

Buğdayda Farklı Sulama Koşulları Altında Kararlı İzotop Karşılaştırma Metodu Kullanılarak Bitki Su Kullanım (Transpirasyon) Oranının Belirlenmesi*

Sema KALE ÇELİK^{a*} Ufuk TÜRKER^b Sevinç MADENOĞLU^c
Bülent SÖNMEZ^c

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi., Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Isparta

^bAnkara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü, Ankara

^cTarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Ankara
Sorumlu yazar: semakale@isparta.edu.tr

Geliş tarihi:13/09/2018 Yayına kabul tarihi:18/11/2018

Özet: Bu araştırmanın temel amacı, buğdayın transpirasyon oranını belirlemek için oksijen izotop ayırım oranını kullanarak evapotranspirasyonu (ET), topraktan buharlaşma (E) ve transpirasyon (T) bileşeni olarak ayırmaktır. Ankara-Mürted Havzasında 2009-2011 yılları arasında, 5 hektarlık büyük parsellerde sulama yapılmayan (yağışa dayalı; S₀) ve tam sulama (S₁) konularında arazi denemesi yürütülmüştür. İzotopik (¹⁸O/¹⁶O) analizlerin yapılması için 1-15-29 Mayıs tarihlerinde toprak-su-bitki örnekleri alınmıştır. Atmosferik su buharı (δ_{ET}), toprak (δ_E) ve bitki sapı (δ_T) izotopik $\delta^{18}O$ içeriğinden, transpirasyon (F_T %) ve buharlaşma (F_E %) oranını belirlemek için Keeling plot yöntemi kullanılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; iki yıllık ortalama transpirasyon oranı, 1-15-29 Mayıs tarihlerinde S₀ konuda %50.80, 69.09 ve 79.87, S₁ konusunda ise %53.24, 75.82 ve 95.13 olarak bulunmuştur. Bu çalışma kararlı izotopların sınırlı su kaynaklarını korumak ve sürdürülebilir kullanımını desteklemek amacıyla kullanılabilirliğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Transpirasyon oranı, ET ayırımı, oksijen izotopu, buğday.

Determination of transpiration rate using stable isotope mixing model in different irrigation regimes for winter wheat

Abstract: The main goal of this research was to partition evapotranspiration (ET) into evaporation (E) and transpiration (T) components for determining transpiration rate of wheat using by oxygen isotope discrimination. Field experiment was conducted between the year 2009 and 2011 under Rainfed (S₀) and Full irrigation (S₁) conditions on 5 hectares plots in Ankara-Murted Basin. Soil-water-plant samples was taken during growing period for isotopic (¹⁸O/¹⁶O) analyses. Keeling plot methods were used to determine transpiration (F_T %) and evaporation (F_E %) rate from atmospheric vapor (δ_{ET}), soil (δ_E) and plant stem (δ_T) isotopic $\delta^{18}O$ content. According to research results; two years average of T/ET was found for S₀ treatment 50.80, 69.09 and 79.87% and for S₁ treatment 53.24, 75.82 and 95.13% at 1-15-29 May respectively. This study has indicated that stable isotopes can be used to protect limited water resources and to promote sustainable use.

Key words: Transpiration rate, partition ET, oxygen isotope, wheat.

*Proje Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (International Atomic Energy Agency, IAEA) tarafından desteklenmiştir.

Giriş

Dünya'daki kara yüzeyinin yaklaşık %40'ını kaplayan su, kurak ve yarı kurak ekosistemlerde bitki üretimi için önemli bir sınırlayıcı faktördür (Wang et al. 2012). Bitkisel üretimde gereksinilen suyun ana kaynağı olan doğal yağışların gerek miktar gerekse de zaman içindeki dağılımının yetersiz olduğu koşullarda ideal bir bitki yetiştiriciliği için sulama suyu uygulaması zorunlu olmaktadır. Tarım sektörü, Dünya'nın mevcut tatlı su kaynaklarının (%85'e kadar) en büyük tüketicisidir (Tan et al. 2017; Zhou and Hoekstra 2017). Türkiye'de toplam su miktarının %73'ü sulamada kullanılmaktadır (Gökalp ve Çakmak 2016). Türkiye'nin diğer bölgelerinden daha çok suya ihtiyaç duyan bölgesi olan İç Anadolu bölgesinde yüzey ve yeraltı suyu kaynakları sınırlıdır (Oweis and İlbeyi 2001). Bu bölge, 3 milyon hektarlık ekili arazisi ve 6.84 milyon tonluk üretimi ile "tahıl ambarı" olarak bilinmektedir (TÜİK, 2016). İç Anadolu, kıtasal yağış rejimine sahip olup, kış ve ilkbaharda yağış miktarı maksimumdur. Ancak son yıllardaki iklim değişikliği etkisinden dolayı, kış ve ilkbaharda yıllık yağış toplamları ve yağış yoğunluğunun azaldığı görülmektedir (Altın ve ark., 2012). Yağıştaki bu düşüş, aynı zamanda, bitki verimini de negatif yönde etkilemektedir.

