



Van Koşullarında Damla Sulama Yöntemi ile Sulanan Elma Ağaçları İçin Teorik Bitki Su Tüketimine Dayalı Sulama Programının Oluşturulması

Irrigation Scheduling Based on Theoretical Crop
Water Consumption for Apple Trees Irrigated with
Drip Irrigation Method in Van Conditions

Selçuk USTA¹

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Van Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü, Van
· susta@yyu.edu.tr · [ORCID](https://orcid.org/0000-0001-8970-7333) > 0000-0001-8970-7333

Makale Bilgisi/Article Information

Makale Türü/Article Types: Araştırma Makalesi/Research Article

Geliş Tarihi/Received: 04 Şubat/February 2024

Kabul Tarihi/Accepted: 01 Nisan/April 2024

Yıl/Year: 2024 | **Cilt-Volume:** 39 | **Sayı-Issue:** 2 | **Sayfa/Pages:** 311-332

Atıf/Cite as: Usta, S. "Van Koşullarında Damla Sulama Yöntemi ile Sulanan Elma Ağaçları İçin Teorik Bitki Su Tüketimine Dayalı Sulama Programının Oluşturulması" Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 39(2), Haziran 2024: 311-332.

VAN KOŞULLARINDA DAMLA SULAMA YÖNTEMİ İLE SULANAN ELMA AĞAÇLARI İÇİN TEORİK BİTKİ SU TÜKETİMİNE DAYALI SULAMA PROGRAMININ OLUŞTURULMASI

ÖZ

Bu çalışmada, damla sulama yöntemi ile sulanacağı öngörülen elma ağaçlarının teorik su tüketimi ve sulama suyu ihtiyaçlarının belirlenerek, sulama programlarının oluşturulması amaçlanmıştır. Çalışma, uzun yıllar ortalama günlük iklim verileri (2012 – 2020) ile 2021 ve 2022 yılı güncel günlük iklim verileri kullanılarak yürütülmüştür. Öncelikle Penman & Monteith (PM) eşitliği FAO-56 modifikasyonu kullanılarak elma ağaçlarının büyüme mevsimi (20 Nisan – 30 Ekim) boyunca günlük ortalama referans bitki su tüketimi (ET_0) değerleri tahmin edilmiştir. Daha sonra elma ağaçlarının başlangıç (0.52), orta (1.00) ve son dönem (0.74) bitki katsayıları (k_c) ile 190 gün süreli büyüme mevsiminin başlangıç, gelişme, orta ve son dönem uzunlukları dikkate alınarak AutoCAD programı aracılığıyla günlük k_c katsayısı grafiği çizilmiştir. Günlük ortalama ET_0 değerleri bu grafikten okunan k_c katsayıları ile düzeltilerek, günlük ortalama bitki su tüketimi (ET_c) değerleri elde edilmiştir. Bir boyutlu su dengesi eşitliği kullanılarak, etkili kök derinliği bölgesindeki toprak nemi düzeyinde meydana gelen günlük değişimler belirlenmiştir. Bu bölgedeki kullanılabilir suyun %40'ı elma ağaçları tarafından tüketildiğinde sulama yapılacağı ve mevcut toprak nemini tarla kapasitesine yükseltecek miktardaki sulama suyunun elma ağaçlarına verileceği öngörülmüştür. Elma ağaçlarının ortalama 15 gün süreli her bir sulama aralığındaki ortalama su tüketimi 72.91 mm olarak belirlenmiştir. Her bir sulamada uygulanması gereken ortalama sulama suyu miktarı ise 65.50 mm olarak elde edilmiştir. Son sulamaya kadar ortalama 679.28 mm düzeyine yükselen mevsimlik toplam su tüketiminin sulamada damla sulama yöntemi kullanılması durumunda %14.70 oranında azalarak 579.43 mm düzeyine gerilediği görülmüştür. Bu bitki su tüketimine karşılık olarak uygulanması gereken mevsimlik toplam sulama suyu miktarı ise 523.70 mm olarak belirlenmiştir. Birincisi Haziran ayı ortasında ve sonuncusu ise Eylül ayı sonunda olmak üzere ortalama 8 adet sulama yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Teorik bitki su tüketimine dayalı olarak elde edilen bu sonuçların, Van ili koşullarında elma ağaçları için yapılacak damla sulama uygulamalarında aydınlatıcı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bitki Su Tüketimi, Damla Sulama, Elma, Sulama Aralığı ve Programı.



IRRIGATION SCHEDULING BASED ON THEORETICAL CROP WATER CONSUMPTION FOR APPLE TREES IRRIGATED WITH DRIP IRRIGATION METHOD IN VAN CONDITIONS

ABSTRACT

This study aims to prepare irrigation schedules by determining the theoretical crop water consumption and irrigation water requirements of apple trees that are envisaged to be irrigated by the drip irrigation method. The study was conducted using long-term average daily climate data (2012 – 2020) and current daily climate data for 2021 and 2022. First of all, daily average reference crop water consumption (ET_0) values were estimated during the growing season of apple trees (April 20 – October 30) using the FAO-56 modification of the Penman & Monteith (PM) equation. Then, the daily crop coefficient (k_c) graph was drawn via the AutoCAD program by considering the initial (0.52), middle (1.00) and last (0.74) periods k_c coefficients of apple trees, and the lengths of the initial, development, middle and last periods of the 190-days growing season. Daily average ET_0 values were corrected using the k_c coefficients read from this graph and daily average crop water consumption (ET_c) values were obtained. Using the one-dimensional water balance equation, daily changes in the soil moisture level in the effective root depth zone were determined. It is envisaged that irrigation will be done when 40% of the available water in this zone is consumed by apple trees, and the amount of irrigation water that will increase the level of current soil moisture to field capacity will be given to the apple trees. The average crop water consumption of apple trees in each irrigation interval with an average duration of 15 days was determined as 72.91 mm. The amount of average irrigation water to be applied in each irrigation was obtained as 65.50 mm. It was observed that the seasonal total water consumption, which reached an average of 679.28 mm until the last irrigation, decreased by 14.70% to 579.43 mm when the drip irrigation method was used in irrigation. The total amount of seasonal irrigation water that should be applied in response to this crop water consumption was determined as 523.70 mm. It was concluded that an average of 8 irrigations should be made, the first one in mid-June and the last one at the end of September. It is thought that these results obtained based on theoretical crop water consumption will be informative in drip irrigation applications for apple trees in Van province conditions.

Keywords: Crop Water Consumption, Drip Irrigation, Apple, Irrigation Interval and Schedule.



1. GİRİŞ

Dünyada geniş bir coğrafyada yetiştiriciliği yapılan elmanın (*Malus domestica* L.) gen merkezleri arasında Türkiye’de bulunmaktadır. Kuzey Anadolu, Karadeniz kıyı bölgesi ile İç Anadolu ve Doğu Anadolu yayları arasındaki geçit bölgeleri ve son yıllarda Göller bölgesi elmanın önemli yetiştiricilik alanlarını oluşturmaktadır (Anonim, 2001). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) 2020 yılı verilerine göre, Dünyadaki toplam elma üretimi 4.60 milyon hektar alanda 86.64 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Bu üretimin %46.74’ünü Çin, %5.37’sini Amerika Birleşik Devletleri karşılamıştır. Türkiye ise yaklaşık 172 bin hektar alandan gerçekleştirilen 4.30 milyon ton üretim ile üçüncü sırada yer almıştır (FAO, 2022). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2020 yılı verilerine göre, Türkiye’de en fazla elma üretimi 931 bin ton ile Isparta ilinde gerçekleştirilmiştir. Antalya ve Niğde illeri sırasıyla 611 bin ton ve 503 bin ton üretim ile ikinci ve üçüncü sırada yer almışlardır. Aynı yılın verilerine göre, Van ili 26 bin dekar alandan gerçekleştirilen yaklaşık 51 bin ton üretim ile on üçüncü sırada yer alırken, toplam üretimin %1.42’sini karşılamıştır (TÜİK, 2022).

Dünya elma üretiminde 2020 yılı verilerine göre ortalama verim 16.60 t ha^{-1} düzeyindedir. Türkiye, hektar başına 25.00 ton üretim ile Dünya ortalamasının oldukça üzerinde olmasına rağmen, dış ticarete rekabet halinde olduğu İsviçre (59.11 t ha^{-1}), Belçika (45.70 t ha^{-1}), Fransa (32.00 t ha^{-1}), İtalya (44.80 t ha^{-1}) ve Amerika Birleşik Devletleri (38.00 t ha^{-1}) gibi ülkelerin gerisinde kalmıştır (FAO, 2022). Tarımsal üretim faaliyetlerinin tamamında olduğu gibi elma yetiştiriciliğinde de ürün verim ve kalitesinin artırılabilmesi; sulama, gübreleme, bitki hastalık ve zararlıları ile mücadele gibi tarımsal işlemlerin tekniğine uygun olarak yapılmasına ve en önemlisi de kaliteli fidan kullanımına bağlıdır. Belirtilen bu işlemler içerisinde tek başına meyve verim ve kalitesini artırabilen en önemli faktör sulamadır (Öztürk ve ark., 2018).

