



Silajlık Mısırdan Uydu Görüntülerinden Elde Edilen Bitki Su Tüketimi Verileri ile Verim Tahmini

Silage Maize Yield Estimation With Evapotranspiration Data Obtained From Satellite Images

Emre TUNCA¹, Eyüp Selim KÖKSAL²

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Samsun, Türkiye
• emre.tunca@omu.edu.tr • ORCID > 0000-0001-6869-9602

² Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Samsun, Türkiye
• eselim@omu.edu.tr • ORCID > 0000-0002-5103-9170

Makale Bilgisi / Article Information

Makale Türü / Article Types: Araştırma Makalesi / Research Article

Geliş Tarihi / Received: 13 Haziran / June 2021

Kabul Tarihi / Accepted: 24 Eylül / September 2021

Yıl / Year: 2022 | **Cilt – Volume:** 37 | **Sayı – Issue:** 1 | **Sayfa / Pages:** 127-150

Atıf/Cite as: Tunca, E. ve Köksal, E. S. "Silajlık Mısırdan Uydu Görüntülerinden Elde Edilen Bitki Su Tüketimi Verileri ile Verim Tahmini - Silage Maize Yield Estimation with Evapotranspiration Data Obtained from Satellite Images". Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi - Anadolu Journal of Agricultural Sciences, 37(1), Şubat 2022: 127-150.

<https://doi.org/10.7161/omuanajas.951822>

Sorumlu Yazar/Corresponding Author: emre.tunca@omu.edu.tr



SİLAJLIK MISIRDA UYDU GÖRÜNTÜLERİNDEN ELDE EDİLEN BİTKİ SU TÜKETİMİ VERİLERİ İLE VERİM TAHMİNİ

ÖZ:

Bitkisel üretim alanlarındaki bitki su tüketiminin (ET) belirlenmesi ve verimin tahmin edilmesinde uzaktan algılama tekniklerinin kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır. Hasat öncesinde verimin hassas bir biçimde tahmin edilebilmesi için uzaktan algılanmış veriler ve bitki verimine dayanan istatistiksel modellere ihtiyaç bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı Landsat 8 uydu görüntülerinden yararlanılarak silajlık mısırın gelişme dönemi boyunca ET değerlerinin izlenmesi ve bu ET değerlerinin verim ile olan ilişkisinin ortaya konulmasıdır. Araştırma 2014 yılında Sultansuyu Tarım İşletmesi Müdürlüğü İşletmesine ait silajlık mısır üretim alanlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada silajlık mısır ET değerleri Evapotranspirasyon Haritalamasında Yüksek Çözünürlük ve İçsel Kalibrasyon Modeli (METRIC) ile hesaplanmıştır. Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre, ağustos ayının ilk haftasına ait uydu görüntülerinden elde edilen ET değerleri kullanılarak yapılan verim tahmini arazide gerçekleşen verim değerleriyle büyük bir uyum (RMSE=1.52 ton ha⁻¹) içerisindeydir. Sonuç olarak gerçekleştirilen bu araştırma ile farklı tarihlerdeki Landsat 8 uydu görüntüleri METRIC modeli ile işlenerek silajlık mısırın verim değerleri başarılı bir biçimde tahmin edilebileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bitki su tüketimi, Landsat 8, METRIC, Silajlık mısır, Uzaktan algılama, Verim tahmini



SILAGE MAIZE YIELD ESTIMATION WITH EVAPOTRANSPIRATION DATA OBTAINED FROM SATELLITE IMAGES

ABSTRACT:

Remote sensing techniques are becoming widespread to the estimation of crop evapotranspiration (ET) and yield in the crop production areas. Remotely sensed data and statistical models based on crop yield are needed to accurately estimation of crop yield before the harvest. The aim of this study is monitoring the ET values of silage maize during the crop growing period by using Landsat 8 satellite images and determine the relationship between ET and yield. This research was carried out in the silage maize fields of Sultansuyu Agricultural Enterprise Directorate in 2014. Silage maize ET values were calculated by using the Mapping EvapoTranspiration at High Resolution and Internalized Calibration (METRIC) model. According to the results of this study, estimated yield values by using the ET values

obtained from the satellite images of the first week of August is in great agreement with the measured yield values (RMSE=1.52 ton ha⁻¹). As a conclusion, it has been revealed that silage maize yield values can be estimated precisely by processing Landsat 8 satellite images on different dates with the METRIC model.

Keywords: *Evapotranspiration, Landsat 8, METRIC, Remote sensing, Silage maize, Yield estimation*



1. GİRİŞ

Dünya nüfusu, yapılan en güncel tahminlere göre 8.0 milyara yaklaşmıştır. 2050 yılında ise bu rakamın 9.7 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir (Parashar ve Parashar, 2020). Artan nüfusla birlikte gelen beslenme ve kişi başına düşen su kaynaklarındaki azalma sorunu su kaynaklarının planlanması ve yönetimini giderek önemli bir hale getirmiştir (Droogers ve ark., 2010). Tarım, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde, su kaynaklarının en büyük kullanıcısı durumundadır (Al-Gaadi ve ark., 2016). Tarımsal sulama yönetiminde aşırı su kullanımı, su iletim randımanının düşük olması, bilinçsiz sulama gibi sorunlar dikkate alındığında su kaynaklarının etkin kullanılması giderek önem kazanmaktadır (Çakmak ve ark., 2006). Bu kapsamda su kaynaklarının yönetimi, sulama sistemlerinin planlanması, sulama programlaması ve evapotranspirasyonun (ET) belirlenmesi gerekmektedir. Bunların başarılmasında ET en önemli parametrelerden birisidir (Gowda ve ark., 2008).

Tanım olarak ET, topraktan buharlaşan su ile bitki bünyesinde bulunan suyun terleme yolu ile atmosfere iletilmesidir. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde, tarımda kullanılan sulama suyunun büyük bir bölümü ET ile atmosfere iletilmektedir. Bu kapsamda ET'nin hassas biçimde belirlenmesi mevcut su ile en yüksek bitkisel üretimin elde edilmesi için oldukça önemlidir (Köksal ve ark., 2010). ET, toprak su bütçesi ile en doğru olarak ölçülür, en hassas toprak su bütçesi hesaplamaları ise tartılı lizimetre sistemleri kullanılarak belirlenebilmektedir. Ancak, tarla denemeleri ile belirlenen ET, tartılı lizimetreler ile belirlenenden daha fazla hataya açıktır (Allen ve ark., 2011a, b). Ayrıca ET tarla seviyesinde mikro meteorolojik yöntemler (Eddy Kovaryans, Bowen Oranı vb.) kullanılarak belirlenebilmektedir (Mengistu ve Savage, 2010). Fakat bu sistemler ile yapılan ET ölçümleri noktasaldır ve sadece araştırmanın yapıldığı tarım arazilerinin bulunduğu çevre koşullarını yansıtmaktadır. Söz konusu ET ölçümleri daha çok ET tahmin modellerinin doğrulanması için kullanılmaktadır. ET tahmin modelleri ise büyük alanlar için özellikle tam sulama koşulunu sağlamaktadır (Allen ve ark., 1998). Ancak su eksikliği olan tarım arazileri için bu modeller çoğunlukla iyi sonuç

vermemektedir. Çünkü yağış ve sulamaya bağlı olan su eksikliği ve ET, bir tarım arazisinden diğerine ve bir bitkinin yetişme dönemi içerisinde farklılıklar gösterebilmektedir. Bölgesel ölçekte ET'nin tahmin edilmesi konumsal ve zamansal bilginin sınırlı olmasından dolayı oldukça zordur. Günümüzde uydu görüntüleri yardımıyla bu eksiklik giderilebilmektedir (Santos ve ark., 2008). Uydu görüntüleri kullanılarak farklı vejetasyon düzeyine sahip bölgelerde dahi ET haritaları oluşturulabilmektedir. Bu kapsamda, ET'nin belirlenmesi için Evapotranspirasyon Haritalanmasında Yüksek Çözünürlük ve İçsel Kalibrasyon (METRIC) modeli (Allen ve ark., 2007), Tarım arazileri için Yüzey Enerji Dengesi Algoritması (SEBAL) modeli (Bastiaanssen ve ark., 1998), İki Veri Kaynağına Sahip Enerji Dengesi (TSEB) modeli (Norman ve ark., 1995) ve Basitleştirilmiş Yüzey Enerji Dengesi (SSEB) (Senay ve ark., 2011) gibi pek çok ET tahmin modeli geliştirilmiştir. METRIC, SEBAL modelinin temelleri üzerine kurulmuş bir ET tahmin modelidir ve geliştirilen bu modeller arasında en fazla tercih edilenlerden birisidir. Al-Gaadi ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada arazide ölçülen ET değerleri ile METRIC modeli ile tahmin edilen ET değerlerinin birbiriyle uyumlu olduklarını belirtmişlerdir. French ve ark. (2015) ise TSEB ve METRIC modelleri kullanılarak pamuk bitkisinde su kullanımının belirlenmesi amacıyla yaptıkları çalışmada ise METRIC modelinin TSEB modeline göre daha hassas sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, uzaktan algılama tekniklerinin silajlık mısıрын gelişme dönemi boyunca su tüketiminin belirlenmesi ve hasat öncesi verim tahmininde kullanılabilecek olanaklarının değerlendirilmesidir. Çalışma Sultansuyu Tarım İşletmesi Müdürlüğü'ne ait silajlık mısır üretim alanlarında gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda 2014 yılı silajlık mısır yetişme dönemini kapsayan 11 adet Landsat 8 uydu görüntüsü METRIC modeli kullanılarak işlenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Materyal