Küresel bazda yağışların yaklaşık %60-80'i atmosfere evapotranspirasyon (ET) yoluyla geri döner. Bitkilerden olan terleme (T) ve topraktan olan buharlaşma (E), hidrolojik döngünün önemli bir bileşeni olan evapotranspirasyonun (ET) ana bileşenleridir (Brunel et al., 1997; Shichun et al., 2010; Wang et al., 2014; Yang et al., 2013; Hu et al., 2014). Yalnız bitkinin kullandığı suyun belirlenebilmesi için ET den T ve E miktarlarının ayrılması sınırlı su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir kullanımını için gerekli olan unsurlardan birisidir. ET den E ve T nin ayrılmasında Bowing oranı, Eddy kovaryans veya mikrolizimetre gibi teknikler veya bilgisayar modelleri kullanılmaktadır (Paruelo Sala 1995; Jackson et al., 1995; Wilson et al., 1999; Reynolds et al., 2000; Meyers, 2001; Ferretti et al., 2003; Williams et al.,

2004; Rothfuss et al., 2010; Shichun et al., 2010; Monteith and Unsworth 2013). Ancak büyük ölçeklerde veya bölgesel bazda transpirasyon ölçümleri yapmak oldukça hassasiyet isteyen karmaşık işlemlerdir ve model sonuçlarını kontrol etmek için saha doğrulaması gereklidir (Ferretti et al., 2003). Bununla birlikte son yıllarda ET'yi yapraktan olan T ve topraktan olan E bileşenlerine ayırmak için izotop kütle denge modeli de kullanılmaktadır.

Evapotranspirasyon suyunun (ET $\delta_{ET}^{18}O$) oksijen izotopik bileşimi, transpirasyon suyunun (T $\delta_T^{18}O$) ve buharlaşma suyunun (E $\delta_E^{18}O$) izotopik bileşiminin toplamına eşit olarak verilebilir (Yakir and Sternberg 2000; Zhang et al., 2011).

Nükleer tekniklerin kullanımındaki gelişmeler, toprak-bitki-su bileşimindeki izotopik kompozisyon analizleri için kullanılan kütle spektrometrelerinin hassasiyetinin artırılması nedeniyle olanaklı hale gelmiştir. Su içindeki kararlı oksijen ve hidrojen izotoplarının doğal bolluk seviyesi; bitki kök bölgesindeki suyun hareketinin izlenmesinde ve miktarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Suyun bileşenleri olarak hidrojen ve oksijen hafif ve ağır izotoplar olarak bulunabilmektedir. Bu izotoplar toprak yüzeyinden buharlaşma ile uzaklaşan suyun belirlenmesinde kullanılabilir çünkü hafif izotoplar (1H ve ^{16}O) ağır izotoplardan (2H ve ^{18}O) daha hızlı buharlaşırlar. Toprak suyunda, bitki örtüsü içerisindeki su buharında ve bitki yapraklarında bulunan ve δ ($\delta^{18}O$ ve $\delta^{18}O$) ile ifade edilen doğal oksijen ($^{18}O/^{16}O$) ve hidrojen ($^2H/^1H$) izotopik oranları, evaporasyon ve transpirasyon tahmin edilmesine olanak sağlayabilir (Yepez et al., 2003; Williams et al., 2004). Böylece elde edilen bilgiler ile topraktan olan buharlaşmanın (suyun verimsiz bir şekilde kaybolmasının) minimuma indirilmesini sağlayacak sulama ve arazi yönetiminin teknikleri geliştirilebilir.

Bu çalışmada, buğdayın transpirasyon etkinliğini belirlemek için oksijen izotop ayırım oranından yararlanılarak evapotranspirasyonu (ET), topraktan buharlaşma (E) ve transpirasyon (T) bileşeni olarak ayrılması amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Araştırma, Ankara Mürted Ovası sınırları içerisinde yer alan (39° 57'N ve 32° 53' E, 831 m yükseklikte) Toprak, Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsüne bağlı Sarayköy Araştırma ve Uygulama İstasyonu'nda 2009-2011 yıllarında yürütülmüştür. Bu bölgede karasal iklim hakimdir. Yıllık yağış miktarı 300 mm ile 500 mm arasında değişmektedir. En yüksek yağış Aralık ve Mayıs aylarında gerçekleşir. Bu bölgede ortalama yıllık sıcaklık 12°C'dir (MGM, 2011). İklim verileri deneme alanına 50 metre uzaklıktaki otomatik iklim istasyonundan elde edilmiştir. Deneme alanına ait topraklar genellikle yüzeye yakın kısımlarda siltli, derinlerde kil bünyededir. Toprakların hacim ağırlıkları 1.17 ila 1.56 gr cm⁻³ arasında değişmektedir. Tarla kapasitesi değerleri hacim esasına göre ortalama olarak %37, solma noktası ise %20 civarındadır.

Toprak verimliliği analiz sonuçlarına göre gerekli olan saf azot ve fosfor ekimden

önce 220 kg ha⁻¹ amonyum sülfat (350 kg ha⁻¹ amonyum sülfat 15 Mart'ta) ve 175 kg ha⁻¹ diamonyum fosfat gübresi uygulanarak karşılanmıştır. Denemede Bayraktar ekmeklik buğday çeşidi kullanılmıştır. Orta Anadolu ve Geçit Bölgelerine uygun, kışlık buğday çeşididir. Hektara 180 kg tohum düşecek şekilde Ekim ayının ortalarında buğday ekimi yapılmıştır.

