Chapagain ve Hoekstra (2004)	-
2	1996-2005	1.279 m ³ /ton	343 m ³ /ton	208 m ³ /ton	1.830 m ³ /ton	Su Ayak İzi Ağı Kılavuzu	Mekonnen ve Hoekstra (2010)	-
3	1996-2005	-	-	-	1.087 Gm ³ /yıl	Mekonnen ve Hoekstra (2010), Hoekstra ve ark. (2011) ve Allen ve ark.(1998)	Mekonnen ve Hoekstra (2011)	-
4	1996-2005	-		-	-	Mekonnen ve Hoeksra (2011)	Mekonnen ve Hoekstra (2020)	%57'si sürdürülemez
	Bölge ve Ülke Düzeyinde							
1	İtalya	-	-	-	Makarnalık ve ekmeklik: 1574 ve 786 m ³ /ton	-	Aldaya ve Hoekstra (2010)	
2	Çin/Pekin/2009	377,5 m ³ /ton	220,3 m ³ /ton	114,0 m ³ /ton	711,8 m ³ /ton	-	Huang ve ark. (2012)	
3	Fransa/1996-2005	-	-	-		Su Ayak İzi Değerlendirme Kılavuzu (Hoekstra ve ark., 2011)	Ercin ve ark. (2013)	Tarımsal üretimin WF değerinin en önemli bileşeni (%29)

4	İtalya	-	-	-	Makarnalık: 1.336 dm ³ /kg	-	Ruini ve ark. (2013)	
5	Fas	-	-	-	Ekmeklik: 11 Gm ³ /yıl	Su Ayak İzi Değerlendirme Kılavuzu (Hoekstra ve ark., 2011	Schyns ve Hoekstra (2014)	
6	Çin/1996– 2005/Sarı Nehir Havzası	-	-	-	Buğday WF değerinin çevresel faktörlere karşı hassasiyetinin ölçülmesi	5'e 5 ark. dak. çözünürlükte ızgara tabanlı günlük su dengesi modeli	Zhuo ve ark. (2014)	
7	Çin/ 31 Eyalet/1998– 2010	+	+	+	Buğday WF değerinin değişimi	-	Caoa ve ark. (2015)	
8	Tunus/1996– 2005	2.380 m ³ /ton	70 m ³ /ton	110 m ³ /ton	2.560 m ³ /ton		Chouchane ve ark.(2015)	

9	Çin/Kuzey Ovası/ 1998–2011	-	-	-	Kışlık ekmeklik: 973 m ³ /yıl	Mekonnen ve Hoekstra (2010) ve Su Ayak İzi Değerlendirme Kılavuzu (Hoekstra ve ark., 2011)	Wanga ve ark. (2015)	
10	Çin/Pekin/ 1978- 2012/				Toplam WF değerine en yüksek katkı (%26) yapan üçüncü ürün	Chapagain ve ark. (2006)	Xu ve ark. (2105)	Mavi WF bileşenine katkısı %38'dir
11	Avrupa	-	-	-	Kışlık makarnalık buğday (genel analiz)	Toplam 8 farklı model	Kersebaum ve ark. (2016)	
12	İtalya/Kuzey ve Güney Bölgesi/ 2011-2015	-	-	-	Kışlık makarnalık: güney bölgesi < 5000 m ³ ha ⁻¹ ve merkez ve Kuzey bölgesi > 5000 m ³ /ha	-	Casolani ve ark. (2016)	
13	Çin				Kışlık ekmeklik : /kurak alan:1.224 m ³ /ton ve nemli alan:841 m ³ /ton	FAO AquaCrop Ürün Suyu Verimlilik Modeli	Zhuo ve ark.(2016)	
14	Çin				Kışlık ekmeklik (Genel analiz)	Su Ayak İzi Değerlendirme Kılavuzu (Hoekstra ve ark., 2011)	Sun ve ark. (2016),	

15	Avrupa	Makarnalık: 1414 Mm ³ /g Ekmeklik: 1108 Mm ³ /g	-	-	-	FAO AquaCrop Su Dengesi Modeli	Gobin ve ark. (2017)	
16	Avusturya	-	-	-	Kışlık ekmeklik buğday (genel analiz)	-	Thaler ve ark. (2017)	
17	İran/ 2006– 2012	-	-	-	Kışlık ekmeklik: 36.777 m ³ /yıl	Hoekstra ve Chapagain (2008) ve Hoekstra ve ark. (2009)	Ababaei ve ark. (2017)	
18	Çin/2011	-	-	-	Kışlık ekmeklik buğday 1.1m ³ /kg	Su Ayak İzi Değerlendirme Kılavuzu (Hoekstra ve ark., 2011)	Zhang ve ark. (2018)	
19	Çin	0,22 m ³ /kg	-	-	Kışlık ekmeklik: 1.036 m ³ /kg	SWAT (Soil and Water Assessment Tool)	Luana ve ark. (2018)	
20	Avrupa	-	-	-	Kışlık ekmeklik (genel analiz)	-	Garofalo ve ark. (2019)	
21	Çin/ 1996– 2015	-	-	-	Kışlık ekmeklik (genel analiz)	-	Yea ve ark. (2109)	
22	Irak/15 il	-	-	-	Kışlık ekmeklik: 1.876 m ³ /ton	Su Ayak İzi Değerlendirme Kılavuzu	Hussein Ewaid ve ark. (2019)	

						(Hoekstra ve ark., 2011)		
23	Çin/ 2009-2016	-	-	-	Kışlık ekmeklik (Genel analiz)	ISO 14046 standardı ve Su Ayak İzi Değerlendirme Kılavuzu (Hoekstra ve ark., 2011)	Zhai ve ark. (2019a)	
24	Çin	-	-	-	Su kıtlığı ayak izi: (WSF) (> 0,058 m ³ H ₂ Oe/kg	-	Huang ve ark. (2019)	
25	Çin/2009-2015	33,93 m ³ /yıl	20,38 m ³ /yıl	45,18 m ³ /yıl	Kışlık ekmeklik 99,49 m ³ /yıl	YDA	Zhaia ve ark. (2019b)	
26	Zimbabve/ 1980 –2010	-	1555.93 m ³ /ton/yıl	-	Kışlık ekmeklik 1.869,30 m ³ /t /yıl	Küresel WF değerlendirmesi (WFA) standardı	Gover ve ark. (2020)	
27	Çin/ 2008-2017	-	-	-	Kışlık ekmeklik (genel analiz)	YDA	Zhaia ve ark.(2021)	
28	Mısır/ Nil vadisi ve deltası	-	-	-	Kışlık ekmeklik: yeşil +mavi: 700 m ³ / ton'dur	Su Ayak İzi Değerlendirme Kılavuzu (Hoekstra ve ark., 2011)	Mahmoud El-Marsafawy ve Ibrahim Mohamed (2021)	

*Bu tabloya iklim değişikliği alanında ve Türkiye’de gerçekleştirilen araştırmalar dahil değildir.

5.1. Küresel Düzeyde Gerçekleştirilen Buğday Su Ayak İzi Araştırmaları

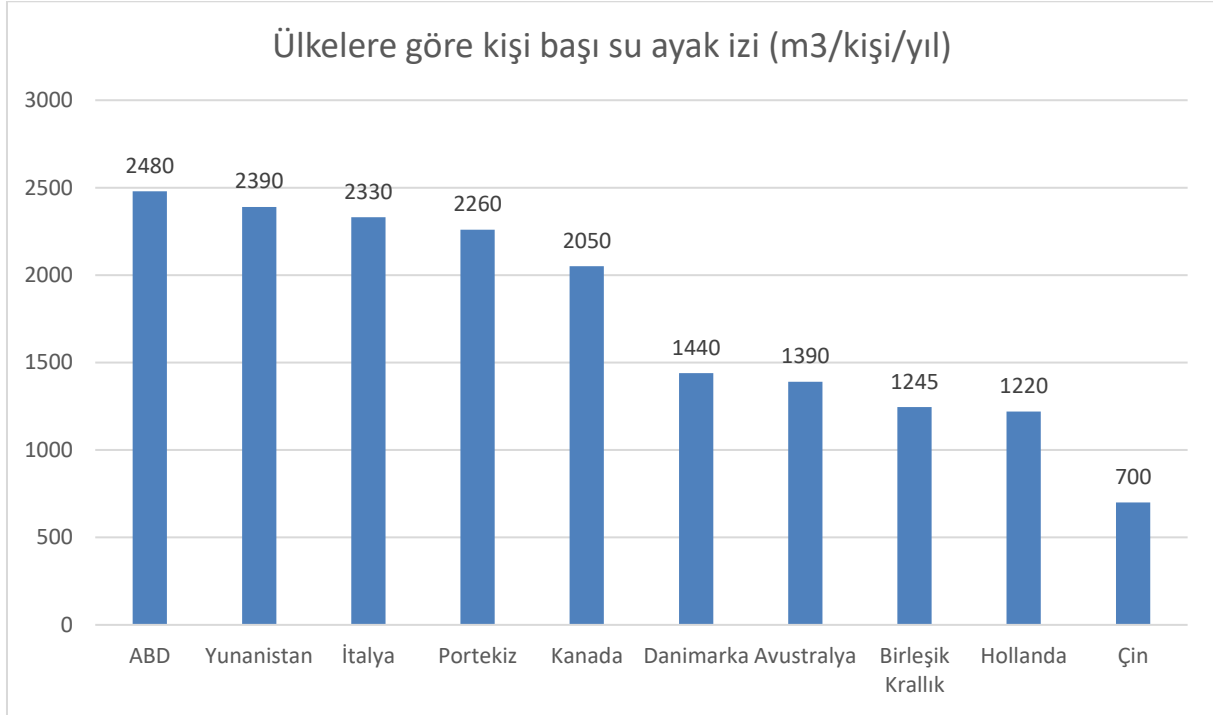
Dünyada küresel düzeyde buğdayın WF değeri üzerinde esas olarak 4 temel çalışma gerçekleştirilmiştir: Chapagain ve Hoekstra (2004), Mekonnen ve Hoekstra (2010), Mekonnen ve Hoekstra (2011), Mekonnen ve Hoekstra (2020). Bu çalışmalar detaylı olarak aşağıda incelenmiştir.

Chapagain ve Hoekstra (2004) tarafından 1997 - 2001 döneminde dünya genelinde her ülkenin tarım ürünlerinin VW miktarları ve WF değerleri hesaplanmıştır. Ülke ve ürün başına VW hesaplanmasında Chapagain ve Hoekstra (2004) tarafından, WF değerinin hesaplanmasında ise FAO tarafından geliştirilen metodoloji (Allen ve ark., 1998) kullanılmıştır.

Hem etkili yağış hem de sulama suyu dahil olmak üzere, mahsul üretimi için kullanılan küresel su hacmi 6390 Gm³/yıl'dır. Genel olarak, bitkisel ürünlerin VW içerikleri, hayvancılık ürünlerinden daha düşüktür. Bununla birlikte, ürünlerin VW içerikleri iklim, kullanılan tarımsal uygulama ve teknoloji, verim düzeyi gibi faktörlere bağlı olarak bölgeler arasında farklılık göstermektedir. Uluslararası emtia ticareti ile ilgili VW akışlarının küresel hacmi 1625 Gm³/yıl'dır. Bu VW akışının yaklaşık %80'i tarım ürünleri ticaretine, geri kalanı ise sanayi ürünleri ticaretine ilişkindir.

Küresel WF değeri 7.450 Gm³/yıl, yani 1.240 m³/kişi/yıl olarak hesaplanmıştır. Ülkelere göre farklar büyüktür. ABD'nin ortalama WF değeri 2.480 m³/kişi/yıl iken, Çin'in 700 m³/kişi/yıl'dır. Portekiz (2.260 m³/yıl/kişi), İtalya (2.330 m³/yıl/kişi), Kanada (2.050 m³/yıl/kişi) Yunanistan (2.390 m³/yıl/kişi), Birleşik Krallık (1245 m³/yıl/kişi), Hollanda (1.220 m³/yıl/kişi), Danimarka (1.440 m³/yıl/kişi), Avustralya (1.390 m³/yıl/kişi) gibi ülkelerin kişi başına gayri safi milli gelire ve iklim koşullarına bağlı olarak WF değeri değişmektedir. ABD, Kanada gibi bazı ülkeler, insanların beslenmesindeki et oranları ve yüksek endüstriyel ürün

tüketimi nedeniyle yüksek WF değeri sergileyebilir. Bu durum, uluslararası su bağımlılığı bakımından önemlidir



Şekil 2: Ülkelere göre kişi başı su ayak izi ((m³/ kişi/yıl))

1997-2001 döneminde küresel düzeyde mısır, buğday ve pirinç, tavuk eti, domuz eti ve sığır etinin WF değerleri sırasıyla 900 m³/ton, 1.300 m³/ton, 3.000 m³/ton, 3.900 m³/ton, 4.900 m³/ton ve 15.500 m³/ton olarak belirlenmiştir. Bu dönem için Türkiye'nin buğday WF değeri 319 mm/ürün dönemi iken VW miktarı 1531 m³/ton'dur.

Dünya genelinde çeşitli ürünlerin, küresel WF değerine katkıları şu şekilde tespit edilmiştir: darı %2, arpa %3, sorgum %3, hindistan cevizi %2, pamuk tohumu %3, şeker kamışı %3, soya fasulyesi %4, mısır %9, pirinç-çeltik %21, buğday %12, diğerleri %37. Görüldüğü gibi en yüksek katkıyı pirinç ve buğday yapmaktadır.

Mekonnen ve Hoekstra (2010); dünya genelinde Türkiye'nin de içinde bulunduğu toplam 27 ülkede buğday üretiminin ve tüketiminin yeşil, mavi ve gri WF bileşenlerini analiz etmişlerdir. WF değeri hesaplamalarında Su Ayak İzi Ağı Kılavuzu tarafından verilen modeller

kullanılmıştır. 1996-2005 dönemindeki küresel buğday üretimi için gerekli olan su miktarı yaklaşık 108 Mm³/yıl su olarak hesaplanmıştır. Bu suyun, %70'i yeşil, %19'u mavi ve %11'ri de gri sudan gelmektedir. Buğdayın ton ürün başına küresel ortalama WF değeri 1830 m³/ton'dur. Buğday üretiminin WF değerinin yaklaşık %18'i iç tüketimin aksine ihracat içindir. VW ihracatının yaklaşık %55'i yalnızca ABD, Kanada ve Avustralya kaynaklıdır. 1996–2005 dönemi için, buğday ürünlerinde uluslararası ticaretten sağlanan küresel ortalama su tasarrufu 65 Gm³/yıl'dır. Su stresi sorunlarıyla bilinen Ganj ve İndus nehri havzalarında buğday üretiminin bir sonucu olarak nispeten büyük bir toplam mavi WF bileşeni belirlenmiştir. Bu iki havza tek başına küresel buğday üretiminin mavi WF bileşeninin yaklaşık %47'sini oluşturmaktadır. Japonya'da buğday tüketiminin WF değerinin yaklaşık %93'ü diğer ülkelerde, özellikle ABD, Avustralya ve Kanada'da bulunmaktadır. İtalya'da, kişi başına ortalama buğday tüketimi 150 kg/yıl'dır ve bu değer, dünya ortalamasının yaklaşık iki katından fazladır. Ancak İtalya bu buğday tüketimi için gerekli olan WF değerinin yaklaşık %44' ünü İtalya dışından karşılamaktadır. İtalya'nın bu dış WF değerinin büyük bir kısmı Fransa ve ABD'de bulunmaktadır.

1996 – 2005 döneminde küresel buğday üretimine en yüksek katkıyı sırasıyla Çin (%17,4), Hindistan (%11,9), ABD (%10,29) ve Rusya (%6,5) yapmaktadır. Dünya üretiminin toplam WF değeri 1.087.578 Mm³/yıl'dır. Bu ayak izine en büyük katkıyı sırasıyla yeşil, mavi ve gri WF bileşenleri yapmıştır (sırasıyla 760301 Mm³/yıl; 203744 Mm³/yıl; 123533 Mm³/yıl). Dünya buğday üretiminin toplam WF değeri 1830 m³/ton'dur. Bu miktarı esas olarak yeşil su oluştururken, bunu mavi ve gri WF bileşenleri izlemiştir (sırasıyla 1279 m³/ton; 343 m³/ton; 208 m³/ton).

Bu araştırmada Türkiye'de buğday üretimi ve tüketiminin WF değeri de hesaplanmıştır. Türkiye buğday üretiminin WF değeri, toplam ve ton başına göre analiz edilmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre buğday üretiminin toplam (mm³/yıl) ve ton başına su ayak izi (m³/ton)

değerleri yeşil, mavi ve gri WF bileşenleri ve toplam için sırasıyla 47.325 Mm³/yıl; 40.898 Mm³/yıl; 2.570 Mm³/yıl; 3.857 Mm³/yıl ve 2.081 m³/ton, 131 m³/ton, 196 m³/ton, 2408 m³/ton olarak hesaplanmıştır. Türkiye yıllık ve ton başına buğday üretiminin toplam gri WF bileşeninin, mavi WF bileşeninden yüksek hesaplanması oldukça dikkat çekici bir durumdur.

Türkiye, yıllık ve ton başına buğday üretiminin toplam WF değeri bakımından en yüksek 6 ülke arasında yer almıştır (yükseklik sırasına göre Çin, Hindistan, Pakistan, ABD, Rusya, Pakistan, Türkiye ve Fas, İran, Kazakistan, Pakistan, Rusya, Türkiye).

Türkiye buğday tüketiminin toplam ve kişi başına WF değerleri sırasıyla 47.376 mm³/yıl ve 691 mm³ /yıl olarak hesaplanırken, tüketimin dahili ve harici WF değerleri sırasıyla 44.903 mm³/yıl ve 2.473 mm³ /yıl olarak hesaplanmıştır.

Mekonnen ve Hoekstra (2011) tarafından küresel düzeyde 1996–2005 dönemi için mahsul üretiminin yeşil, mavi, gri WF bileşenleri ve toplam WF değerleri ölçülmüştür. Ölçümlerde Mekonnen ve Hoekstra (2010), Hoekstra ve ark. (2011) ve Allen ve ark. (1998) tarafından geliştirilen modeller kullanılmıştır. Modellemede günlük toprak su dengesi, iklim koşulları ve bitkisel üretimde azotlu gübre kullanımıyla ilişkili su kirliliği dahil edilmiştir. 20 minör ürünün mahsul buharlaşma değerleri CROPWAT modeli ile hesaplanmıştır. Çeşitli unlar, içecekler, lifler ve biyoyakıtlar dahil olmak üzere 200'den fazla türevli ürünün WF değeri ölçümlerinde ise Su Ayak İzi Ağı Kılavuzu'ndan yararlanılmıştır.

Dünyada alt bölgeler ya da havzalar açısından en yüksek WF değeri (>400 mm/yıl), Ganj ve İndus nehir havzalarında (Hindistan, Pakistan ve Bangladeş), doğu Çin'de ve Mississippi nehir havzasında (ABD) belirlenmiştir. Bu alanlar, ilgili ülkede hasat edilen toplam tahıl alanı içinde nispeten büyük bir paya sahiptirler.

Ürünün tonu başına bakıldığında, nispeten büyük WF değerine sahip olan ürünler kahve, çay, kakao, tütün, baharatlar, fındık, kauçuk ve liflerdir. Farklı biyoyakıtların WF değerleri, daha önceki analizlerde olduğu gibi biyoetanolün biyodizelden daha düşük WF değerine (m^3/GJ cinsinden) sahip olduğunu göstermiştir. Şeker pancarı ve mısıra dayalı biyo-etanolün küresel ortalama WF değerleri sırasıyla 51 ve $121 \text{ m}^3/\text{GJ}$ olarak hesaplanmıştır. 1996–2005 dönemi için bitkisel üretimin küresel WF değeri yılda 7404 Mm^3 olup bunun %78’ni yeşil, %12’ni mavi ve %10’unu gri su oluşturmuştur. Tahıllar içinde en yüksek WF değerleri sırasıyla buğday ($1087 \text{ Gm}^3/\text{yıl}$), pirinç ($992 \text{ Gm}^3/\text{yıl}$) ve mısır ($770 \text{ Gm}^3/\text{yıl}$) için hesaplanmıştır. Buğday ve pirinç, birlikte küresel mavi WF bileşeninin en büyük kısmını (%45’ini) oluşturmuşlardır. Ülke düzeyinde, toplam WF değeri en yüksek olanlar sırasıyla Hindistan ($1047 \text{ Gm}^3/\text{yıl}$), Çin ($967 \text{ Gm}^3/\text{yıl}$) ve ABD’dir ($826 \text{ Gm}^3/\text{yıl}$).

Mekonnen ve Hoekstra (2020), 1966-2005 döneminde küresel mahsul üretiminde mavi su kullanımının sürdürülebilirliğini ve verimliliğini analiz etmişlerdir. Mavi WF bileşeninin hesaplanmasında Mekonnen ve Hoeksra, (2011) ve (2012) tarafından verilen modellerden yararlanmışlardır. Çalışma, küresel mavi WF bileşeninin %57’sinin sürdürülemez durumda olduğunu göstermiştir. Küresel mavi WF bileşeninin sürdürülemez kısmının %70’e yakını 5 ürünün üretiminden kaynaklanmaktadır: buğday (%27), pirinç (%17), pamuk (%10), şeker kamışı (%8) ve yem (%7). Mahsul üretimi ile ilişkili önemli oranda sürdürülemez mavi WF bileşenine sahip ülkeler öncelikle Orta Doğu ve Orta Asya’da bulunmaktadır. Katar, mavi WF bileşeninin yaklaşık %71’inin sürdürülemez olmasıyla listenin başında yer alırken, onu Özbekistan (%68), Pakistan (%68) ve Türkmenistan (%67) izlemektedir. Araştırmacılar tarafından Mavi suyun yaklaşık %25’nin, mahsule özgü WF değerinin kıyaslama düzeyine düşürülmesi ile küresel olarak kurtarılabileceğini bildirmişlerdir.