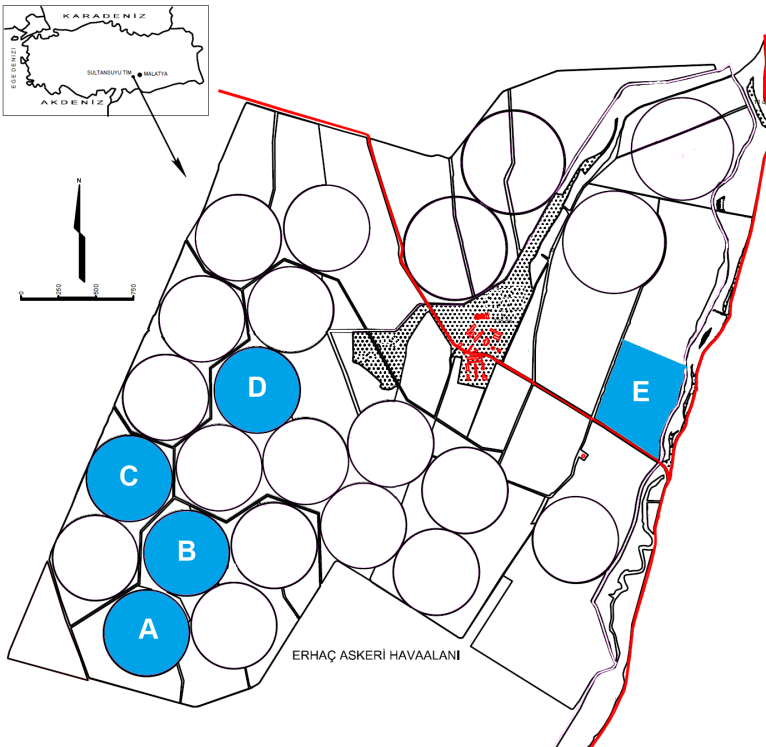
Bu çalışma Malatya ili, Akçadağ ilçesi sınırları içerisinde olan Sultansuyu Tarım İşletmesi Müdürlüğü tarım arazilerinde 2014 yılında silajlık mısır yetiştirilen parseller için yürütülmüştür. Alanda su kaynağı, sulama kanalı ve kanaletlerinden oluşan bir sulama şebekesi ve derin kuyulardan temin edilmektedir. Çalışma alanının vaziyet planı ve çalışmada kullanılan silajlık mısır üretim alanları Şekil 1'de verilmiştir. Çalışma alanındaki topraklar killi tın ve kil bünye özelliği göstermektedir. Çalışmada silajlık mısır üretilen A, B, C, D ve E parsellerine ilişkin veriler kullanılmıştır. Bu parsellerin alanları 14.3 ha ile 30.0 ha arasında değişim göstermektedir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Çalışma parsellerine ait silajlık mısır verim değerleri

Table 1. Silage maize yield values of the study plots

Parsel	A	B	C	D	E
Parsel Alanı (ha)	25.60	14.30	25.60	16.10	30.00

2014 yılında sulama uygulamaları A, B, C ve D parsellerinde dairesel hareketli yağmurlama sulama sistemi ile gerçekleştirilirken E parselinde ise portatif yağmurlama sulama sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada silajlık mısır çeşidi olarak Bolson kullanılmıştır. Silajlık mısırın ekimi 14-22 Nisan 2014 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. TAGEM (2016)'ya göre silajlık mısırın başlangıç dönemi 29 gün, gelişme dönemi 35 gün, orta dönemi 50 gün ve son dönemi 10 gün olarak dikkate alınmıştır. Silajlık mısır bitkisinin hasadı 28 Ağustos-2 Eylül 2014 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Sultansuyu Tarım İşletmesi Müdürlüğü silajlık mısır üretim alanları

Figure 1. Silage maize production areas of Sultansuyu Directorate of Agriculture

Bölgede en yüksek ve en düşük ortalama sıcaklık değerleri sırasıyla 34.3 °C (Temmuz) ve -2.4 °C (Ocak) olarak gerçekleşmiştir. Çalışma bölgesi içerisinde en yüksek yağış Nisan ayında meydana gelmektedir ve yıllık toplam yağış 421.0 mm'dir. Çalışma alanı uzun yıllar iklim verileri dikkate alındığında, Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre yarı kurak özelliği göstermektedir (Thornthwaite, 1948). METRIC modeli için gerekli olan saatlik ve günlük iklim verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne bağlı Erhaç Havalimanı istasyonundan elde edilmiştir. Uzaktan algılanmış veri olarak çalışma alanını kapsayan 11 adet Landsat 8 uydusuna ait multispektral ve termal görüntüler kullanılmıştır. Landsat 8 uydusu 30 m kumsal çözünürlükte görüntü sağlamaktadır. Termal banttaki yersel çözünürlüğü ise 100 m'dir (Roy ve ark., 2014).

2.2. Yöntem

2.2.1 METRIC modeli ile bitki su tüketimi hesaplamaları

Bitki su tüketimi hesabı enerji dengesi tabanlı METRIC modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yüzey enerji dengesinin genel biçimi Eşitlik 3'te vermiştir.

$$LE = R_n - G - H \quad (3)$$

Burada, LE; gizli ısı akısı ve H; hissedilebilir ısı akısını ifade etmektedir. Eşitlikteki tüm birimler watt m⁻²'dir. Yüzey enerji dengesine göre, R_n yeryüzünde depolanarak, LE, G ve H'de kullanılmaktadır (Allen ve ark., 2005; Allen ve ark., 2007). Yer yüzeyindeki R_n, gelen ve giden radyasyon akısının farkı alınarak hesaplanmaktadır (Eşitlik 4)

$$R_n = (1 - \alpha) \times R_s \downarrow + R_l \downarrow - R_l \uparrow - (1 - \epsilon_0) \times R_l \downarrow \quad (4)$$

Burada, α ; Yüzey albedosu (birimsiz), R_s↓; Gelen kısa dalga boylu radyasyon (w m⁻²), R_l↓; Gelen uzun dalga boylu radyasyon (w m⁻²), R_l↑; Giden uzun dalga boylu radyasyon (w m⁻²) ve ϵ_0 ; Geniş bant emissivitesidir (birimsiz). G, yeryüzünün ısınmasında kullanılan enerjiyi temsil etmektedir. G, Eşitlik 5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$G = (0.00647 \times (T_s - 272.15) - 0.0955 \times NDVI - 0.05) \times R_n \quad (5)$$

Burada, T_s; yüzey sıcaklığı, NDVI: Normalize Edilmiş Vejetatif Değişim İndeksidir. H, bitki üzerindeki belirli bir yükseklik ile bitki seviyesi arasındaki ısının değişimine sebep olan enerjiyi açıklamaktadır. Enerji dengesine göre R_n'nin bir

bölümü bu değışimde kullanılmaktadır. H hesabına ilişkin yaklaşım Eşitlik 6'teki gibidir.

$$H = \rho \times C_p \times dT \times rah^{-1} \quad (6)$$

Burada, ρ ; havanın yoğunluğu (kg m^{-3}), C_p ; hava sabitesi ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$), dT ; yüzey sıcaklığı ile atmosfer sıcaklığı arasındaki fark ($^{\circ}\text{C}$), rah ; aerodinamik dirençtir (s m^{-1}).

Bu çalışmada uydu görüntüsünün çekildiği andaki LE değeri Eşitlik 3 yardımıyla hesaplanmıştır. Elde edilen bu değer Eşitlik 7 yardımıyla anlık ET değerine dönüştürülmüştür.

$$ET_{ins} = 3600 \times LE \times \lambda^{-1} \quad (7)$$

Burada, λ ; buharlaşmanın gizli ısıdır ve Eşitlik 8'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\lambda = (2501 - 0.00236 \times (T_s - 273)) \times 106 \quad (8)$$

METRIC modelinde ET_{ins} değerinin günlük ET (ET_a) değerine dönüştürülmesinde ETrF katsayısından yararlanılmaktadır. ETrF hesabında, bitki katsayısı (Kc) yaklaşımını dikkate alınmaktadır. ETrF, anlık ET değerinin (ET_{ins}), aynı zaman dilimindeki saatlik uzun boylu referans bitki su tüketimine (ET_r) oranıdır (Eşitlik 9). ET_a ise günlük hesaplanan ET_r değerinin ETrF ile düzeltilmesiyle elde edilmektedir (Eşitlik 10).

$$ETrF = \frac{ET_{ins}}{ET_r} \quad (9)$$

$$ET_a = ETrF \times ET_r(\text{günlük}) \quad (10)$$

Burada, ETr; uzun boylu referans bitki su tüketimidir. Günlük ve saatlik olarak ETr'nin hesaplanmasında ASCE-EWRI (2005)'de esasları verilen Standardize Penman Monteith eşitliklerinden yararlanılmıştır.