Atmosferdeki su buharının izotopik kompozisyonunun saptanması için gerekli olan atmosferik su buharının toplanmasında kriyojenik tuzak aleti kullanılmıştır. Alet çok amaçlı tuzakları (su buharı, oksijen, karbondioksit, helyum vb.) içermektedir. Sistem termometre ve otomatik sıcaklık kontrolörüne sahiptir. Ayrıca hava nemi ve toprak sıcaklığının ölçülmesi için sensörler kullanılmıştır.

Deneme, S₀; Sulama yapılmayan (yağışa dayalı) ve S₁: Tam sulama yapılan konu olmak üzere 5 hektarlık 2 büyük parselde yürütülmüştür.



Şekil 1. Deneme alanına ait görünüş
Figure 1. The view of the experimental area

Sulama yapılan konu için ilk sulamada 90 cm deki toprak nem içeriği değeri tarla kapasitesine kadar çıkartılmıştır. Daha sonraki sulamalarda, elverişli nemin %40 tüketildiğinde tekrar sulama yapılarak toprak nemi tarla kapasitesine çıkarılmıştır. Her sulamada verilecek su miktarı Eşitlik 1 ile hesaplanmıştır.

$$IW = SWD * (FC - PWP) * A_g * D_{rz} * A \quad [1]$$

Burada IW; her sulamada verilecek sulama suyu miktarı (m³), FC; tarla kapasitesi (%), Pw; daimi solma noktası (%), A_g; hacim ağırlığı (gr m³), D_{rz}; sulanacak toprak derinliği (mm), A; sulanacak alan (ha).



Şekil 2. Bitki saplarından örnekleme yapılması
Figure 2. Sampling of plant stem

Toprak hacimsel nem içeriği haftada iki kez 0-120 cm derinliğinden ilk 15 cm lik kısım gravimetrik yöntemle göre yapılmak üzere 15-30, 30-45, 45-60, 60-90, 90-120 cm aralıklarla nötron prob aleti (CPN-503DR Hydroprobe) kullanılarak izlenmiştir. Arazi koşullarındaki ET iki ardışık nem ölçümü arasındaki zaman periyotları için toprak su dengesinden yararlanılarak (Eşitlik 2) hesaplanmıştır (Jensen et al., 1990).

$$ET = I + P \pm \Delta S - R - D \quad [2]$$

ET; Evapotranspirasyon (mm), P; yağış miktarı (mm), ΔS ; toprak nemindeki değişim (mm), R; yüzey akış (mm, ihmal edilebilir, arazi önceden tesviye edilmiştir) ve D derine sızma (mm, sulamalar tarla kapasitesi seviyesine kadar yapılmıştır. Sulanan parselde 1.2 m derinliğe kadar tansiyometre yerleştirilip derine sızma olup olmadığı kontrol edilmiştir).

Kararlı izotop analizi için numune alma

E ve T nin ayrılmasında en iyi veri setini temsil eden örneklerin alınabilmesi için bitki su tüketiminin arttığı tarihler dikkate alınarak Mayıs ayı içerisinde yaklaşık 15 gün aralıklarla (1-15-29 Mayıs) toprak, bitki ve atmosferik buhar örnekleri alınmıştır.

Bitkinin toprak yüzeyine yakın olan kısmından sap örneği alınmıştır. Yaklaşık 2 gram taze sap örneği alınarak cam örnek kaplarına konulup kapağı kapatıldıktan

sonra üzeri parafilmle sıkıca sarılmış ve soğuk zincirde muhafaza edilerek analize gönderilmiştir (Şekil 2).

Atmosferik buhar örneklemesinin yapılacağı yere yakın bir noktadan 2, 5, 10 ve 15 cm'lik toprak derinliklerinden toprak numuneleri alınmış ve hava geçirmez cam tüplere konularak bitki örneklerinde olduğu gibi muhafazası sağlanmıştır.

Bitki vejetasyon profilinin farklı yüksekliklerinden (toprak yüzeyinden 5, 10, 50, 100 ve 150 cm yüksekliklerde) alınan atmosferik buhar örneklerini toplamak için kriyojenik tuzaklar kurulmuştur. Kriyojenik tuzakın basit anlamda akış şeması Şekil 3'de verilmiştir. Atmosferden pompanın emiş gücü ile çekilen hava akış hızı 400 mL dak⁻¹ yi aşmayacak şekilde akış ölçerden geçmektedir. Akış ölçerden gelen hava kriyojenik tuzak düzeneğine ulaşmaktadır. Düzenek içerisine giden hava sıvı azot doldurulmuş (Etil alkol ile -71 °C'ye gelene kadar karıştırılarak sabitlenmiştir) tanktan geçmektedir. Tuzaktan geçen hava içerisindeki su buharı ani soğuma ile tutulmuş ve geri kalan kuru hava tekrar pompaya dönmüştür. Buhar örnekleri küçük cam şişelerde toplanmış izotopik analiz için laboratuvara aktarmak üzere yaklaşık ± 2 °C'de saklanmıştır.

Alınan tüm örnekler, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA), Seibersdorf Kararlı İzotop Laboratuvarı, Viyana, Avusturya'da standart bir kütle spektrometresi kullanılarak analiz edilmiştir.