Büyük bir bölümü kurak – yarı kurak iklim kuşağında yer alan Türkiye, bilinenin aksine su kıtlığı yaşayan bir ülkedir. Tarım %70 oranla su tüketiminin en fazla olduğu sektördür. Bu oranın neredeyse tamamı sulamada kullanılmaktadır (Çakmak ve ark., 2008). Tarım sektöründe su kaynaklarının en etkin kullanımı, gerçek zamanlı bitki su tüketimine duyarlı hassas sulama programları hazırlanarak, basınçlı sulama yöntemleri ile bitkinin suya ihtiyacı olduğu zamanlarda sulama yapılması ve her sulamada bitkiye ihtiyacı kadar su verilmesi ile sağlanabilmektedir (Jensen ve Allen, 2016). Ancak Türkiye’de sulama yapılan tarım arazilerinde basınçlı sulama yöntemlerinin kullanım oranı %38 ile çok düşük düzeydedir. Basınçlı sulama yöntemi olarak %21 oranında yağmurlama, %17 oranında damla sulama kullanılmaktadır. Salma, tava ve karık sulama gibi yüzey sulama yöntemlerinin kullanım oranı ise %62 düzeyindedir (Anonim, 2021). Yüzey sulama yöntemlerinin bilinçsiz

kullanımı sonucunda su kaynakları aşırı ve gereksiz bir şekilde tüketilerek israf edilmektedir. Aşırı sulamaya bağlı olarak toprak erozyonu, taban suyu yükselmesi, tuzlanma ve çoraklaşma gibi toprak kaybına neden olan çevresel sorunların yanında kök boğazı çürüğü ve kloroz gibi bazı bitki hastalıkları ile sürgün kuruması ve meyve tutma oranının azalması gibi verim ve kalite kaybına neden olan sorunlar oluşabilmektedir (Horuz ve ark., 2016). Bu nedenlerden dolayı ekonomik değeri yüksek elma gibi bitkilerin sulanmasında basınçlı sulama yöntemleri kullanımının teşvik edilerek, yaygınlaştırılması ve bu yöntemlerle birlikte kullanabilecek yöre iklim, bitki ve toprak özellikleri ile uyumlu kolay anlaşılabilir ve uygulanabilir sulama programlarının hazırlanarak, üreticilere sunulması gerekmektedir.

Sulama programları basınçlı sulama yöntemleri ile birlikte kullanılarak, su kullanım etkinliğinin yanında ürün verim ve kalitesinin de artırılabilirdiği ve yüksek oranlarda su tasarrufu sağlanabildiği yapılan birçok çalışma ile ortaya koyulmuştur. Köksal ve ark. (2000), Ankara koşullarında damla ve ağaç altı mikro yağmurlama sulama yöntemleri ile sulanan elma ağaçlarının yüzey sulamaya göre sırasıyla %23.00 ve %13.00 oranlarında daha az su tükettiklerini belirlemişlerdir. Benzer şekilde Orta ve ark. (2000), Tekirdağ koşullarında damla sulama yöntemi ile sulanan elma ağaçlarının su tüketimi ve sulama suyu ihtiyacının yüzey sulamaya göre sırasıyla %72.50 ve %62.70 oranında daha az olduğunu bildirmişlerdir. Thadchayini ve Thiruchelvam (2005), Srilanka koşullarında damla sulama yöntemi ile sulanan muz ağaçlarından elde edilen verimin yüzey sulama yöntemlerine göre %31.00 oranında daha fazla olduğunu ifade etmişlerdir. Salas ve ark. (2006) yüzey sulama yöntemlerinde %60.00 düzeyinde olan su uygulama randımanının, damla sulamada %90.00 düzeyine çıkabildiğini belirtmişlerdir. Nalbantoğlu (2014), Aydın ilinde yüzey sulamadan damla sulamaya geçilen arazilerde %30.00'a varan oranlarda verim artışı, yabancı ot oluşumu ve sulama işçiliğinde ise sırasıyla %60.00 ve %80.00 oranlarında azalma sağlandığını ortaya koymuştur.

Sulama programlarının hazırlanmasında dikkate alınması gereken en önemli parametre bitki etkili kök derinliği bölgesindeki toprak nemi içeriğidir (Çetin, 2003). Sulama zamanını ve uygulanacak sulama suyu miktarını belirleyen bu parametrenin ölçülmesinde kullanılan yöntemler genel olarak doğrudan ve dolaylı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Toprak neminin doğrudan ölçülmesi gravimetrik esasa dayanmaktadır. Toprağın bazı fiziksel ve fizikokimyasal özelliklerine bağlı olarak nem içeriğinin belirlenmesinde kullanılan; elektriksel direnç (alçı-jips blokları), nötron saçılımı (nötronmetre), elektromanyetik yansıma frekansının ölçülmesi (TDR ve FDR sensörler) ve toprak su potansiyelinin ölçülmesi (tansiyometre) yöntemi dolaylı yöntemleri oluşturmaktadır. Bu yöntemlerin en önemli avantajı toprak nemi içeriğinin anlık olarak belirlenebilmesidir. Ayrıca işçilik ve zamandan yüksek oranlarda tasarruf edilmesini sağlamaktadırlar (Yetik ve Aşık, 2021). Sulama programlarının hazırlanmasında dikkate alınması gereken bir diğer önemli parametre de bitki etkili kök derinliği bölgesindeki kullanılabilir suyun bitki tara-

findan tüketilmesine izin verilen kısmıdır (R_y). R_y sulama yöntemi ve bitkinin nem eksikliğine olan duyarlılığına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Güngör ve Erözel (2004); yüzey sulamada %50 – 60, yağmurlama sulamada %50, damla sulamada ise %30 – 40 arasında değişen R_y değerlerinin kullanılması önermektedirler. Panda ve ark. (2004), kullanılabilir suyun %45'inden fazlasının bitki tarafından tüketilmesine izin verilmesinin verim ve su kullanım randımanı açısından uygun olmadığını belirtmişlerdir.

Çeşitli elma ağaçlarının farklı sulama yöntemleri koşulları altındaki bitki su tüketimi ve sulama suyu ihtiyaçlarının belirlenerek, toprak nemi içeriğine duyarlı sulama programlarının hazırlanması amacıyla çok sayıda çalışma yapılmıştır (Güngör ve Kanburoğlu, 1978; Günbatılı ve Demirören, 1980; Kıvanç, 1991; Köksal ve ark., 2000; Orta ve ark., 2000; Çay ve ark., 2009; Daşcı ve ark., 2016; Karamürsel ve ark., 2017; Küçükyumuk ve ark., 2020). Toprak nemi içeriğinin ölçülmesinde çoğunlukla dolaylı ölçme yöntemlerinin kullanıldığı bu çalışmalarda yüzey sulama, damla sulama ve ağaç altı mikro yağmurlama sulama yöntemi ile sulanan çeşitli elma ağaçlarının etkili kök derinliğindeki kullanılabilir suyun bitki tarafından tüketilmesine izin verilen kısmı ($R_y = 0.30 - 0.60$) bitki tarafından tüketildiğinde, toprak nemini tarla kapasitesine yükseltecek miktarlarda sulama suyu uygulanmıştır. Elma ağacı çeşidi, sulama yöntemi ve sulama mevsimi uzunluğu ile yöre iklim ve toprak özelliklerine bağlı olarak 259.60 – 920.00 mm arasında değişen mevsimlik toplam su tüketimi ve 286.00 – 547.00 mm arasında değerler alan mevsimlik toplam sulama suyu miktarları elde edilmiştir.