Aylık ve mevsimlik ET haritaları tarımda kullanılan toplam su miktarının belirlenmesinde oldukça önemlidir. Uyduların zamansal çözünürlüğü ölçüsünde görüntünün çekildiği tarihteki ETa değerleri belirlenebilmektedir. Bu çalışmada ardışık iki uydu görüntüsü arasındaki ETa'nın hesaplanabilmesi için görüntü tarihlerindeki ETrF değerleri enterpole edilmiştir. Bu değerler ait olduğu gündeki

ET_r (günlük) değeri ile düzeltilerek günlük ET_a değerleri elde edilmiştir. Elde edilen ET_a değerleri yığılımlı olarak toplanarak mevsimlik ET değerleri hesaplanmıştır. Kullanılan bu yöntem uydu görüntülerinin düzenli aralıklarla temin edilebilmesi durumunda mevsimlik ET_a 'nın belirlenmesinde başarılı şekilde uygulanabilmektedir (Singh ve ark., 2012).

Çalışma parsellerinde su stresinin belirlenmesi amacıyla oransal bitki su tüketimi (RET) yaklaşımı kullanılmıştır (Eşitlik 11). Bu amaçla silajlık mısırın farklı gelişme dönemlerindeki ET_a ve ET_c değerlerinin ortalaması alınıp birbirine oranlanmıştır. Böylelikle her bir çalışma alanında gerçekleşen oransal bitki su tüketimi değerleri belirlenmiştir.

$$RET = \frac{ET_a}{ET_c} \quad (11)$$

Çalışma alanına ait vaziyet planı sayısallaştırılmış ve vektör formatında kaydedilmiştir. İşlenmiş uydu görüntüleri oluşturulan vektör ile çakıştırılarak nihai haritalar oluşturulmuştur. Son olarak uydu görüntülerindeki çalışma alanını içeren bölümler kesilerek alınmıştır, böylece nihai haritalar elde edilmiştir. Uydu görüntülerinden ET_a ve ET_rF verilerinin elde edilmesi için çalışma parsellerine ait hücre değerlerinin ortalaması alınmıştır.

2.2.2 Standart bitki su tüketimi hesaplaması

Çalışmada potansiyel bitki su tüketimi (ET_c) hesaplamaları Allen ve ark. (1998)'de önerilen ve standart koşulları temsil eden bitki su tüketimi için gerçekleştirilmiştir (Eşitlik 12).

$$ET_c = Kc \times ET_0 \quad (12)$$

Yukarıda verilen eşitlikteki Kc ; bitki katsayısı, ET_0 ; kısa boylu bitki için referans bitki su tüketimidir. Kc değerleri bitkiye özgüdür ve yetiştirme dönemi içerisinde farklılık göstermektedir. Çalışma kapsamında kullanılan silajlık mısır Kc değerleri Allen ve ark. (1998)'den alınmıştır. Bu değerler uzun yıllık günlük ortalama rüzgâr hızı ve oransal nem verileri ve ortalama en yüksek bitki boyu dikkate alınarak Allen ve ark. (1998)'de verilen yöntemle göre bölge koşullarına uyarlanmıştır. ET_0 hesaplamaları ise ASCE EWRI (2005)'e göre gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1 METRIC ile hesaplanan bitki su tüketimi değerleri

Araştırmada, 2014 yılına ait Landsat 8 uydu görüntüleri (11 adet) işlenmiş ve oluşturulan ETa haritaları Şekil 2'de verilmiştir. Buna göre, 4 Mayıs 2014 tarihine ait uydu görüntüsünde A, C ve D parsellerindeki ortalama ETa değerleri sırasıyla 5.75, 4.71 ve 6.48 mm gün⁻¹'dir. B ve E parsellerinde ise ETa değeri yaklaşık 1.0 mm gün⁻¹'dir. Parseller arasındaki ETa farklılığı dikkate alındığında A, C ve D parsellerinde silajlık mısır sulamasının başladığı, B ve E parsellerinde ise sulamanın bu tarih itibari ile başlamadığı yorumu yapılabilir.

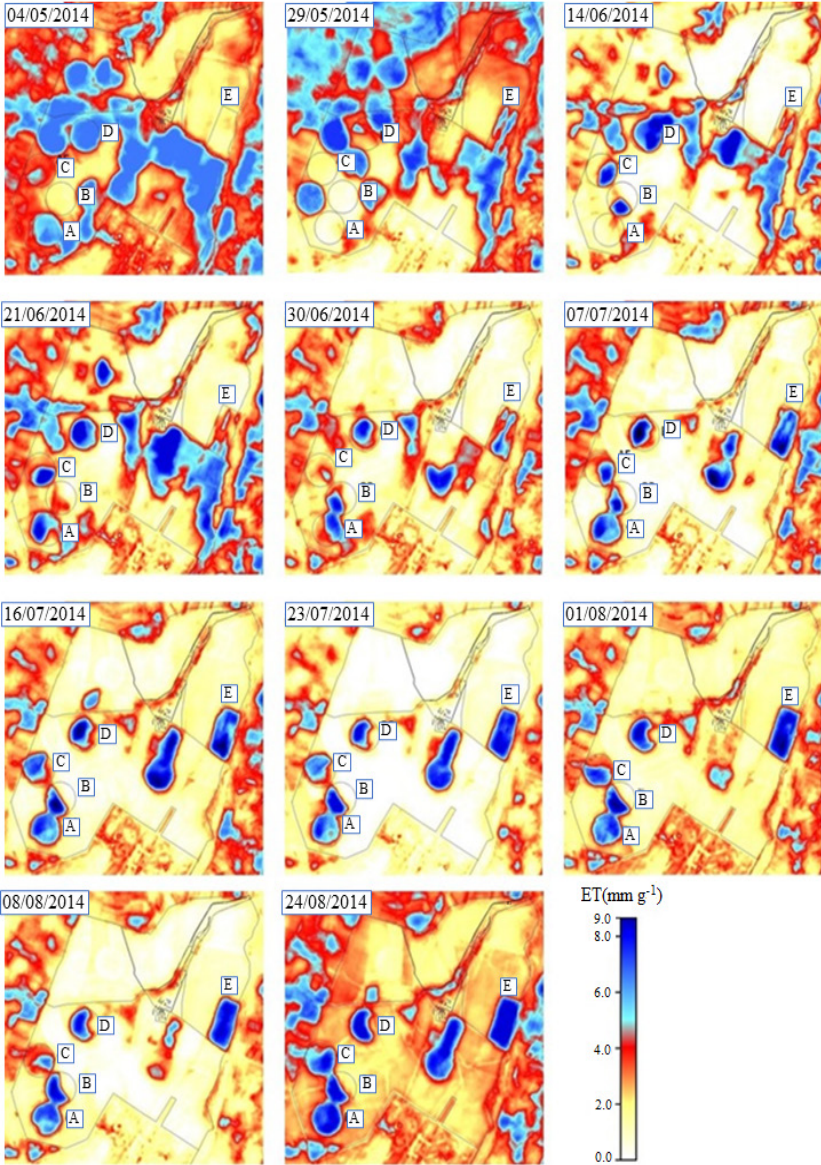
29 Mayıs 2014 tarihindeki uydu görüntüsüne ait ETa haritası incelendiğinde, A parselindeki ETa değeri 4 Mayıs 2014 tarihine göre azalarak ortalama 0.82 mm gün⁻¹ olarak gerçekleşmiştir. Benzer biçimde C parselinde ETa azalarak bu tarihte yaklaşık 1.62 mm gün⁻¹'dir. D parselindeki ETa 3.59 mm gün⁻¹ iken E parselinde ise 4.80 mm gün⁻¹ olarak hesaplanmıştır. E parselindeki ETa değerinin 4 Mayıs 2014 tarihine göre yaklaşık 4 mm'lik artış göstermesi bu parselde yetiştirilen silajlık mısırdaki sulamanın başladığı yorumu yapılabilir.

14 Haziran 2014 tarihinde çalışma parselleri arasında en yüksek ETa değeri 6.33 mm gün⁻¹ ile D parselinde gerçekleşirken, en düşük ETa değeri ise 1.71 mm gün⁻¹ ile A parselinde gerçekleşmiştir.