5.2. Bölge ve Ülke Düzeyinde Gerçekleştirilen Buğday Su Ayak İzi Araştırmaları:

Bölgesel ve ülkesel düzeyinde gerçekleştirilen buğday WF değeri araştırmalarının özetleri tarih sırası esas alınarak aşağıda verilmiştir.

Aldaya ve Hoekstra (2010), İtalyan makarna ve pizzasında kullanılan sırasıyla makarnalık ve ekmeklik buğdayın (sırasıyla Triticum durum ve Triticum aestivum) WF değerlerini ölçmüşlerdir. Makarnalık buğdayın ortalama WF değeri, ekmeklik buğdaydan çok daha yüksek (+%50) ancak yeşil ve mavi WF bileşenleri, ekmeklik buğdaydan daha yüksektir (sırasıyla 1,5 ve 4,2 kat). Makarnalık buğdayının gri WF bileşeni ise ekmeklik buğdaya göre 1.8 kat daha büyüktür (sınır olarak US-EPA'dan 10 mg/dm³ NO₃-N dikkate alınmıştır). Bu sonuçlara göre İtalya'da makarnalık ve ekmeklik buğdayın WF değerlerini oluşturan üç bileşen bakımından farklı bir dağılımın olduğu bildirilmiştir. İtalyan makarnalık ve ekmeklik buğdayının mavi ve gri WF bileşenleri küresel ortalama dan daha yüksek (sırasıyla +%53 ve +%45; +%17 ve +%10) iken yeşil WF bileşeni daha düşüktür (sırasıyla %66 ve %39). İtalyan buğdayının toplam su ayak izi ise (makarnalık - 1574 m³/t ve ekmeklik - 786 m³/t), küresel ortalama dan (1644 m³/t) daha düşük kalmıştır.

Huang ve ark. (2012) tarafından, Çin/Pekin'de tarımsal ürünler içinde toplam, yeşil, mavi ve gri WF bileşenleri en yüksek olan ilk 5 ürün; sırasıyla soya, yerfıstığı, mısır, tatlı patates ve buğday; soya, yerfıstığı, tatlı patates, mısır, buğday; buğday, soya, yerfıstığı, tatlı patates, sebzeler (örtü altı); mısır, sebzeler (örtü altı), Sebzeler (açık), soya, yer fıstığıdır. Mavi WF bileşeni en yüksek olan ürün ise buğdaydır. Üretim perspektifine dayalı olarak, su ve gübre yönetiminin iyileştirilmesi, mahsullerin mavi ve gri WF bileşenlerinin azaltılmasında büyük bir potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir. Çiftçilerin, özellikle de kadın çiftçilerin ilgili teknolojilere erişiminin artırılması, Pekin'de suyun sürdürülebilir kullanımı üzerinde olumlu bir etkiye sahip

olabileceği ancak çiftçilerin su tüketimini ve kirliliği azaltma faaliyetlerine katılmalarını sağlamanın da zor olduğu bildirilmiştir.

Ercin ve ark. (2013); Fransa’da su kaynaklarının çeşitli amaçlara göre nasıl tahsis edildiğini ve üretimin yerel su kaynaklarındaki etkilerini incelemişlerdir. Fransa’da ulusal üretimin toplam WF değeri, 1996-2005 dönemi için yılda 90 Gm³tür. Bu miktar, dünyadaki toplam üretim WF değerinin %1’idir ve en büyük kısmı yeşil (%76), ardından gri (%18) ve mavidir (%6). Fransa’da üretimin toplam WF değerinde tarımsal üretimin (bitkisel üretimi, otlatma ve hayvancılık su temini) WF değeri, en yüksek payı oluşturmaktadır (80 Gm³/yıl ve %89). Tarımsal üretimin WF değerinin en önemli bileşenleri ise sırasıyla buğday (%29), yem bitkileri (%18), mısır (%14), arpa (%9), kolza(%7), üzüm (%5), ayçiçeği (%4) ve şeker pancarıdır (%2). Mısır üretimi en büyük mavi WF bileşenine sahiptir ve toplamın %50’sine eşittir. Mavi WF bileşeninde önemli paya sahip olan diğer ürünler ise yem bitkileri (%6), patates (%4), soya fasulyesi (%3), pirinç (%3) ve elmadır (%2). Fransız tüketiminin WF değerinin yaklaşık %47’si ithal tarım ürünleriyle ilgilidir. Pamuk, şeker kamışı ve pirinç, çok sayıda su kıtlığı çeken nehir havzasında kritik ürünler olarak tanımlanan üç ana mahsuldür. Tüketimin WF değerinde buğdayın da içinde bulunduğu hububat ve şeker tüketimi, tüketimin toplam WF değerine sırasıyla %5 ve %4 katkıda bulunmuşlardır. Loire, Seine, Garonne ve Escaut havzalarında mavi su kıtlığında mısır ve endüstriyel üretim esas faktörlerdir.

Ruini ve ark. (2013); İtalya ve Türkiye’ de makarna üretim süreçlerinin WF değerini analiz etmişlerdir. Sonuçlara göre; WF değeri en yüksek olan süreçler makarnalık buğday ekimi (ortalama 1.644 dm³/kg makarna) ve pişirmedir (10 dm³/kg makarna). İşleme ve paketlemenin WF değerleri çok düşüktür.

Zhuo ve ark. (2014) tarafından Çin’ de 1996–2005 döneminde Sarı Nehir Havzası ölçeğinde mısır, soya fasulyesi, pirinç ve buğday üretiminin yeşil (yağmurdan) ve mavi (sulamadan) WF

bileşenleri (m^3/ton cinsinden) tahminlerinin güvenilirliği ve hassasiyeti üzerindeki faktörlerin (yağış, referans buharlaşma-terleme, mahsul katsayısı, ürün takvimi-sabit büyüme derecesi günleri ile ekim tarihi-, tarla kapasitesindeki toprak su içeriği, verim tepki faktörü ve maksimum verim) analiz edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre; WF değerinin hassasiyetleri ve belirsizlikleri ürün türleri arasında farklılık göstermektedir. Genel olarak, mahsullerin WF değerleri en yüksek düzeyde referans buharlaşma-terleme, mahsul katsayısı ve ürün takvimine duyarlılık göstermektedir. Mavi WF bileşeni, girdi değişkenliğine karşı yeşil WF bileşeninden daha hassastır. Yıllık mavi WF bileşenindeki azalışlara bağlı olarak yağış, referans buharlaşma-terleme ve mahsul katsayısı değerleri artış göstermektedir. İklim girdilerindeki (yağış + referans buharlaşma-terleme) belirsizliklere bağlı olarak bir mahsulün toplam WF değerindeki belirsizlikler yaklaşık $\pm \%20$ (%95 güven aralığında) düzeyinde olabilmektedir. Referans buharlaşma-terleme değerlerindeki belirsizliklerin etkisi, yağışa göre daha yüksektir. Araştırmanın diğer bir sonucuna göre ise üzerinde çalışılan ürünler dikate alındığında ekim periyodunun optimize edilmesi ile özellikle mısır ve pirinç olmak üzere tarımda sulama suyundan tasarruf edilmesi sağlanabilir.

Caoa ve ark. (2015), Çin’de 1998–2010 döneminde 31 eyalette sulu ve yağmurla beslenen tarım arazilerinde buğday, pirinç, mısır, soya fasulyesi ve patatesin yeşil ve mavi WF bileşenleri ile birlikte su kullanımı ve verimliliğini değerlendirilmişlerdir.

Tunus’ta tarım ürünlerinin WF değerleri, yıl ve ton başına farklılık göstermiştir. Yıl başına yeşil, mavi, gri WF bileşenleri ve toplam WF değerleri en yüksek olan üç ürün sırasıyla zeytin, buğday ve arpadır (sırasıyla zeytin için 7270, 270, 30, 7570 $\text{Mm}^3/\text{yıl}$; buğday için 3170, 100, 150, 3420 $\text{Mm}^3/\text{yıl}$; arpa için 1220, 30, 60, 1310 $\text{Mm}^3/\text{yıl}$). Ton başına WF değerleri (yeşil, mavi, gri, toplam) en yüksek olan üç ürün ise sırasıyla badem, zeytin, üzüm iken (sırasıyla badem için 17760, 1950, 1110, 20810 m^3/ton ; zeytin için 8790, 330, 40, 9250 m^3/ton ; üzüm için 2810, 1740, 170, 4720 m^3/ton), buğday 5.sıradadır (sırasıyla 2380, 70, 110, 2560 m^3/ton).

Bademin ton üretim başına toplam WF değeri (20820 m³/ton), küresel ortalamanın yaklaşık iki katından yüksektir. Araştırmacılar tarım ürünlerinin WF değerleri ile birlikte ekonomik su verimliliği (EWP) ve ekonomik arazi verimliliği (ELP) parametrelerinin de değerlendirilmesi gerektiğini bildirmişlerdir.

Wanga ve ark. (2015), Kuzey Çin Ovası'nda kışlık buğday üretiminde ekim alanlarındaki değişiminin etkisini değerlendirmek amacıyla buğday üretiminin WF değerini analiz etmişlerdir. WF değerinin hesaplanmasında Hoekstra ve ark. (2011) ve Mekonnen ve Hoekstra (2010) tarafından bildirilen modeller kullanılmıştır. Araştırmanın sonuçları şunlardır:

Yeşil su, Kuzey Çin Ovası'nın güney kesiminde kışlık buğday üretiminde kuzey bölgeye göre daha önemli bir rol oynamaktadır; Kuzey Çin Ovası'nın güneyinde kışlık buğday üretiminin su ihtiyacının yaklaşık yarısı yeşil su ile karşılanırken, kuzeyde bu oran yalnızca üçte birdir.

1998–2011 döneminde kışlık buğday ekilen alanların kuzey bölgeden güney bölgeye kaymasının bir sonucu olarak, kışlık buğday üretiminde toplam, yeşil ve yüzey mavi WF bileşenleri sırasıyla 973×106 m³/yıl (%4,2); 459×106 m³/yıl (%0,9); 47 × 106 m³/yıl (%0,5) düzeyinde artarken, yeraltı suyu ayak izi 561 × 106 m³/yıl (%3,4) düzeyinde azalmıştır.

Kuzey Çin Ovası'nın kuzey kesiminde yer alan Hebei Ovası'nda, 1998–2011 döneminde kış mevsiminde sıcak geçen günlerde mavi WF bileşeni 1856 × 106 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu değer, Kuzey Çin Ovası'nda 2010 yılında Güney-Kuzey Su Transferi Projesi tarafından sağlanan toplam su miktarının yaklaşık üçte birine eşdeğerdir.

Toplam, yeşil ve mavi WF bileşenlerinin hepsi, Kuzey Çin Ovası'nın güney illerinde artış göstermiştir. Yeraltı suyuna olan ihtiyacın azalması ve kışlık buğday üretiminde yeşil suyun artan rolü nedeniyle, Kuzey Çin Ovası'nda buğday üretiminde, arazi kullanımının daha iyi

optimize edilmesi ve entegre mavi-yeşil su yönetimine yönelik politikaların geliştirilmesi ve uygulanması önerilmiştir.

Xu ve ark. (2105), Pekin'de 1978- 2012 döneminde altı ana bitkisel üründe (mısır, buğday, sebzeler, kavunlar, yağ bitkileri, pamuk) üretiminin WF değerlerindeki (mavi, yeşil ve gri su) değişiklikleri, Logaritmik Ortalama Divisia İndeks Ayırıştırma Analizi Yöntemi ile incelemiştir. 1978'den 2012' ye kadar mavi WF bileşeni, %41'lik oran ile toplam WF değerinin en büyük bölümünü oluşturmuştur. Bunu %35 ve %24 ile yeşil ve gri su izlemiştir. Mısır toplam, yeşil ve gri WF bileşenlerinin sırasıyla %36, %57 ve %46'sını oluşturmaktadır. Sebzeler ikinci sırada yer almakta mavi WF bileşenine en yüksek düzeyde (%45) katkı yapmaktadır. Toplam WF değerine en yüksek katkı (%26) yapan üçüncü ürün buğdaydır ve mavi WF bileşenine olan katkısı %38'dir. Ancak WF yoğunluğu değerleri, WF değerlerinden tamamen farklılık göstermiştir. Ürün üretiminin WF yoğunluğu; WF değerinin, ürün verimine bölünmesi ile elde edilmektedir. Pamuk, mavi, yeşil ve gri WF bileşenlerinin yüzde elliden fazlasını oluşturmuştur. Pamuğu yağ bitkileri (%21), buğday (%11) ve mısır (%8) izlemiştir.

Kersebaum ve ark. (2016) tarafından Avrupa' da Kuzey Atlantik, Orta Atlantik, Kıta ve Pannonia bölgelerini temsil eden beş veri seti değerlendirilerek kışlık buğday üretiminin WF değeri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda toplam 8 model kullanılmıştır. Modellerde gerçek ve simüle edilmiş toplam ve ürün evapotranspirasyon ve azotlu gübreleme değerleri yer almıştır. Toplam gerçek evapotranspirasyon; buğdayın ekimden hasadına kadar olan dönemdeki evapotranspirasyonu, gerçek ürün evapotranspirasyonu ise buğdayın evapotranspirasyonunu/terlemesini göstermektedir. Makarnalık durum buğdayının WF değerinin tahminine yönelik tüm modeller, nitrojenli gübrelemedeki atışla birlikte ayak izinin de düşük düzeylerde de olsa arttığını göstermiştir. Ancak Bratislava/Slovakya'da gübrelenmeyen alanlardaki WF değeri, gübrelenen alanlara kıyasla yaklaşık %30 daha yüksektir. Buğday ayak izi üzerinde sulamanın etkisi, yağmura göre %8 daha yüksektir. Tüm

bölgelerde WF değerinin tahmininde kullanılan buğday verimleri bakımından değişimler vardır ve bu durum gübre uygulamalarının (gübre kullanmama dahil) ve büyük ölçüde de topraktan besin tedariki bakımından farklılığından kaynaklanmaktadır. Tüm bölgelerde buğday WF değeri üzerinde toprak su/nem buharlaşmasının katkısı, ihmal edilemez düzeydedir ve terleme yoluyla gerçek bitki su kullanımı, toplam buharlaşma-terlemeden çok daha düşüktür. Yine farklı uygulamalara verilen tepki bakımından gerçek ürün evapotranspirasyonu, gerçek toplam evapotranspirasyona göre daha duyarlıdır. Bu nedenle, buğday WF değeri ve VW ticareti analizlerinde buğday su kullanımının hesaplanmasında gerçek mevsimsel ve toplam gerçek toplam evapotranspirasyonum daha detaylı olarak incelenmesi gerektiği bildirilmektedir.

Casolani ve ark. (2016); İtalya’da 2011-2015 döneminde İtalyan makarnalık buğdayı üretiminin su ve karbon ayak izini analiz etmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre her iki ayak izine ait değerler, ülke genelinde çok yüksek düzeyde varyasyon göstermiştir. İtalya’nın Güney bölgesindeki buğday üretiminin WF değeri $< 5000 \text{ m}^3/\text{ha}$ iken Merkez ve Kuzey bölgesinde en yüksek değerler ($> 5000 \text{ m}^3/\text{ha}$) hesaplanmıştır. Buğday üretiminin karbon ayak izi değerleri de benzer eğilimler göstermiştir. Bu sonuçlara göre araştırmacılar; İtalyan durum buğdayı üretiminin çevresel sürdürülebilirliğinin artırılabilmesi için su ve karbon emisyon kaynaklarının birlikte yönetilmesine yönelik politikaların geliştirilmesini önermişlerdir.

Zhuo ve ark. (2016), Çin’de kışlık buğday üretiminin WF değeri üzerinde etkiye sahip çevresel faktörlerin etki miktarlarını belirlemişlerdir. Kışlık buğday WF değerinin hesaplanmasında yalnızca su stresini hesaba katılarak, 5'e 5 arcmin çözünürlükte FAO AquaCrop Ürün Suyu Verimlilik Modeli (FAO's crop water productivity model AquaCrop) kullanılmışlardır. Hesaplama modelinde 1961–2008 dönemindeki tüm yıllar için yağmurla beslenen tarım alanları, sulanan tarım alanları, yağışlı ve kurak geçen yıllar, sıcak ve soğuk yıllar, farklı toprak sınıfları ve iklim bölgesi faktörleri dikkate alınmıştır. Araştırmadan şu sonuçlar elde edilmiştir:

a-Sulanan alanlarda üretilen kışlık buğdayı için hesaplanan WF değerleri, yağmurla beslenen alanlarda üretilen kışlık buğdaydan %8-10 daha yüksektir.

b-Yağmurlu yıllar için hesaplanan ayak izi değerleri, kurak yıllara göre %1-3 daha küçüktür.

c-Sıcak yıllar için hesaplanan WF değerleri, soğuk yıllara göre %7-8 daha yüksektir.

d-WF değerleri, farklı toprak tekstürü sınıflarında yaklaşık %10-12 farklılık göstermektedir.

e-Nemli bölgeler için hesaplanan WF değerleri, kurak bölgeye göre %26-31 daha düşüktür.

f-Kurak bölgelerde genel olarak nispeten daha yüksek referans evapotranspirasyon değerleri, yağmurla beslenen bölgelerde ise daha düşük verim elde edilmiştir.

g-1961–2008 döneminde yıllar bazında WF değerleri bakımından görülen varyasyon yaklaşık %20'dir.

h-Bir mahsulün tüketim WF değerlerini belirlerken, öncelikle farklı iklim bölgeleri arasında ayırım yapmanın yararlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Verim artışının büyük bir kısmı ve buna bağlı olarak su verimliliğindeki iyileşme Çin'in güney bölgesinden elde edilebilir. Ancak Çin'de kışlık buğday üretiminin %25'nin WF değerinin, referans seviyelere (kurak alanlar için 1224 m³/ton ve nemli alanlar için 841 m³/ton) düşürülmesi durumunda bir yılda sağlanacak ortalama su tasarrufu, buğday tarlalarında tüketilen suyun %53'nü karşılayabilecek düzeye gelecektir.

Sun ve ark. (2016), Çin'de Hetao Sulama Bölgesi'nde sulama uygulamalarının performansını, verimliliğini, ekonomik karlılığını ve çevresel etkisini, su muhasebesi ve WF değerlendirme yöntemlerini kullanarak analiz etmişlerdir. WF değeri hesaplamalarında Hoekstra ve ark. (2011) tarafından bildirilen yöntem kullanılmıştır. Performans ve verimlilik sonuçları, Hetao

Sulama Bölgesinde buğday üretimi sırasında tüketilen toplam ve mavi su hacminin sırasıyla 872 Mm³ olduğunu ve bunun 116 Mm³'ünün yeşil su ve mavi su olduğunu göstermiştir. Buğday üretiminin gri WF bileşeni 152 Mm³ olarak hesaplanmış ve değer, ilçedeki toplam kullanılabilir suyun %15.42'sini oluşturmuştur.

Gobin ve ark. (2017) tarafından Avrupa genelinde 1992–2012 döneminde 45 lokasyon için kolza, makarnalık ve ekmeklik buğday, arpa, dane mısır, patates ve şeker pancarının yeşil WF bileşenleri hesaplanmıştır. En fazla yeşil WF bileşeni sırasıyla kolza (1857 m³/Mg), makarnalık buğday (1414 m³/Mg) ve ekmeklik buğday (1108 m³/Mg) için hesaplanmıştır. Bu ürünleri sırasıyla arpa (901 m³/Mg), dane mısır (590 m³/Mg) patates (157 m³/Mg) ve şeker pancarı (67 m³/Mg) izlemiştir. Tahılların WF değerleri, yumru ve kök ürünlerin WF değerlerinden 20 kat daha yüksek olabilmektedir ve en büyük payı yeşil WF bileşeni oluşturmaktadır.

Thaler ve ark.(2017) tarafından Avusturya’da yetiştirilen ana tarım ürünlerinin yeşil ve birincil mavi WF bileşenlerinin toprak, iklim ve coğrafi koşullarda ortaya çıkabilecek değişimlere karşı tepkileri analiz edilmiştir. Ayçiçeği, kışlık buğday ve tane mısırın yeşil ve mavi WF bileşenleri, özellikle düşük su kapasiteli topraklarda ve yarı kurak bölgelerde en yüksek olmuştur. Daha nemli bölgelerdeki düşük sıcaklıklar, ürünün verim potansiyeli üzerindeki ana sınırlayıcı faktör olup daha düşük verimler nedeniyle de genellikle daha yüksek WF değeri elde edilmektedir.

Ababaei ve ark. (2017) İran’da ilk kez bölgesel ölçekte buğday, arpa ve mısır üretiminin WF değerlerini analiz etmişlerdir. Buğday, arpa, mısırın toplam yeşil WF bileşenlerinin UTSAİ ’ye olan oranı %43 iken sırasıyla her bir ürünün yeşil WF bileşenlerinin UTSAİ ’ye olan oranı sırasıyla %47, %42 ve %2’dir. Bu durum, özellikle sulanan arazilerde buğday ve arpada verimi artırarak, yeşil su verimliliğini artırmak için büyük fırsatlar olduğunu ortaya koymuştur. Ulusal gri + beyaz WF bileşenlerinin, UTSAİ ’ye olan oranları ise buğday, arpa ve mısır için sırasıyla %33, %36 ve %57 olarak hesaplanmıştır.