Burada; T toprak yüzeyinin 5 cm altındaki Kelvin cinsinden toprak sıcaklığıdır (Majoube, 1971), toprak yüzeyindeki buharlaşma suyunun oksijen izotopik kompozisyonu $\delta_E^{18}O$ (‰) olarak Eşitlik 6'dan hesaplanabilmektedir.

$$\delta_E^{18}O (\text{‰}) = \left(\frac{\delta_e}{0.002052} - 1 \right) * 1000 \quad [6]$$

İzotopik kararlı durum koşulları altında, bitki kökleri tarafından alınan ve yapraklara taşınan suyun izotop oranı, transpirasyon esnasında yaprak yüzeyinden çıkan suyun izotop oranına eşit olarak kabul edilir. Bu durumda bitkinin köke yakın kısmından alınan bitki sapındaki suyun δ değerinin ölçülmesi bitkiden terleme yoluyla uzaklaşan suyun yani transpirasyonun izotopik oranını (δT) temsil etmek için yeterlidir (Flanagan et al., 1991; Heng et al., 2014).

ET ayırım modeli

Buharlaşma ve transpirasyonun (E/ET veya T/ET) oransal katkısını belirlemek için basit bir izotopik kütle denge modeli olan Keeling plot (1961) modeli kullanılmıştır. Bitki vejetasyon profilinin çeşitli yüksekliklerinden sıcaklık, nem ölçümü yapılmıştır. Aynı anda toplanan su buharı örneğinin izotop içeriklerinin ($\delta^{18}O$) standartlara göre düzeltilmiş hali ile örneğin su içeriği (mol m^{-3}) değerlerden yararlanılarak grafikler çizilmiştir. Bu grafiklerin eğimleri δ_{ET} değerini vermektedir.

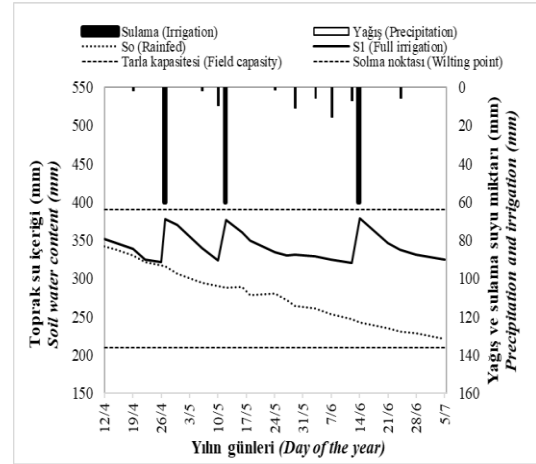
Topraktan olan buharlaşma (δE), bitkiden olan transpirasyon (δT), toplam ET (δET) nin $\delta^{18}O$ izotopik kompozisyonu bulunduktan sonra Eşitlik 7'de yerine konularak toplam ET'ye transpirasyon (T) ve evaporasyonun (E) yüzde katkısı hesaplanmıştır (Yakir and Sternberg 2000).

$$F_T = \frac{\delta_{ET} - \delta_E}{\delta_T - \delta_E} * 100 \quad [7]$$

Burada δE ve δT sırasıyla toprak buharlaşması ve bitki transpirasyonunun izotopik bileşimini göstermektedir. E bileşeninin ET'ye katkısı ($ET = E + T$ olduğundan) $F_E = (100 - F_T)$ olarak

Bulgular ve Tartışma

Deneme 2009-2010 ve 2010-2011 yılları arasında yürütülmüştür. Sulanan parcel 4 kez sulama yapılmış olup (çıkış, 27 Nisan, 12 Mayıs ve 14 Haziran) parselde ortalama (2009-2010/ 2010-2011) olarak 240 mm sulama suyu verilmiştir. FAO-Penman-Monteith methoduna (Allen et al., 1998) göre hesaplanan referans ET_0 değerleri ise konulara göre 422 ve 609 mm olarak bulunmuştur. Konulara göre ortalama toprak nem içeriği değerlerine ilişkin grafik Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Ortalama toprak su içeriği değerleri
Figure 4. Average soil water contents

Toprak buharlaşma değerleri Craig-Gordon (1965) modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Eşitlik 4, 5 ve 6'da verilen $\delta_E^{18}O$ tahmini için gerekli parametreler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Buharlaşma akışının izotopik bileşimini tahmin etmede kullanılan parametreler
Table 1. Parameters used to estimate the isotopic composition of evaporation flux

Konular (Treatments)	S ₀			S ₁		
Örnekleme günleri (Sampling days)	1 Mayıs (1 May)	15 Mayıs (15 May)	29 Mayıs (29 May)	1 Mayıs (1 May)	15 Mayıs (15 May)	29 Mayıs (29 May)
Toprak sıcaklığı °C (Soil temperature °C)	19.72	20.15	20.75	16.18	17.23	17.1
Toprak yüzeyindeki havanın nemi % (Air humidity at soil surface %)	42.23	55.19	56.48	42.56	59.15	60.25
Toprak yüzeyindeki havanın sıcaklığı °C (Air temperature at soil surface °C)	16.71	17.85	19.12	13.24	15.41	14.57
$\delta_s^{18}\text{O}$ (‰)	-6.3	-7.5	-8.5	-10.1	-11.4	-14.2
$\delta_a^{18}\text{O}$ (‰)	-18.0	-17.7	-18.0	-23.4	-21.9	-23.9
Sıcaklığa bağlı denge katsayısı (α^*) (Temperature dep. equilibrium coefficient)	1.0099	1.0098	1.0098	1.0101	1.0100	1.0100
Kinetik katsayı (α_k) (Kinetic coefficient)	1.0189	1.0189	1.0189	1.0189	1.0189	1.0189
δ_e	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019
$\delta_E^{18}\text{O}$ (‰)	-24.55	-31.88	-36.81	-22.48	-33.93	-42.66