21 Haziran 2014 tarihine ait ETa haritası incelendiğinde, A parselinde sulama suyu miktarının artırılarak ortalama ETa'nın 5.76 mm gün⁻¹ seviyesine ulaştığı görülmektedir. E parselinin belirli bölgelerinde ETa gerçekleşirken belirli bölgelerinde ise neredeyse gerçekleşmediği belirlenmiştir. Bu durum E parselinde sulama suyu uygulamalarında birtakım aksaklıklar meydana geldiğini göstermektedir. Benzer durum C parselinde de görülmektedir. Parselin belirli kısımlarında ETa yüksek iken geri kalan kısımlarında daha az gerçekleşmesi belirtilen parselde de sulama uygulamalarında eksikliklerin yaşanmış olabileceğini göstermektedir. Temmuz ayı boyunca tüm parsellerde uygulanan sulama suyu miktarları genel olarak arttırılmıştır.

Yarı kurak iklim özelliğine sahip bölge koşulları altında silajlık mısır için tahmin edilen ETc değerleri, uzaktan algılama teknikleri yardımıyla tahmin edilen ETa değerlerinden yaklaşık 2 mm daha yüksek gerçekleşmiştir. Temmuz ayı içerisinde en yüksek ETa değeri 7 Temmuz 2014 tarihinde 8.02 mm gün⁻¹ ile D parselinde, en düşük ETa ise 23 Temmuz 2014 tarihinde 5.42 mm gün⁻¹ ile C parselinde belirlenmiştir. 8 Ağustos 2014 tarihindeki günlük ETc değeri 8.23 mm iken A, B, C, D ve E parsellerine ait günlük ETa değerleri sırasıyla 6.45 mm, 7.58 mm, 4.53

mm, 7.25 ve 7.64 mm olarak hesaplanmıştır. Temmuz ve Ağustos aylarındaki ETa haritaları incelendiğinde A ve C parsellerinde sulama uygulamalarının düzenli yapılmadığı görülmektedir. Parsellerin belirli bölgelerinde ETa değeri fazla iken diğer taraflarda az olması sulama ile ilgili problemlerin yaşandığını göstermektedir. Silajlık mısırın yetiştirilme dönemi boyunca ETa değerleri genel olarak ETc değerlerinin altında kalmıştır.

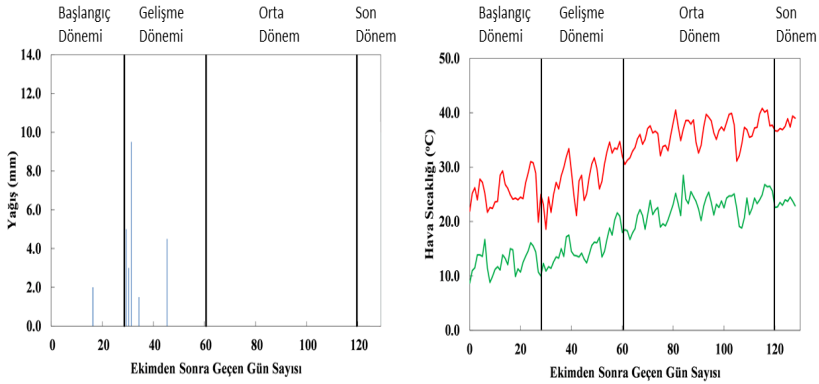


Şekil 2. Sultansuyu Tarım İşletmesi Müdürlüğü Tarım Arazilerine ait 2014 yılı Evapotranspirasyon Haritaları

Figure 2. Evapotranspiration Maps of Sultansuyu Agricultural Enterprise Directorate Agricultural Lands in 2014.

3.2 Potansiyel ve gerçek bitki su tüketimi bulgularının karşılaştırılması

Çalışma alanında silajlık mısırın 2014 yılı gelişme dönemi boyunca gerçekleşen yağış miktarı ve hava sıcaklığı Şekil 3'te grafik olarak verilmiştir. Başlangıç döneminde 2.0 mm (28 Nisan 2014) ve gelişme dönemi 21 Mayıs-6 Haziran 2014 tarihleri arasında toplam 23.5 mm yağış gerçekleşirken, meteorolojik kayıtlarda orta ve son dönem için yağış bulunmamaktadır. Buna göre silajlık mısırın yetiştirme dönemi boyunca toplam 25.5 mm yağış gerçekleşmiştir. Hava sıcaklıkları genel olarak başlangıç döneminden son döneme doğru gidildikçe artış göstermiştir. Silajlık mısırın yetiştirme mevsimi boyunca en yüksek hava sıcaklığı 14 Ağustos 2014 tarihinde 40.8 °C olarak gerçekleşirken, en düşük hava sıcaklığı 21 Mayıs 2014 tarihinde 18.6 °C olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 3. Silajlık mısırın gelişme dönemlerine göre çalışma alanında gerçekleşen yağış ve günlük en yüksek ve en düşük hava sıcaklığı değerleri.

Figure 3. Precipitation and daily maximum and minimum air temperature values in the study area during the development stages of silage maize.

Şekil 4'te Malatya ili iklim koşulları altında, silajlık mısırın 2014 yetiştirme mevsimi boyunca günlük ETc değerlerinin değişimi verilmiştir. Aynı zamanda Şekil 4'te uydu görüntüsüne dayalı bir biçimde METRIC modeli ile elde edilen, mevsimlik ETa değerleri harita olarak ve günlük ETa değerleri ise grafik olarak, parsellere göre ayrı biçimde verilmiştir. Burada ETc ile ETa grafiklerinin farkı, $ETc > ETa$ (su eksik-

liği) olan dönemlerde eğik çizgilerle ve $ET_c < ET_a$ (aşırı su) olan dönemlerde dolgu ile boyanarak belirtilmiştir. Ayrıca Şekil 4'te silajlık mısırdın başlangıç, gelişme, orta ve son dönemleri düşey çizgilerle ayrılmıştır.

Silajlık mısırdın yetişme dönemi (22 Nisan 2014- 28 Ağustos 2014) için en yüksek ET_c değeri 20 Haziran 2014 tarihinde $10.98 \text{ mm gün}^{-1}$ olarak tahmin edilmiştir. Bu tarihte günlük en yüksek hava sıcaklığının 34.7°C olması, ET_c değerini oldukça yüksek seviyeye çıkartmıştır. 2014 yılında silajlık mısır yetişme dönemin boyunca en düşük ET_c değeri ise 8 Mayıs 2014 tarihinde 0.92 mm gün^{-1} olarak hesaplanmıştır. Yapılan tahmine göre, silajlık mısırdın mevsimlik ET_c değeri $819.25 \text{ mm mevsim}^{-1}$ 'dir.

A parselinde silajlık mısırdın başlangıç dönemindeki ortalama ET_a değeri 3.92 mm gün^{-1} iken aynı dönemde ortalama ET_c değeri 1.34 mm gün^{-1} 'dür. Belirtilen dönem için çalışma alanında önemli bir yağış olayının gerçekleşmemesi bu parselde aşırı sulama uygulandığını göstermektedir. Çalışma parselinde silajlık mısırdın gelişme dönemi sırasındaki en yüksek ET_a ve ET_c değerleri 20 Haziran 2014 tarihinde sırasıyla 6.68 ve $10.98 \text{ mm gün}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, aynı dönem içerisinde ET_a değerinin 0.68 mm gün^{-1} seviyesine kadar gerilediği (6 Haziran 2014) belirlenmiştir. Bu durum belirtilen zaman aralığında A parselinde sulama yapılmadığını ve bu tarihten önce gerçekleşen yağışların yeterli olmadığını göstermektedir. Gelişme döneminin sonlarına doğru ET_a değerlerinin 2.0 mm seviyesinden 6.0 mm seviyesine yükselmesi bu parselde sulama uygulamalarına ağırlık verildiğinin bir göstergesidir. Fakat buna rağmen ET_a değerleri sürekli olarak ET_c 'den düşük olarak gerçekleşmiştir. Silajlık mısırdın orta dönemi incelendiğinde, bu parselde ortama ET_a ve ET_c değerleri sırasıyla 6.35 mm gün^{-1} ve 9.19 mm gün^{-1} olarak hesaplanmıştır. Her ne kadar ET_a 'nın geldiği seviye sulama uygulamalarına devam edildiğini gösterse de bu dönemde ET_a 'nın ET_c 'den daha düşük olması uygulanan sulama suyu miktarlarının bitkinin ihtiyacını karşılamadığını göstermektedir. Genel olarak orta dönemde ET_c , ET_a 'dan yaklaşık 2.5 mm gün^{-1} daha yüksek tahmin edilmiştir. Orta dönemde ET_c ile ET_a arasındaki en düşük fark ekimden sonraki 105. günde gerçekleşmiştir. Bu tarihteki ET_c ve ET_a değerleri sırasıyla 7.95 ve 6.54 mm gün^{-1} 'dür. Silajlık mısırdın son döneminin başlarında ET açığı olmasına rağmen daha sonra sulama uygulamaları ile bu dönem için ET açığının azaldığı gözlenmiştir. Şekil 4'te verilen A parseline ait mevsimlik ET_a haritasına göre METRIC modeli ile tahmin edilen en yüksek ve en düşük sezonluk ET_a değeri sırasıyla 675.44 ve 444.33 mm 'dir. Mevsimlik ortalama ET_a ise 580.17 mm 'dir. Mevsimlik ET_a 'nın dağılımı incelendiğinde parsel alanının %53.3'ünde mevsimlik ET_a $500-600 \text{ mm}$ arasında dağılım göstermiştir. Bu değerler genellikle A parselinin kuzey-batı bölümlerinde gerçekleşmiştir. Çalışma alanının %40.6'lık bölgesinde mevsimlik ET_a $600 - 675.4 \text{ mm}$ arasında gerçekleşmiştir. Bu değerler genellikle A parselinin kuzey-doğu bölgelerinde yoğunluktadır. A parselinin kuzey