Zhang ve ark. (2018), Çin’ de 2011 yılında anketlere ve istatistiklere dayalı olarak pirinç, buğday ve mısırın karbon ve WF değerlerini tahmin etmişlerdir. WF değerlerinin tahmininde Hoekstra ve ark. (2011) tarafından bildirilen volümetrik yaklaşık modeli kullanılmıştır.

Luana ve ark. (2018), Çin’de Hetao Sulama Bölgesinde (HSB) buğday, mısır ve ayçiçeğinin tarla ölçeğindeki WF değerlerini SWAT (Soil and Water Assessment Tool) modelini kullanarak hesaplamışlardır. Buğday, mısır ve ayçiçeğinin toplam WF değerleri sırasıyla 1.036 m³/kg, 0.774 m³/kg ve 1.510 m³/kg’dır. Yeşil WF bileşeninin katkısı buğdayda %22,3, mısırdaki %26,1 ve ayçiçeğinde %29,4’dır. Üç ürünün yeşil, mavi WF bileşenleri ve toplam WF değerlerinin en yüksek değerleri HSB’nin sırasıyla doğu, batı ve orta alanları için elde edilmiştir.

Garofalo ve ark. (2019) tarafından iki Avrupa Bölgesinde (Almanya -Kıta Bölgesi ve İtalya-Akdeniz Bölgesi) buğday su tüketimi ile iklim koşulları arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Buğday verimi ve toplam WF değeri ve yeşil WF bileşeni yağmurla besleme ve sulama uygulamaları esas alınarak değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre; Almanya’ da ve İtalya’da buğday üretiminde yağmur suyu, verimi ortalama %9, dışarıdan yapılan sulama ise %22 - %19 düzeyinde artırmıştır. Geleceğe yönelik tahminlere göre; buğday yeşil ve mavi WF bileşenlerinin her ikisinin de sabit kalmasına karşın toplam WF değerleri, başlangıç düzeylerine kıyasla İtalya’da ortalama %5 ve Almanya’da %23 düşmektedir. Araştırmacılar, analiz edilen faktörlerle ilgili olarak gelecek tahminlerindeki belirsizliğe rağmen mevcut buğday üretiminin WF değeri ve yeşil ve mavi WF bileşenlerinin, iklim değişikliğinden daha olumlu düzeyde etkilenebileceğini ileri sürmüşlerdir.

Yea ve ark. (2109) tarafından Çin’de 1996–2015 döneminde Pekin şehrinde (net su ithalat bölgesi) ve Heilongjiang eyaletinde (net su ihracat bölgesi) buğdayın üretiminin ve tüketiminin WF değerlerindeki değişiklikleri yönlendirmede etkili olan faktörlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. İklim değişikliği, gayri safi yurtiçi hasıla, nüfus, beslenme talebi ve teknoloji

güncellemesi gibi faktörlerin etki pay ve miktarlarının tahmin edilmesi amacıyla çok değişkenli doğrusal regresyon modeli (LRM) ve doğrusal olmayan regresyon modeli (NLRM) kullanılmıştır. Sonuçlara göre; net su ithalatı bölgesindeki buğday üretimi ve tüketiminin WF değerlerindeki değişiklikleri gayri safi yurtiçi hasıla ve nüfus pozitif ve önemli düzeyde etkilerken, teknoloji güncellenmesi ve beslenme talebi negatif ve önemli düzeyde etkilemektedir. Net su ihracat bölgesinde ise teknoloji güncellemesinin etkisi, negatif ve önemli düzeyde iken İklim değişikliğinin etkisi önemsizdir. Bu sonuçlara göre araştırmacılar, Çin’de buğday WF değerinde değişikliklere neden olan faktörlerin etkilerinin analiz edilmesinin, su kaynakları üzerindeki baskıları azaltmaya yönelik önlemler ve planlamalar geliştirmek için yol gösterici olacağını bildirmişlerdir.

Hussein Ewaid ve ark. (2019) tarafından Irak’ta 15 ilde 2016-2017 döneminde buğday üretiminin WF değeri tahmin edilmiştir. Tahminler için Mekonnen ve Hoekstra (2011)’nın bildirdiği metodoloji ile birlikte CROPWAT ve CLIMWAT yazılımlarının ürün su gereksinimi seçeneği kullanılmıştır. 15 ilin buğday WF değerleri, iklim ve üretim değerlerindeki farklılıklara bağlı olarak değişim göstermiş ve ortalaması $1876 \text{ m}^3/\text{ton}$ olarak hesaplanmıştır. Araştırmacılar, bazı iller düşük buğday verimi ve yüksek WF değerlerine sahip olduğundan, bu illerde buğdayın yerini daha az suya ihtiyaç duyan ve daha fazla ekonomik fayda sağlayan ürünlerin yetiştirilebileceğini önermişlerdir. Sulanan illerde buğday üretimini azaltarak ve dolayısıyla mavi su kullanımını düşürerek, yağmurla beslenen illerde de buğday üretimi artırarak yeşil WF bileşenini azaltma fırsatı vardır.

Zhai ve ark. (2019a); Çin’de 2009-2016 döneminde buğday üretiminin WF değerinin, insan sağlığı ve ekosistem kalitesi üzerindeki çevresel etkilerini analiz etmişlerdir. Analizlerde ISO 14046 standardını ve WF etki değerlendirmesi metodunu (WFIA) kullanmışlardır. Temel faktör analizi, buğday üretiminin genel çevresel etkilerinin öncelikle gübre üretimi, mazot üretimi ve doğrudan su tüketimi ve sera ağzı emisyonundan kaynaklandığını göstermiştir. Dinamik analiz

sonuçları ve zamansal değişimlerin etkileri, su ve gübre tüketimi ile de ilişkilendirilmiştir. Buğday üretiminin potansiyel çevresel etkisinin yüksek olduğu alanlar, esas olarak buğday veriminin yüksek olduğu Kuzey Çin Ovası ve Sincan Eyaleti'dir. Buğday verimi, ekosistemin kalitesi ile negatif, insan sağlığı ve buğday WF değeri ile ise pozitif korelasyon göstermiştir. Bu nedenle, buğday üretim bölgelerinde, üretimin sürdürülebilirliği ile birlikte sulama suyundan yararlanmada etkinliğin artırılması ve gübre ve mazot tüketiminin azaltılmasının öncelikli hedefler olması gerektiği bildirilmiştir.

Zhaia ve ark. (2019b) tarafından Çin'in Shandong Eyaletinde buğday üretiminin tüm yaşam döngüsü boyunca WF değeri analiz edilmiştir. Gübrelemenin aşırı kullanımını incelemek için yerinde toprak testi incelemesi yapılmıştır. Sonuçlara göre; gri WF bileşeninin katkısı en yüksektir (yaklaşık %46) ve bunu yeşil ve mavi WF bileşenleri izlemektedir. Gri WF bileşeni esas olarak suda yaşayan ötrofikasyondan (%96'nın üzerinde) kaynaklanmıştır. Mazot tüketiminin yüksek potansiyel etkilerinin olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma; toprak testine dayalı rasyonel gübrelemenin, mazot tüketiminde verimliliği iyileştirilmenin ve anızın, su kaynaklarının iyi bir şekilde yönetiminde büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. Bu araştırmada WF değerinin hesaplanmasında YDA kullanılmıştır ve gri WF bileşeninin diğer araştırmalara (Huang ve ark., 2012; Mekonnen ve Hoekstra, 2010; Sun ve ark., 2016) göre çok daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu farklılıkların, kullanılan YDA modellerinin ve gübre ve pestisit kullanımının doğrudan, mazot tüketiminin ise dolaylı etkilerinden kaynaklandığı bildirilmiştir. Mavi ve yeşil WF bileşenleri bakımından farklılıklar ise kullanılan hesaplama modellerinden, çalışma alanlarından ve hava koşullarından kaynaklandığı ileri sürülmüştür. Örneğin, Mekonnen ve Hoekstra (2010) CROPWAT modelini kullanırken, Sun ve ark., (2016) su dengesi yaklaşımını kullanmışlardır.

Huang ve ark. (2019) , Çin' de yüksek mekânsal çözünürlükte buğday üretiminin sulama suyu verimliliği (IWP) ve su kıtlığı ayak izini (WSF) karşılaştırmışlardır. Çin'in su kıtlığı olan kuzey

bölgelerindeki IWP'lerin, su zengini güney bölgelerine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. WSF'leri, su kıtlığı olan kuzey bölgelerinde sulamadan kaynaklanan daha büyük çevresel etkileri de sahiptir.

Gover ve ark. (2020), Zimbabwe'de 1980–2010 döneminde iklim değişikliğinin kışlık buğday üretiminin mavi WF bileşeni üzerindeki nihai etkisini araştırmışlardır. Buğday üretiminin yıllık ortalama WF değeri $1869,30 \pm 862,80 \text{ m}^3/\text{ton}$ ve mavi WF bileşeni $1555,93 \text{ m}^3/\text{ton}$ olarak belirlenmiştir. İklim değişkenleri ile buğday verimi, su ihtiyacı ve mavi WF bileşeni arasındaki ilişkilerin tahmin edilmesinde çoklu doğrusal regresyon analizinden yararlanılmıştır. Sonuçlar, ülkenin ana buğday yetiştirme alanlarında sıcaklık artışının önemli olduğunu gösterilmiştir. Nem ve rüzgar hızının olumlu ve olumsuz etkileri nedeniyle kışlık buğday üretim için gerekli olan su miktarı %4,88 azalmıştır. 1980-2000 döneminde güneş radyasyonunun ve Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında maksim iklim değişikliğinin buğday su gereksinimini ve verimi üzerindeki kümülatif etkileri mavi WF bileşenini %4 düzeyinde artırırken, buğday verimini %6,65 oranında düşürmüştür. Çalışmanın sonuçlarına göre; iklim değişikliğinin ve tarımsal yönetim faktörlerinin, mavi WF bileşenindeki artışta eşit derecede etkiye sahip oldukları bildirilmiştir.

Zhaia ve ark. (2021) tarafından Çin'de 2008-2017 döneminde tahıl üretiminden kaynaklanan çevresel yükleri ölçmek ve il düzeyinde etkilerdeki mekânsal heterojenliği belirlemek amacıyla WF değeri analizleri yapılmıştır. WF değerinin belirlenmesinde YDA yöntemi kullanılmıştır. Önceki araştırmalarla karşılaştırıldığında buğday üretiminin yıllık WF değeri ve buğday tonu başına sulama değerinin, daha önce yayınlanan değerlerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durumun esas olarak farklı WF değerini hesaplamada farklı yöntemlerin kullanılmasından ileri geldiği bildirilmiştir.

Mahmoud El-Marsafawy ve Ibrahim Mohamed (2021), Mısır'da Nil vadisi ve deltası içindeki ve dışındaki topraklarda yetiştirilen buğdayın WF değerini tahmin etmişler, yeşil ve mavi WF bileşenlerinin ekonomisini hesaplamışlar ve bu WF değerini küresel WF değeri ile karşılaştırılmışlardır. Değerlendirmede kullanılan metodolojisi, WF değerlendirme kılavuzundan alınmıştır. Sonuçlara göre; araştırma döneminde buğday yeşil ve mavi WF bileşenlerinin toplamı dünya için 1800 m³/ton ve Mısır'da bu bölgede üretilen buğday için 700 m³/ton şeklinde hesaplanmıştır. Bu farklılığın nedenlerinin; iklim koşulları, büyüme mevsiminin uzunluğu, döllenme oranları vb. faktörler olduğu bildirilmiştir.

5.3. Türkiye' de Buğday Su Ayak İzi Çalışmaları

Türkiye'de günümüze kadar buğday WF değerinin analizine yönelik yaklaşık 9 araştırmaya ulaşılabilmektedir. Bunlardan 1'i sivil toplum örgütü, 8'i ise Üniversiteler tarafından gerçekleştirilmiştir.

5.3.1.Sektörel Düzeyde Gerçekleştirilen Çalışmalar

“Türkiye Tarımının Su Ayak İzi” bölümünde de (Bölüm 3.2.2) belirtildiği gibi Türkiye üretiminin toplam WF değeri 139,6 Mm³/yıl'dır ve bunun yaklaşık %89'unu (124,2 Mm³/yıl) tarım sektörü oluşturmaktadır. Tarımın toplam WF değerinin %92'si bitkisel üretim, %8'i hayvan otlatmadan kaynaklanmaktadır (WWF, 2014).

Bitki üretimi WF değerinde ise en çok pay (%38) tahıllardadır. Sonra sırasıyla yem bitkileri (%32), meyveler ve sert kabuklu meyveler (%13), endüstri bitkileri (%10), yağ bitkileri (%5), sebzeler ve baklagiller (%2) izlemektedir. Bitkisel üretimde kullanılan suyun %66'sından fazlasını yeşil su oluşturmaktadır. Hayvan otlatmasının da WF büyük ölçüde yeşil sudur. Bu durum tarım sektörü için yağışın önemini vurgulamaktadır. Bitkisel üretimde kullanılan suyun yaklaşık %20'sini ise mavi sudur. Bu da sulama uygulamalarının önemini ortaya çıkarmaktadır.

Evsel ve endüstriyel su kullanımında ise WF yaklaşık tamamı gri sudan oluşmaktadır (WWF, 2014).

Türkiye’de bitkisel üretimin WF değerinde en çok paya sahip olan tahıl ve yem bitkilerinin aynı zamanda yeşil WF bileşeninde de en yüksek düzeylerde dir. Mavi WF bileşeninde ise en büyük paya tahıllar ve endüstri bitkileri sahiptir. Bu bulgulara göre; endüstri bitkileri mevcut su kaynaklarına daha fazla ihtiyaç duyarken yem bitkileri de yağışlara ve dolayısıyla iklim değişikliğine bağlılık göstermektedir. Tahıllar ise her ikisine de ihtiyaç duymaktadır. Türkiye’de genel olarak, endüstri bitkileri gibi ekonomik değeri yüksek olan ürünlerin mavi WF bileşenleri daha yüksektir (WWF, 2014).

Buğday, dünyada olduğu gibi Türkiye’de de tahıl üretiminin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Farklı üretim koşullarında en fazla üretimi yapılan ve tüketilen stratejik bir tarımsal üründür. Türkiye’de buğday, yaklaşık tüm bölgelerde yetiştirilmektedir ve buğday yetiştirilen alanların toplamı, toplam tarım alanının %27’sini oluşturmaktadır. Milyonlarca üreticinin geçimini sağlamakta ve çok sayıda sanayi kuruluşunun hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla buğday, sanayi amaçlı kullanım ve gıda güvencesi açısından çok büyük önem taşımaktadır (Akın ve Akın, 2007; Muluk ve ark., 2013; Pegram vd., 2014; TGİSDF, 2017).

WWF (2014) tarafından Türkiye’de buğday üretiminin WF değerinin, bitkisel ve tahıl üretiminin WF değerinin sırasıyla yaklaşık %36 (40 Mm³/yıl) ve %95’ini (38 Mm³/yıl) oluşturduğu hesaplanmıştır. Bununla birlikte Türkiye’de buğday üretilen başlıca illere göre buğday üretimindeki mavi-yeşil WF bileşenleri oranları iklim ve toprak koşullarına göre farklılık göstermektedir. Yıllık ortalama yağış değerleri, Türkiye ortalamasının altında ve mavi su ihtiyacı yüksek olan Şanlıurfa, Diyarbakır, Konya, Erzurum gibi illerde sulama takviyesi ile buğday veriminin iki kat arttığı bildirilmektedir. Özellikle yarı kurak iklimi nedeniyle 2012

yılında Konya’da buğday üretiminin mavi WF bileşeni diğer illere göre daha yüksektir (WWF, 2014).

Türkiye’nin ihracat WF değerinin önemli bir bölümünü, ithal edilip işlendikten sonra tekrar ihraç edilen ürünler oluşturmaktadır. Bu ürünlerin WF değeri toplamı, Türkiye toplam WF değerinin yaklaşık %20’sidir. Bu oran içinde işlenmiş ve işlenmemiş tarım ürünleri ve tekstil ürünlerinin payı, %95 iken diğer ürünlerinin ihracatının payı %5’tir. İhracatın tarım kaynaklı WF değerinde payı en yüksek olan ürünler pamuk, buğday ve çikolatalı şekerlemelerdir (WWF, 2014).

Türkiye’de ithalatın WF değerinin büyük bir bölümünü de buğday ve pamuk oluşturmaktadır. Pamuk ve buğday gibi işlenmemiş tarım ürünlerinin ithalatının tüm ayak izi içindeki payı, % 60 olarak hesaplanmıştır. Pamuk, ithalatın WF değerine en yüksek katkıyı (%20) yapmakta ancak mavi WF bileşeni yılda 1500 Mm³’ü aşmaktadır (Akın ve Akın, 2007; Muluk vd., 2013, WWF, 2014). Görüldüğü gibi pamuk ve buğday, ihracat ve ithalatının her ikisinde de yer alan esas tarım ürünleridir. Dolayısıyla bunların WF değeri, uluslararası veya bölgelerarası ihracat ve ithalat ile yapılan su transferi bağlamında da dikkat edilmesi gereken önemli bir konudur.

5.3.2.Üniversiteler Tarafından Gerçekleştirilen Çalışmalar:

Türkiye’ de buğday üretimi ve tüketimin WF değerlerini hesaplamaya yönelik üniversite düzeyinde gerçekleştirilen ilk araştırma Muratoğlu (2018, 2019) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmayı sırasıyla Muratoğlu (2020 ab), Avanoz (2020), Bulut ve Canbaz (2020), Yeşilköy ve Şaylan (2020), İraz (2021), Çapar ve ark. (2023) ve Pilevneli ve ark. (2023) tarafından gerçekleştirilen araştırmalar izlemiştir. Bu araştırmaların özetleri aşağıda verilmiştir:

Muratoğlu (2018, 2019), Dicle havzasında Su Ayak İzi Ağı ve CROPWAT metod ve programını kullanarak kışlık ekmeklik buğday WF değerini ve bileşenlerini analiz etmiştir. Analiz sonuçlarına göre; Dicle Havzasının toplam WF değerinin %77'sini tarımsal WF, %18'sini hayvansal WF ve %5'ni de evsel-endüstriyel WF oluşturmaktadır. Buğday toplam WF değeri, yeşil WF bileşeni ise sırasıyla 6,6 Mm³; 3,63 Mm³ (%3.63); 2,97 Mm³ (%45) şeklinde hesaplanmıştır.

Muratoğlu (2020a) tarafından Diyarbakır'da 2008-2019 yılları arasında tarımsal ve endüstriyel üretim ve evsel kullanımından kaynaklanan mavi ve yeşil WF bileşenleri analiz edilmiştir. Bölgede 32 farklı üründe toplam su kullanımları ve VW içerikleri modellenmiştir. Yapılan hesaplamaların sonuçlarına göre; Diyarbakır ilinin toplam WF değeri 3,4 Mm³/yıl'dır. Bu miktarın %86'sı tarımsal WF, %11'i hayvansal WF ve %3'ü evsel-endüstriyel WF değerinden oluşmaktadır. Su kullanımı yönünden en önemli tarımsal ürünler; arpa, buğday, mercimek, mısır, pamuk ve üzumdür. Bu ürünler, toplam tarımsal WF değerinin %91'inden sorumludur. Diyarbakır ilinde yetiştirilen tarımsal ürünlerden WF değeri en yüksek olan ürün buğdaydır. Bu ilde buğdayın toplam WF değeri yaklaşık 1,4 Mm³ (yeşil WF bileşeni: 1 Mm³ ve mavi WF bileşeni: 400 milyon metre 3) olup bu miktar, ilin toplam WF değerinin %42'ni oluşturmaktadır.

Muratoğlu (2020b), 2008 ve 2019 yılları arasında Türkiye'nin buğday üretimi ve tüketiminin mavi ve yeşil WF bileşenlerini ve VW ticaretini analiz etmiştir. Buğdayın su kullanımının ayrıntılı olarak il bazında nicelleştirilmesi için, mekânsal enterpolasyon yönteminden yararlanılmıştır. Buğdayın yeşil ve mavi WF bileşenleri ve VW transferinin hesaplanmasında Hoekstra ve ark. (2011) tarafından bildirilen yöntem kullanılmıştır. Çalışma sonucunda; Türkiye genelinde buğday üretiminin toplam WF değeri 39,3 Gm³ olarak hesaplanmıştır (Tablo 16).

Tablo 16: Türkiye’de 2008 –2019 döneminde buğdayın yıllık ortalama WF değeri istatistikleri (Muratoğlu 2020b).

Su kaynakları	Toplam WF değeri (Gm ³)	Toplam WF bileşeni oranı (%)	Ortalama VW içeriği (m ³ /ton)	Hasat edilen alan başına WF değeri (m ³ /ha)	Toplam alan başına WF değeri (m ³ /ha)	Kişi başına WF değeri (m ³ /kişi)
Mavi su	23,9	61	1161	3037	310	291
Yeşil su	15,4	39	748	1957	200	188
Toplam	39,3	100	1909	4994	510	479

Avanoz (2020) tarafından Türkiye’de 2008-2018 dönemi VW miktarları ve WF değeri hesaplanmıştır. WF değerinin hesaplanmasında Chapagain ve Hoekstra (2004) yöntemi kullanılmıştır. WF değeri araştırılan tahıl ürünleri arpa, buğday, çavdar, çeltik, darı, makarnalık buğday, mısır, silajlık mısır ve yulaftır. Elde edilen sonuçlara göre buğdayın yeşil WF bileşeni, mavi WF bileşeni ve toplam WF değeri miktarları en yüksek değere sahipken darının yeşil WF bileşeni, mavi WF bileşeni ve toplam WF değeri miktarı en düşük değere sahiptir. Türkiye’de üretilen ekmeklik buğdayın yeşil WF bileşeni, mavi WF bileşeni ve toplam WF değeri sırasıyla 20,1 Mm³, 13,371 Mm³ ve 33,52 Mm³ olarak hesaplanmıştır (Tablo 17).