Toprak nemi içeriğinin ölçülmesinde kullanılan gravimetrik yöntemde bitkinin yetişme dönemi boyunca farklı zaman aralıklarında çok fazla sayıda toprak örneklerinin alınması toprak profilinde tahribata yol açarak, büyük boyutlu gözeneklerin oluşmasına ve dolayısıyla nem rejiminin değişmesine neden olabilmektedir. Bu yöntemin bir diğer dezavantajı da nem içeriğinin anlık olarak ölçülememesidir. Toprak nemi, laboratuvarında toprak örnekleri üzerinde yapılan en az bir gün süreli testler sonucunda belirlenebilmektedir. Gravimetrik yöntemin en önemli dezavantajı ise yüksek düzeyde işçilik ve zaman kullanımı gerektirmesidir (Kırnak ve ark., 2022). Dolaylı toprak nemi içeriği ölçme yöntemlerinde kullanılan tansiyometre ve nötronmetre gibi cihazların insan sağlığına tehdit oluşturabilecek unsurlar barındırması, maliyetlerinin yüksek olması, ekonomik kullanım ömürlerinin sınırlı olması ve en önemlisi de kullanılacakları her koşul için kalibrasyona ihtiyaç duymaları kullanımlarını kısıtlamaktadır (Yetik ve Aşık, 2021). Ayrıca, bitki etkili kök derinliği bölgesindeki toprak nemi içeriğinin çok kısa mesafelerde değişkenlik göstermesi ve yapılan ölçümlerin tüm toprak profilini temsil etmemesi gibi sorunlarla da karşılaşmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, toprak nemi içeriğindeki değişime dayalı bitki su tüketimi yerine iklim parametrelerine dayalı olarak çeşitli ampirik yöntemlerle tahmin edilen bitki su tüketimi (ET_c) değerlerinin kullanılması uygulamada daha çok tercih edilmektedir (Karaca ve ark., 2017).

ET_c tahminlerinde referans çim bitkisi için belirlenen ET_o değerlerinin k_c katsayıları ile düzeltilmesi yaklaşımı yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda ET_o , egemen iklimsel koşullarda yetişen ve yeterli düzeyde sulanan, toprağı tamamen gölgeleyen ve 70 s m^{-1} yüzey direncine sahip olan 12 cm yüksekliğindeki çim bitkisinden yansımanın 0.23 olduğu şartlarda gerçekleşen maksimum bitki su tüketimini ifade etmektedir. k_c ise bitkinin fizyolojisini, örtü derecesini ve yetiştirildiği yöreyi yansıtan bir katsayıdır (Aydiñşakir ve ark., 2003). Günümüzde ET_o tahminlerinde en çok tercih edilen ampirik yöntemlerin başında Penman & Monteith (PM) gelmektedir. Temelleri 1948 yılında atılan bu yöntem, FAO tarafından 1998 yılında referans çim bitkisine uyarlanmış ve 56 sayılı Sulama – Drenaj yayını ile PM eşitliği FAO-56 modifikasyonu adı altında kullanıma sunulmuştur (Allen ve ark., 1998). Bu yöntem ile gerçeğe en yakın ET_o değerleri tahmin edilebildiği birçok çalışma ile ortaya koyulmuştur (Jacobs ve ark., 2004; Trajković ve Gocić, 2010).

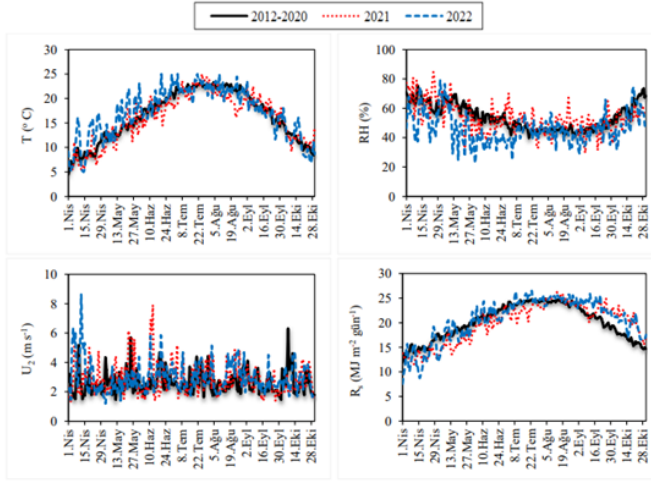
Diğer meyve ağaçlarında olduğu gibi elma ağaçlarının da bitki su tüketimi, sulama suyu ihtiyacı ve sulama aralığı iklim ve toprak özelliklerine, sulamada kullanılan yöntem ve elma çeşidine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle yetiştirilecekleri yöre koşulları ile uyumlu sulama programlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Türkiye elma üretimine olan katkısı her geçen gün daha da artan Van ilinin iklim ve çevre özellikleri dikkate alınarak gerçekleştirilen bu çalışmada, damla sulama yöntemi ile sulanacağı öngörülen elma ağaçlarının teorik bitki su tüketimi ve sulama suyu ihtiyaçlarının belirlenerek, sulama programlarının hazırlanması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Murat – Van Bölümü'ndeki Van Gölü kapalı havzası içerisinde yer alan Van ili, coğrafi konum olarak $37^{\circ} 43' - 39^{\circ} 26'$ kuzey enlemleri ile $42^{\circ} 40' - 44^{\circ} 30'$ doğu boylamları arasında bulunmaktadır. İlin rakımı 1726 m olup, yıllık ortalama günlük hava sıcaklığı 9.50°C ve nem oranı %58.67 düzeyindedir. Yıllık ortalama 7.90 saat gün^{-1} güneşlenme süresi ve $15.32 \text{ MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ solar radyasyon yoğunluğu ile Türkiye'nin en fazla güneş alan illeri arasındadır. Yıllık toplam 392.70 mm düzeyindeki yağış miktarı ile yarı kurak – kurak iklim kuşağında yer alan Van ili genelinde karasal iklim egemen olup, ilin Van Gölü kıyısındaki bölümlerinde yarı kurak – nemli arası iklim özellikleri görülmektedir. Günlük ortalama hava sıcaklığının $24.00 - 28.50^{\circ} \text{C}$ aralığında değiştiği Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında yağış iyice azalmaktadır. Günlük bitki su tüketiminin yağıştan daha yüksek düzeylerde gerçekleştiği bu aylarda aylık toplam 5.80 – 18.40 mm arasında değişen yağış, bitki su tüketimini karşılamada yetersiz kalmakta ve bitkilerin kuraklıktan zarar görmemesi için sulama yapılması zorunlu hale gelmektedir (DMİ, 2023).

Van ili koşullarında yetiştirileceği öngörülen elma ağaçlarının büyüme mevsimi uzunluğu olarak 20 Nisan ile 30 Ekim tarihleri arasındaki 190 günlük süre dik-

kate alınmıştır (TAGEM, 2022). Elmanın günlük bitki su tüketiminin belirlenerek, sulama programının hazırlanabilmesi amacıyla günlük ortalama hava sıcaklığı (T), oransal nem (RH), rüzgâr hızı (U_2) ve solar radyasyon (R_s) verilerinin 2012 – 2020 yılları arasında ölçülen dokuz yıllık ortalama değerleri ile 2021 ve 2022 yıllarında ölçülen güncel değerleri kullanılmıştır (Şekil 1). Sulama suyu miktarının belirlenmesinde ihtiyaç duyulan günlük yağış (P) miktarlarının değişim aralığı, yağışlı geçen gün sayısı ve aylık toplam yağış miktarları Çizelge 1’de verilmiştir (DMİ, 2023).



Şekil 1. Günlük ortalama hava sıcaklığı, oransal nem, rüzgâr hızı ve solar radyasyon verileri

Figure 1. Daily average air temperature, relative humidity, wind velocity and solar radiation data

Çizelge 1. Günlük ve aylık toplam yağış miktarları

Table 1. Daily and monthly total precipitation amounts

Aylar	Yağışlı Gün Sayısı			Günlük Yağış Değişim Aralığı (mm)			Aylık Toplam Yağış (mm)		
	2012 – 2020	2021	2022	2012 – 2020	2021	2022	2012 – 2020	2021	2022
Nisan	10	5	6	1.30-1.60	0.25-1.02	0.25-1.02	31.80	2.53	3.31
Mayıs	9	8	13	2.00-5.00	0.25-12.95	0.51-14.73	38.90	22.10	58.67
Haziran	5	1	4	2.00-2.50	0.25	0.51-3.81	12.00	0.25	6.35
Temmuz	4	3	0	1.00-1.50	0.25-4.06	0	6.00	4.56	0
Ağustos	4	3	0	1.00-1.50	0.25-1.02	0	5.00	1.52	0
Eylül	3	2	0	1.50-7.00	0.51-8.38	0	13.00	9.09	0
Ekim	8	6	5	4.00-6.50	0.28-24.38	0.25-24.64	43.00	57.94	39.62

Öncelikle FAO-56 PM eşitliği kullanılarak, günlük ortalama ET_o değerleri tahmin edilmiştir (Eşitlik 1). Bu eşitliğin bileşenlerinin hesaplanmasında FAO tarafından hazırlanan 56 sayılı Sulama ve Drenaj yayınından faydalanılmıştır. Daha sonra günlük ortalama ET_o değerleri k_c katsayıları ile düzeltilerek, elma ağaçlarının günlük ortalama bitki su tüketimi değerleri belirlenmiştir (Eşitlik 2) (Allen ve ark., 1998).

$$ET_o = \frac{0.408 A(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$

$$ET_c = ET_o \cdot k_c \quad (2)$$

Eşitliklerde; ET_o , referans bitki su tüketimi (mm gün^{-1}); Δ , buhar basıncı eğrisinin eğimi ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); R_n , net radyasyon ($\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$); G , topraktaki ısı akısı ($\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$); γ , psikometrik sabite ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); e_s , doymun buhar basıncı (kPa); e_a , gerçek buhar basıncı (kPa); U_2 , zeminden 2 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı (m s^{-1}); T , ortalama hava sıcaklığı ($^\circ\text{C}$); ET_c , bitki su tüketimi (mm gün^{-1}) ve k_c , bitki katsayısını ifade etmektedir.