Elde edilen sonuçlara göre toprak yüzeyinden buharlaşan suyun oksijen izotopik kompozisyonu (δ_E) sulama yapılmayan konuda (S₀) -24.55 ila -36.81 (‰) arasında iken tam sulama yapılan (S₁) konuda -26.74 ila -42.16 (‰) aralığında bulunmuştur.

Bitki sapındaki su örneklerinin izotopik bileşimi, transpirasyonla uzaklaşan su

buharının izotopik oranını tahmin etmek için kullanılmıştır ($\delta_T^{18}\text{O}$). Çalışmada elde edilen sonuçlar Çizelge 2’de verilmiştir. Daha önceki yapılan çalışmalarda, bitki sapındaki suyun izotopik kompozisyonun, yapraklardaki suyun izotopik kompozisyona eşit veya çok yakın olduğu belirlenmiştir (Yepez et al., 2003; Xu et al., 2008; Yuan et al., 2010).

Çizelge 2. Bitki sapındaki suyun $\delta^{18}\text{O}$ kompozisyonu
Table 2. $\delta^{18}\text{O}$ composition of stem water

Konular (Treatments)	S ₀			S ₁		
Örnekleme günleri (Sampling days)	1 Mayıs (1 May)	15 Mayıs (15 May)	29 Mayıs (29 May)	1 Mayıs (1 May)	15 Mayıs (15 May)	29 Mayıs (29 May)
$\delta_T^{18}\text{O}$	-8.59	-9.85	-9.89	-9.1	-9.92	-12.48

Keeling plot metodu (Keeling, 1961) evapotranspirasyonun ($\delta_{ET}^{18}\text{O}$) izotopik bileşimini elde etmek için kullanılmıştır. Buğday parselinde çeşitli yüksekliklerinden toplanan su buharı örneğinin izotop içeriği ($\delta^{18}\text{O}$) ile su buharı konsantrasyonunun tersi ($1/[\text{H}_2\text{O}]$) arasındaki lineer regresyonları gösteren grafikler çizilmiştir. Grafiklerin eğimleri δ_{ET} değerini vermektedir. 1-15-29 Mayıs örnekleme günlerine ilişkin farklı regresyon çizgileri sırasıyla Şekil 4’de gösterilmektedir.

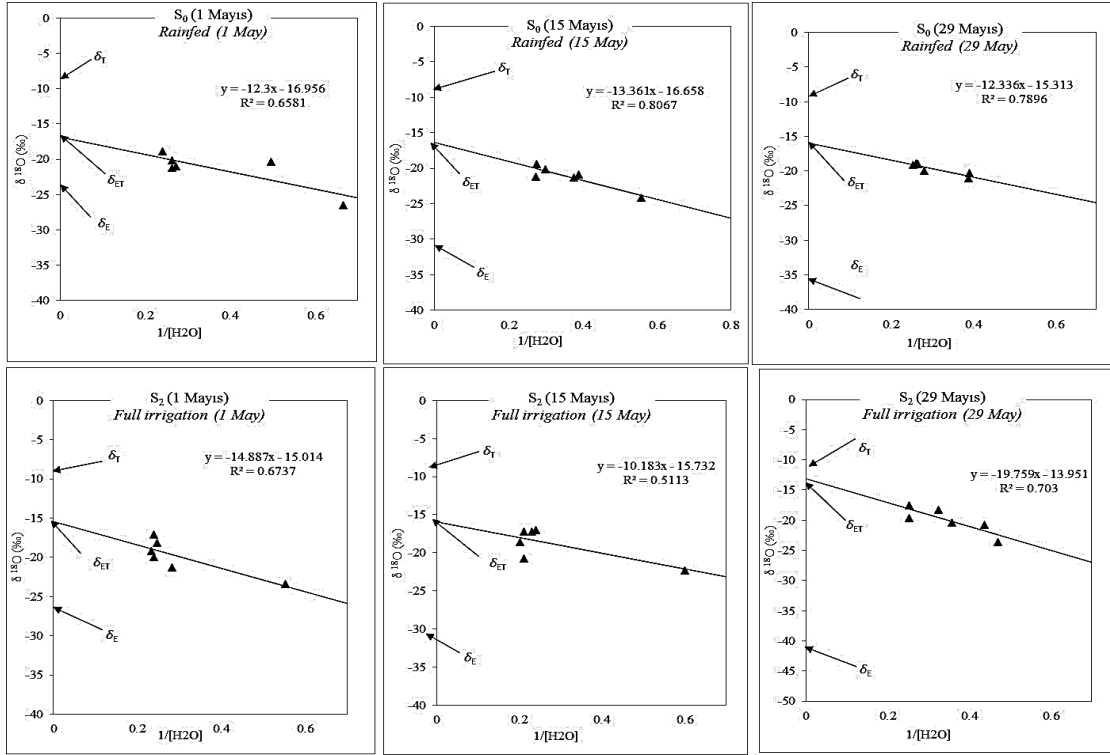
Kışlık buğdayın farklı sulama konularında elde edilen atmosferik su buharı (δ_{ET}), toprak (δ_E) ve bitki sapındaki (δ_T) $\delta^{18}\text{O}$

içeriklerinden yararlanılarak belirlenmiş transpirasyon (%F_T) ve evaporasyon (%F_E) oranları Çizelge 3’de verilmiştir.