Türkiye’de mısırın toplam WF değeri, buğdayın WF değerinden sonra ikinci sıradadır. Ancak mısır üretim miktarının en düşük olduğu Bayburt ilinde mısırın VW miktarı en yüksek düzeyde (5174 m³/ton) hesaplanmıştır. Mısırdan sonra üretimi en yüksek (yaklaşık 21 milyon ton) tahıl olan buğdayın WF değeri en yüksektir. Buğdayın toplam VW miktarı en yüksek düzeyde Hakkari ilinde (5667 m³/ton) saptanmıştır. Arpanın toplam VW miktarı ise en yüksek düzeyde Bitlis ilinde (5719 m³/ton) belirlenmiştir. Yemelik ve makarnalık buğdayın ve arpanın toplam WF değeri miktarları en yüksek düzeyde Konya ilinde saptanmıştır (sırasıyla 2,79 Mm³; 1,13 Mm³; 1,41 Mm³) (Avanoz, 2020).

Tablo 17: Türkiye’de tahıl grubu ürünlerinin WF miktarları (Avanoz, 2020)

Ürünler	Yeşil WF (Mm ³)	Mavi WF (Mm ³)	Toplam WF (Mm ³)
Arpa	8	5	13
Ekmeklik buğday	20	13	33
Çavdar	0.4	0.3	0,7
Çeltik	0.2	0.6	0,9
Makarnalık buğday	4	3	7
Mısır	1	4	5
Silajlık Mısır	0,4	1,6	2
Yulaf	0,3	0,2	0,5

Bulut ve Canbaz (2020); 2020 yılında Sivas ilinde üretilen buğday, arpa, şeker pancarı ve ayçiçeğinin yeşil WF bileşeni, mavi WF bileşeni ve toplam WF değerini hesaplamışlardır. Hesaplamalarda Hoekstra ve ark. (2011) tarafından geliştirilen metodoloji kullanılmıştır. Çalışma sonucunda buğday, arpa, şeker pancarı ve ayçiçeğinin toplam WF değerleri sırasıyla 340 m³/ton, 374 m³/ton, 113 m³/ton ve 4147 m³/ton şeklinde belirlenmiştir. Bu dört ürünün yeşil ve mavi WF bileşenleri ise sırasıyla 340 m³/ton, 374 m³/ton, 26 m³/ton, 927 m³/ton ve 0,87 m³/ton, 3220 m³/ton olarak saptanmıştır. Araştırmacılar, buğday ve arpanın mavi WF bileşeninin 0 (sıfır) olmasını, yağış sularından yeterli bir şekilde yararlanmalarından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Şeker pancarı ve ayçiçeğinin mavi WF bileşeninin yüksek olmasının sebebini ise ekim-hasat dönemlerinin kurak döneme denk geliyor olması ile açıklamışlardır. Şeker pancarı ve ayçiçeğinin WF değerleri, küresel ortalamanın altında hesaplanmış ve bu durum göre de ayçiçeği ve şeker pancarı üretiminin daha fazla yağış alan bölgelerde üretilmesi başta olmak üzere yeşil su kullanımının artırılmasına yönelik çeşitli stratejilerin geliştirilmesi önerilmiştir. Yine ürünlerin, uygun iklim koşullarına göre yetiştirilerek su tasarrufu sağlanabileceği vurgulanmıştır. Sivas ili için buğday ve arpanın mavi

WF bileşeninin 0 (sıfır) olarak hesaplanması, bu ilin buğday ve arpa üretimi için elverişli bir iklime sahip olduğunu ve yağış sularının yeterli olduğu şeklinde değerlendirilmiştir.

Yeşilköy ve Şaylan (2020) tarafından Türkiye’de Su Ayak İzi Değerlendirmesi (WFA) yaklaşımını kullanarak kışlık buğdayın WF değeri hesaplanmış ve Trakya bölgesini temsil eden Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerinde AquaCrop modeli aracılığıyla geleceğe yönelik su ayak ileri simüle edilmiştir. Su ayak izleri, meteorolojik ve CORDEX verileri kullanılarak tahmin edilmiştir. Tablo 18’den görülebileceği gibi kışlık buğdayın potansiyel WF değeri, tüm senaryolarda ancak farklı dönemlerde azalmış ve bu durum: kışlık buğday verimindeki artış ile açıklanmıştır.

Tablo 18: Trakya Bölgesinde AquaCrop Modeli Tahminlerine Göre Kışlık Buğdayın Gelecek Su ayak İzi Tahminleri (Yeşilköy ve Şaylan 2020)

Yıllar	RCP 4.5 için Kışlık Buğday Su Ayak İzi (m ³ /ton)			RCP 8.5 için Kışlık Buğday Su Ayak İzi (m ³ /ton)		
	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ
SWB Metodu*	449	466	442	449	466	442
2020-2040	170	178	213	140	144	143
2041-2070	147	154	180	105	110	109
2071-2099	138	146	166	73	78	87

*Toprak Su Dengesi (SWB) yöntemi

İraz (2021) tarafından Fırat Havzasının WF değerinin hesaplanmasına yönelik araştırmada tarımsal üretimin WF değeri analiz edilmiştir. Analizlerde Hoekstra ve ark. (2011) tarafından geliştirilen metot kullanılmıştır. Fırat Havzasında ortalama yıllık WF değeri 2010-2018 için 28,01 Mm³ olarak hesaplanmıştır. Bitkisel tarım kaynaklı WF değeri miktarı, 25,29 Mm³ olup toplam WF değerinin %90'ına tekabül etmektedir. Havzanın hayvansal tarım kaynaklı WF değeri ise 2.21 milyardır. Bu değer, toplam WF değerinin yaklaşık %8'ine tekabül etmektedir ve temelde yeşil suya dayanmaktadır.

Tarımsal ürün gruplarından toplam WF değerleri en yüksek olan ürünler sırasıyla pamuk ve buğdaydır (sırasıyla 7,30 Mm³ ve 6,81 Mm³). Fırat havzasında tarımsal üretimin yaklaşık %63 oranında mavi WF bileşenidir. Tarımsal ürün gruplarından mavi WF bileşeni oranı en yüksek olan ürün pamuktur ve WF değeri 6,0 Mm³ 'dür. Pamuğu, 2,5 Mm³ ile buğday izlemektedir. Buğdaydan sonra gelen ürünler ise yükseklik sırasına göre, antepfıstığı, mısır dane, arpa, kayısı, maydanoz, marul, incir, kabak, şeftali, armut, kiraz ve sarımsak 'tır.

Fırat havzasında tarımsal üretimin yaklaşık %25 yeşil WF bileşenidir. Tarımsal ürün gruplarından yeşil WF bileşenleri en yüksek olan ürünler sırasıyla buğday ve arpadır (sırasıyla 3,36 Mm³ ve 1,22 Mm³). Buğday ve Arpa, Fırat havzasındaki toplam WF değeri yaklaşık %72'sine sahiptir.

Fırat havzasında tarımsal üretimin yaklaşık %12 oranına sahip gri WF bileşeninin toplam miktarı 3,07 Mm³ 'tür. Tarımsal ürün gruplarından gri WF değerleri en yüksek olan ürünler buğday ve pamuktur (sırasıyla 0,89 Mm³ ve 0,86 Mm³). Buğday ve pamuk, Fırat havzasındaki toplam WF değerinin yaklaşık %57'sine sahiptir. Buğday ve pamuk ürünlerini arpa, antepfıstığı, mısır dane, yonca, kayısı ve üzüm ürünleri takip etmiştir. Fırat havzasında yetiştirilen ürünlerden düşük mavi WF bileşenine sahip ürünler sırasıyla maydanoz, marul, kabak, şeftali, incir, susam, armut, taze fasulye, kiraz ve sarımsaktır.

Fırat havzasında 7,86 Mm³ WF değerine sahip buğdayın yaklaşık %37 mavi, %50 yeşil ve %13 gri WF bileşenlerinden oluşmaktadır.

Çapar ve ark. (2023), tarımsal üretimin ve su kaynaklarının sürdürülebilirliğinin ve dolayısıyla gıda güvencesinin sağlanması amacıyla; SKD Türkiye ve Ankara Üniversitesi Su Yönetimi Enstitüsü tarafından yapılan Su Riskleri adlı projede, buğday ve mısır tarımında basınçlı sulama yöntemlerinden damla sulama sistemlerinin kullanılması, su ve enerji verimliliğinin artırılması, su üretim fonksiyonlarının belirlenmesi, su verimliliğinin fiziksel ve ekonomik açıdan

değerlendirilmesi, su risklerinin belirlenmesi ve bölge çiftçisine doğru uygulamaların çeşitli etkinlikler ile aktarılması hedeflenmiştir. Proje kapsamında seçilen Kırıkkale ili için buğday üretiminin WF değeri hesaplamaları yapılmış, yeşil WF bileşeni 1991,2 m³/ton, mavi WF bileşeni 129,1 m³/ton olarak belirlenmiştir. Yeşil ve mavi WF bileşenlerinin toplamı 2120,3 m³/ton olarak hesaplanmıştır.

Pilevneli ve ark. (2023), iklim değişikliğinin Türkiye'deki tarımsal üretim üzerindeki etkilerinin hacimsel WF değeri yaklaşımı kullanılarak araştırılması adlı araştırmalarında, çeşitli iklim değişikliği senaryoları altında 93 tarım ürünü ile ilgili etkileri belirlemişler, WF değeri hesaplamaları yapmışlardır. Bu ürünlerden biri de buğdaydır. Hesaplanan WF değerleri Tablo 19'da belirtilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tahıl, dünyadaki temel gıdalardan biridir ve üretimi büyük ölçüde su ve enerjiye dayanmaktadır. Gıda, enerji ve su, üç stratejik kaynak olup birbirleri ile ayrılmaz bir şekilde bağlantılıdır ve dünyada artan bir şekilde ilgi çeken “FEW Nexus” olarak isimlendirilmektedir. Yapılan tahminlere göre küresel nüfusun gelecek yıllarda artması ve beslenme tercihinin daha fazla hayvansal proteine doğru kayması nedeniyle de bu üç önemli kaynağa olan talebin önemli düzeylerde artması beklenmektedir (UN, 2019). Diğer bir senaryoya göre ise 2050 yılına kadar küresel gıda ve su talebinde sırasıyla yaklaşık %60 ve %20-30 oranında bir artış öngörülmüştür (WWAP, 2019; Van Vuuren ve ark., 2019). Yine 2050'ye kadar gıda, yem ve biyoyakıt üretiminde %60-110'luk bir artışa ihtiyaç duyulacağı beklenmektedir (Tilman ve ark., 2011; Alexandratos ve Bruinsma, 2012; UN Water, 2015).

Gıda üretim sektörü, en büyük su tüketicisi ve önemli bir enerji kullanıcısıdır. Artan gıda talebini karşılamak için bitkisel ve hayvansal tarım ürünlerinin artırılmasına yönelik çalışmalar, küresel su kaynaklarını daha da artan bir baskı altına alacaktır. Bu nedenle, gelecek yıllarda

insanlığın karşı karşıya kalacağı en büyük sorunlardan birisinin, sürdürülebilir bir şekilde üretimi artırmak olacağı bildirilmektedir. Bu nedenle FEW Nexus, gıda güvencesini sağlamaya yönelik çalışmalarda bu sektörü hedef sektör olarak görmektedir (Tilman ve ark., 2001; Hoekstra ve Wiedmann, 2014; Mekonnen ve Hoekstra , 2020).

Dünya genelinde tarım kilit sektördür. Ancak küresel tatlı su kaynakları, tarımsal su tüketimi nedeniyle zarar görmektedir. Dolayısıyla su kıtlığı ile birlikte tarım ve diğer sektörler ve tarımın alt üretim kolları arasındaki rekabet giderek artış göstermektedir. Bu nedenle, özellikle su kıtlığı sorunlarının ele alınması ve planlamaların yapılması için diğer tarımsal ürünlerle birlikte buğday üretimi ve tüketimi için su talebinin ve dolayısıyla WF değerinin net bir şekilde anlaşılması zorunludur.

WF değeri, doğrudan ve dolaylı su kullanımını içeren tatlı su kaynaklarının tüketim hacminin bir göstergesidir. Diğer tarımsal ürünlerde olduğu gibi buğday üretiminin de WF değerini küçültürken de aynı zamanda artan gıda taleplerini karşılamak en büyük toplumsal zorluklardan birisidir. Buğday üretiminin WF değerlerinin hesaplanması ve bunların karşılaştırılması, WF değerlerini azaltma hedeflerinin belirlenmesinde bir referans görevi görebilir ve yardımcı olabilir. Su kullanım verimliliğinin değerlendirilmesi, buğday su kaynaklarını etkili bir şekilde yönetmenin bir anahtarıdır. WF değeri ise su kullanım verimliliğinin değerlendirmesi için yeni bir indekstir ve bir ön koşuldur.

6.1. Genel Olarak Durum

6.1.1. Küresel Düzeyde Araştırmalar

Bu çalışmada Türkiye’ de dahil olmak üzere dünyada 2023 yılına kadar buğday WF değeri üzerinde gerçekleştirilen yaklaşık 47 araştırmaya ulaşılabilmektedir. Küresel düzeydeki temel çalışmalar sırasıyla Chapagain ve Hoekstra (2004), Mekonnen ve Hoekstra (2010), Mekonnen

(2011), Mekonnen ve Hoekstra (2011), Mekonnen ve Hoekstra (2020) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Dünyada buğday WF değeri hesaplamaları, esas olarak kışlık ekmeklik buğday üzerinde yoğunlaşmıştır. Makarnalık buğdayın WF değeri üzerindeki araştırmalar ise esas olarak İtalya’da yapılmıştır.

Dünyada ülke bazında gerçekleştirilen buğday WF değeri araştırmalarının çok önemli bir kısmı, Çin’de gerçekleştirilmiştir. Bu ülkede WF değeri araştırmalarının önemli bir bölümü aynı zamanda enerji ayak izi ve yönetimini de içermektedir. Bu durumun esas nedeni olarak; Çin’in dünyada başlıca buğday/tahıl üreten ülke olmasına (Çin’in tahıl üretimi, 2019’daki küresel tahıl üretiminin yaklaşık beşte birini oluşturmaktadır-FAOSTAT, 2019) karşın buğday üretiminin yapıldığı bölgelerde artan nüfusuna bağlı olarak artan buğday üretimidir. Ayrıca, su ve enerji taleplerinin neden olduğu sorunların (çevresel kirlilik vb.) çözümüne ağırlık verilmesidir.

Çin’de 2007 - 2017 döneminde esas olarak üç ana tahılın (buğday, mısır ve pirinç) üretimi ve potansiyel çevresel ayak izi analiz edilirken, 2017’den itibaren mekânsal değişimlerin etkileri de araştırılmaya başlanmıştır. Sonuçlara göre WF değeri (insan sağlığı ve ekosistem kalitesi) ile enerji ayak izi (enerji kaynakları) arasındaki ilişki güçlüdür ve her iki ayak izi bakımından ortaya çıkan değişimlerde gübre ve mazot üretimi ve kullanımı kilit faktörlerdir. Buğday, mısır ve pirinç üretiminin, enerji ayak izi etkileri genellikle benzer iken pirinç üretiminin WF değeri, mısır ve buğday üretiminden önemli ölçüde daha yüksektir.

6.1.2. Buğday Su Ayak İzi Analizlerinde Kullanılan Modeller

Buğdayın WF değeri ve VW hesaplamalarında Chapagain ve Hoekstra (2004) ve Hoekstra ve ark. (2011) tarafından geliştirilen yöntemler kullanılmaktadır. Hoekstra ve ark. (2011) tarafından geliştirilen yöntem, WF Ağı (WFN 2019) ve ISO 14046:2017 standardını esas

almaktadır. Bu yöntemlerin işlemleri için gerekli olan veriler ise FAO'nun CROPWAT ve CLIMWAT programları ile değerlendirilmektedir.

İklim değişikliği, gayri safi yurtiçi hasıla, nüfus, beslenme talebi ve teknoloji güncellemesi gibi faktörlerin etki pay ve miktarlarının tahmin edilmesi amacıyla yapılan araştırmalarda genellikle çok değişkenli regresyon modelleri kullanılmıştır.

Buğday WF değeri ile çevresel etkiler arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesinde ise esas olarak Yaşam Döngüsü Analizi (YDA)'nden yararlanılmaktadır. YDA tabanlı WF değeri analizinin, özellikle gri WF bileşeni olmak üzere su tüketiminin kapsamlı bir şekilde hesaplanmasında kullanılabileceği gösterilmiştir.

6.1.3. Buğday Su Ayak İzinin Bileşenleri

Buğday toplam WF değeri yeşil, mavi ve gri olmak üzere 3 alt bileşenden oluşmaktadır. Yeşil WF bileşeni toprakta depolanan yağmur suyunu, mavi WF bileşeni büyüme döneminde kullanılan sulama suyunu ve gri WF bileşeni ise buğday üretiminde ve tüketiminde kullanılacak fakat kirlenmiş (örneğin tarımsal kimyasallar ile) suyu temizlemek/seyreletmek için kullanılan suyu ifade etmektedir. Buğdayın yeşil ve mavi WF bileşenlerinin her ikisinin miktarı da iklim ve toprak gibi çevresel faktörlere bağlı olarak mekânsal ve zamansal olarak değişmektedir.

Buğday üretimi ve tüketiminin WF bileşenlerinin hesaplandığı ilk araştırmanın tahminen Mekonnen ve Hoekstra (2010) tarafından gerçekleştirilmesine karşın günümüze kadar buğday su ayak bileşenleri üzerinde yeterince durulmamıştır. Ancak son yıllarda başta iklim değişikliği olmak üzere çevresel faktörlerin yağışları ve yer altı ve üstü su kaynaklarını olumsuz etkilemesi nedeniyle buğdayın WF bileşenlerinin hesaplanması üzerindeki çalışmalarda artışlar vardır. Özellikle mavi WF bileşenlerinin sürdürülebilirliğini değerlendiren çalışma sayısında son yıllarda artış görülmektedir. Çünkü; buharlaşan veya bir ürüne dahil edilen taze yüzey ve yer

altı suların hacmi şeklinde ifade edilen mavi WF bileşeni, mevcut yenilenebilir mavi su düzeyini aştığında sürdürülemez hale gelmekte, dolayısıyla da çevresel akış standardını ihlal ederek yeraltı suyunu tüketmektedir (Mekonnen ve Hoekstra,2020).

Dünyanın birçok bölgesinde buğdayın mavi WF bileşeni yüksek çıkmaktadır. Bu durumu etkileyen faktörlerin başında ise kış ve ilkbaharda etkili yağışların (yeşil su) kısıtlı olması nedeniyle mavi su kaynaklarının daha yüksek düzeylerde kullanılması gelmektedir. Yine mavi su, yeşil suya göre genellikle daha yüksek fırsat maliyetine, su kıtlığı indeksine ve ekolojik etkiye sahiptir (Aldaya ve ark., 2017; Mekonnen ve Hoekstra, 2011).

Dünyada günümüze kadar buğday WF değerinin hesaplanmasına yönelik araştırmalarda gri WF bileşeni üzerinde genellikle yeterince durulmamıştır. Fakat son yıllarda yüksek nüfus oranı ve buğday üretiminin, mavi su kaynakları ile birlikte doğal ekosistemleri önemli ölçüde kirlettiği ülkelerde (Çin vb.) buğday üretimi ve tüketiminin gri WF bileşeni üzerindeki araştırmalarda da artışlar görülmektedir.

6.1.4. Buğday Su Ayak İzinin Sürdürülebilirliği

Tarımda bitkisel üretimde yüksek mekânsal çözünürlükte küresel su tüketimini değerlendirmek için son yıllarda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu araştırmaların, dünyanın birçok yerinde tarımsal üretimin su stresini artırmada kilit bir rol oynadığını göstermesine karşın hiçbirisi, belirli bir bölgede ürün üretiminde ve tüketiminde WF değerinin sürdürülebilirliğini değerlendirmemiştir

Küresel düzeyde buğdayın da içinde yer aldığı tarımsal ürün üretiminde WF değerinin sürdürülebilirliği Mekonnen ve Hoekstra (2020) tarafından araştırılmıştır. Bu araştırmaya göre;

Küresel mavi WF bileşeninin sürdürülemez kısmının yaklaşık %70'i, 5 ürünün üretiminden kaynaklanmaktadır. Bu oranda buğdayın katkısı (%27) en yüksektir.

Sürdürülemez mavi WF bileşenine bağlı olarak gerçekleştirilen buğday üretiminin yarısından fazlası Ganj (%31) ve İndus (%21) nehir havzalarında bulunmaktadır. Diğer havzalar ise, Çin'deki Yongding nehri havzası (%5) ve Sarı nehir havzası (%4) ve Hindistan'daki Namada nehri havzasıdır (%3). Sürdürülemez mavi WF bileşenine bağlı buğday üretiminin yaklaşık %70'i 5 ülkede gerçekleştirilmektedir: Hindistan (%31), Çin (%13), ABD (%12), Pakistan (%10) ve İran (%4).