FAO-56 PM eşitliği ile tahmin edilen günlük ortalama ET_o ve ET_c değerleri, güvenilir bir referans olarak “Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimleri” rehberinde Van ili için verilen aynı değerlerle karşılaştırılmıştır (TAGEM, 2022). On günlük dönemler için yapılan bu karşılaştırmada, ortalama mutlak göreceli hata oranı (MAPE) istatistiksel yaklaşımından faydalanılmıştır (Eşitlik 3). FAO-56 PM ile tahmin edilen ET_o ve ET_c değerlerinin doğruluk düzeyleri; $\text{MAPE} < \%10$ ise “çok iyi”, $\%10 \leq \text{MAPE} < \%20$ ise “iyi”, $\%20 \leq \text{MAPE} < \%50$ ise “kabul edilebilir”, $\text{MAPE} \geq \%50$ ise “uyumsuz” olarak değerlendirilmiştir (Maiseli, 2019).

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|X_i - Y_i|}{X_i} 100 \right) \quad (3)$$

Eşitlikte; MAPE, ortalama mutlak göreceli hata oranı (%); X_i , “Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimleri” rehberinde Van ili için verilen on günlük ortalama ET_o ve ET_c değerleri (mm gün^{-1}); Y_i , FAO-56 PM eşitliği kullanılarak Van ili için tahmin edilen on günlük ortalama ET_o değerleri ile elma ağaçları için tahmin edilen on günlük ortalama ET_c değerleri (mm gün^{-1}) ve n , gözlem sayısını (190 gün) ifade etmektedir.

Çalışma kapsamında elma ağaçlarının damla sulama yöntemiyle sulanacağı öngörülmüştür. ET_c tahmin eşitlikleri çoğunlukla bitki kök bölgesindeki toprak yüzey alanının tamamının ıslatıldığı yüzey sulama yöntemleri için geliştirilmiştir. Damla sulamada ise toprak yüzey alanının belirli bir kesimi ıslatılmaktadır. Belirli bir kesimi ise kuru kalmaktadır. Böylece toprak yüzeyinden gerçekleşen buharlaş-

ma (evaporasyon) ve dolayısıyla ET_c yüzey sulama yöntemlerine göre daha düşük olmaktadır (Goldberg ve ark., 1976). Bununla birlikte meyve ağaçlarının taç yapısından kaynaklanan gölgelenme faktörü buharlaşmayı azaltmaktadır. Dolayısıyla, ET_c olarak sadece bitki yaprak yüzeylerinden gerçekleşen terleme (transpirasyon) kayıpları dikkate alınabilmektedir (Klocke ve ark., 1990). Bu doğrultuda Eşitlik (1) ve Eşitlik (2) kullanılarak elma için tahmin edilen günlük ET_c değerleri, Eşitlik (4) ile düzeltilerek damla sulama koşullarındaki günlük bitki su tüketimi (T^*) değerleri belirlenmiştir. Hesaplamalarda gölgelenen alan yüzdesi (P_g), %72.50 olarak alınmıştır (Yıldırım, 2008).

$$T^* = \frac{ET_c \cdot P_g}{85} \quad (4)$$

Bitki katsayısı (k_c) bitki büyüme mevsiminin başlangıç, orta ve son dönemlerinde değişkenlik göstermektedir. Bu doğrultuda “Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimleri” rehberinden elmanın başlangıç, orta ve son dönem katsayıları olarak sırasıyla 0.52 ($k_{c_başlangıç}$), 1.00 (k_{c_orta}) ve 0.74 (k_{c_son}) değerleri alınmıştır (TAGEM, 2022). Aynı rehberden başlangıç, gelişme, orta ve son dönem uzunlukları sırasıyla 20 gün, 60 gün, 80 gün ve 30 gün olarak alınıp, AutoCAD programı aracılığı ile ölçekli bir şekilde k_c katsayısı grafiği çizilmiştir (Allen ve ark., 1998; Güngör ve Erözel, 2004). Bu grafikten okunan günlük katsayıların on günlük ortalamaları kullanılarak, günlük ortalama ET_c ve T^* değerleri belirlenmiştir

Toprak nemine duyarlı sulama programının hazırlanmasında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüs alanı toprak özellikleri dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda elma ağaçlarının etkili kök derinliği (90 cm) göz önünde bulundurularak (Tan, 1990), Ziraat Fakültesi uygulama bahçesinde kazılan 90 cm derinliğindeki toprak profilinin 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm katmanlarından bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır. Munsuz (1985) ve Yıldırım (2008) tarafından önerilen yöntemler kullanılarak her bir katmanın tane dağılımı, bünye sınıfı, tarla kapasitesi, solma noktası ve hacim ağırlığı belirlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüs alanı toprağının bazı fiziksel özellikleri

Table 2. Some physical properties of the soil of Van Yüzüncü Yıl University campus area

Derinlik (cm)	Tane Dağılımı (%)			Bünye Sınıfı	Tarla Kapasitesi (%)	Solma Noktası (%)	Hacim Ağırlığı (g cm ⁻³)
	Kum	Silt	Kil				
0-30	47.40	26.30	26.30	SCL	30.60	18.50	1.35
30-60	46.70	25.40	27.90	SCL	31.70	18.12	1.42
60-90	48.00	25.80	26.20	SCL	31.20	18.00	1.30

Çalışma kapsamında bitki etkili kök derinliği bölgesindeki kullanılabilir su tutma kapasitesinin %40'ı tüketildiğinde sulama yapılacağı öngörülmüştür. Bu doğrultuda Eşitlik (5-8) kullanılarak sulamaya başlanacak toprak nemi düzeyi belirlenmiştir. Hesaplamalar, Çizelge 2'de fiziksel özellikleri verilen 30 cm yüksekliğindeki üç katman için ayrı ayrı yapılarak, elde edilen sonuçlar toplanmıştır (Güngör ve Erözel, 2004).

$$d_{TK} = \frac{P_{wTK} \cdot \gamma_t \cdot D}{100} \quad (5)$$

$$d_{SN} = \frac{P_{wSN} \cdot \gamma_t \cdot D}{100} \quad (6)$$

$$d_k = d_{TK} - d_{SN} \quad (7)$$

$$SBND = d_{TK} - (d_k \cdot R_y) \quad (8)$$

Eşitliklerde; P_{wTK} , ağırlık yüzdesi cinsinden tarla kapasitesi (%); P_{wSN} , ağırlık yüzdesi cinsinden solma noktası (%); d_{TK} , derinlik cinsinden tarla kapasitesi (mm); d_{SN} , derinlik cinsinden solma noktası (mm); γ_t , toprağın hacim ağırlığı ($g\ cm^{-3}$); D , ıslatılacak toprak derinliği (mm); d_k , kullanılabilir su tutma kapasitesi (mm); R_y , kullanılabilir su tutma kapasitesinin tüketilmesine izin verilen oranı (%) ve SBND, sulamaya başlanacak kritik toprak nemi düzeyini (mm) ifade etmektedir.

Bir günlük süreler için bir boyutlu su dengesi eşitliği yazılarak (Eşitlik 9), elmanın büyüme mevsimi uzunluğu boyunca etkili kök derinliği bölgesindeki toprak nemi düzeyinde meydana gelen günlük değişimler belirlenmiştir (Young ve ark., 1996). Günlük düzeyde yapılan bu hesaplamalarda Microsoft Office Excel programından faydalanılmıştır. Sulama programının hazırlanmasına toprak nemi düzeyinin tarla kapasitesinde olduğu kabul edilerek başlanılmıştır. Toprak nemi düzeyi SBND altına düştüğünde, bu nem düzeyini tekrardan tarla kapasitesine yükseltecek miktarda sulama suyu uygulanacağı öngörülmüştür. Hesaplamalarda iki sulama arasındaki süre bir sulama aralığı olarak kabul edilmiştir.

$$W_{ilk} + I + P + C_p - D_p - T^* - R_f = W_{son} \quad (9)$$

Eşitlikte; W_{ilk} ve W_{son} , sırasıyla bir günlük sürenin başındaki ve sonundaki toprak nemi düzeyleri (mm); I , bir günlük sürede uygulanması gereken sulama suyu miktarı (mm); P , bir günlük sürede gerçekleşen yağış miktarı (mm); C_p , bir günlük sürede kapiller yükselme ile etkili kök derinliği bölgesine giren su miktarı (mm); D_p , bir günlük sürede etkili kök bölgesinin altına sızan su miktarı (mm); T^* , elma ağaçlarının damla sulama koşullarındaki günlük bitki su tüketimi (mm) ve R_f bir günlük sürede gerçekleşen yüzey akış miktarıdır (mm).