Kışlık buğdayda topraktan olan buharlaşma ve bitkiden olan terleme, esas olarak sulamadan etkilenmektedir. Sulama suyu miktarındaki azalma ile toprak buharlaşması azalmaktadır (Liu et al., 2002; Shang et al., 2004). Çizelge 3’te de görüleceği üzere Mayıs ayı boyunca sulama yapılmayan konuda (S₀) toprak su içeriğinin sulama yapılan konuya göre daha az olmasından dolayı transpirasyon miktarı sulama yapılan (S₁) konusuna göre daha düşük bulunmuştur.

Şekil 4. Farklı sulama koşullarında 1-15-29 Mayıs'ta farklı yüksekliklerden toplanan su buharı örneğinin izotop içeriği ($\delta^{18}\text{O}$) ile su buharı konsantrasyonunun tersi ($1/[\text{H}_2\text{O}]$) ilişkisi

Figure 4. Relationship between isotopic content ($\delta^{18}\text{O}$) and invers concentration ($1/[\text{H}_2\text{O}]$) of water vapor which collected from different height under different irrigation conditions



Çizelge 3. Kışlık buğdayın ortalama transpirasyon ve evaporasyon yüzdeleri

Table 3. Average transpiration and evaporation rates of winter wheat

Konular (Treatments)	S ₀			S ₁		
Örnekleme günleri (Sampling days)	1 Mayıs (1 May)	15 Mayıs (15 May)	29 Mayıs (29 May)	1 Mayıs (1 May)	15 Mayıs (15 May)	29 Mayıs (29 May)
$\delta_{\text{E}}^{18}\text{O}$ (‰)	-24.55	-31.88	-36.81	-22.48	-33.95	-42.66
$\delta_{\text{T}}^{18}\text{O}$ (‰)	-9.59	-9.85	-9.89	-8.45	-9.92	-12.48
$\delta_{\text{ET}}^{18}\text{O}$ (‰)	-16.95	-16.66	-15.31	-15.01	-15.73	-13.95
F _T (%)	50.80	69.09	79.87	53.24	75.82	95.13
F _E (%)	49.20	33.62	21.84	42.44	24.20	4.87

$\delta_{\text{E}}^{18}\text{O}$, $\delta_{\text{T}}^{18}\text{O}$, $\delta_{\text{ET}}^{18}\text{O}$; the oxygen isotopic composition of evaporation water from soil surface, plant-stem and evapotranspiration flux respectively, F_T and F_E fraction of plant transpiration and soil evaporation respectively into the evapotranspiration.

Mayıs ayının başında her iki konudaki evaporasyon ve transpirasyon oranları birbirine çok yakın olmakla birlikte ikinci ve üçüncü örnekleme tarihlerinde S₀ konusundaki topraktan buharlaşma miktarı S₁ konusuna göre daha yüksek bulunmuştur.

Mayıs sonunda buğdayın su tüketimi maksimum düzeye çıkmış olup tam sulama (S₁) yapılan konuda uygulanan sulama suyunun %95'lik kısmı bitki tarafından doğrudan kullanılırken (T/ET), %5'lik kısmı ise toprak yüzeyinden buharlaşmıştır.

Birçok araştırmacı, transpirasyonun ET'nin büyük bir bölümünü oluşturduğunu belirtmektedir (Moreira et al., 1997; Yopez et al., 2003; Sun et al., 2014). Wang and Yakir (1995) ve Yuan et al., (2010) tarafından kış buğdayda yapılan çalışmalarda bitki transpirasyonunun ET'nin % 97 ve % 96'sını oluşturduğu bulunmuştur.

Sonuç

Yapılan bu çalışma ile bitki su tüketimi çalışmalarında kararlı oksijen izotopunun etkili bir şekilde kullanılabilceğini ve tüketilen suyun ne kadarının sadece bitki tarafından kullanıldığını belirlenebileceğini göstermektedir.

Araştırma sonuçlarına göre S_0 konusunda Mayıs ayı başında, ortasında ve sonunda elde edilen transpirasyon oranlarının ortalaması %66, S_1 konusunda ise %75 olarak bulunmuştur. Bitki gelişiminin yüksek olduğu Mayıs ayı sonunda sulama yapılan konunun transpirasyonu sulama yapılmayan konuya göre %19 daha fazla olmuştur. Ayrıca sulama suyu olarak uygulanan suyun bitki su tüketiminde kullanılmayan ve toprak yüzeyinden buharlaşan kısmının sulama yapılmayan konuda %33.5, sulama yapılan konuda ise %25.3'lük oranından tasarruf sağlanması mümkün olabilecektir.