bölgesindeki mevsimlik ETa değerleri genel olarak parselin güneyinde gerçekleşen değerlerden daha yüksektir. Şekil 4 incelendiğinde parselin kuzey bölgesinden üretim alanına su girişi olduğu görülmektedir. Bu durum çalışma parselinin kuzey bölgesindeki ETa'ların güney bölgesindeki ETa'lardan daha yüksek gerçekleşmesinin açıklayıcısıdır. Parselin geri kalan %6.1'lik kısmında mevsimlik ETa 444.53 ile 500 mm arasında gerçekleşmiştir. Bu değerler dikkate alındığında parseldeki ETa'lar genel itibarıyla eş dağılım göstermemiştir.

Çalışma alanındaki B parselinin toplam alanı 25.6 ha olmasına karşın silajlık mısır yetiştirilen alan 12.0 ha'dır. Bu çalışma kapsamında ETa değerleri sadece sulanan alandan hesaplanmıştır. B parseline ait ETa ve ETc grafikleri incelendiğinde silajlık mısırın başlangıç döneminde genel olarak ETa değerleri ETc'den bir miktar yüksek olarak gerçekleşmiştir. Başlangıç dönemi boyunca ortalama ETa değeri 1.71 mm gün⁻¹'dir. Yağış koşulları değerlendirildiğinde, silajlık mısırın başlangıç dönemi sırasında B parselinde sulama yapılmadığı anlaşılmaktadır. Bu parselde silajlık mısırın başlangıç dönemindeki ortalama ETa ve ETc değerleri sırasıyla 1.71 ve 1.34 mm gün⁻¹'dir. Gelişme döneminde ETa'nın genel olarak artış göstermesi B parselinde sulama yapıldığını göstermektedir. Ancak genel olarak ETa'nın ETc'den düşük seyretmesi sulamanın yetersiz olduğunu belirtmektedir. Özellikle, ekimden sonraki 31. ve 38. günler ile ekimden sonraki 53. ve 60. günler arasındaki dönemlerde ETada görülen azalma bu dönemlerde atmosferin nem talebindeki artışa karşın sulama eksikliği ile su stresinin arttığını göstermektedir. Ele alınan bu parselde orta dönemin yaklaşık olarak ilk yarısında silajlık mısır su stresinin devam ettiği ve ikinci yarısında uygulanan sulama suyu ile ETc ile ETa farkının nispeten azaldığı görülmektedir. Bu dönemdeki ortalama ETa ve ETc değerleri sırasıyla 6.78 ve 9.19 mm gün⁻¹'dir. Mevsimlik ET haritası incelendiğinde B parselinde dairesel hareketli sulama sisteminin yarım daire biçiminde işletildiği açık bir biçimde görülmektedir. Bu parselde en yüksek ve en düşük mevsimlik ETa değerleri sırasıyla 336.83 ve 746.38 mm'dir. Parsel içerisinde mevsimlik ETa'nın dağılımı incelendiğinde, parsel alanının %30.7'lik kısmında mevsimlik ETa 500-600 mm arasında gerçekleşmiştir. Çalışma parselinin %29.1'inde ise mevsimlik ETa değerleri 600-700 mm arasında gerçekleşmiştir. B parselinde 500-700 mm arasında gerçekleşen mevsimlik ETa değerleri genel olarak parsel sınırı ile parsel ortasında kalan bölgelerde meydana gelmiştir. Çalışma alanının 1.98 ha'lık kısmında mevsimlik ETa 700-800 mm arasında tahmin edilmiştir. Bu değerler incelendiğinde çalışma alanının genellikle orta bölümlerinde yer aldığı görülmektedir. Parselin orta bölümlerinde yüksek ETa değerlerinin görülmesi bu alanda taban suyu seviyesinin yüksek olduğu ve yapılan sulamanın yüzey akışa geçerek ETa'yı yükseltmiş olabileceği veya dairesel hareketli sulama sisteminin işletilmesi sırasında birtakım sorunların meydana geldiği şeklinde yorumlanabilir. Çalışma alanının %19.7'lik kısmında mevsimlik ETa 400-500 mm arasında değişim göstermektedir. Mevsimlik ETa haritası incelendiğinde bu değerlerin genellikle çalışma parselinin sınır bölgelerinde

gerçekleştiği görülmektedir. Bu parselde genel olarak parsel kenarlarından parsel ortalarına doğru gidildikçe mevsimlik ETa değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu durum sulamanın yeknesak bir biçimde yapılmadığının bir göstergesidir.

Şekil 4'te verilen bir diğer çalışma parseli olan C parseli incelendiğinde silajlık mısırın başlangıç dönemindeki ortalama ETa değeri 3.45 mm gün⁻¹ iken bu dönemde hesaplanan silajlık mısır bitkisinin ortalama ETc değeri 1.34 mm gün⁻¹'dir. Silajlık mısırın başlangıç dönemindeki ETa değerleri genel olarak ETc'den yaklaşık 2 mm gün⁻¹ daha fazla gerçekleşmiştir. Bu durum silajlık mısırın başlangıç döneminde aşırı sulama yapıldığının göstergesidir. Gelişme döneminin başlamasıyla birlikte ETa değerleri düzenli olarak ETc değerinden düşük gerçekleşmiştir. Bu dönemdeki en yüksek ETa 20 Haziran 2014 tarihinde 6.77 mm gün⁻¹ iken en düşük ETa ise 22 Mayıs 2014 tarihinde 1.36 mm gün⁻¹ olarak gerçekleşmiştir. Silajlık mısırın orta döneminde gerçekleşen ETa ile tahmin edilen ETc değerleri arasındaki fark diğer dönemlerden daha yüksek gerçekleşmesi bu dönemde ET açığının daha fazla olduğunu ve kısıntılı sulama uygulamasının yapıldığını göstermektedir. Mevsimlik ETa haritası incelendiğinde parselin belirli kısımlarında ET yüksek ve geri kalan kısımlarında daha düşüktür. Bu durum C parselinde sulama uygulamalarında eş dağılım sorunlarının olduğunu göstermektedir. Bu parseldeki mevsimlik en düşük, en yüksek ve ortalama ETa değerleri sırasıyla 270.9, 691.2 ve 490.0 mm'dir. Çalışma parselindeki mevsimlik ETa dağılımı incelendiğinde parselin %44.1'inde mevsimlik ETa 400 ile 500 mm arasında gerçekleşmiştir. Mevsimlik ETa haritası incelendiğinde bu değerlerin genel olarak parselin orta ve kuzey bölümleri arasında kalan alanlarda gerçekleştiği görülmektedir. Çalışma parselinin %36.0'luk kısmında (9.27 ha) ETa değerleri 500-691.2 mm arasında tahmin edilmiştir. Bu durum incelendiğinde parselin belirli bölgelerinde mevsimlik ETa değerlerinin daha yüksek olması dairesel hareketli sulama sisteminin bu bölgelerdeki çalışma hızının daha yavaş gerçekleştiği şeklinde yorumlanabilir. Parsel içerisinde mevsimlik ETa dağılımının farklılık göstermesi bu parselde sulamanın düzensiz yapıldığının bir göstergesidir.