Van ili koşullarında 2.20 – 13.40 m aralığında değişen yeraltı suyu seviyesi (YASS), il merkezinin güneyi ve Van Gölü kıyı şeridinde yaklaşıldıkça yüzeye yaklaşıırken, il merkezi ve yakın civarlarında daha derinlerde bulunmaktadır (Yaman, 2013). YASS, sulama programının hazırlandığı Nisan – Ekim dönemi boyunca etkili kök derinliğinin (90 cm) çok altında olduğundan C_p ihmal edilmiştir. Damla sulamada yüzey sulama yöntemlerine göre daha kontrollü sulama yapılarak R_f ve D_p kayıpları en aza indirilebilmekte ve %95'e ulaşan sulama randımanı sağlanabilmektedir (Westarp ve ark. 2003). Ayrıca toprağın infiltrasyon hızından daha düşük debiye sahip damlatıcılar kullanılarak, suyun toprak yüzeyinde birikerek göllenmesi ve yüzey akışa geçmesi önlenmektedir. Bu nedenle R_f ve D_p kayıpları ihmal edilmiştir (Al Ali ve ark., 2018).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

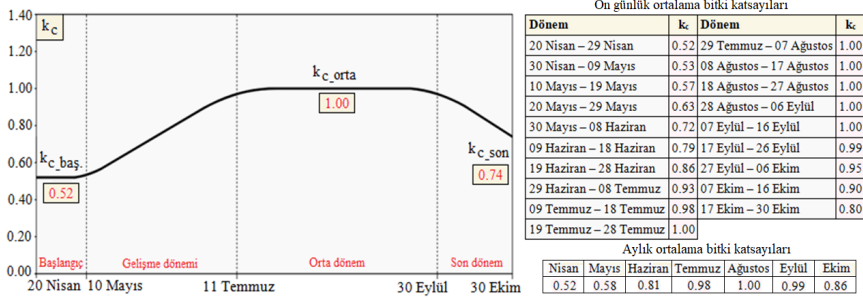
İki yıl tekerrürlü olarak yürütölen çalışmada, öncelikle toprak nemi sabitlerinin derinlik cinsinden değerleri belirlenerek Çizelge 3'de verilmiştir. Daha sonra k_c katsayısı grafiği çizilmiş ve bu grafikten okunan günlük katsayılarının on günlük ve aylık ortalama değerleri hesaplanarak Şekil 2'de verilmiştir. Elmanın günlük ortalama ET_c ve T^* miktarlarının belirlenmesinde on günlük ortalama k_c katsayıları kullanılmıştır.

Çizelge 3. Toprak nemi sabitlerinin etkili kök derinliği bölgesi boyunca değişimi

Table 3. Change of soil moisture constants along effective root zone depth

Derinlik (cm)	γ_t ($g\ cm^{-3}$)	d_{TK} (mm)	d_{SN} (mm)	d_k (mm)	$d_k.R_y$ (mm)	SBND (mm)
0-30	1.35	123.93	74.93	49.00	19.60	104.33
30-60	1.42	135.04	77.19	57.85	23.14	111.90
60-90	1.30	121.68	70.20	51.48	20.59	101.09
0-90	-	380.65	222.32	158.33	63.33	317.32

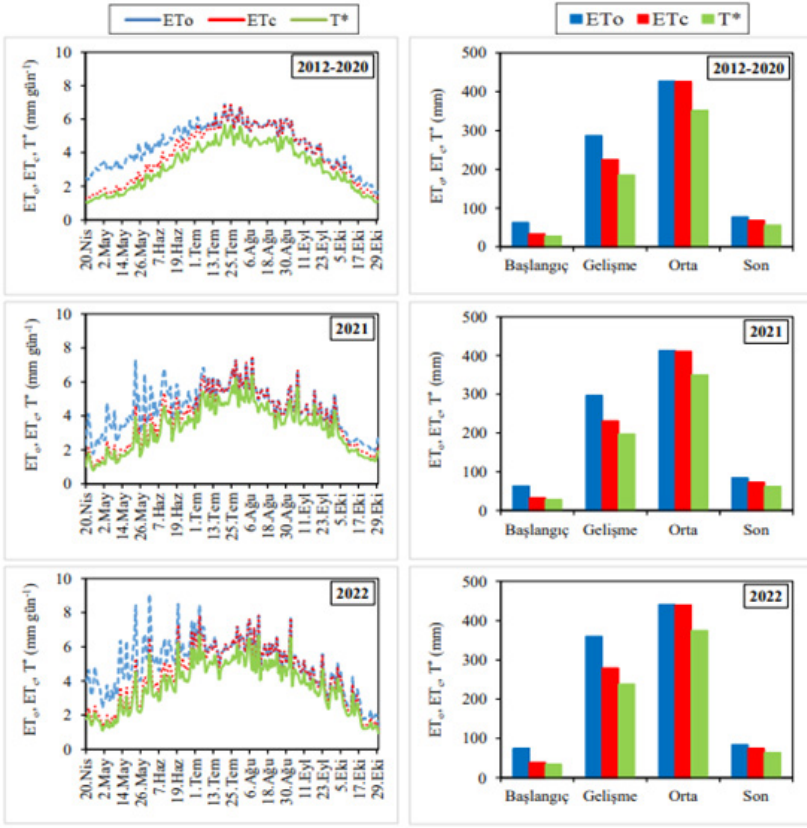
Orta ve ark. (2020) Tekirdağ koşullarında elma ağaçlarının Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayı ortalama k_c katsayılarını sırasıyla 0.88, 0.93, 0.93, 0.88 ve 0.85 olarak belirlemişlerdir. Köksal ve ark. (2000) ise Ankara koşullarında radyasyon FAO yöntemini kullanarak aynı aylar için sırasıyla 0.72, 0.80, 0.87, 0.97 ve 0.95 katsayılarını elde etmişlerdir. Benzer şekilde Doorenbos ve Pruitt (1977) aynı aylar için sırasıyla 0.55, 0.80, 0.95, 0.95 ve 0.90 katsayılarını önermişlerdir. Bu çalışmalar kapsamında belirlenen aylık ortalama katsayılar ile Van ili koşullarında aynı aylar için elde edilen katsayılar genel olarak benzerlik göstermiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Van koşullarında yetiştirilen elma ağaçlarının bitki katsayısı grafiği

Figure 2. Crop coefficient graph of apple trees grown in Van conditions

Uzun yıllar ortalama günlük iklim verileri (2012 – 2020) ile 2021 ve 2022 yılı güncel günlük iklim verileri kullanılarak belirlenen ET_o , ET_c ve T^* değerlerinin günlük ortalamaları ile elmanın gelişme dönemlerinde gerçekleşen toplam bitki su tüketimi değerleri Şekil 3'de verilmiştir. Uzun yıllar ortalama iklim verileri kullanılarak belirlenen günlük ortalama ET_o değerleri 1.59 mm gün^{-1} ile 6.90 mm gün^{-1} arasında değişmiştir. Dönemlik ortalama değer ise 4.41 mm gün^{-1} olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde güncel 2021 ve 2022 yılı iklim verileri ile tahmin edilen günlük ET_o değerleri ise sırasıyla $1.76 - 7.52 \text{ mm gün}^{-1}$ ve $1.38 - 9.08 \text{ mm gün}^{-1}$ arasında değişmiştir. Dönemlik ortalama değerler sırasıyla 4.41 mm gün^{-1} ve 4.94 mm gün^{-1} olarak belirlenmiştir. Uzun yıllar ortalama iklim verileri kullanılarak sırasıyla $1.24 - 6.90 \text{ mm gün}^{-1}$ ve $1.02 - 5.69 \text{ mm gün}^{-1}$ arasında değişen günlük ortalama ET_c ve T^* değerleri elde edilmiştir. Dönemlik ortalama değerler ise sırasıyla 3.88 mm gün^{-1} ve 3.20 mm gün^{-1} olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde 2021 yılı günlük ortalama ET_c ve T^* değerleri sırasıyla $0.92 - 7.52 \text{ mm gün}^{-1}$ ve $0.78 - 6.41 \text{ mm gün}^{-1}$ arasında değerler almıştır. Dönemlik ortalama değerleri ise sırasıyla 3.86 mm gün^{-1} ve 3.29 mm gün^{-1} olarak gerçekleşmiştir. Aynı değerler, 2022 yılı için sırasıyla $1.10 - 7.84 \text{ mm gün}^{-1}$ ve $0.94 - 6.69 \text{ mm gün}^{-1}$ arasında değişmiştir. Dönemlik ortalama değerler ise sırasıyla 4.28 mm gün^{-1} ve 3.66 mm gün^{-1} olarak belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Günlük ortalama bitki su tüketimi ve gelişme dönemlerindeki toplam bitki su tüketimi değerleri