Yalnız bitki tarafından terleme yoluyla oluşan su tüketimi bilindiğinde ise, topraktan olan buharlaşmanın en az düzeye indirilmesi için en uygun arazi kullanım ve sulama yönetim stratejilerini belirlenmesi ve geliştirilmesi mümkün olabilecektir. Ayrıca, bitki su verimliliğini yani bitki tarafından alınan/kullanılan her bir birim suyun pazarlanabilir bitki verimin artırması için uygulanabilecek sulama programlamaları yapılabilecektir. Bitkinin ihtiyaç duyduğu suyun dışında su uygulaması söz konusu olmayacağından bitki kök bölgesinden uzaklaşan su miktarı azaltılmış ve dolayısıyla gübre, tarımsal ilaç ve organik madde kayıpları en az düzeye indirilebilecektir. Oldukça hızlı gelişen teknoloji ile birlikte tarımsal alanlarda izotopik tekniklerin kullanım olanakları da artış olacaktır. Küresel iklim değişikliği sonucu ortaya çıkan, kıt su kaynaklarının etkin kullanımı

konusuna yönelik üretilen çözümlerde izotopik tekniklerin kullanımı mümkün olabilecektir.

Kaynaklar

- Allen, R.G., Pereira L.S., Raes D., S.M., 1998. Crop evapotranspiration : Guidelines for computing crop water requirements, in: FAO Irrigation and Drainage Paper No.56. pp. 17–27.
- Altın, T.B., Barak, B., Altın, B. N., 2012. Change in Precipitation and Temperature Amounts over Three Decades in Central Anatolia, Turkey. *Atmospheric and Climate Sciences*. 2(1), 19-23.
- Brunel, J.P., Walker, G.R., Dighton, J.C., Monteny, B., 1997. Use of stable isotopes of water to determine the origin of water used by the vegetation and to partition evapotranspiration. A case study from HAPEX-Sahel. *J. Hydrol.* 188–189, 466–481.
- Craig, H., Gordon, L.I., 1965. Deuterium and oxygen 18 variations the ocean and the marine atmosphere. *Stable Isot. Oceanogr. Stud. Paleotemp.* 9–130.
- Ehleringer, J.R., Buchmann, N., Flanagan, L.B., 2000. Carbon isotope ratios in belowground carbon cycle processes. *Ecol. Appl.* 10, 412–422.
- Ferretti, D.F., Pendall, E., Morgan, J.A., Nelson, J.A., LeCain, D., Mosier, A.R., 2003. Partitioning evapotranspiration fluxes from a Colorado grassland using stable isotopes: seasonal variations and ecosystem implications of elevated atmospheric CO₂. *Plant Soil* 254, 291–303.
- Flanagan, L.B., Comstock, J.P., Ehleringer, J.R., 1991. Comparison of modeled and observed environmental influences on the stable oxygen and hydrogen isotope composition of leaf water in *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Physiol* 96, 588–596.
- Gokalp, Z., Cakmak, B. 2016. Agricultural water management in Turkey: Past-present-future. *Current Trends in Natural Sciences*. 5(9), 133-138.

- Heng, L.K., Hsiao T.C., Williams D., Fereres E., Cepuder P., Denmead T., Amenou N., Dhan N., Duong H., Kale S., Li B.G, Mahmood K., Mei X.R., Phiri E., Z.S. and N.M., 2014. Managing irrigation water to enhance crop productivity under water-limiting conditions: A role for isotopic techniques. Intern. Symp. on Man. Soils for Food Sec. and Clim. Chan. Adap. and Mitig. pp. 323–329.
- Hu, Z., Wen, X., Sun, X., Li, L., Yu, G., Lee, X., Li, S., 2014. Partitioning of evapotranspiration through oxygen isotopic measurements of water pools and fluxes in a temperate grassland. *J. Geophys. Res. Biogeosciences* 358–371.
- Jackson, R.B., O.E. Sala, J.M. Paruelo, and H.A.M., 1998. Ecosystem water fluxes for two grasslands in elevated CO₂: a modeling analysis. *Oecologia* 113, 537–546.
- Jensen, M.E., Burman, R.D., Allen R.G., 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice. Am. Soc. Civ. Eng. 70, 332.
- Keeling C.D, 1961. The concentration and isotopic abundances of carbon dioxide in rural and marine air. *Geochim. Cosmochim. Acta* 24, 277–298.
- Liu, C., Zhang, X., Zhang, Y., 2002. Determination of daily evaporation and evapotranspiration of winter wheat and maize by large-scale weighing lysimeter and micro-lysimeter. *Agric. For. Meteorol.* 111, 109–120.
- Majoube, M., 1971. Fractionation of oxygen-18 and deuterium between water and its vapor. *J. Chim. Phys.* 197.
- Meyers, T.P., 2001. A comparison of summertime water and CO₂ fluxes over rangeland for well watered and drought conditions. *Agric. For. Meteorol.* 106, 205–214.
- Moncrieff, J.B., Jarvis, P.G., Valentini, R., 2000. *Methods in ecosystem science.* Springer, New York 407.
- Monteith, J.L., Unsworth, M.H., 2013. *Principles of environmental physics* plants, animals and the atmosphere, Fourth. ed., pp:300.
- Moreira, M. Z., Sternberg, L.S., Martinelli, L., Reynaldo, L.V, Barbosa, E., Bonates, L., Nepstad, D., 1997. Contribution of transpiration to forest ambient vapour based on isotopic measurements. *Glob. Chang. Biol.* 3, 439–450.
- Paruelo, J.M., Sala, O., 1995. Water losses in the Patagonian steppe: A modeling approach. *Ecology* 76, 510–520.
- Reynolds, J.F., Kemp, P.R., Tenhunen, J.D., 2000. Effects of long-term variability on evapotranspiration and soil water distribution in the Chihuahuan Desert: A modeling analysis. *Plant Ecol* 150, 145–159.
- Rothfuss, Y., Biron, P., Braud, I., Canale, L., Durand, J.L., Gaudet, J.P., Richard, P., Vauclin, M., Bariac, T., 2010. Partitioning evapotranspiration fluxes into soil evaporation and plant transpiration using water stable isotopes under controlled conditions. *Hydrol. Process* 24, 3177–3194.
- Oweis T, Ilbeyi A (2001). Supplemental irrigation potential for wheat in the Central Anatolian plateau. International central for agricultural research and dry areas ICARDA report. 103: 78-87.
- Shang, S., Li, X., Mao, X., Lei, Z., 2004. Simulation of water dynamics and irrigation scheduling for winter wheat and maize in seasonal frost areas. *Agric. Water Manag.* 68, 117–133.
- Shichun, Z., Xuefa, W., Jianlin, W., Guirui, Y., Xiaomin, S., 2010. The use of stable isotopes to partition evapotranspiration fluxes into evaporation and transpiration. *Acta Ecol. Sin.* 30, 201–209.
- Sun, S., Meng, P., Zhang, J., Wan, X., Zheng, N., He, C., 2014. Partitioning oak woodland evapotranspiration in the rocky mountainous area of North China was disturbed by foreign vapor, as estimated based on non-steady-state ¹⁸O isotopic composition. *Agric. For. Meteorol.* 184, 36–47.
- Tan, Q., Zhang, S., Li, L., 2017. Optimal use of agricultural water and land