Hindistan'da sürdürülemez mavi WF bileşenine en yüksek katkıyı sırasıyla buğday (%40), pirinç (%20), pamuk (%16), ve şeker kamışı (%15) yapmaktadır. Bu ürünler, Hindistan genelinde yılda en az bir ay yaşanan şiddetli mavi su kıtlığına ve esas olarak da batı Ganj-Brahmaputra akifer sistemlerinde yeraltı suyunun tükenmesine katkıda bulunmaktadır.

Çin'de sürdürülemez mavi WF bileşenine en yüksek katkıyı yapan ürünler sırasıyla buğday (%48), pirinç (%29), mısır (%8), pamuk (%4) ve soya fasulyesidir (%3). Bu ürünlerin üretildiği Kuzey Çin Ovası'nda yılın büyük bölümünde ciddi ve yaygın bir şekilde mavi su kullanımı nedeniyle, yer üstü ve altı su kaynakları tükenme ile karşı karşıya kalmaktadır.

ABD'de sürdürülemez mavi WF bileşenine en büyük katkıyı yem bitkileri (%29) yapmaktadır. Yem bitkilerini sırasıyla mısır (%19), pamuk (%11), soya fasulyesi (%8), pirinç (%7) ve buğday (%6) izlemektedir. Ciddi su stresi yaşayan bir eyalet olan Kaliforniya'da esas mavi su tüketici ürünler listesinin başında yem bitkileri yer almaktadır.

Pakistan'da sırasıyla buğday (%39), pirinç (%20), pamuk (%16) ve şeker kamışı (%15) sürdürülemez mavi su kullanımına önemli katkı yapmaktadırlar.

İran'da sürdürülemez mavi su kullanımına önemli katkı yapan kritik ürünler sırasıyla buğday (%27), pirinç (%14), antep fıstığı (%7), hurma (%6), pamuk (%6), şeker pancarı (%6) ve elmadır (%4).

Küresel düzeyde potansiyel mavi su tasarrufunun yaklaşık %69' u 5 mahsulün üretimiyle ilgilidir (Buğday - %23, pirinç - %17, pamuk - %11, yem bitkileri - %9, şeker kamışı - %9).

Mahsul üretimiyle ilgili sürdürülemez toplam mavi WF bileşeni oranının büyük olduğu ülkelerin, aynı zamanda potansiyel mavi su tasarrufları da yüksektir. Bu ülkeler şunlardır: toplam mavi WF bileşenine kıyasla %71 mavi su tasarrufu potansiyeline sahip Birleşik Arap Emirlikleri (%71), Umman (%63), Katar (%57), Türkmenistan (%56) ve Suudi Arabistan (%55).

Küresel düzeyde hesaplanan buğday mavi WF bileşeni değerleri genellikle farklılık göstermektedir. Buna karşın, mavi su kullanımı tasarrufunun ve sürdürülebilirliğinin iyileştirilmesi için önerilen yöntem ve uygulamalar büyük ölçüde benzerlik göstermektedir.

Küresel düzeyde sulama suyu ve yağmurla buğday yetiştiriciliğinin her ikisinde de verimli sulama sistemleri, su verimliliğini artırma ve faydalı olmayan buharlaşmanın azaltılması gibi yöntemlerin tek başlarına uygulanması, kıt mavi su kaynakları üzerindeki baskıyı azaltmada ve su tasarruf sağlamada yeterli olamamaktadır. Örneğin Mekonnen ve Hoekstra (2020), buğday üretiminde su verimliliğini artırarak elde edilebilecek potansiyel mavi su tasarrufunun yalnızca %25 düzeyinde kaldığını (bu oranın, sürdürülemez küresel mavi WF bileşeninin %57'sinin yarısından daha düşüktür) bildirmiştir. Bu araştırmacılara göre artan su verimliliği, insanların su kıtlığı ile karşı karşıya kaldığı ay sayısını dünyanın birkaç bölgesinde ancak 6 aya kadar azaltabilmekte ancak dünya çapında mavi su kıtlığının azaltılmasında çok düşük bir rol oynamaktadır. Dünyanın çoğu yerinde, tüm mahsullerin mavi WF bileşenini kıyaslama seviyelerine düşürüldükten sonra bile yılın en az 1 ay mavi su kıtlığı yaşanmaktadır.

Bu nedenle mavi su tasarrufu için ek olarak aşağıda sıralanan uygulamaların da yapılmasının daha etkili sonuçlar vereceği önerilmektedir:

a- Küresel tatlı su kaynakları üzerindeki baskının, öngörülen nüfus artışı ve beslenme tercihlerindeki değişiklikler nedeniyle önümüzdeki yıllarda artması beklenmektedir. Artan su kıtlığıyla birlikte, farklı mahsullerin kıt tatlı su kaynaklarının sürdürülemez ve verimsiz kullanımına ne ölçüde katkıda bulunduğunu ve sorunu çözmek için hangi önlemlerin alınması gerektiğini değerlendirme konusunda artan bir ilgi vardır. Dolayısıyla ulusal ve küresel düzeyde mahsul üretiminde su kullanımının sürdürülebilirliğinin analizi ve değerlendirilmesi, devletler, şirketler ve yatırımcılar tarafından yeterli müdahale stratejilerinin geliştirilmesini kolaylaştıracaktır.

b- Suyun düşük değerli ürünlerden yüksek değerli ürünlere doğru tahsisi ile birlikte sulanan alanların genişletilmesinin kontrol edilmesi gerekmektedir.

c- Küresel mavi WF bileşeninin; o ürüne ait WF değerinin, kıyaslama düzeyine düşürülerek potansiyel olarak azaltılabilme imkanı bulunmaktadır. Bu uygulama ile küresel düzeyde mavi suyun yaklaşık %25'nin kurtarılabileceği bildirilmiştir (Mekonnen ve Hoekstra, 2020).

d- Devletlerin, şirketlerin ve çiftçilerin bitkisel üretimde su verimliliğindeki iyileştirmeye katkı yapmak için yukarıda verilen uygulamalara ilaveten ek müdahale stratejileri geliştirmeleri gerekmektedir. Bu stratejiler, yalnızca bunlarla sınırlı olmamakla birlikte şunları da içermektedir: insan ve hayvan beslenmesinde su yoğun ürünlerden daha az su yoğun ürünlere geçilmesi, gıda israfının azaltılması, ciddi su sıkıntısı çeken bölgelerde su yoğun ürünlerin üretiminin yeniden değerlendirilmesi, havza başına su tahsisi ve WF değerinin etkin yönetimi, suyun küresel ölçekte verimli bir şekilde tahsisi için, WF değeri ve ekonomik değerlendirmenin entegre edilmesi (Cazcarro ve Bielsa, 2020).

e- Buğday WF değerinin düşürülmesine yönelik kaynak tasarrufu ve çevre dostu tarımsal kalkınmanın sağlanması amacıyla plantasyon yapısının optimizasyonu, tarım ekonomisinin dönüştürülmesi ve rasyonel tarım yönetimi uygulamaları (örneğin, bilimsel gübreleme, mazot

tüketiminin kontrol edilmesi, su tasarruflu tarımın geliştirilmesi vb.) dahil olmak üzere etkili uygulamaların geliştirilmesi. Ancak WF değeri hesaplamaları için buğday üretim süreçlerindeki su kullanımının ve yönetiminin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine ihtiyaç vardır.

f- Dünyanın birçok bölgesinde önemli su kıtlığı ve yeraltı suyunun aşırı kullanımı, ciddi endişelere yol açmaktadır. Buğday tarımının da birçok ülkede önemli bir su tüketicisi olması nedeniyle bu üretim kolunda da su kullanımının düşürülmesi kritik bir öneme sahiptir. Özellikle kışlık buğday ekilen alanlarda yapılan değişikliklerin, bu sorunun çözümüne katkı yapabileceği bildirilmektedir.

g-Tarımı gelişmiş ülkelerde ve kurak bölgelerde buğday üretiminde su tüketimi ve kirliliğin sistematik ve kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu konu, özellikle dünyanın en büyük buğday üreticisi ülkelerinden birisi olan Çin için çok büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle Çin’ de son yıllarda buğday WF değerleri ve çevresel etkileri üzerindeki araştırma sayısında önemli artışlar görülmektedir.

h- Çiftçilerin, özellikle de kadın çiftçilerin ilgili teknolojilere erişiminin artırılması, buğday WF değeri çalışmaları ve suyun sürdürülebilir kullanımı üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir (Huang ve ark., 2012).

ı- Buğday WF değeri çalışmalarıyla birlikte su kıtlığı analizleri üzerinde çok önemli etkisi olan su mevcudiyeti muhasebesi üzerinde de çalışılmalı ve buna drenaj havzaları, göller, sulak alanlar ve barajlar da eklenmelidir (Berger ve ark., 2014).

6.1.5. Buğday Su Ayak İzi Sonuçlarını Etkileyen Faktörler

Ülkeler arasında ve içinde buğday WF değeri bakımından önemli farklılıklar elde edilmektedir. Bu duruma neden olan faktörler esas olarak şunlardır; hesaplamalarda farklı metodların

kullanılması, buğday çeşidi (ekmeklik ve makarnalık), toprak ve buğday evaporasyon düzeyi, buğday ekim alanı genişliği, buğday su kullanım zamanı, buğdayın üretildiği bölgenin yağış ve yer altı ve üstü su kaynaklarının durumu, toprak yapısı, gübre kullanımı, iklim koşulları, vb. Bu faktörlerin etkilerinin analiz edilmesi, buğday WF değerinin daha isabetli ve güvenilir bir şekilde hesaplanmasını sağlayacaktır (Yea ve ark., 2019).

Bir bölgede üretilen buğdayın WF değerinin yüksek çıkmasında, diğer faktörlerin etkileri standardize edildiğinde, esas olarak 4 önemli faktör doğrudan etki göstermektedir. Bunlar sırasıyla buğday üretim ve tüketim miktarı, beslenme modeli, iklim ve su kullanımını artıran tarımsal uygulamalardır.

Bir ülkenin, ihracat da dahil olmak üzere buğday üretim ve tüketim hacminin yüksek olması, buğday toplam WF değerinin artmasına neden olan önemli bir faktördür. Nitekim buğday üretim ve tüketim miktarları yüksek olan ülkelerin toplam WF değerinde de genellikle daha yüksek olmaktadır.

Buğday WF değerinin artmasına neden olan ikinci önemli faktör, insanların beslenme alışkanlıklarıdır. Beslenmelerinde buğdaya bağlı ürünlerin önemli yer tuttuğu ülkelerin buğday WF değerlerinin de yüksek olabilmektedir.

İklim, buğday WF değeri üzerinde doğrudan etkiye sahip önemli üçüncü faktördür. Buğdayın su talebi ve verim düzeyi ile ekildiği bölgenin iklim koşulları arasında yakın ilişki vardır. Bundan dolayı son yıllarda iklim değişikliği ve buğday WF değeri arasındaki ilişkileri konu olan araştırma sayında artışlar vardır.

Küresel tatlı su kaynaklarının sürdürülebilirliği ile iklim değişikliğinin yaklaşık tüm sosyoekonomik ve çevresel etkileri arasında yakın ilişkiler bulunmaktadır. Birçok araştırmacı tarafından dünyanın birçok bölgesinde iklim değişikliğinin su kaynaklarını ve buğday üretimini

olumsuz etkileyeceği ileri sürülmektedir. Örneğin Elliotta ve ark. (2013) tarafından geleceğe yönelik yapılan tahminleme modellerinin sonuçlarına göre; sulanan bazı bölgelerde (ABD'nin batısı; Çin ve Batı ve Orta Asya) yüzyılın sonuna kadar doğrudan iklim değişikliğinin etkilerine bağlı olarak tatlı su kaynaklarında ortaya çıkacak azalışlar nedeniyle buğday, mısır, soya fasulyesi ve pirinç üretiminde 400–2.600 Pcal (günümüz toplamının %8–43'ü) düzeyinde azalmalar görülecektir. Ayrıca, 20-60 Mha arazinin sulama ile yetiştirme sisteminden yağmur suyu ile yetiştirme sistemine dönüştürülmesini gerektirecektir.

Sıcak yıllar için hesaplanan buğday WF değerleri, soğuk yıllara göre genellikle daha yüksek elde edilmektedir (örneğin yaklaşık %7-8). İklim değişikliği nedeniyle özellikle yaz aylarında olmak üzere güneş radyasyonu ve sıcaklıklarda ortaya çıkan artışların ve yağışlardaki azalışların buğday su talebi ve verimi üzerindeki kümülatif etkileri, yeşil ve mavi WF bileşenlerini artırırken buğday verimini düşürmektedir (Gover ve ark., 2020). Buharlaştırma talebinin yüksek olduğu bölgelerde buğday üretimi birimi başına su ihtiyacı nispeten yüksektir. Kışlık buğdayın yeşil ve mavi WF bileşenleri, özellikle düşük su kapasiteli topraklarda ve yarı kurak bölgelerde yüksek düzeylerde hesaplanmaktadır. Daha nemli bölgelerdeki düşük sıcaklıklar, buğday verim potansiyeli üzerinde ana sınırlayıcı faktördür ve daha düşük verimler nedeniyle de genellikle daha yüksek WF değerleri elde edilmektedir (Thaler ve ark., 2017).

Nemli bölgelerde, kurak bölgelere göre daha düşük buğday WF değerleri hesaplanmaktadır. Yine yağmurlu yıllar için hesaplanan WF değerleri de kurak yıllara göre genellikle daha düşüktür. Buğday üretiminin karbon ayak izi de benzer eğilimler göstermektedir.

Ancak bazı araştırmaların sonuçlarına göre, tarımsal yöntemlerin buğday WF değerleri üzerindeki etkisi, iklim değişikliğinin etkisine göre daha yüksektir (Sun ve ark., 2013 ve 2016; Zhao ve ark., 2017). Yine geleceğe yönelik yapılan tahminlere göre dünyanın farklı bölgelerinde buğday üretiminin ve yeşil ve mavi WF bileşenlerinin, iklim değişikliğinden daha

olumlu etkilenebileceği de ileri sürülmektedir (Garofalo ve ark., 2019). Dolayısıyla buğday üretimi ve tüketiminin WF değerlerini belirlemeye yönelik araştırma ve uygulamalarda öncelikle farklı iklim bölgeleri arasında ayırım yapılmasının yararlı bir yöntem olacağı önerilmektedir.

Buğday WF değerinin yükselmesine neden olan dördüncü önemli faktör ise buğday üretiminde suyun verimsiz olarak kullanımına neden olan tarım uygulamalarıdır. Dünyada birçok ülkede buğday üretim süreçlerinde uygun olmayan toprak işleme, gübre ve sulama yöntemleri vb. uygulamalar, buğday WF değerinin yükselmesine neden olmaktadır.

Buğday WF değeri sonuçlarının farklı çıkması üzerinde yukarıda verilen faktörlerle birlikte etkili olan/olabilecek diğer önemli faktörler aşağıda verilmiştir:

Buğday ekim alanları için yararlanılan su kaynaklarının tipi ve yönetimi (yağmur suyu, yer altı ve üstü suyu, miktarları, kullanım yöntemleri) buğday WF değerini etkilemektedir. Buğday WF değeri üzerinde sulamanın etkisinin, yağmura göre daha yüksek olduğu bildirilmektedir. Sulanan alanlarda üretilen kışlık buğdayı için hesaplanan WF değerleri, yağmurla beslenen alanlarda üretilen kışlık buğdaydan daha yüksek (yaklaşık %8-10) olabilmektedir. Ülkelere göre buğday WF bileşenlerinin düzeyi de değişmektedir. Örneğin, Çin’ de mavi WF bileşeni en yüksek olan ürün buğdaydır.

Bununla birlikte ülkelere göre buğday üretiminde kullanılan su kaynaklarının durumu ve bunların yönetimi bakımından önemli farklılıklar vardır. Bu nedenle buğdayın yeşil ve mavi WF bileşenlerini düşürmek için farklı strateji ve yöntemlerin uygulanması önerilmektedir. Örneğin düşük buğday verimi ve yüksek WF değerine sahip olan ülkelerde ve bölgelerde buğdayın yerine daha az suya ihtiyaç duyan ve daha fazla ekonomik fayda sağlayan ürünler üretilmelidir. Yine buğday üretimi, yeşil suyun (yağışların) önemli tüketicisidir. Sulanan bölgelerde buğday

üretimini azaltarak mavi WF bileşenini ve yağmurla beslenen bölgelerde de buğday üretimini artırarak yeşil WF bileşenini düşürme fırsatı vardır (Ababaei ve ark., 2017).

Buğday WF değeri, farklı toprak tekstürü sınıflarında farklılık göstermektedir (yaklaşık %10-12) ve bu durum; büyük ölçüde buğday bitkisinin topraktan besin tedariki bakımından gösterdiği farklılıktan kaynaklanmaktadır. Buğday WF değeri üzerinde gübre uygulamalarının (gübre kullanmama dahil) etkileri de yüksek düzeylerde ve bu etkiler; gübre kullanımının esas olarak buğday veriminde sağladığı değişimler yoluyla ortaya çıkmaktadır. Nitekim makarnalık durum buğdayının WF değerinin tahminine yönelik tüm modeller, azotlu gübrelemedeki artışla birlikte WF değerinin de düşük düzeylerde de olsa arttığını göstermektedir.

Toprak su/nem buharlaşmasının, buğday WF değeri üzerinde ihmal edilemez düzeyde katkısı vardır. Terleme yoluyla gerçekleşen gerçek bitki su kullanımı, toplam buharlaşma/terlemeye göre çok daha düşüktür. Yine farklı uygulamalara verilen tepki bakımından gerçek ürün evapotranspirasyonu, gerçek toplam evapotranspirasyona göre daha duyarlıdır. Kurak bölgelerde, genel olarak nispeten daha yüksek referans evapotranspirasyon değerleri elde edilmektedir. Toplam gerçek evapotranspirasyon; buğdayın ekimden hasadına kadar olan dönemdeki evapotranspirasyonu, gerçek ürün evapotranspirasyonu ise buğdayın evapotranspirasyonunu/terlemesini göstermektedir (Kersebaum ve ark., 2016).

Bu veri ve bilgilere dayalı olarak, buğday WF değeri tahmin modellerinde toplam gerçek evapotranspirasyon ve gerçek ürün evapotranspirasyonu değerinin her ikisinin de birlikte dikkate alınması gerektiği bildirilmektedir. Aynı zamanda buğday WF değeri ve VW ticareti analizleri için buğday su kullanımının hesaplanmasında gerçek mevsimsel ve gerçek toplam evapotranspirasyonun daha detaylı olarak incelenmesi önerilmektedir.

Dünyada farklı buğday üretim alanlarında kışlık buğday üretiminde yeşil su daha önemli bir rol oynamakta ve buna bağlı olarak yeraltı suyuna olan ihtiyaç azalmaktadır (Wanga ve ark., 2015). Ancak buğday ekim alanlarındaki değişiklikler, buğday WF değeri üzerinde eş zamanlı olarak etki yapmaktadır. Örneğin kışlık buğday üretiminin bir bölgeden/alandan başka bir bölgeye/alana kaymasına bağlı olarak buğdayın toplam WF değerinde, yeşil ve yüzey mavi WF bileşenlerinde de değişim göstermektedir. Bu nedenle buğday üretiminde arazi kullanımının daha iyi optimize edilmesi ve entegre mavi-yeşil su yönetimine yönelik politikaların geliştirilmesi ve uygulanması önerilmektedir (Wanga ve ark., 2015).

Buğday üretim bölgelerinde özellikle toplam ürün suyu verimliliğindeki kazanımlar, artan sulama talebine ve su kıtlığına yol açmıştır. Günümüzde birçok ülkede buğday üretimine uygun ekili alanların kışın nadasa bırakılması nedeniyle bu durumun acilen değerlendirilmesinin gerektiği bildirilmektedir.

Buğday WF değerleri üzerinde yıl faktörü de önemli etkiye sahip olup yıllara göre buğday WF değerleri bakımından önemli değişimler ortaya çıkabilmektedir. Bu durum yıl faktörü içinde yer alan buğday ekim alanları ve üretim miktarı, tarım uygulamaları, iklim değişikliği, büyüme mevsiminin uzunluğu, dölleme oranı vb. faktörlerin yıllara göre değişiminden kaynaklanmaktadır (Mahmoud El-Marsafawy ve Ibrahim Mohamed, 2021).

Buğday WF değeri bakımından görülen değişimlerde aynı zamanda hesaplamalarda kullanılan modeller arasındaki farklılıklar da önemli etki göstermektedir. Bu farklılıklara, modellerde kullanılan doğrudan (su tüketimi, evapotranspirasyon değerleri vb.) ve dolaylı (gübre, ilaç kullanımı vb) etkiye sahip özelliklerin/faktörlerin sayısı ve bunları ölçmede kullanılan yardımcı /programların (CROPWAT, CLIMWAT vb.) etkileri bakımından var olan değişimler de katkı yapmaktadır. Örneğin araştırmacılara göre; SWAT (Soil and Water Assessment Tool) modeline dayalı WF değeri hesaplamaları, mahsul üretimi sürecinde WF değerinin mekânsal

farklılıklarını yansıtarak ve yüksek uzaysal çözünürlük sunarak mahsulün WF değerinin uzaysal heterojenliğini belirlemede etkili olmaktadır (Luana ve ark., 2018).