Figure 3. Daily average crop water consumption and total crop water consumption values of growth periods

Tomurcuklarının açması ile başlayarak yaprakların belirginleşmesi ile son bulan başlangıç dönemi için damla sulama koşullarında hesaplanan toplam bitki su tüketimi (ΣT^*), 2012 – 2020 yılları arasındaki süreç için 27.49 mm, 2021 ve 2022 yılları için ise sırasıyla 28.29 mm ve 33.15 mm olarak belirlenmiştir. En düşük su tüketiminin gerçekleştiği bu dönem için günlük ortalama T^* sırasıyla 1.38 mm gün⁻¹, 1.35 mm gün⁻¹ ve 1.58 mm gün⁻¹ olarak elde edilmiştir. Yaprakların hızla gelişmeye başladığı gelişme döneminde ΣT^* artarak 2012 – 2020 yılları arasındaki süreç için 185.51 mm, 2021 yılı için 197.45 mm ve 2022 yılı için 238.18 mm düzeyine yükselmiştir. Günlük ortalama T^* ise sırasıyla 3.09 mm gün⁻¹, 3.19 mm gün⁻¹ ve 3.84 mm gün⁻¹ olarak belirlenmiştir. Elma ağaçların çiçeklenerek meye

vermeye başladıkları orta dönemde ΣT^* artarak en yüksek düzeye ulaşmıştır. Bu dönemde 2012 – 2020 yılları arasındaki süreç için 350.69 mm, 2021 yılı için 350.18 mm ve 2022 yılı için 374.43 mm ΣT^* değerleri elde edilmiştir. Günlük ortalama T^* ise sırasıyla 4.38 mm gün⁻¹, 4.32 mm gün⁻¹ ve 4.62 mm gün⁻¹ olarak belirlenmiştir. Hasadın yapıldığı son dönemde ΣT^* azalarak 2012 – 2020 yılları arasındaki süreç için 56.09 mm, 2021 yılı için 62.20 mm ve 2022 yılı için 63.22 mm düzeyine gerilemiştir. Günlük ortalama T^* değerleri ise sırasıyla 1.87 mm gün⁻¹, 2.07 mm gün⁻¹ ve 2.11 mm gün⁻¹ olarak belirlenmiştir (Şekil 3).

Sulama programlarının hazırlanmasında kullanılan günlük ortalama ET_0 ve ET_c değerlerinin doğruluk düzeylerini test etmek amacıyla, bu değerlerin on günlük dönemler için ortalamaları belirlenmiş ve “Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimleri” rehberinde Van ili için verilen aynı değerlerle karşılaştırılmıştır (Çizelge 4). Her bir ayın on günlük üç dönemi (I, II, III) için belirlenen ET_0 değerlerinin, rehberde verilen ET_0 değerlerinden olan sapmalarının bir ifadesi olarak MAPE; 2012 – 2020 yılları arasındaki süreç için %9.61, 2021 yılı için %10.70, 2022 yılı için %14.05 ve ortalama %11.45 olarak belirlenmiştir. On günlük ortalama ET_c değerleri için elde edilen MAPE değerleri ise sırasıyla %8.35, %9.09, %16.42 ve ortalama %11.29 olarak belirlenmiştir. FAO-56 PM eşitliği ile tahmin edilen ET_0 değerleri ile bu değerlerin k_c katsayılarıyla düzeltilmesi sonucunda elde edilen ET_c değerlerinin iyi düzeyde (MAPE < %20) doğruluğa sahip olduğunu görülmüştür.

Günlük ortalama ET_0 , ET_c ve T^* değerlerinin aylık ortalamaları Çizelge 5’de verilmiştir. Temmuz ayında en yüksek düzeye ulaşan aylık ortalama ET_0 değeri, Nisan ve Ekim aylarında azalarak en düşük düzeylere gerilemiştir. Temmuz ayı ortalama ET_0 değeri 2012 – 2020 yılları arasındaki süreç için 5.87 mm gün⁻¹, 2021 ve 2022 yılları için ise sırasıyla 5.77 mm gün⁻¹ ve 6.26 mm gün⁻¹ olarak belirlenmiştir. En düşük aylık ortalama ET_0 değerleri 2012 – 2020 yılları arasında ve 2021 yılında sırasıyla 2.59 mm gün⁻¹ ve 2.65 mm gün⁻¹ değerleri ile Nisan ayında, 2022 yılında ise 2.80 mm gün⁻¹ değeri ile Ekim ayında gerçekleşmiştir. Benzer şekilde en yüksek aylık ortalama ET_c ve T^* değerleri 2012 – 2020 yılları arasında 5.74 mm gün⁻¹ ve 4.90 mm gün⁻¹, 2021 yılında 5.63 mm gün⁻¹ ve 4.81 mm gün⁻¹, 2022 yılında 6.09 mm gün⁻¹ ve 5.20 mm gün⁻¹ değerleri ile Temmuz ayında elde edilmiştir. En düşük aylık ortalama ET_c ve T^* değerleri ise 2012 – 2020 yılları arasında 1.46 mm gün⁻¹ ve 1.25 mm gün⁻¹, 2021 yılında 1.38 mm gün⁻¹ ve 1.18 mm gün⁻¹, 2022 yılında 2.02 mm gün⁻¹ ve 1.72 mm gün⁻¹ değerleri ile Nisan ayında gerçekleşmiştir.

Çizelge 4. On günlük ortalama bitki su tüketimi değerleri**Table 4.** Ten-day average crop water consumption values

Aylar	Dönem	ET _o (mm gün ⁻¹)				ET _c (mm gün ⁻¹)			
		TAGEM	2012-2020	2021	2022	TAGEM	2012-2020	2021	2022
Nisan	III	34.00	30.82	29.12	42.59	14.00	16.06	15.17	22.18
	I	37.00	32.39	33.76	31.23	19.00	17.30	17.99	16.69
Mayıs	II	41.00	34.40	34.45	47.47	22.00	19.83	19.87	27.32
	III	51.00	43.88	50.42	61.37	32.00	28.44	32.42	39.62
Haziran	I	53.00	44.63	49.21	58.33	37.00	32.81	36.27	42.84
	II	54.00	49.37	53.73	60.02	42.00	39.78	43.26	48.46
	III	57.00	53.16	47.67	59.56	49.00	46.49	41.67	52.16
Temmuz	I	59.00	55.75	56.26	66.88	55.00	52.41	52.91	62.78
	II	60.00	57.82	55.48	58.40	59.00	56.91	54.59	57.46
	III	65.00	68.49	67.14	68.63	64.00	68.49	67.14	68.64
Ağustos	I	57.00	57.60	60.98	63.61	56.00	57.60	60.98	63.61
	II	55.00	56.56	52.03	58.44	54.00	56.56	52.03	58.44
	III	55.00	61.80	49.08	61.68	55.00	61.80	49.08	61.68
Eylül	I	46.00	50.48	49.52	52.28	46.00	50.48	49.52	52.28
	II	39.00	43.57	43.67	43.91	39.00	43.41	43.50	43.75
	III	34.00	36.63	39.76	40.19	34.00	35.72	38.76	39.17
Ekim	I	27.00	32.77	35.96	37.01	26.00	30.48	33.57	34.58
	II	22.00	25.64	25.09	28.43	20.00	22.12	21.60	24.63
	III	19.00	19.34	22.19	18.63	15.00	15.47	17.75	14.90

Çizelge 5. Aylık ortalama günlük bitki su tüketimi değerleri (mm gün⁻¹)**Table 5.** Monthly average daily crop water consumption values (mm day⁻¹)

Aylar	2012 - 2020			2021			2022		
	ET _o	ET _c	T'	ET _o	ET _c	T'	ET _o	ET _c	T'
Nisan	2.80	1.46	1.25	2.65	1.38	1.18	3.87	2.02	1.72
Mayıs	3.57	2.12	1.81	3.83	2.27	1.93	4.52	2.70	2.30
Haziran	4.91	3.97	3.39	5.02	4.04	3.45	5.93	4.78	4.08
Temmuz	5.87	5.74	4.90	5.77	5.63	4.81	6.26	6.09	5.20
Ağustos	5.68	5.68	4.85	5.23	5.23	4.46	5.93	5.93	5.06
Eylül	4.36	4.32	3.69	4.43	4.39	3.75	4.55	4.51	3.84
Ekim	2.59	2.27	1.94	2.77	2.43	2.07	2.80	2.47	2.11
Ortalama	4.41	3.88	3.31	4.41	3.86	3.29	4.94	4.28	3.66

Aylık ortalama bitki su tüketimi değerlerinde olduğu gibi, en yüksek ve en düşük aylık toplam bitki su tüketimi değerleri sırasıyla Temmuz ve Nisan aylarında elde edilmiştir (Çizelge 6). Elma ağaçlarının hasada kadar mevsimlik toplam bitki su tüketimi 2012 – 2020 yılları arasındaki süreç için 752.15 mm, 2021 ve 2022 yılları için ise sırasıyla 748.09 mm ve 831.14 mm olarak belirlenmiştir. Sulamada damla sulama yöntemi kullanılması durumunda, mevsimlik toplam bitki su tüketiminin %14.70 oranında azalarak sırasıyla 641.58 mm, 638.12 mm ve 708.96 mm düzeylerine gerilediği görülmüştür.