Çalışma alanlarından D parselinde silajlık mısırın başlangıç dönemindeki ortalama ETa değeri 5.60 mm gün⁻¹'dir. Bu dönemde gerçekleşen ETa değerlerinin ETc değerlerinden ortalama 4.20 mm gün⁻¹ fazla olması bu parselde aşırı sulama uygulandığını göstermektedir. Bu dönemde en yüksek ETa ve ETc değerleri sırasıyla 7.86 ve 1.80 mm gün⁻¹'dir. Silajlık mısırın gelişme dönemindeki sulama uygulamaları sayesinde genel olarak ETa değerleri ETc'ye yakın olarak gerçekleşmiştir. Bu dönemin başlarında D parselinde yaklaşık 0.77 mm gün⁻¹ fazla sulama suyu uygulanmıştır. Bu dönem içerisinde ekimden sonraki 53 ile 60. günleri arasında ise ETa, ETc'nin altında kalmıştır. Fakat bu fark, aynı zaman dilimi için, diğer çalışma parsellerinde gerçekleşen farktan daha azdır. Orta dönemdeki ortalama ETa değeri 7.65 mm gün⁻¹ olarak gerçekleşirken bu dönemde hesaplanan ortalama ETc değeri

9.19 mm gün⁻¹'dir. Bu durum belirtilen dönem için kısıntılı sulama uygulamasının gerçekleştiğini göstermektedir. Mevsimlik ETa haritası incelendiğinde parselin ¾'lük kısmında ETa yüksek iken geri kalan ¼'lük kısımda ETa daha düşüktür. Bu durum incelendiğinde dairesel hareketli sulama sistemi belirli bir tarihe kadar parselin tamamı (25.6 ha) için çalıştırılmış daha sonra parselin ¾'lük alanı (19.2 ha) için çalıştırıldığı anlaşılmaktadır. Parseldeki ET'nin büyük bir kısmı bu alandan geldiğinden ETa değerleri sadece ¾'lük alan için dikkate alınmıştır. D parselinde gerçekleşen en yüksek ve en düşük ETa değerleri sırasıyla 926.3 ve 400.0 mm'dir. Çalışma parsellerinde gerçekleşen 900 mm ve üzeri mevsimlik ETa değerleri sadece D parselinde tahmin edilmiştir. Bu değerler D parselinin %5.8'lik kısmında meydana gelmiştir ve genel olarak parselin orta bölümlerinde meydana gelmiştir. Parselin %23.8 ve %23.2'lik kısmında mevsimlik ETa değerleri sırasıyla 600-700 ve 800-900 mm arasında belirlenmiştir. Bu değerler genel olarak parselin orta bölümlerinde yer alan 900 mm'nin üzerinde gerçekleşen mevsimlik ETa değerleri ile parsel sınırları arasında gerçekleşmiştir. Çalışma parselinin %20.1'lik kısmında 700-800 mm arasında değişen mevsimlik ETa değerleri tahmin edilmiştir. Bu değerler 900 mm üzerinde gerçekleşen mevsimlik ETa değerlerinin bulunduğu alanın genel olarak çevresinde gerçekleşmiştir. Ağırlıklı olarak parsel ortasından parsel sınırlarına doğru gidildikçe mevsimlik ETa değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu durum incelendiğinde dairesel hareketli sulama sistemine ait yağmurlama başlıklarının diziliminde hataların olduğu veya dairesel hareketli sulama sistemindeki su basıncının istenen seviyede olmadığı şeklinde yorumlanabilir. Sonuç olarak D parselinde mevsimlik ETa dağılımı düzensiz olarak gerçekleşmiş ve sulama yeknesak bir biçimde yapılamamıştır.

Çalışmadaki E parseli incelendiğinde silajlık mısırın başlangıç dönemindeki ortalama ETa değeri 2.75 mm gün⁻¹'dir. Bu dönemde genel olarak ETa değerleri ETc'den yüksek olarak gerçekleşmiştir. Bu durum silajlık mısırın başlangıç döneminde aşırı sulama yapıldığını göstermektedir. Silajlık mısırın gelişme döneminin ilk yarısında ETa değerleri ETc değerlerinden daha yüksek iken gelişme döneminin ikinci yarısında ETa değerleri ETc değerlerinden daha düşüktür. Gelişme döneminin ikinci yarısında ETa değerlerinin artış göstermeyip ETc değerlerinin artışa devam etmesi bu dönemde E parselinde sulama yapılmadığını göstermektedir. Silajlık mısır gelişiminin orta döneminde ETc değerleri ETa değerlerinden yüksektir. Bu durum silajlık mısırın orta döneminde kısıntılı sulama yapıldığının göstergesidir. Bu dönemde ortalama ETa 6.94 mm gün⁻¹ iken ortalama ETc 9.19 mm gün⁻¹'dir. Mevsimlik ETa haritası incelendiğinde E parselinde en yüksek ve en düşük mevsimlik ETa değerleri sırasıyla 834.1 ve 311.8 mm'dir. Çalışma parselinin %31.8'lik kısmında mevsimlik ETa 700-800 mm arasındadır ve genel olarak parselin orta kısmında gerçekleşmiştir. Çalışma parselinin %40.9'luk kısmında gerçekleşen mevsimlik ETa değerleri 600-700 mm arasında değişim göstermektedir. Tahmin edilen bu değerler genel olarak mevsimlik ETa değerlerinin 700-800 mm

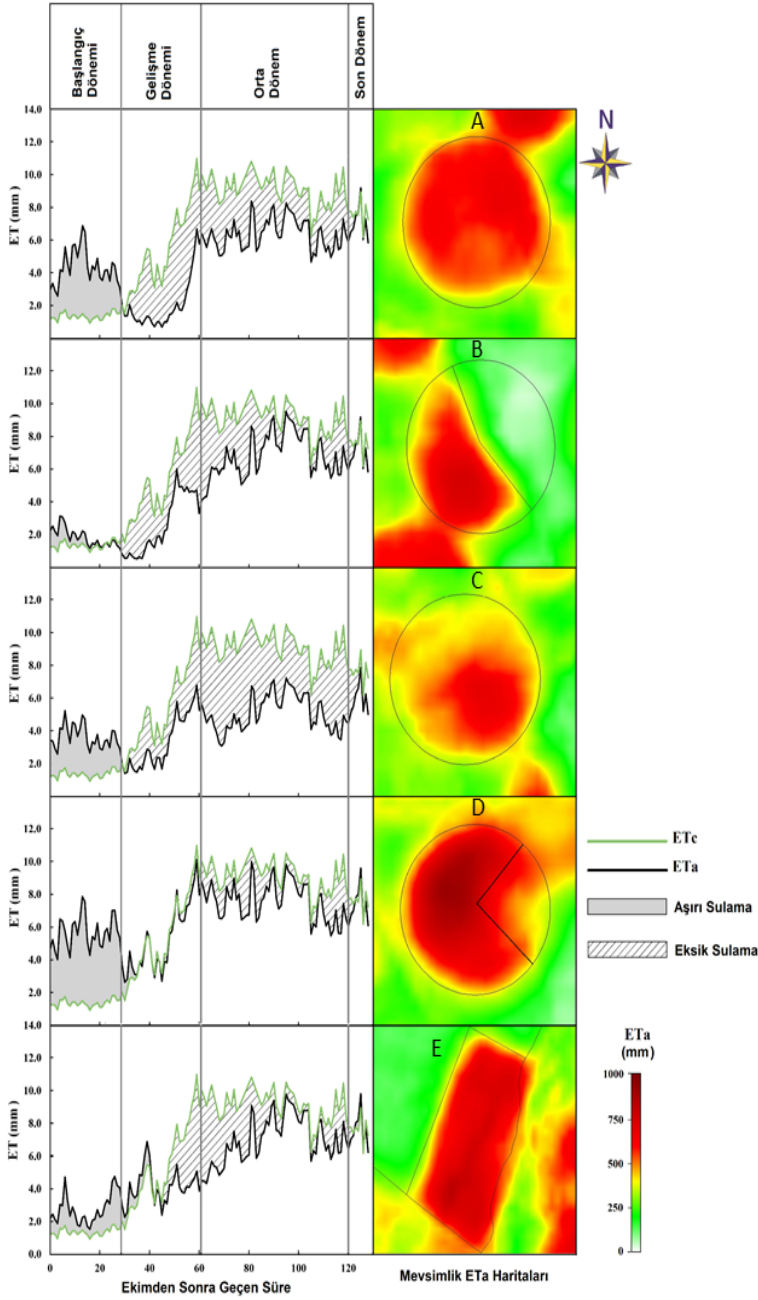
arasında olan bölgelerin yakınında gerçekleşmiştir. Çalışma parselinin sınır bölgelerinde mevsimlik ETa değerleri ise genel olarak 500-600 mm arasında değişim göstermiştir. Bu durum incelendiğinde çalışma parselinin merkezinden sınır bölgelere doğru gidildikçe mevsimlik ETa değerleri azalmaktadır. Bu durum sulamanın yeknesak bir şekilde yapılmadığını göstermektedir.

Çalışma alanındaki tahmin edilen ETa değerlerinin, ETc değerlerinden genel olarak düşük olması 2014 yılı silajlık mısır üretim sezonunda kısıntılı sulama uygulandığının bir göstergesi olabilir. Silajlık mısır parsellerinden elde edilen verim değerleri yetersiz sulama yapıldığının bir diğer göstergesidir. Bölgede silajlık mısırın potansiyel verimi hektara 58.0 ton seviyesindedir (TUİK, 2016). Çalışma parsellerinin her birinden elde edilen verim bu düzeyin altındadır (Çizelge 2). Bununla birlikte ETc ve ETa değerleri arasındaki farklılığın kaynakları arasında yetiştirilen mısır çeşidinin Allen ve ark. (1998) tarafından önerilen Kc katsayılarıyla uyumlu olmaması gösterilebilir. Sonuçlardaki uyumsuzluğun diğer bir sebebi, METRIC modeli ile tahmin edilen ETa değerlerinin arazi koşullarında gerçekleşen değerlerden farklı olabilmesidir. Droogers ve ark. (2010)'da METRIC modelinde ETa değerlerinin yaklaşık olarak %10 hata ile tahmin edilebileceği belirlenmiştir.