- resources through reconfiguring crop planting structure under socioeconomic and ecological objectives. *Water*. 9, 488.
- TUIK, 2016. Türkiye İstatistik Kurumu. Bitki Üretim Verileri.
- Wang, X.F., Yakir D., 1995. Temporal and spatial variations in the oxygen-18 content of leaf water in different plant species. *Plant Cell Environ.* 18, 1377–1385.
- Wang, X.F., Yakir, D., 2000. Using stable isotopes of water in evapotranspiration studies. *Hydrol. Process.* 14, 1407–1421.
- Wang L., D’Odorico, P., Evans, J.P., Eldridge, D.J., McCabe, M. F., Caylor, K. K and King E. G. 2012. Dryland ecohydrology and climate change: critical issues and technical advances *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 2585–2603.
- Wang, X.M., Liu, H.J., Zhang, L.W., Zhang, R.H., 2014. Climate change trend and its effects on reference evapotranspiration at Linhe Station, Hetao Irrigation District. *Water Sci. Eng.* 7, 250–266.
- Williams, D.G., Cable, W., Hultine, K., Hoedjes, J.C.B., Yepez, E.A., Simonneaux, V., Er-Raki, S., Boulet, G., De Bruin, H.A.R., Chehbouni, A., Hartogensis, O.K., Timouk, F., 2004. Evapotranspiration components determined by stable isotope, sap flow and eddy covariance techniques. *Agric. For. Meteorol.* 125, 241–258.
- Wilson, K.B., Carlsoni, T.N., Bunce, J., 1999. Feedback significantly influences the simulated effect of CO₂ on seasonal evapotranspiration from two agricultural species. *Glob. Chang. Biol.* 5, 903–917.
- Xu, Z., Yang, H., Liu, F., An, S., Cui, J., Wang, Z., Liu, S., 2008. Partitioning evapotranspiration flux components in a subalpine shrubland based on stable isotopic measurements. *Bot. Stud.* 49, 351–361.
- Yakir, D., Sternberg, L.S., 2000. The use of stable isotope to study ecosystem gas exchange. *Oecologia* 123, 297–311.
- Yang, Y., Scott, R.L., Shang, S., 2013. Modeling evapotranspiration and its partitioning over a semiarid shrub ecosystem from satellite imagery: a multiple validation. *J. Appl. Sci.* 7, 1–15.
- Yepez, E.A., Williams, D.G., Scott, R.L., Lin, G., 2003. Partitioning overstory and understory evapotranspiration in a semiarid savanna woodland from the isotopic composition of water vapor. *Agric. For. Meteorol.* 119, 53–68.
- Yuan, G.F., Zhang, N., Sun, X.M., Wen, X.F., Zhang, S.C., 2010. Partitioning wheat field evapotranspiration using Keeling plot method and continuous atmospheric vapor $\delta^{18}O$ data. *Chinies J. Plant Ecol.* 34, 170–178.
- Zhang, Y., Shen, Y., Sun, H., Gates, J.B., 2011. Evapotranspiration and its partitioning in an irrigated winter wheat field: A combined isotopic and micrometeorologic approach. *J. Hydrol.* 408, 203–211.
- Zhou, L., Hoekstra, A.Y., 2017. The effect of different agricultural management practices on irrigation efficiency, water use efficiency and green and blue water footprint. *Front. Agr. Sci. Eng.* 4(2): 185–194