Çizelge 6. Aylık toplam bitki su tüketimi değerleri (mm ay⁻¹)

Table 6. Monthly total crop water consumption values (mm month⁻¹)

Aylar	2012 – 2020			2021			2022		
	ET _o	ET _c	T'	ET _o	ET _c	T'	ET _o	ET _c	T'
Nisan	30.82	16.06	13.70	29.12	15.17	12.94	42.59	22.18	18.92
Mayıs	110.67	65.57	55.93	118.64	70.28	59.95	140.07	83.62	71.33
Haziran	147.16	119.08	101.58	150.62	121.20	103.39	177.90	143.45	122.37
Temmuz	182.06	177.81	151.67	178.89	174.65	148.97	193.91	188.87	161.10
Ağustos	175.96	175.96	150.09	162.09	162.09	138.26	183.72	183.72	156.71
Eylül	130.68	129.61	110.56	132.95	131.79	112.42	136.38	135.19	115.32
Ekim	77.74	68.07	58.06	83.23	72.92	62.20	84.071	74.11	63.22
Toplam	855.09	752.15	641.58	855.53	748.09	638.12	958.64	831.14	708.96

Damla sulama yöntemi ile sulanacağı öngörülen elma ağaçları için uzun yıllar ortalama günlük iklim verileri (2012 – 2020) ile 2021 ve 2022 yılı güncel günlük iklim verileri kullanılarak hazırlanan sulama programları sırasıyla Çizelge 7, Çizelge 8 ve Çizelge 9'da verilmiştir. Programların hazırlanmaya başlanıldığı 20 Nisan tarihinde etkili kök derinliği bölgesindeki mevcut toprak nemi düzeyi tarla kapasitesi (380.65 mm) olarak kabul edilmiştir. Büyüme mevsimi boyunca bir günlük süreler için bir boyutlu su dengesi eşitliği yazılarak, nem düzeyindeki değişimler belirlenmiştir. Nem düzeyi SBND (317.32 mm) altına düştüğünde sulama yapılacağı ve bu nem düzeyini tekrardan tarla kapasitesine yükseltecek miktarda sulama suyu uygulanacağı öngörülmüştür.

Çizelge 7. Damla sulama yöntemi ile sulanan elma ağaçları için hazırlanan sulama programı (2012 – 2020))

Table 7. Irrigation schedule prepared for apple trees irrigated using drip irrigation method (2012 – 2020)

Sulama No	Sulama Tarihi	W_{ilk} (mm)	T^* (mm)	P (mm)	W_{son} (mm)	I (mm)	Sulama Aralığı (gün)
1	16 Haziran	380.65	109.39	45.90	317.16	63.49	-
2	4 Temmuz	380.65	69.00	5.00	316.65	64.00	18
3	20 Temmuz	380.65	71.91	4.00	312.74	67.90	16
4	2 Ağustos	380.65	67.00	2.00	315.65	65.01	13
5	16 Ağustos	380.65	65.08	1.00	316.57	64.08	14
6	31 Ağustos	380.65	69.55	4.00	315.10	65.55	15
7	18 Eylül	380.65	72.21	6.00	314.44	66.21	18

Çizelge 8. Damla sulama yöntemi ile sulanan elma ağaçları için hazırlanan sulama programı (2021)

Table 8. Irrigation schedule prepared for apple trees irrigated using drip irrigation method (2021)

Sulama No	Sulama Tarihi	W_{ilk} (mm)	T^* (mm)	P (mm)	W_{son} (mm)	I (mm)	Sulama Aralığı (gün)
1	07.06.2021	380.65	90.14	24.63	315.14	65.51	-
2	25.06.2021	380.65	63.75	0.00	316.90	63.75	18
3	11.07.2021	380.65	67.52	0.25	313.38	67.27	16
4	26.07.2021	380.65	71.31	4.31	313.65	67.00	15
5	08.08.2021	380.65	68.44	0.50	312.72	67.94	13
6	22.08.2021	380.65	64.62	1.27	317.30	63.35	14
7	07.09.2021	380.65	67.52	0.00	317.13	67.52	16
8	24.09.2021	380.65	64.69	0.00	315.96	64.69	17

Çizelge 9. Damla sulama yöntemi ile sulanan elma ağaçları için hazırlanan sulama programı (2022)

Table 9. Irrigation schedule prepared for apple trees irrigated using drip irrigation method (2022)

Sulama No	Sulama Tarihi	W_{ik} (mm)	T' (mm)	P (mm)	W_{son} (mm)	I (mm)	Sulama Aralığı (gün)
1	11.06.2022	380.65	126.78	61.98	315.85	64.80	-
2	28.06.2022	380.65	70.41	6.35	316.59	64.06	17
3	10.07.2022	380.65	64.02	0.00	316.63	64.02	12
4	23.07.2022	380.65	64.24	0.00	316.41	64.24	13
5	04.08.2022	380.65	64.25	0.00	316.40	64.25	12
6	17.08.2022	380.65	68.53	0.00	312.12	68.53	13
7	31.08.2022	380.65	67.50	0.00	313.15	67.50	14
8	15.09.2022	380.65	65.18	0.00	315.47	65.18	15
9	04.10.2022	380.65	65.25	0.00	315.40	65.25	19

Sulama aralığı, uzun yıllar ortalama (2012 – 2020) ve 2021 yılı iklim verileri ile hazırlanan sulama programlarında 13 – 18 gün arasında değişmiştir. Sulama sayıları ise sırasıyla 7 ve 8 olarak belirlenmiştir. Sulama aralığının 12 – 19 gün arasında değiştiği 2022 yılı için sulama sayısı 9 olarak elde edilmiştir. Elma ağaçlarının her bir sulama aralığındaki su tüketimi; 2012 – 2020 yılları arasındaki süreç için 65.08 – 109.39 mm, 2021 yılı için 63.75 mm – 90.14 mm ve 2022 yılı için 64.02 – 126.78 mm arasında değişmiştir. Her bir sulamada uygulanması gereken sulama suyu miktarları sırasıyla ise 63.49 – 67.90 mm, 63.35 – 67.94 mm ve 64.02 – 68.53 mm arasında değerler almıştır. Elma ağaçlarının son sulamaya kadar olan mevsimlik toplam su tüketimleri sırasıyla 524.14 mm, 557.99 mm ve 656.16 mm olarak belirlenmiştir. Bu su tüketimi miktarlarının sırasıyla 67.90 mm, 30.96 mm ve 68.33 mm büyüklüğündeki bölümleri yağışla karşılanmıştır. Mevsimlik toplam sulama suyu miktarları ise sırasıyla 456.24 mm, 527.03 mm ve 587.83 mm olarak elde edilmiştir. Uzun yıllar ortalama iklim verileri ile 2021 ve 2022 yılı güncel iklim verileri kullanılarak elde edilen bitki su tüketimi ve sulama suyu miktarlarının ortalamaları dikkate alındığında, elma ağaçlarının her bir sulama aralığındaki ortalama su tüketimi 72.91 mm olarak belirlenmiştir. Bu bitki su tüketimine karşılık olarak ortalama 15 gün ara ile uygulanması gereken sulama suyu miktarı ise ortalama 65.50 mm olarak elde edilmiştir. Damla sulama yöntemi ile sulanacağı öngörülen elma ağaçlarının son sulamaya kadar ortalama mevsimlik su tüketimi 579.43 mm, bu su tüketimine karşılık olarak uygulanması gereken ortalama mevsimlik toplam sulama suyu miktarı ise 523.70 mm olarak belirlenmiştir. İlk sulamanın Haziran ayı ortalarında, son sulamanın ise Eylül ayı sonlarına doğru yapılması gerektiği

sonucuna ulaşılmıştır. Anonim (2023), elma ağaçlarının sulama aralığının kurak bölgelerde ortalama 10 gün olduğunu, Van ilinde elma yetiştiriciliğinin ağırlıklı olarak yapıldığı Van Gölü kıyı kesimlerine benzer yarı kurak – nemli arası iklime sahip bölgelerde ise 15 – 20 gün aralığında değiştiğini ifade etmiştir.