Çizelge 2. Silajlık mısırın farklı gelişme dönemlerindeki ETa / ETc değerleri.

Table 2. ETa / ETc values of silage maize at different growth stages.

	Başlangıç Dönemi	Gelişme Dönemi	Orta Dönem	Son Dönem	Verim (ton ha ⁻¹)
A	2.40	0.36	0.69	0.89	13.57
B	0.81	0.48	0.74	0.90	23.31
C	3.09	0.99	0.83	0.93	26.67
D	1.86	0.61	0.56	0.74	7.32
E	1.37	0.79	0.76	0.96	30.57



Şekil 4. Silajlık mısırsın bitki su tüketimi (ET_c), METRIC modeli kullanılarak tahmin

edilen gerçek bitki su tüketimi (ETa) değerlerinin yetiştirme dönemi boyunca değişimleri ve mevsimlik ET haritaları.

Figure 4. Crop evapotranspiration (ETc) of silage maize, changes in the actual crop water consumption (ETa) values estimated using the METRIC model during the growing season, and seasonal ET maps.

3.3 METRIC modeli ile belirlenen gerçek bitki su tüketimi ile silajlık mısır verimi arasındaki istatistiksel ilişki

Silajlık mısırın farklı gelişme dönemleri için hesaplanan ETa – ETc oranları (ETa/ETc) ve parsellere ait silajlık mısır verim değerleri Çizelge 2’de verilmiştir. ETa/ETc değeri 1.0’den büyük olduğunda aşırı sulamayı, 1.0’den küçük olduğunda ise sulama eksikliğini belirtmektedir. Çizelge 2 incelendiğinde, ETa/ETc değerleri 0.36 ile 3.09 arasında değişim göstermektedir. Silajlık mısırın başlangıç döneminde genel olarak tüm çalışma parsellerinde aşırı su uygulaması gerçekleşmiştir.

Silajlık mısırın gelişme döneminde genel olarak kısıntılı sulamanın uygulandığı bir vejetasyon dönemi olmuştur. Belirtilen dönem için en fazla su eksikliği A parselinde gerçekleşmiş ve ETa/ETc değeri 0.36 olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde en fazla sulama uygulaması D parselinde gerçekleşmiş ve bitki su ihtiyacının neredeyse tamamı karşılanmıştır.

Silajlık mısır gelişiminin orta döneminde tüm çalışma parsellerinde kısıntılı sulama uygulaması gerçekleştirilmiştir. En yüksek su kısıtı C parselinde gerçekleşirken, en düşük su kısıtı D parselinde gerçekleşmiştir. Bu parseller için ETa/ETc değerleri sırasıyla 0.56 ve 0.83 olarak hesaplanmıştır.

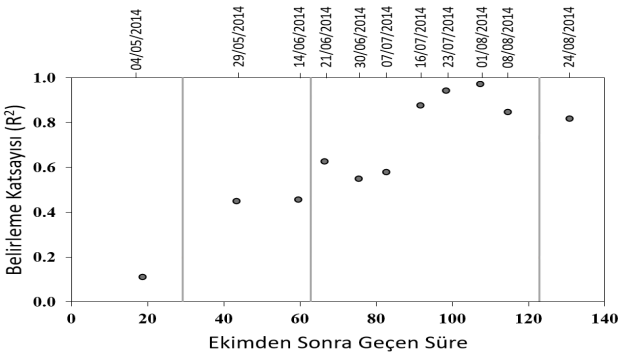
Son dönemde tüm parsellerde su kısıtı uygulaması devam etmesine rağmen, çalışma parsellerinde meydana gelen ET açığı orta döneme göre daha azdır. Silajlık mısır gelişiminin son döneminde herhangi bir yağış olayının gerçekleşmemiş olması bu dönemde uygulanan sulama suyunun orta dönemde uygulanan sulama suyundan daha fazla olduğunu göstermektedir. Son dönemde en fazla su eksikliği C parselinde gerçekleşirken en düşük su kısıtı E parselinde gerçekleşmiştir. Bu parseller için hesaplanan ETa/ETc değerleri sırasıyla 0.74 ve 0.96’dır.

Silajlık mısırın farklı gelişme dönemlerindeki uydu görüntülerinin çekim tarihleri ve ETa/ETc değerleri ile verim değerleri arasında yapılan istatistiksel analizin R² değerlerinin silajlık mısır yetiştirme sezonu boyunca değişimi Şekil 5’te verilmiştir. Silajlık mısırın başlangıç, gelişme, orta ve son dönemlerinde sırasıyla 1, 2, 7 ve 1 adet uydu görüntüsü bulunmaktadır. Şekil 5 incelendiğinde ETa/ETc ile verim arasındaki ilişkiye ait R² değerleri 0.11 ile 0.97 arasında değişim göstermektedir.

En düşük R^2 değeri 4 Mayıs 2014 tarihindeki uydu görüntüsünden elde edilirken en yüksek R^2 değeri 1 Ağustos 2014 tarihindeki uydu görüntüsünden hesaplanmıştır. Genel olarak silajlık mısır başlangıç döneminden son döneme doğru gidildikçe ETa/ETc ile verim arasındaki ilişkinin R^2 değeri artmaktadır. Çamoğlu ve ark. (2018)' de silajlık mısırın gelişme dönemi boyunca farklı spektral vejetasyon indeksleri kullanılarak verim tahmini gerçekleştirilmiştir. Çalışma elde edilen sonuçlara göre silajlık mısır hasat tarihine yaklaştıkça verim tahmininin başarısı arttığı belirtilmiştir.

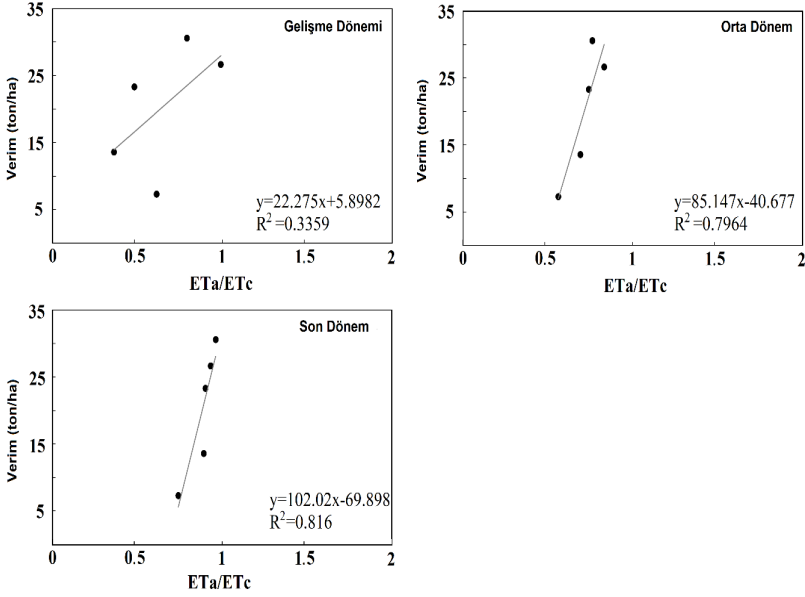
Genel olarak silajlık mısırın farklı gelişme dönemlerindeki ETa/ETc değerleri kullanılarak hasat öncesinde verim tahmini yapılabilir. Fakat herhangi bir dönemde yapılacak olan verim tahmininin başarısı farklılık gösterebilmektedir. Genel olarak silajlık mısır verim tahmininde en yüksek RMSE 4 Mayıs 2014 tarihine ait ETa/ETc değerleri kullanıldığında 8.12 ton ha⁻¹ olarak hesaplanırken en düşük RMSE 1 Ağustos tarihine ait ETa/ETc değerleri kullanıldığında 1.52 ton ha⁻¹ olarak belirlenmiştir. Silajlık mısırdaki Ağustos ayının ilk haftasındaki uydu görüntüsü kullanılarak elde edilen ETa/ETc değeri $y = 83.653x - 48.886$ formülünde kullanılırsa silajlık mısırdaki verim tahmini yaklaşık %3 hata ile tahmin edilebilir.