Buğday WF değeri analizlerinde aynı zamanda ürün üretiminin WF yoğunluğunun da hesaplanması ve elde edilen değerlerin WF değerleri ile karşılaştırılması önerilmektedir. Ürün üretiminin WF yoğunluğu; WF değerinin, ürün verimine bölünmesi ile elde edilmektedir. Diğer tarımsal ürünlerde olduğu gibi buğday üretiminde de WF yoğunluğu değerleri, WF değerlerinden tamamen farklılık gösterebilmektedir.

6.1.6.Net Su İthalatı Ve İhracatı Yapan Bölgelerde Buğday su Ayak İzi

Bir ülkedeki net su ithalat ve ihracat bölgelerinde buğdayın üretiminin ve tüketiminin WF değeri tahminleri, tahmin modellerinde yer alan faktörlere göre değişmektedir. Net su ithalatı bölgesindeki buğday üretimi ve tüketiminin WF değerindeki değişiklikleri gayri safi yurtiçi hasıla ve nüfus pozitif ve önemli düzeyde etkilerken, teknoloji güncellenmesi ve beslenme talebi negatif ve önemli düzeyde etkilemektedir. Net su ihracat bölgesinde ise teknoloji güncellemesinin etkisi, negatif ve önemli düzeyde iken iklim değişikliğinin etkisi önemsizdir. Bu nedenle WF değerindeki değişikliklere neden olan faktörlerin etkilerinin analiz edilmesi, su kaynakları üzerindeki baskıları azaltmaya yönelik önlemler ve planlamalar geliştirmede yol gösterici olacağı bildirilmektedir (Yea ve ark., 2109).

6.1.7.Buğday Su Ayak İzinin Çevresel Etkileri

Birçok ülkede ve bölgede buğday üretiminde kullanılan suyun ayak izi ve yönetimi, üretimin yapıldığı ekosistem üzerinde olumsuz etkiler göstermektedir. Buğday WF değerinin çevresel etkilerini belirlemede esas olarak YDA kullanılmaktadır ve bu kapsamdaki araştırmalar son yıllarda Çin’de yoğunlaşmış durumdadır. Buğday üretiminin genel çevresel etkileri, öncelikle doğrudan su tüketimi ile birlikte gübre ve mazot üretimi ve sera gazı emisyonundan

kaynaklanmaktadır. Buğday üretiminin çevresel etkisinin yüksek olduğu alanlar, esas olarak buğday veriminin de yüksek olduğu alanlardır. Buğday verimi, ekosistemin kalitesi ile negatif, insan sağlığı ve buğday WF değeri ile pozitif korelasyon göstermektedir. Bu nedenle buğday üretim bölgelerinde, üretimin sürdürülebilirliği ile birlikte sulama suyundan daha etkin yararlanmanın ve gübre ve mazot tüketiminin azaltılmanın öncelikli hedefler olması gerektiği bildirilmektedir. Buğday üretiminin potansiyel çevresel etkisinin yüksek olduğu alanlar, esas olarak buğday veriminin yüksek olduğu alanlardır. Bu nedenle buğday üretim bölgelerinde, üretimin sürdürülebilirliği ile birlikte sulama suyundan yararlanmada etkinliğin artırılması ve gübre ve mazot tüketiminin azaltılmasının öncelikli hedefler olması gerektiği bildirilmektedir.

Dünyada buğday üretiminin gerçekleştirildiği çoğu havzada önemli düzeylerde nitrat kirliliği vardır. Ancak buğdayın da içinde yer aldığı tahıl üretim süreçlerinde su kirlenmesi/ bozunması üzerinde az sayıda çalışma yapılmıştır ve bu çalışmalar da yalnızca N ve P kirlenmesinin etkileri üzerinde odaklanmıştır. Özellikle Çin'de buğday üretimini YDA yöntemiyle inceleyen bazı araştırmalarda, buğday üretiminin bazı süreçlerdeki dolaylı etkilerinin, doğrudan etkilerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Zhai ve ark., 2019a, 2019b).

Su kaynaklarının iyi bir şekilde yönetilmesinde ve çevrenin korunmasında gri WF bileşeninin önemli etkisi vardır. Aşırı düzeylerde gübre kullanılan buğday üretim alanlarında gri WF bileşeni en yüksek düzeylerde hesaplanmaktadır ve bunu, yeşil ve mavi WF bileşenleri izlemektedir. Buğday gri WF bileşenlerinin yüksek çıkması, esas olarak suda gerçekleşen ötrofikasyondan (>%96) kaynaklanmaktadır. Bunun yanında kullanılan YDA modellerindeki farklılıklar ve böcek ilacı ve mazot tüketiminin dolaylı etkileri de katkı yapmaktadır. Buğday üretimleri, gübreleme ve sulamaya yüksek düzeylerde bağlılık gösteren ülkelerde gri WF bileşeni, sürdürülebilir bir çevre yaratmada çok önemli etkiye sahiptirler. Bu ayak izlerini düşürmek için iyi sulama yönetimi stratejileri geliştirme, toprak testi analizlerine göre optimize edilmiş gübreleme ve sulama, mazot tüketimini azaltma, anızdan yararlanma vb. uygulamalar

önerilmektedir (Ababaei ve ark., 2017). Yine üretim modeline dayalı olarak su ve gübre yönetiminin iyileştirilmesi, buğdayın mavi ve gri WF bileşenlerini azaltmada da büyük bir potansiyele sahiptir (Huang ve ark., 2012).

Karbon ve WF değeri arasında önemli derecedeki pozitif ilişkiler saptanmaktadır. Özellikle İtalya’da yapılan araştırmalarda; makarnalık buğday üretiminin karbon ayak izi değerlerinin, WF değerleri ile yaklaşık olarak benzer eğilimler gösterdiği belirlenmiştir. Dolayısıyla bu iki ayak izinin eş zamanlı şekilde azaltma imkanı bulunmaktadır. Bu nedenle makarnalık ve ekmeklik buğdayı üretiminin çevresel sürdürülebilirliğinin artırmaya yönelik su ve karbon ayak izlerinin birlikte yönetimini ele alan politikaların geliştirilmesi önerilmektedir. Yine küresel düzeyde buğday su ve enerji ayak izinin birlikte değerlendirildiği araştırma sayısı da çok düşük düzey olup ilgili paydaşlar tarafından bu alanda da yoğunlaşılmasının önemini vurgulamaktadırlar (Zhang ve ark., 2018).

6.1.8. Ülkeler Arasındaki Farklılıklar

Buğday WF değeri bakımından ülkeler arasında önemli farklılıklar görülmektedir. Bu farklılıklar esas olarak; ülkelerin demografik yapıları, gelişmişlik düzeyleri, beslenme alışkanlıkları, buğday üretim alanlarının genişliği ve verim düzeyi, uygulanan tarım yöntemleri, iklim koşulları ve yağış rejimi, yer altı ve üstü su kaynaklarının kapasitesi, evapotranspirasyon düzeyleri, buğday işleme sanayinin durumu vb. faktörler bakımından görülen değişimlerden kaynaklanmaktadır.

6.1.9. Su Tasarrufu

Buğday üretiminde WF değerini düşürmeye yönelik önemli yaklaşımlardan birisi de su tasarrufudur. Ancak bu amaçla izlenecek yollar bölgelerin buğday üretim düzeyleri, toprak

yapıları, iklim koşulları, yağış ve yer altı ve üstü su durumu vb. faktörlere göre farklılık gösterebilmektedir.

Mavi su kaynaklarının kısıtlı olduğu bölgelerde bitki su ihtiyacının, “mavi su” yerine doğal yağışla toprakta tutulan su olan “yeşil su” ile karşılanması gerektiği kabul görmektedir. Ancak mavi su kullanımı, su kaynaklarının geliştirilmesi ile sulama şebeke altyapısının oluşturulmasını gerektirmektedir. Bu durum ise ilk yatırım ve işletme-bakım giderlerini, üretim maliyetini artırmaktadır. Bununla birlikte özellikle küresel olarak büyük miktarlarda tüketilen tahılların üretiminde yeşil su kullanımı ile daha düşük maliyetlerle yüksek verimler alınabilmektedir. Yeşil su kullanımının referans evapotranspirasyon değerlerinin daha düşük olmasına bağlı olarak üretim süreçlerinde kullanılan su miktarlarının daha düşük olması nedeniyle yeşil suyun kullanımı öncelik kazanmaktadır. Nitekim, ABD’ de mısır kuşağını oluşturan eyaletlere (Colorado, Kansas, Nebraska, New Mexico, Oklahoma, Güney Dakota, Teksas, Wyoming) yayılmış olan Ogallala Akiferi’nin sulama amacıyla kullanımı kısıtlanmakta ve yeşil su kullanımına öncelik verilmektedir (Chapagain ve Hoekstra, 2004).

Buğday WF değerinin düşürülmesinde uygulanan diğer bir yöntem ise, buğdayın daha az su tüketeceği havzalara tamamen ve/veya kısmen taşınması ve WF değerinin karşılaştırmalı seviyelere düşürülmesidir.

Tahılların WF değerleri, yumru ve kök ürünlerin WF değerlerinden 20 kat daha yüksek olabilmekte ve en büyük payı yeşil WF bileşeni oluşturmaktadır. Kışlık buğday, ayçiçeği ve tane mısırın yeşil ve mavi WF bileşenleri, özellikle düşük su kapasiteli topraklarda ve yarı kurak bölgelerde çok yüksek düzeylerde hesaplanabilmektedir. Buğday ve arpa üretimi, yeşil su kaynaklarının (yani etkili yağışların) önemli ölçüde büyük tüketicileridir. Bu nedenle özellikle sulanan arazilerde buğday ve arpada verimi artırarak, yeşil su verimliliğini artırma imkanı bulunmaktadır. Kışlık buğday üretiminde yeşil suyun artan rolü nedeniyle, buğday üretiminde,

arazi kullanımının daha iyi optimize edilmesi ve entegre mavi-yeşil su yönetimine yönelik politikaların geliştirilmesi ve uygulanması önerilmektedir.

6.2. Türkiye’de Durum

6.2.1. Türkiye İçin Buğday Su Ayak İzinin Önemi

Buğday, dünyada olduğu gibi Türkiye’de de tahıl üretiminin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Farklı üretim koşullarında en fazla üretimi yapılan ve tüketilen stratejik bir tarımsal üründür. Milyonlarca üreticinin geçimini sağlamak ve çok sayıda sanayi kuruluşunun hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla buğday, sanayi amaçlı kullanım ve gıda güvencesi açısından çok büyük önem taşımaktadır.

Türkiye’de buğday yaklaşık tüm bölgelerde kuru tarım yöntemleri ile yapılmaktadır ve esas olarak yağmur suyu ile birlikte sulama suyuna da ihtiyaç duymakta ve bu su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde kullanımı etkilemektedir. Dolayısıyla dünyada olduğu gibi Türkiye’de de buğday sektörü ile diğer tarımsal olan ve olmayan sektörler arasında suya olan talep bakımından bir rekabet söz konusudur. Bu rekabetin etkin bir şekilde yönetilmesi için ise ülkesel ve bölgesel düzeyde buğday WF değerinin sürdürülebilir bir şekilde hesaplanması ve su temini ve yönetimine yönelik plan ve çalışmalar elde dilen buğday WF değerlerine göre yapılmalıdır.

6.2.2. Buğday Su Ayak İzi Araştırmalarının Genel Değerlendirilmesi

Bölüm 4.2’de anlatıldığı gibi Türkiye buğday sektörünün dünyada önemli bir yerde olmasına ve son yıllarda iklim değişikliğinin etkilerinden olumsuz etkilenmesine karşın bu sektörde gerçekleştirilen WF değeri çalışmalarının yeterli düzeyde olduğu söylenemez. Türkiye’ye göre verilen araştırma sayılarının dikkate alınması durumunda ise Türkiye’nin düzeyinin gelinen aşamada çok da geride olmadığı kabul edilebilir.

Tablo 19’ dan görülebileceği gibi Türkiye’de günümüze kadar buğday WF değerinin hesaplanmasına yönelik yapılan yaklaşık 12 araştırmaya ulaşılabilmektedir. Bu araştırmalardan 6’sı Türkiye genelinde, 2’si Dicle ve Fırat havzasında, 1’i İç Anadolu bölgesinde Kırıkkale havzasında, 1’i Trakya bölgesinde ve 2’si ise il düzeyinde (Diyarbakır ve Sivas) gerçekleştirilmiştir. WF değeri hesaplamalarında esas olarak kışlık ekmeklik buğday üzerinde durulmuş ve Hoekstra ve ark. (2011) tarafından geliştirilen model kullanılmıştır.

Tablo 19: Türkiye’de buğday üretimi üzerindeki WF değeri araştırmaları

Bölge	Buğday Çeşidi	Su Ayak İzi				Kullanılan Metotlar ve Programlar	Araştırmacı
		Yeşil	Mavi	Gri	Toplam		
Türkiye	-	-	-	-	319 mm/ürün dönemi	-	Chapagain ve Hoekstra (2004)
Türkiye	-	2081 m ³ /ton	131 m ³ /ton	196 m ³ /ton	2408 m ³ /ton	-	Mekonnen ve Hoekstra (2010)
Türkiye	Kışlık/ekmeklik	-	-	-	38-40 Mm ³ /yıl	Su Ayak İzi Ağı (WFN)	Pegram ve ark.(2014)
Dicle Havzası	Kışlık/ekmeklik	3,63 Mm ³ /yıl	2,97 Mm ³ /yıl	-	6,6 Mm ³ /yıl	Su Ayak İzi Ağı (WFN)	Muratoğlu, (2018, 2019)
Diyarbakır ili	Kışlık/ekmeklik	1 Mm ³ /yıl	400 milyon m ³	-	1,4 Mm ³ /yıl	Hoekstra ve ark.(2011)	Muratoğlu (2020a)
Türkiye geneli	Kışlık/ekmeklik	23,9 Gm ³	15,4 Gm ³	-	39,3 Gm ³	Hoekstra ve ark.(2011) Mekansal enterpolasyon	Muratoğlu (2020b)
Türkiye geneli	Kışlık/ekmeklik	20,1 Mm ³ /yıl	13,37 Mm ³ /yıl	-	33,52 Mm ³ /yıl	Chapagain ve Hoekstra (2004)	Avanoz (2020)

	Kışlık /Makar nalık	3,95 Mm ³ /yıl	2,64 Mm ³ / yıl	-	6,59 Mm ³ /yıl		
Sivas	Kışlık/ ekmekli k	340 m ³ /ton	0	-	340 m ³ /ton	Hoekstra ve ark. (2011)	Bulut ve Canbaz (2020)
Edirne, Kırklareli, Tekirdağ	Kışlık/ ekmekli k	-	-	-	2020- 2040/2041 - 2070/2071 -2099 dönemleri içi tahmin	-AquaCrop modeli, -Toprak Su Dengesi (SWB) yöntemi,	Yeşilköy ve Şaylan (2020)
Fırat Havzası	Kışlık /ekmekl ik	3,36 Mm ³	2,5 Mm ³	0,89 Mm ³	6.81 Mm ³	Hoekstra ve ark. (2011)	İraz (2021)
Kırıkkale İli	Kışlık /ekmekl ik	1991,2 m ³ /ton	129,1 m ³ /to n	-	2120 m ³ /ton	Hoekstra ve ark. (2011)	Çapar ve ark. (2023)
Türkiye geneli	Kışlık /ekmekl ik	45 km ³	6 km ³		51 km ³	Hoekstra ve ark. (2011)	Pilevneli ve ark. 2023

6.2.3. Türkiye’de Buğday Su Ayak İzi ve Ülkesel Toplam Su Ayak İzi İçindeki Payı

Türkiye genelinde kışlık ekmeklik buğday üretiminin toplam WF değerini hesaplamaya yönelik 6 araştırma gerçekleştirilmiştir: Chapagain ve Hoekstra, (2004); Mekonnen ve Hoekstra, (2010); Pegram ve ark. (2014) ; Avanoz (2020); Muratoğlu (2020b); Çapar ve ark. (2023).

Chapagain ve Hoekstra, (2004) tarafından gerçekleştirilen ilk çalışmada Türkiye buğday üretiminin WF değeri 319 mm/ürün dönemi şeklinde hesaplanırken Mekonnen ve Hoekstra, (2010) tarafından gerçekleştirilen ikinci çalışmada 2408 m³/ton olarak hesaplanmıştır. Türkiye’ de WWF, (2014) tarafından sektörel düzeyde gerçekleştirilen çalışmaya göre ise Türkiye ‘de buğday üretiminin toplam WF değeri, bitkisel ve tahıl üretiminin WF değerinin sırasıyla yaklaşık %36 (40 Mm³/yıl) ve %95’ini (38 Mm³/yıl) oluşturmaktadır. Buğdayın, Türkiye’nin tüketimin WF değerine katkısı ise %33 düzeyindedir. Avanoz (2020), buğday

toplam WF değerini kışlık ekmeklik ve makarnalık buğday için sırasıyla 33,52 Mm³ ve 6,59 Mm³ düzeyinde saptarken Muratoğlu (2020b), kışlık ekmeklik buğday için 39,3 Mm³ düzeyinde saptamıştır. Pilevneli ve ark. (2023) 51 km³/ton olarak belirlemiştir. Bu verilere göre Türkiye'nin kışlık ekmeklik buğday üretiminin toplam WF değeri 33,52 - 40 Mm³/yıl arasında değişirken makarnalık buğday WF değerinin yalnızca 6.59 Mm³'dür. Ekmeklik buğdayın toplam WF değerinin makarnalık buğdaya göre çok yüksek düzeylerde yüksek çıkmasının esas nedeninin ekmeklik buğday ekim alanlarının çok daha geniş olmasıdır. Bununla birlikte 2014'den 2023'e kadar Türkiye'nin kışlık ekmeklik buğday üretiminin toplam WF değerinde genel olarak önemli bir değişimin olmadığı ileri sürülebilir.

Fırat ve Dicle havzalarında ve Diyarbakır ve Sivas illerinde kışlık ekmeklik buğday üretiminin toplam WF değeri ise sırasıyla 6,81 Mm³, 6.6 Mm³, 1,4 Mm³ ve 346 m³/ton olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi Fırat ve Dicle havzalarının buğday toplam WF değeri oldukça benzer iken, Diyarbakır ilinin buğday toplam WF değeri, Sivas iline göre çok yüksek düzeydedir. Fırat havzası ve Diyarbakır ilinde üretilen tarım ürünlerinin WF değerinin yükseklikleri bakımından yapılan sıralamada buğday WF değeri ilk sırada yer almaktadır (Fırat havzası: Buğday, antepfıstığı, mısır dane, arpa, kayısı, maydanoz, marul, incir, kabak, şeftali, armut, kiraz ve sarımsak; Diyarbakır: Buğday, arpa, mercimek, mısır, pamuk ve üzüm). İç Anadolu Bölgesinde ise (Çapar ve ark. 2023) buğday WF değeri 2120 m³/ton'dur.

6.2.4.Türkiye' De Buğday Su Ayak İzinin Bileşenleri

DSİ' nin 2020 yılı verilerine göre Türkiye'de toplam sektörel su kullanım miktarı yaklaşık 57 Mm³ olup bunun 44 Mm³'ü tarımsal sulamadan (yaklaşık %77'si), 13 Mm³'ü ise içme kullanma ve sanayiden (yaklaşık %13'ü) kaynaklanmaktadır. Yine ülkemizde 2037 adet nehir kütlesi ve 1277 adet göl kütlesi, 166 adet geçiş suyu kütlesi ve 66 adet kıyı suyu kütlesi belirlenmiştir (Tablo 4) (DSİ, 2020).

Falkenmark Göstergesine göre; kişi başına yıllık su potansiyelinin 1000 m³, 500 m³ ve < 500 m³ olması sırasıyla su stresi, sınırlı ve mutlak su kıtlığı durumunu göstermektedir. Türkiye’de 2022 yılında kişi başı su potansiyeli 1313 m³/yıl iken bu potansiyelin 2030 yılına kadar 757 m³/yıla düşeceği ve bu duruma bağlı olarak da bu tarihten sonra ülkemizin su fakiri ülke statüsüne geçeceği beklenmektedir (Kınacı, 2023).

Türkiye üretiminin WF değerinin yaklaşık %89’u tarım sektöründen kaynaklanmaktadır ve en büyük pay yeşil WF bileşenidir. (WWF, 2014; TGİSDF, 2017).

2004-2021 döneminde Türkiye geneli, havza, bölge ve iller düzeyinde yapılan buğday WF değeri hesaplamalarına göre; buğday üretimin toplam WF değerinin en büyük payı yeşil WF bileşenidir ve dolayısıyla da mavi-yeşil WF bileşenleri oranı düşüktür. Yapılan araştırmalarda Türkiye’nin kışlık ekmeklik buğday yeşil WF bileşeni; Türkiye geneli için 20,1-23,9, Fırat ve Dicle havzaları için 3,36-3,63 Mm³ ve Sivas ve Diyarbakır illeri için ise 340 m³/ton ve 1 Mm³ şeklinde hesaplanmıştır. Bu durumun; Türkiye’de buğday üretiminin, esas olarak kuru tarım koşullarında yapılması nedeniyle yağmur suyuna bağımlılık göstermesinden kaynaklandığı kabul edilebilir.

Türkiye’de buğday üretilen başlıca illere göre buğday üretiminin mavi-yeşil WF bileşenleri oranları, iklim ve toprak koşullarına göre farklılık göstermektedir. Ancak Şanlıurfa, Diyarbakır, Konya, Erzurum gibi illerin yıllık ortalama yağış değerleri, Türkiye ortalamasının altındadır ve mavi su ihtiyaçları yüksektir. Özellikle yarı kurak iklimi nedeniyle Konya’da buğday üretiminin mavi WF bileşeni diğer illere göre daha yüksektir. Bu ilde en fazla toplam WF değerine sahip olan buğdayın mavi WF bileşeni, yeşil WF bileşeninden daha yüksektir. Bu illerde sulama suyu takviyesi ile buğday veriminde 2 kat artış sağlanabilmekte ancak bu duruma bağlı olarak da yer altı ve üstü tatlı su kaynaklarında önemli düşüşler yaşanmaktadır.

Bununla birlikte Türkiye’ de başta Meteoroloji Genel Müdürlüğü olmak üzere birçok kurum tarafından yapılan gelecek iklim değişikliği senaryolarının sonuçlarına göre ülke genelinde sıcaklıklarda artışlar ve yağışlarda azalışlar ortaya çıkacağı beklenmektedir. Bu tahminlerin son yıllarda gerçekleştiği de gözlenmektedir. Bu nedenle Türkiye için son derece öneme sahip buğday üretiminde sürdürülebilirliğin sağlanması için üretimde yararlanılan su kaynaklarının da sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesine yönelik mevcut uygulamaların iyileştirilmesi ve/veya yeni stratejilerin ve yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Özellikle Konya, Şanlıurfa ve Ankara gibi yıllık mavi su ihtiyaçları yüksek olan illerde mavi su kaynaklarının sürdürülebilirliği için kuru tarımla yapılan buğday yetiştiriciliğinin ve sulu tarımın büyük ölçüde terk edilmesi gerektiği önerilmektedir (WWF, 2014; TGİSDF, 2017).

Mavi WF bileşeni yüzey ve yeraltı suyunun kullanımınıdır. Yüksekliği su kıtlığı riskini artırmaktadır. Bu nedenle Türkiye’deki mavi WF bileşeni yüksek ürün ve iller için mavi su kullanımını azaltacak önlemler alınmalıdır.

Diyarbakır ilinde buğday toplam ve yeşil WF bileşeni oldukça yüksek düzeylerde hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, oldukça önemli ve dikkat çekici olup bu ilde ve bulunduğu bölgede ilgili paydaşlar tarafından buğday WF değerinin düşürülmesine yönelik daha yoğun çalışmalar yürütülmelidir. Yine bu ilde buğday WF değeri analizlerine yönelik araştırma sayısı da mutlaka artırılmalıdır.

Türkiye’de buğday WF değerinin gri WF bileşeni yalnızca tek bir çalışmada hesaplanmıştır. Fırat Havzası’nda gerçekleştirilen bu çalışmada kışlık ekmeklik buğdayın gri WF bileşeni 0.89 Mm³ olarak tahmin edilmiştir. Sürdürebilir tarımsal üretim ve doğal ve doğal olmayan ekosistem arasında karşılıklı çok önemli ilişkiler bulunmaktadır. Dünyada başta Çin olmak üzere birçok ülkede buğday üretiminin ve tüketiminin gri WF bileşeninin çevresel etkilerinin analizine yönelik araştırmaların sayısı artmaktadır. Bu nedenle Türkiye’de de bu yöndeki

bilimsel tabanlı araştırmalar üzerinde yoğunlaşılması ile birlikte ilgili paydaşların, buğday gri WF bileşenini ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerini düşürmeye yönelik etkisi yüksek çalışmalar yapmaları önem arz etmektedir.

6.2.5. Türkiye'nin İhracatının ve İthalatının Buğday Su Ayak İzi

Türkiye ihracatının WF değerinin önemli bir bölümünü, ithal edilip işlendikten sonra tekrar ihraç edilen ürünlerden oluşmaktadır. Bu ürünlerin WF değeri toplamı, Türkiye toplam WF değerinin yaklaşık %20'si kadardır. Bu oran içinde işlenmiş ve işlenmemiş tarım ürünleri ve tekstil ürünlerinin payı, %95 iken diğer ürünlerinin payı %5'tir. İhracatın tarım kaynaklı WF değerinde payı en yüksek olan ürünler pamuk, buğday ve çikolatalı şekerlemelerdir. (WWF, 2014; TGİSDF, 2017).

6.2.6. Türkiye'de Buğday Su Ayak İzi ve İklim Değişikliği Arasındaki İlişkiler

İklim değişikliği ile buğday WF değeri arasında çok önemli ilişkilerin vardır ve Türkiye'de iklim değişikliğinden ve özellikle de kuraklıktan olumsuz olarak etkilenen tarımsal ürünlerin başında buğday gelmektedir. Ancak Türkiye'de bu alanda gerçekleştirilen araştırma sayısının da çok yetersiz olduğu kabul edilebilir. Dolayısıyla ülkesel ve bölgesel düzeyde bu alana yönelik proje ve araştırma sayının artırılması ve sonuçlarının sahaya aktarılması gerekmektedir

6.2.7. Türkiye' De Buğday Su Ayak İzinin İyileştirilmesine Yönelik Öneriler

Türkiye'de sulanan alanların artması buğday alanlarının azalmasına neden olmaktadır. Ancak bu alanlardan elde edilen verim artmıştır (WWF, 2014).

Küresel tüketimin bu şekilde sürmesi durumunda, gelecek yıllarda da su kullanımında önemli düzeylerde artışlar gerçekleşeceği bildirilmektedir (Hoekstra ve ark, 2012). Bu tahminler, Türkiye için de geçerli olup nüfusun artması, gelirin artması, değişen yaşam koşulları ve iklim

değişikliği tatlı su talebinin artmasının ana nedenleridir. Bu nedenle suyun, sektörel düzeyde uygun paylaşımı, çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından çok önemlidir. Dolayısıyla Türkiye’ de tatlı su kaynaklarının tüketiminde önemli payı sahip olan buğdayın üretiminde ve tüketiminde kullanılan su kaynaklarının iyi bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Su yönetiminin etkin bir şekilde planlanması ve sürdürülmesine yönelik çalışmalarda ise son yıllarda en yaygın olarak kullanılan araç buğday WF değeri olduğundan bu ayak izinin iyileştirilmesi son derece önem arz etmektedir. Bu amaca yönelik olarak yapılabilecek genel uygulamalar aşağıda sıralanmıştır.

1 –Kurak sezonlarda, tarımsal ürün hasat miktarlarının düşmesine rağmen bitki WF değerinin artmaktadır. Özellikle karasal iklim kuşağında evapotranspirasyon miktarları artış göstermektedir. Mavi su kullanımı, sulak sezonda düşmekte, kurak sezonda ise yaklaşık 2 katına çıkmaktadır. Herhangi bir bölgedeki WF değerinin yüksek olması, temelde iklim özellikleri, üretilen/kullanılan ürünlerin VW muhtevaları ve bölge halkının yaşam tarzı, beslenme alışkanlıkları vb. faktörler ile açıklanmaktadır. Ancak, üretimin WF değerinin düşürülmesi ve tarımsal aktivitelerde kullanılan mavi su miktarının azaltılması yönünde strateji ve eylemler geliştirilmesi, özellikle kurak veya yarı kurak bölgelerdeki su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından ciddi önem taşımaktadır. Türkiye’de suyun daha verimli ve akılcı yönetimi için, belli başlı ürünlerin farklı bölge ve havzalardaki VW muhtevalarının ve mavi su kullanımlarının gözden geçirilmesi gerekmektedir.

2- Türkiye'nin küresel buğday üretimine katkısı yüksektir. Aynı zamanda, nüfusu artmaktadır ve beslenmesinde buğday ağırlıklı bir yer tutmaktadır. Bu nedenle buğday, Türkiye’nin gıda güvencesi ve güvenliği ve ekonomisi bakımından çok öne çıkan bir gıda ürünüdür. Bu duruma rağmen Türkiye’de buğday üretiminin mavi ve yeşil WF bileşenleri ve VW transferine ilişkin kantitatif, karşılaştırmalı ve güncel analizler yeterli düzeyde değildir. Bu nedenle, buğday sektörünü oluşturan tüm paydaşlar tarafından buğday WF değeri üzerinde daha yoğun araştırma

ve çalışmalar yapılarak sonuçlarının saha aktarılması, buğday üretiminin ve tüketiminin su kaynaklarına ve ekosisteme verdiği zararları engellemek veya en aza indirmekle birlikte buğday sektörü için su tahsisinin ve yönetiminin etkinliğinin artırılmasına yönelik ulusal su yönetimi ve planlama çalışmalarına da çok önemli katkı sağlayacaktır.

3-Yağmur suyundan ve yeraltı/yerüstü rezervuarlarında gerçekleşen evapotranspirasyon miktarlarının doğru ve hassas bir şekilde hesaplanması ve bunların buğday WF tahmin modellerinde yer alması buğday WF tahminlerindeki isabeti ve güvenilirliği artıracaktır.

4- Türkiye’de buğdayın uygun iklim koşullarına göre yetiştirilerek su tasarrufu sağlanabileceği bildirilmektedir. Gerçekleştirilen bazı araştırmalarda; buğday ve arpanın mavi WF bileşeni 0 veya çok düşük düzeylerde hesaplanmıştır. Bu durum esas olarak bu iki ürün için üretildikleri bölgenin ikliminin ve yağış sularının yeterli olması ile açıklanmaktadır. Ekim ve bitki büyüme döneminin yağışlı döneme denk gelmesinden dolayı yağışlardan daha fazla yararlanmaktadırlar. Şeker pancarı ve ayçiçeğinin mavi WF bileşeninin yüksek olması ise bu iki ürünün ekim-hasat dönemlerinin kurak döneme denk geliyor olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle şeker pancarı ve ayçiçeğinin, daha fazla yağış alan bölgelerde üretilmesi başta olmak üzere yeşil su kullanımının artırılmasına yönelik çeşitli stratejilerin geliştirilmesi önerilmektedir.

5- Dünyada olduğu gibi Türkiye’de de buğday, çok geniş alanlarda üretildiğinden ülkemiz ve küresel su tüketim yüküne önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Dolayısıyla ülkemizde başta kurak ve su kıtlığının yaşandığı bölgelerde olmak üzere tüm bölgelerde buğday üretimi ve su kullanımı planları, buğdayın toplam, yeşil ve mavi WF bileşenlerine göre yapılmalıdır. Araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre de; Türkiye’ de kışlık buğday üretimi için genel olarak sulamaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Ancak ülke çapındaki yaygın üretimi nedeniyle de, geleceğe yönelik WF tahminlerinin de yapılması gerekmektedir. Bundan dolayı ülkemizde su

kıtlığı yaşanan bölgelerde yeşil WF bileşeni büyük olan ürünlerin yetiştirilmesine öncelik verilerek su tasarrufu sağlanabileceği önerilmektedir. Fazla yağış alan bölgelerde ise mavi WF bileşeni büyük olan ürünlerin üretimi yapılarak hem mavi WF bileşeninin büyüklüğü düşürülebilecek hem de suyun daha sürdürülebilir kullanımı sağlanabilecektir.

6-Su kaynaklarının sürdürülebilirliği için karar vericiler, iş dünyası ve vatandaşlar üzerine düşen görevleri yapmalıdır.



KAYNAKLAR

Ababaei, B., Etedali, H. R. (2017). Water footprint assessment of main cereals in Iran. *Agricultural Water Management*, 179, 401-411.

Akın M., Akın G. (2007). Suyun Önemi, Türkiye’de Su Potansiyeli, Su Havzaları ve Su Kirliliği, Ankara Üniv., DTCF Dergisi, 47,2 105-118

Alexandratos,N. ve Bruinsma,J.2012.World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 Revision. October 2012.Publisher: FAO, Rome.

Anonim. (2022). Bristol Wheat Genomics sitesi/Biyolojik Bilimler Okulu, Bristol Üniversitesi (Erişim Tarihi:04.01.2023).

Allan, J.A. "Virtual water: a strategic resource." *Ground Water*, vol. 36, no. 4, July-Aug. 1998, pp. 545+

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Drainage and Irrigation Paper 56. Food and Agriculture Organization, Rome.

Aldaya, M.M., Hoekstra, A.Y. (2010). The water needed for Italians to eat pasta and pizza. *Agric. Syst.* 103 (6), 351–360. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2010.03.004>.

Anaç, S.(2008). Küresel İklim Değişimi ve Kuraklık Yönetiminde İnovatif Yaklaşımlar, Forum İstanbul 2008, Türkiye’nin İstikrar ve Büyüme Hamlesi, Yarının Kurulması Hedef 2023, İstanbul.

Antonelli, M., Greco, F. (2013). L'acqua che mangiamo. Cos'è l'acqua virtuale e come la consumiamo. Edizioni Ambiente.

Asya. (2021). Water and development: assessing the economic, social, gender and environmental impact of clean water and sanitation in Buenos Aires / MSc Development Management March 2021.

Avanoz, Z. (2020). Türkiye’de tarımsal üretimin su ayak izinin hesaplanması. Yüksek lisans Tezi. T.C. Batman Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.

Balint. A. F., Kovacs .G., Sutka. J.(2000). Origin and Taxonomy of Wheat in the Light of Recent. *Acta Agronomica Hungarica*, 48(3), pp. 301–313 (2000).

Berger,M., Van der Ent,R.J., Eisner,S.,Bach,V.,2014.Water Accounting and Vulnerability Evaluation (WAVE): Considering Atmospheric Evaporation Recycling and the Risk of Freshwater Depletion in Water Footprinting. *Environmental Science and Technology* 48(8) DOI:10.1021/es404994t.

Bocchiola, D., Nana, E., Soncini, A. (2013). Impact of climate change scenarios on crop yield and water footprint of maize in the Po valley of Italy. *Agric. Water Manag.* 116, 50–61. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2012.10.009>.

Brown, A., Matlock, M.D. (2011). A review of water scarcity indices and methodologies. The Sustainability Consortium, 19. White Paper n.106.

Bulut, A.P ve Canbaz, G.T.(2020). Sivas İlinde Buğday, Arpa, Şeker Pancarı ve Ayçiçeği Üretimi İçin Su Ayak İzinin Hesaplanması. *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi* 9 (1), 249-255, 2022.

Bulsink, F., Hoekstra, A.Y., Booij, M.J.(2010). The water footprint of Indonesian provinces related to the consumption of crop products. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 6 (4), 5115–5137. <http://dx.doi.org/10.5194/hessd-6-5115-2009>.

Byrne P. (2020). Case Study: Wheat Domestication and Breeding. In: Volk GM, Byrne P (Eds.) Crop Wild Relatives in Genebanks. Fort Collins, Colorado: Colorado State University. Date accessed. Available from <https://colostate.pressbooks.pub/cropwildrelatives/chapter/wheat-breeding-with-crop-wild-relatives/>

Caoa,X., Wanga,Y., Wua,P., Zhaob,X., Wanga,J.(2015). An evaluation of the water utilization and grain production of irrigated and rain-fed croplands in China.Science of Total Enviroment.529:10-20.

Carver, B.F. (2009). Wheat evolution, domestication, and improvement. pp 5-30. In: Wheat Science and Trade. (Eds: Gustafson, P., Raskina, O., Ma, X., Nevo, E.). Wiley-Blackwell, Oxford, UK.

Casolani, N., Pattara,C.,Liberatore, L. (2016). Water and Carbon footprint perspective in Italian durum wheat production. Land Use Policy,Volume 58, 15 December 2016, Pages 394-402.

Cazcarro, I., Duarte, R., Sanchez-Choliz, J.(2016) Downscaling the grey water footprints of production andconsumption, Journal of Cleaner Production S:132, ss:171-183.

Çalık, M. (2018). Ekonomik su kullanım verimliliğini değerlendirmede su ayak izi. International Congress on Turkish Geograpy Social Science Research II.20-22 April 2018/Alanya-Turkey.

Çakmak, (2022). Su Ayak İzi /<https://acikders.ankara.edu.tr> › mod › resource eş:19.12.2022).

Cazcarro, I., Bielsa,J.(2020). Blind Spots in Water Management, and How Natural Sciences Could Be Much More Relevant. Frontiers in Plant Science 10:1742.DOI:10.3389/fpls.2019.01742

Charmet, G. (2011). Wheat domestication: lessonsforthefuture. Comptes Rendus Biologies, 9.

Chouchane,H.,Hoekstra, A. Y.,Krol,M.S.,Mekonnen,M.M. (2015). The water footprint of Tunisia from an economic perspective. *Ecological Indicators* 52 (2015) 311–319.

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y. (2003). Virtual water trade. Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. International Expert Meeting on Virtual Water Trade 13(11), pp. 1–202.

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y. (2004). Water footprints of nations. Value of Water Research Report Series No. 16. UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands.

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., Savenije, H.H.G., Gautam, R. (2006). The water footprint of cotton consumption: an assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecol. Econ.* 60, 186–203.

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y. (2007). The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands. *Ecol. Econ.* 64 (1), 109–118.

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y. (2011). The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecol. Econ.* 70 (4), 749–758. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.11.012>.

Chapagain, A.K., Orr, S. (2009). An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: a case of Spanish tomatoes. *J. Environ. Manag.* 90 (2), 1219–1228. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.06.006>.

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y. (2010). The green, blue and grey Water Footprint of rice from both a production and consumption perspective. Water Research Report Series No. 40. UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands.

Codur, A.M.(2015), Ecological Economics of Water: Water Systems, Water Footprints, and the Real Price of Water, CANUSSEE, Vancouver, October, Teaching Ecological Economics II. Tufts University.

Convention on Biological Diversity. (2022). Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020, including Aichi Biodiversity Targets. www.cbd.int/sp/Erişim Tarihi:01.01.2023).

Çapar, G., Kodal, S., Ahi, Y., Yıldırım, Y.E., Pilevneli, T., Dilcan, Ç.C. (2023), Su Riskleri AR-Ge Projesi, İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneğı (SKD Türkiye) Ankara Üniversitesi Su Yönetimi Enstitüsü, Ankara.

Directive 2000/60/EC . <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj>

Dvorak, J., Akhunov, E., Akhunov, A., Deal, K. (2006). Molecular characterization of a diagnostic dna marker for domesticated tetraploid wheat provides evidence for gene flow from wild tetraploid wheat to hexaploid wheat. *Molecular Biology and Evolution*, 23(7):1386–1396.

Durmuş, E., ve A. Yiğit (2014). Türkiye'nin Tarım Yöreleri ve Bölgeleri, Nobel AKademik Yayıncılık, Ankara, ss.234.

DSİ. (2009). Su ve DSİ, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri, 5. Dünya Su Formu, İstanbul 2009.

DSİ.(2022). Türkiye 2022 yılı su verileri.

DSİ, 2023. <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754>

Elliotta ve ark. (2013). Constraints and potentials of future irrigation water availability on agricultural production under. Climate change. *PNAS* | March 4, 2014 | vol. 111 | no. 9 | 3239–3244.

Engin, S. (2019). Türkiye’de Pamuk Üretiminin Su Ayak İzi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Su Politikaları Ve Güvenliği Anabilim Dalı , Yüksek Lisans Tezi

Ercin, A.E., Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2013). Sustainability of national consumption from a water resources perspective: the case study for France. Ecol. Econ. 88, 133–147.

Ercin, A. E. and Hoekstra, A.Y. (2014) Water footprint scenarios for 2050: A global Analysis. Environment International s.64, ss. 71–82.

Eckardt, N.(2010). Evolution of domesticated bread wheat. The Plant Cell, 22: 993.

Elçi, Ş., Kolsarıcı, Ö., Geçit, H. (1994). Tarla Bitkileri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No:1385, Ders Kitabı:399.

FAO, (2003). Review of Global Agricultural Water Use Per Country, Irrigation Water Withdrawal, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy.

FAO, (2015) Towards A Water And Food Secure Future Critical Perspectives for Policy-makers, Food And Agriculture Organization Of The United Nations, Rome, World Water Council Marseille.

Franke, N.A., Boyacioglu, H., Hoekstra, A.Y. (2013). Grey water footprint accounting. Water Research Report Series No. 65. UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands.

García Morillo, J., Rodríguez Díaz, J.A., Camacho, E., Montesinos, P. (2015). Linking water footprint accounting with irrigation management in high value crops. J. Clean. Prod. 87, 594–602.

Gobin , A., Kersebaum, K.C., Eitzinger, J., Trnka,M., Hlavinka, P.,Taká, Joop Kroes ,J., Ventrella, D.,Dalla Marta, A.,Deelstra, J.,Lali, B.,Nejedlik,P.,Orlandini, S., Peltonen-Sainio,P.,

Rajala, A., Saue ,T., Saylan , L., Stričević,R., Vučetić and Zoumides,C.(2017).Variability in the Water Footprint of Arable Crop Production across European Regions. *Water* 2017, 9, 93; doi:10.3390/w9020093.

Gover, S., Nyamangara, J., Nyakatawa,E.Z. (2020). Climate change signals in the historical water footprint of wheat production in Zimbabwe. *Science of The Total Environment*.Volume 742, 10 November 2020, 140473.

Garofalo,P., Domenico Ventrella,D., Kersebaum,C., Gobin, A., Trnka, M.,Giglio, L.,Dubrovský,M.,Castellini,M.(2019). Water footprint of winter wheat under climate change: Trends and uncertainties associated to the ensemble of crop models. *Science of The Total Environment*.Volume 658, 25 March 2019, Pages 1186-1208.

Gleick, P.H. (2000). Water for Food: How Much Will Be Needed? In: Gleick, P.H. *The World's Water 2000–2001*. Washington DC: Island Press, pp. 63–91.