Orta ve son döneme ait ETa/ETc değerleri ile verim arasındaki ilişki incelendiğinde genel olarak ETa/ETc arttığı zaman verim artmış ve ETa/ETc azaldığı zaman verim azalmıştır. Orta ve son dönemdeki ETa/ETc değerleri ve verim arasında yapılan istatistiksel analize göre R^2 sırasıyla 0.79 ve 0.81 ($P < 0.01$) olarak hesaplanmıştır. Buna göre uzaktan algılama ile elde edilecek olan ETa değerleri Kc ve ETo ile hesaplanan ETc ile oranlanarak orta dönem ve son dönem için silajlık mısırdaki verim başarıyla tahmin edilebilir. Fakat orta dönem (50 gün) son dönemden (10 gün) daha uzun olduğu için çalışma alanının daha fazla görüntülenme potansiyeli bulunmaktadır. Son dönemin daha kısa olması uyduların zamansal çözünürlüğü ölçüsünde çalışma alanının görüntü çekimi gerçekleşmeyebilir. Buna göre orta dönemden elde edilecek verilerin daha kıymetli olduğu şeklinde yorumlanabilir.



Şekil 5. Uydu görüntü tarihlerindeki ETa/ETc ile Verim arasındaki ilişkiye ait belirleme katsayısının silajlık mısır yetiştirme sezonu boyunca değişimi

Figure 5. Variation of the coefficient of determination of the relationship between ETa/ETc and yield in satellite image acquired dates during the silage maize growing season



Şekil 6. Silajlık mısırın farklı gelişme dönemlerine ait ETa/ETc ile Verim arasındaki istatistiksel ilişkiler.

Figure 6. Statistical relationships between ETa/ETc and Yield in different growth stages of silage maize.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Landsat 8 uydu görüntülerinde METRIC modeli uygulanarak, silajlık mısırdaki su kullanımı ve verim tahmininin belirlenme olanakları araştırılmıştır. Bu kapsamda METRIC modelinin bir çıktısı olan $ETrF$ ve ETr^2 'ye dayalı olarak günlük ve mevsimlik ETa değerleri hesaplanmıştır. Silajlık mısırın farklı gelişme dönemlerine ait bu değerler ETc ile oranlanarak her bir çalışma parselinde nem açığı belirlenmiştir. Hesaplanan bu değerler, verim ile karşılaştırılarak silajlık mısırdaki verim tahmin modelleri oluşturulmuştur.

Çalışma kapsamında oluşturulan ETa haritaları büyük tarım alanlarında daha az iş gücü ve zamanla bitki su kullanımını etkin bir biçimde belirlenebilmektedir. Bu kapsamda sulama mühendisleri ve araştırmacılar için sulama suyunun takip edilmesinde ve suyun tarım alanlarındaki konumsal ve zamansal dağılımının belirlenmesinde kullanılabilir. Ayrıca, ağustos ayının ilk haftasına ait uydu görüntüsü kullanılarak yapılacak verim tahmini ile silajlık mısırın nihai verimi %97 doğrulukla tahmin edilebilir. Erken dönemde yapılacak verim tahminlerindeki hata oranı daha yüksek olsa da bu tahminler en yüksek toplam verimin elde edilmesi amacıyla tedbir alınmasına olanak sağlayabilir.

Landsat 8 uydu görüntüleri ile silajlık mısır yetiştirilen tarım alanlarındaki günlük ve mevsimlik ETa'nın belirlenmesi ve bu alanlardan elde edilen nihai ürün miktarının tahmini etkin bir biçimde yapılabilmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda yarı kurak bölge koşulları altında tarla düzeyinde belirlenen ET değerleri ile uydu görüntülerinden tahmin edilen ET değerleri karşılaştırılarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Landsat 8 uydu görüntülerinin konumsal çözünürlüğü (0.1 ha) sadece büyük ölçekli tarım arazilerinin izlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu kapsamda Landsat 8 uydusunun küçük ölçekli tarım arazilerinde uydu görüntülerine dayalı METRIC modelinin kullanılmasını sınırlandırmaktadır. Fakat günümüzde bu çözünürlükte termal banda sahip başka bir uydunun bulunmamasıdır. Ayrıca Landsat 8 uydu görüntülerine ait zamansal çözünürlüğün 16 gün olması iki uydu görüntüsü arasında gerçekleşen ETa'nın belirlenmesinde önemli bir kısıttır. Bu doğrultuda iki uydu görüntüsü arasındaki ETa değerlerinin belirlenmesi için daha hassas modellerin geliştirmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Al-Gaadi, K., Patil, V., Tola, E., Madugundu, R., Gowda, P., 2016. Evaluation of METRIC-derived ET fluxes over irrigated alfalfa crop in desert conditions using scintillometer measurements. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 1-12.
- Allen, R.G., Pereira, L., Raes, D., Smith, M., 1998. *FAO Irrigation and drainage paper No. 56*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 56, 97-156.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Howell, T.A., Jensen, M.E., 2011a. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. *Agricultural Water Management*, 98, 899-920.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Howell, T.A., Jensen, M.E., 2011b. Evapotranspiration information reporting: II. Recommended documentation. *Agricultural Water Management*, 98, 921-929.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Smith, M., Raes, D., Wright, J.L., 2005. FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-Asce*, 131, 2-13.
- Allen, R.G., Tasumi, M., Morse, A., Trezza, R., Wright, J.L., Bastiaanssen, W., Kramber, W., Lorite, I., Robison, C.W., 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)-Applications. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-Asce*, 133, 395-406.
- ASCE-EWRI, 2005. *The ASCE Standardised Reference Evapotranspiration Equation*. Environmental and Water Resources Institute of the ASCE. Report by the Task Committee on Standardisation of Reference Evapotranspiration.
- Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A., Holtslag, A.A.M., 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL)- 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, 212, 198-212.
- Çakmak, B., Yapılar, T., Aküzüm, T., 2006. Türkiye'de tarımda su yönetimi, sorunlar ve çözüm önerileri. *TMMOB*

- İnşaat Mühendisleri Odası Su Politikaları Kongresi, 2, 349-359.
- Çamoğlu, G., Şerafettin, A. Ş. I. K., Levent, Genç. 2018. Farklı Su Stresi Düzeylerinde Yer Tabanlı Spektral Ölçümler ile Tatlı Mısırdan Verim Tahmini. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4(2), 186-199.
- Doorenbos, J., Kassam, A., 1979. Yield response to water. Irrigation and drainage paper, 33, 257.
- Droogers, P., Immerzeel, W.W., Lorite, I.J., 2010. Estimating actual irrigation application by remotely sensed evapotranspiration observations. Agricultural Water Management, 97, 1351-1359.
- French, A.N., Hunsaker, D.J., Thorp, K.R., 2015. Remote sensing of evapotranspiration over cotton using the TSEB and METRIC energy balance models. Remote Sensing of Environment, 158, 281-294.
- Gowda, P.H., Chavez, J.L., Howell, T.A., Marek, T.H., New, L.L., 2008. Surface energy balance based evapotranspiration mapping in the Texas High Plains. Sensors, 8, 5186-5201.
- Köksal, E.S., Üstün, H., İlbeyi, A., 2010. Bodur yeşil fasulyenin sulama zamanı göstergesi olarak yaprak su potansiyeli ve bitki su stres indeksi sınır değerleri. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 24.
- Mengistu, M., Savage, M., 2010. Surface renewal method for estimating sensible heat flux. Water SA, 36, 9-18
- Norman, J.M., Kustas, W.P., Humes, K.S., 1995. Source approach for estimating soil and vegetation energy fluxes in observations of directional radiometric surface temperature Agricultural and Forest Meteorology, 77, 263-293.
- Parashar, V., Parashar, A., 2020. Study on various sensors used in farming. Engineering and Technology Journal for Research and Innovation (ETJRI). ISSN 2581-8678, Volume II, Issue II.
- Raes, D., Geerts, S., Kipkorir, E., Wellens, J., Sahlı, A., 2006. Simulation of yield decline as a result of water stress with a robust soil water balance model. Agricultural Water Management, 81, 335-357.
- Roy, D.P., Wulder, M., Loveland, T., Woodcock, C., Allen, R., Anderson, M., Helder, D., Irons, J., Johnson, D., Kennedy, R., 2014. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. Remote Sensing of Environment, 145, 154-172.
- Santos, C., Lorite, I.J., Tasumi, M., Allen, R.G., Fereres, E., 2008. Integrating satellite-based evapotranspiration with simulation models for irrigation management at the scheme level. Irrigation Science, 26, 277-288.
- Senay, G.B., Budde, M.E., Verdin, J.P., 2011. Enhancing the Simplified Surface Energy Balance (SSEB) approach for estimating landscape ET: Validation with the METRIC model. Agricultural Water Management, 98, 606-618.
- Singh, R.K., Liu, S., Tieszen, L.L., Suyker, A.E., Verma, S.B., 2012. Estimating seasonal evapotranspiration from temporal satellite images. Irrigation Science, 30, 303-313.
- Thornthwaite, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographical review, 38, 55-94.
- Tarımsal Araştırma ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM), 2016. Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimi Rehberi.