Guy, P., G., Sarah C., Ayça A., Buket B.D., Deniz Ö. (2014). Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu: Su, Üretim ve Uluslararası Ticaret İlişkisi. WWF-Türkiye.

Hanley, S. (2011). *Australian Water Accounting Standards*, RMIT: Accounting for Sustainability, Australian Government Bureau of Meteorology.

Herath, I., Green, S., Horne, D., Singh, R., Clothier, B.(2014). Quantifying and reducing the water footprint of rain-fed potato production, part I: measuring the net use of blue and green water. *J. Clean. Prod.* 81.

Hoekstra, A.Y. (2010). The water footprint: water in the supply chain. *Water* 93, 12–13.

Hoekstra, A.Y.(2013). Sustainable, efficient, and equitable water use: the three pillars under wise freshwater allocation. Wiley Interdiscip. Rev. Water 1, 31–40. <http://dx.doi.org/10.1002/wat2.1000>.

Hoekstra, A.Y. (2016). A critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA, Ecological Indicators 66, ss.564–573.

Hoekstra, A.Y., Hung, P.Q.(2002). Virtual water trade. A quantification of virtual water flows between nations in relation to international trade. International Expert Meeting on Virtual Water Trade 12(11), pp. 1–244.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K. (2008). Globalization of Water. Sharing the Planet's Freshwater Resources. Blackwell Publishing.

Hoekstra, A.Y. ve Mekonnen, M.M. (2011) Global Water Scarcity: The Monthly Blue Water Footprint Compared To Blue Water Availability For The World's Major River Basins, Value Of Water Research Report Series No.53, UNESCO-IHE Institute for Water Education, The Netherlands.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M. (2011). The Water Footprint Assessment Manual. Water Footprint Network. (February 2011, <http://doi.org/978-1-84971-279-8>).

Hoekstra, A. Y., Wiedmann, T. O. (2014). Humanity's unsustainable environmental footprint. Science. 2014 Jun 6; 344(6188):1114-7. doi: 10.1126/science.1248365.

Huang,J.,Zhang,L.,Tong,W-J.,Chen, F. (2012). The impact of local crops consumption on the water resources in Beijing. Journal of Cleaner Production.Volume 21, Issue 1, January 2012, Pages 45-50.

Huang, J., Ridoutt, B. G., Thorp, K. R., Wang, X., Lan, K., Liao, J., Scherer, L. (2019). Water-scarcity footprints and water productivities indicate unsustainable wheat production in China. *Agricultural Water Management*, 224, 105744.

Hububat Sektör Raporu, (2013). Toprak mahsulleri ofisi genel müdürlüğü. Ankara.

Hussein Ewaid ,S., Ali Abed,S and Al-Ansari,N.(2019). Water Footprint of Wheat in Iraq. *Water*: 11, 535; doi:10.3390/w11030535.

İraz, E.(2021). Fırat havzasının su ayak izinin hesaplanması. Yüksek lisans Tezi. T.C. Batman Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.Ocak-2021. Batman.

Jensen, M.E.(1968). Water consumption by agricultural plants. Water deficits and plant growth, Kozlowski TT ed., Academic, New York, 2: 1-45.

Jensen, M.E., Wright, J.L., and Pratt, B.J.(1971). Estimating soil moisture depletion from climate, Crop, And Soil Data. *Trans. ASAE*. 14(5): 954–959.

Karaca, C., Büyüktaş, D., Tekelioğlu, B., Baştuğ, R.(2017). Kıyas bitki su tüketiminin hesaplanmasında kullanılan eşitliklerin değerlendirilmesi, *Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*. 1: 144-161.

Kersebaum, K. C., Kroes , J.,Gobin,A., Taká ,J.,Hlavinka ,P., Trnka , M., Ventrella , D. ,Giglio , L.,Ferrise , R. Moriondo ,M., Dalla Marta, A., Luo, Q., Eitzinger, J.,Mirschel,W.,Weigel,H-J., Remy Manderscheid, R.,Munir Hoffmann,M., Nejedlik,P., Anjum Iqbal,M., and Hösch,J.2016. Assessing Uncertainties of Water Footprints Using an Ensemble of Crop Growth Models on Winter Wheat / *Water* 2016, 8, 571; doi:10.3390/w8120571.

Kınacı, C. (2023). Su kaynaklarının hidrolojik sistemde olumsuzluk oluşturmada günümüz ve gelecekte en iyi koşullarda kullanımının sağlanması. İklim Değişikliğine Etkileri Çerçevesinde Sürdürülebilir Su, Gıda ve Enerji Politikaları” Gaziemir İzmir Fuar Alanı, 11 Mayıs.

Kourgialas, N.N. Karatzas, G.P., Dokou, Z., Kokorogiannis, A. (2018) Groundwater footprint methodology as policy tool for balancing water needs (agriculture & tourism) in water scarce islands - The case of Crete, Greece, *Science of the Total Environment* s.615, ss.381–389.

Lamastra, L., Suci, N.A., Novelli, E., Trevisan, M. (2014). A new approach to assessing the water footprint of wine: an Italian case study. *Sci. Total Environ.* 490, 748–756.

Liu, C., Kroeze, C., Hoekstra, A.Y., Gerbens-Leenes, P.W. (2012). Past and future trends in grey water footprints of anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs to major world rivers. *Ecol. Indic.* 18, 42–49. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.10.005>

Lovarelli, D., Bacenetti, J., Marco Fiala, M. (2016). Water Footprint of crop productions: A review. *Science of The Total Environment*. Volumes 548–549, 1 April 2016, Pages 236–251

Luana, X., Wua, P., Sunb, S., Wang, Y., Gao, X. (2018). Quantitative study of the crop production water footprint using the SWAT model. *Ecological Indicators* 89 (2018) 1–10

Manzardo, A., Ren, J. Piantella, A. Mazzi, A. Fedele, A. Scipioni, A. (2014) Integration of water footprint accounting and costs for optimal chemical pulp supply mix in paper industry, *Journal of Cleaner Production* 72 ss.167–173.

Mahmoud El-Marsafawy, S ve Ibrahim Mohamed, A. (2021). Water footprint of Egyptian crops and its economics. *Alexandria Engineering Journal*. Volume 60, Issue 5, October 2021, Pages 4711–4721.

Mekonnen, M.M. (2011). Spatially and Temporally Explicit Water Footprint Accounting (PhD Thesis) <http://dx.doi.org/10.3990/1.9789036532211>.

Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2010). A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 14 (7), 1259–1276.

Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15, 1577–1600.

Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2014). Water footprint benchmarks for crop production: a first global assessment. *Ecol. Indic.* 46, 214–223

Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2015). Global grey water footprint and water pollution levels related to anthropogenic nitrogen loads to fresh water. *Environ. Sci. Technol.* <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.5b03191> (151006154421000).

Mekonnen, M.M ve Hoekstra, A.Y. 2020. Sustainability of the blue water footprint of crops. *Advances in Water Resources*. Volume 143, September 2020, 103679.

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

Muratoğlu, A. (2018), Dicle Havzasının Su Ayak İzinin Hesaplanması. 1.Uluslararası İçme suyu ve Atık su Sempozyumu, Afyonkarahisar.

Muratoglu, A. (2019), Water footprint assessment within a catchment: A case study for Upper Tigris River Basin. *Ecological Indicators*, 106, 105467. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2019.105467>

Muratoğlu, A. (2020a). Üretimin su ayak izinin incelenmesi : Diyarbakır ili için bir vaka çalışması. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(2), 845–858. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.543933>

Muratoğlu, A. (2020b). Assessment of wheat's water footprint and virtual water trade: a case study for Turkey. *Ecological Processes*, Accepted M(TBG), 1–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s13717-020-0217-1>

Natali, F., Marta, A.D., Orlando, F., Orlandini, S.(2009). Water use in Italian agriculture: analysis of rainfall patterns. *Ital. J. Agrometeorol.* 55 (3), 56–59.

Nazlı, M. (2017). Yerel, Azerbaycan orijinli ve bazı yabancı buğday çeşitleri arasındaki genetik ilişkinin moleküler düzeyde belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. T.C. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı. Ocak 2017.Kayseri.

Nesbitt, M.(2001).Wheat evolution: integrating archaeological and biological evidence. Institute of Archaeology, 2001, University College London,37-59.

Orlowsky, B., Hoekstra, A.Y., Gudmundsson, L., Seneviratne, S.I. (2014). Today's virtual water consumption and trade under future water scarcity. *Environ. Res. Lett.* 9 (7), 074007. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/9/7/074007>.

Özdoğan, M. (2011): Modeling the impacts of climate change on wheat yields in Northwestern Turkey. *Agriculture, Ecosystems and Env.*, 141 (2011) 1–12 .

Pegram, G., S. Conyngham, A. Aksoy, B. Bahar, Öztok,D. (2014). Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu: Su, Üretim ve Uluslararası Ticaret İlişkisi, WWF-Türkiye

Pellegrini, G., Ingrao, C., Camposeo, S., Tricase, C. (2015). Application of Water Footprint to olive growing systems in the Apulia region: a comparative assessment. *J. Clean. Prod.* 2015.

Pfister, S., Bayer, P. (2014). Monthly water stress: spatially and temporally explicit consumptive water footprint of global crop production. *J. Clean. Prod.* 73, 52–62.

Pilevneli, T., G. Capar, C. S. Cerda . Investigation of climate change impacts on agricultural production in Turkey using volumetric water footprint approach, *Sustainable Production and Consumption*, Vol 35 (2023), 605-623.

Rodriguez, C.I., Ruiz de Galarreta, V.A., Kruse, E.E. (2015) Analysis of water footprint of potato production in the pampean region of Argentina, *Journal of Cleaner Production*, S: 90, ss. 91-96.

Ruini, L., Marino, M., Pignatelli, S., Laio, F., Ridolfi, L. (2013). Water footprint of a large-sized food company: the case of Barilla pasta production. *Water Resour. Ind.* 1-2, 7–24.

Schyns, J.F., Hoekstra, A.Y. (2014). The added value of Water Footprint Assessment for national water policy: a case study for Morocco. *PLoS One* 9 (6)

Shewry, P.(2009).Wheat. *Journal of Experimental Botany*, 60 (6): 1537–1553.

Soylu S, Sade B. (2012). İklim değişikliğinin tarımsal ürünlere etkisi üzerine bir araştırma projesi. *Mevlana Kalkınma Ajansı*, Proje No: TR51/12/TD/01/020, Konya.

SYGM, (2016).İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi, Proje Nihai Raporu, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Sun, S., Wu, P., Wang, Y., Zhao, X., Liu, J., Zhang, X. (2013). The impacts of interannual climate variability and agricultural inputs on water footprint of crop production in an irrigation district of China. *Sci. Total Environ.* 444, 498–507. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.016>.

Sun,S.,Liu,J.,Wu,P.,Wang,Y.,Zhao, X.,Zhang,X.(2016).Comprehensive evaluation of water use in agricultural production: a case study in Hetao Irrigation District, China. Journal of Cleaner Production.Volume 112, Part 5, 20 January 2016, Pages 4569-4575.

Süzer, S.(2022).Buğday Tarımı.Yetiştirme Tekniği Böl. Başk. Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü samisuzer@ttae.gov.tr (Erişim tarihi:22.02.2023)

UN Water, (2015). Eliminating Discrimination and Inequalities in Access to Water and Sanitation. [online] UN-Water. Available at: <https://www.unwater.org/publications/eliminating-discrimination-inequalities-access-water-sanitation/>.

USGS.(2019).Where is the earth's water. <https://www.usgs.gov/media/images/distribution-water-and-above-earth>.

TGİSDF, (2017). Türkiye’de İklim Değişikliği ve Tarımda Sürdürülebilirlik Raporu, 2017. Türkiye Gıda ve İçecek Sanayi Dernekleri Federasyonu (TGİSDF). Ankara.

Thaler, S.,Gobin, A.,Eitzinger,J.(2017). Water Footprint of main crops in Austria. Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment Volume 68, Issue 1, 1–15, 2017. DOI: 10.1515/boku-2017-0001 ISSN: 0006-5471 online, © De Gruyter, www.degruyter.com/view/j/boku.

Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108(50), 20260–20264.

Türkoğlu, N., S. Şensoy, O. Aydın (2016). Effects of climate changes on phenological periods of apple, cherry and wheat in Turkey, International Journal of Human Sciences, Volume: 13 Issue: 1 Year: 2016.

Vanham, D., Bidoglio, G. (2013). A review on the indicator water footprint for the EU28. Ecol. Indic. 26 (2013), 61–75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.10.021>.

Van Vuuren, T.M.A.J., de Wolf, M. A.F., Wittens, Cees. H.A. 2019. Relevance of flexibility versus radial force in rigid versus more flexible venous stents ? Phlebology 2019, Vol. 34(7) 459–465.

Velasquez, E.(2007). Water Trade in Andalusia, Virtual Water: An Alternative Way to Manage Water Use, Ecological Economics, Elsevier Science Pubs, pages 201-208

Wanga, X., Li, X., Fischer, G., Sun, L., Tana, M., Xina, L., Liang, Z. (2015). Impact of the changing area sown to winter wheat on crop water footprint in the North China Plain. Ecological Indicators, Volume 57, October 2015, Pages 100-109.

Watkins, K., Carvajal, L., Coppard, D., Fuentes, R., Ghosh, A., Giamberardini, C., Johansson, C., Seck, P., Ugaz, C., Yaqub, S. (2006). United Nations Development Program, Human Development Report. Macmillan 0-230-50058-7.

WB 2022. WorldBank, Water in Agriculture, <https://www.worldbank.org/en/topic/water-in-agriculture#1>

Wheat. (2014). Wheat: Vital grain of civilization and food security. 2013 Annual Report, CGIAR Research Program on Wheat, Mexico D.F., Mexico.

Wichelns, D. (2015). Virtual water and water footprints do not provide helpful insight regarding international trade or water scarcity. Ecol. Indic. 52, 277–283.

WWAP (World Water Assessment Programme), (2019). The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving No One Behind. Paris, UNESCO. [online] Available at: <https://en.unesco.org/themes/water-security/wwap/wwdr/2019>

WWF 2014. Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu: Su, Üretim Ve Uluslararası Ticaret İlişkisi. ISBN: 978-605-86596-7-4.

Xu, Y., Huang, K., Yu, Y., Wang, X.(2015). Changes in water footprint of crop production in Beijing from 1978 to 2012: a logarithmic mean Divisia index decomposition analysis. J. Clean. Prod. 87, 180–187.

Yea,Q., Lia,Y.,Zhanga, W.,Caic,W.(2019). Influential factors on water footprint: A focus on wheat production and consumption in virtual water import and export regions. Ecological Indicators.Volume 102, July 2019, Pages 309-315

Yeşilköy, S ve Şaylan, L.(2020). Assessment and modelling of crop yield and water footprint of winter wheat by aquacrop. Italian Journal of Agrometeorology (3): 3-14, 2020 Firenze University Press www.fupress.com/ijam Italian Journal of Agrometeorology Rivista Italiana di Agrometeorologia ISSN 2038-5625 (print) | DOI: 10.13128/ijam-859.

Zimmer, D., Renault, D. (2003). Virtual water in food production and global trade: review of methodological issues and preliminary results. World Water Council. Virtual Water Trade 1, pp. 1–19.

Zhang,G.,Wang,X.,Zhang,L.,Xiong,K.,Zheng,C.,Lu,F.,Zhao,H., Zheng,H.,Ouyang, Z. 2018. Carbon and water footprints of major cereal crops production in China. Journal of Cleaner

Production journal homepage: Journal of Cleaner Production, Volume 194, 1 September 2018, Pages 613-623. www.elsevier.com/locate/jclepro.

Zhai, Y., Shen, X., Quan, T., Ma, X., Zhang, R., Ji, C., Zhang, T., Hong, J. (2019a). Impact-oriented water footprint assessment of wheat production in China. *Science of The Total Environment*. Volume 689, 1 November 2019, Pages 90-9.

Zhai, Y., Tan, X., Ma, X., An, M., Zhao, Q., Shen, X. & Hong, J. (2019b). Water footprint analysis of wheat production. *Ecological indicators*, 102, 95-102.

Zhaia, Y., Zhanga, T., Baia, Y., Jia, C., Maa, X., Shena, X., Honga, J. 2021. Energy and water footprints of cereal production in China. *Resources, Conservation and Recycling*. Volume 164, January 2021, 105150.

Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X. (2017). Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 114(35):201701762/DOI:10.1073/pnas.1701762114

Zhuo, L., Mekonnen, M. M., Hoekstra, A. Y. (2014). Sensitivity and uncertainty in crop water footprint accounting: a case study for the Yellow River basin. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 2219–2234, 2014.

Zhuo, L., Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2016). Benchmark levels for the consumptive water footprint of crop production for different environmental conditions: a case study for winter wheat in China. *Hydrology and earth system sciences*, 20 (11), 4547-4559.

7. ÖZET

2022 yılı verilerine göre Türkiye’de toplam sektörel su kullanım miktarı yaklaşık 57 Mm³ olup bunun 44 Mm³’ü tarımsal sulamadan (%77), 13 Mm³’ü ise içme kullanma ve Sanayi’nden %13) kaynaklanmaktadır. Falkenmark Göstergesine göre; kişi başına yıllık su potansiyelinin 1000 m³, 500 m³ ve < 500 m³ olması sırasıyla su stresi, su kıtlığı ve kesin su kıtlığı durumunu göstermektedir. Türkiye’de 2022 yılında kişi başı su potansiyeli 1313 m³/yıl iken bu potansiyelin 2030 yılına kadar 757 m³/yıla düşeceği ve bu duruma bağlı olarak ta bu tarihten sonra ülkemizin su fakiri ülke statüsüne geçeceği beklenmektedir. Bu noktadan hareketle bu tez çalışmasında; Türkiye tarımı içinde ekonomi, beslenme ve sosyokültürel açıdan önemli yeri olan buğdayın su ayak izi incelenmiştir. Türkiye genelinde 2004, 2010 ve 2023 yılları için yapılan hesaplamalara göre kışlık ekmeklik buğday üretiminin toplam su ayak izi 33.52 – 40.00 Mm³/yıl, makarnalık buğday su ayak izinin yalnızca 6.59 Mm³’dür. Kışlık ekmeklik buğday üretiminin toplam WF değeri: Türkiye genelinde 51 Mm³/ton, Fırat havzasında 6.81 Mm³/ton, Dicle havzasında 6.6 Mm³/ton, Diyarbakır ilinde 1.4 Mm³/ton, Sivas ilinde 346 m³/ton, Kırıkkale ilinde 2120.3 m³/ton olarak hesaplanmıştır.

Türkiye geneli, havza, bölge ve iller düzeyinde yapılan buğday su ayak izi hesaplamalarına göre; buğday üretimin toplam su ayak izinin en büyük bileşeni yeşil su ayak izidir ve dolayısıyla da mavi-yeşil su ayak izi oranı düşüktür. Türkiye’nin kışlık ekmeklik buğday yeşil su ayak izi; Türkiye geneli için 45 Mm³/ton, Fırat havzasında 3.36 Mm³/ton, Dicle havzasında 3.63 Mm³/ton, Diyarbakır ilinde 1 Mm³/ton, Sivas ilinde 340 m³/ton, Kırıkkale ilinde 1991 m³/ton olarak hesaplanmıştır. Bu bulgulara göre Türkiye’de buğday üretimi, esas olarak kuru tarım koşullarında yapılması nedeniyle yağmur suyuna bağımlık göstermektedir. Buğday WF değeri bakımından iller ve bölgeler içinde ve arasında genellikle farklılıklar çıkmaktadır. Bu durum illerin ve bölgelerin toprak yapısı, su kaynakları ve bunların

yönetimi, iklim koşulları, tarım uygulamaları, su ayak izini hesaplamada kullanılan modeller vb. faktörlerin değişiminde ileri gelmektedir.

Anahtar kelimeler: Türkiye, tarım, buğday, su ayak izi

8. SUMMARY

According to 2022 data, the total sectoral water use in Turkey is approximately 57 billion m³, of which 44 billion m³ comes from agricultural irrigation (77%), 13 billion m³ from drinking and industrial use (13%). According to Falkenmark Indicator; The annual water potential per capita of 1000 m³, 500 m³ and < 500 m³ indicates water stress, water scarcity and absolute water scarcity, respectively. While the water potential per capita in Turkey was 1313 m³/year in 2022, it is expected that this potential will decrease to 757 m³/year until 2030 and accordingly, our country will become a water-poor country after this date. From this point of view, in this thesis study; The water footprint of wheat, which has a very important place in Turkey's agriculture in terms of economy, nutrition and socio-cultural aspects, has been examined. According to the calculations made for the years 2004, 2010 and 2023 throughout Turkey, the total water footprint of winter bread wheat production is 33.52 – 40.00 billion m³/year, and the water footprint of durum wheat is only 6.59 billion m³. According to the wheat water footprint calculations made at the level of Turkey, basin, region and provinces; The largest component of the total water footprint of wheat production is the green water footprint and therefore the blue-green water footprint is low. Turkey's winter bread wheat green water footprint; It has been calculated as 45 billion m³ for Turkey in general, 3.36-3.63 billion m³ for the Fırat and Dicle basins, and 340 m³/ton and 1 billion m³ for the provinces of Sivas and Diyarbakır provinces. According to these findings, wheat production in Turkey is dependent on rain water, mainly due to dry agriculture conditions. In terms of wheat water footprints, there are usually differences within and between provinces and regions. This situation includes the soil structure

of provinces and regions, water resources and their management, climatic conditions, agricultural practices, models used in calculating water footprints, etc. due to the change of factors.

Keywords: Türkiye, agriculture, wheat, water footprint