Van ili iklim ve çevre özellikleri dikkate alınarak gerçekleştirilen bu çalışmada olduğu gibi, etkili kök derinliği bölgesindeki kullanılabilir suyun bitki tarafından tüketilmesine izin verilen kısmı (R_y) %40 alınarak, damla sulama yöntemi ile sulanan elma ağaçlarının su tüketimi ve sulama suyu ihtiyaçlarının belirlendiği benzer çalışmalarda; Karamürsel ve ark. (2017), Isparta koşullarında mevsimlik toplam su tüketimini 532.70 mm olarak belirlemişlerdir. Bu su tüketiminin karşılığı olarak, elma ağaçlarına 15 günlük aralıklarla toplam 478.70 mm sulama suyu uygulamışlardır. Isparta koşullarında yürütülen bir diğer çalışmada Küçükyumuk ve ark. (2020), 478.00 – 522.70 mm arasında değişen toplam su tüketimine karşılık olarak, elma ağaçlarına 361.20 mm – 395.00 mm arasında değişen miktarlarda sulama suyu vermişlerdir. Orta ve ark. (2020), Tekirdağ koşullarında yetiştirilen elma ağaçlarının mevsimlik toplam su tüketiminin 359.30 – 470.30 mm arasında değiştiğini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmalardan farklı olarak R_y 'nin sırasıyla %30 ve %50 alındığı Ankara ve Konya koşullarında yürütülen çalışmalarda, sırasıyla 697.90 – 851.80 mm ve 290.00 mm – 394.00 mm aralıklarında değişen mevsimlik toplam su tüketimi değerleri elde edilmiştir (Köksal ve ark., 2000; Çay ve ark., 2009). Damla sulamadan farklı olarak yüzey sulama ve ağaç altı mikro yağmurlama sulama yöntemleri kullanılarak, %30 – 40 arasında değişen R_y koşullarında elma ağaçlarının sırasıyla mevsimlik toplam su tüketimi ve sulama suyu ihtiyaçlarının belirlendiği bazı çalışmalarda; 920 mm ve 531 mm (Güngör ve Kanburoğlu, 1978), 845 mm ve 547 mm (Günbatılı ve Demirören, 1980), 814 mm ve 495 mm (Kıvanç, 1991), 524 mm ve 286 mm (Daşcı ve ark., 2016) sonuçları elde edilmiştir. Ele alınan bu çalışmalar kapsamında elma ağaçları için belirlenen bitki su tüketimi ve sulama suyu miktarları ile Van ili koşulları için tahmin edilen miktarlar arasında iklim, bitki ve toprak özellikleri ile sulama yöntemi ve sulama mevsimi uzunluğuna bağlı farklılıklar olsa da, genel olarak R_y 'nin %40 alındığı çalışmalar ile benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

SONUÇ

Van ili koşullarında yetiştirilen elma ağaçlarının teorik su tüketimi ve sulama suyu ihtiyaçlarının belirlenerek sulama programlarının hazırlandığı bu çalışmada, etkili kök derinliği bölgesindeki kullanılabilir suyun %40'ı tüketildiğinde damla sulama yöntemi ile sulama yapılacağı öngörülmüştür. Yağışa bağlı olarak ortalama 15 gün sulama aralığı ile 7 – 9 adet sulama yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Elma ağaçlarının her bir sulama aralığındaki ortalama su tüketimi 72.91 mm, her bir sulamada uygulanması gereken ortalama sulama suyu miktarı ise 65.50 mm

olarak elde edilmiştir. Son sulamaya kadar ortalama 679.28 mm düzeyine ulaşan mevsimlik toplam su tüketiminin sulamada damla sulama yöntemi kullanılması durumunda %14.70 oranında azalarak 579.43 mm düzeyine gerilediği görülmüştür. Damla sulama yöntemi ile uygulanması gereken ortalama mevsimlik toplam sulama suyu miktarı ise 523.70 mm olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçların, Van yöresinde elma ağaçları için yapılacak damla sulama uygulamalarında aydınlatıcı olacağı düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Etik

Bu çalışma etik kurul onayı gerektirmez.

KAYNAKLAR

- Al Ali, M., Gençoğlan, C., Gençoğlan, S., 2018. Damla sulama yöntemiyle uygulanan farklı düzeylerde sulama suyu miktarının patlıcan su verim ilişkisine etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 1. Uluslararası Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi Özel Sayısı: 385-393.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Irrigation and Drainage Paper No: 56, 300 p, Rome, Italy.
- Anonim, 2001. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Bitkisel Üretim Özel İhtisas Komisyonu Meyvecilik Alt Komisyonu Elma Raporu. Available at <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Bitkisel-Uretim-OIK-Raporu-Meyvecilik.pdf> (Erişim tarihi: 14 Haziran 2023).
- Anonim, 2021. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Sulama Çalışma Grubu. Available at https://cdn.nys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/467/Sayfa/1497/1861/DosyaGaleri/tarimsal_sulamaya_grubu_calisma_belgesi.pdf (Erişim tarihi: 28 Temmuz 2023).
- Anonim, 2023. Elma bahçelerinde yıllık bakım işleri. Available at <https://istanbul.tarimorman.gov.tr/Belgeler/KutuMenu/Brosurler/Meyvecilik/elmabakim.pdf> (Erişim tarihi: 10 Ağustos 2023).
- Aydınşakir, K., Baştuğ, R., Büyüktaş, D., 2003. Antalya yöresinde çim kıyas bitki su tüketimini veren bazı ampirik eşitliklerin tarla ve lizimetre koşullarında kalibrasyonu. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16(1): 107-119.
- Çakmak, B., Yıldırım, M., Aküzüm, T., 2008. Türkiye’de tarımsal sulama yönetimi sorunları ve çözüm önerileri. TM-MOB İnşaat Mühendisleri Odası 2. Su Politikaları Kongresi, 215-224, 20-22 Mart, Ankara.
- Çay, Ş., Tari, A.F., Dinç, N., Bitgi, S., Özbahçe, A., Palta, Ç., Okur, O., 2009. Farklı sulama programlarının M9 anacına aşıllı Granny Smith elma ağaçlarının verim ve kalite özellikleri üzerine etkisi. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, (2): 73-79.
- Çetin, Ö., 2003. Toprak-su ilişkileri ve toprak suyu ölçüm yöntemleri. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Eskişehir Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No: 258, 89 s, Eskişehir.
- Daşçı, E., Kaya, S., Evren, S., Yılmaz, H., Adıgüzel, M.C., 2016. Genç elma ağaçlarının vejetatif gelişim, meyve verimi ve kalitesi üzerine farklı sulama programlarının etkileri. Tarım Bilimleri Dergisi, 22(2): 216-228. doi:10.1501/Tarimbil_0000001382
- DMİ, 2023. Van ili iklim verileri. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Doorenbos, J., Pruitt, W.O., 1977. Crop water requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Irrigation and Drainage Paper No: 24, 144 p, Rome, Italy.
- FAO, 2022. Statistical Database. Available at <https://www.fao.org/statistics/en> (Erişim tarihi: 22 Ekim 2022).
- Goldberg, D., Gornat, B., Rimon, D., 1976. Drip irrigation: principles, design and agricultural practices. Drip Irrigation Scientific Publication, 296 p, Israel.
- Günbatlı, F., Demiroren, T., 1980. Tokat-Kazova koşullarında elmanın su tüketimi, Tokat Bölge TOPRAKSU Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No:37, 47 s, Tokat.

- Güngör, H., Kanburoğlu, S., 1978. Orta Anadolu koşullarında elmanın su tüketiminin tarla parsellerinde saptanması. Eskişehir Bölge TOPRAKSU Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No: 143, 39 s, Eskişehir.
- Güngör, Y., Erözel, A.Z., 2004. Sulama. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No: 1540, Ders Kitabı No: 493, 292 s, Ankara.
- Horuz, A., Korkmaz, A., Akinoğlu, G., Boz, E., 2016. Bitkilerde demir klorozunun nedenleri ve giderilme yöntemleri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 4(1): 32-42.
- Jacobs, J.M., Anderson, M.C., Friess, L.C., Diak, G.R., 2004. Solar radiation long wave radiation and emergent wetland evapotranspiration estimates from satellite data in Florida. *Hydrological Sciences*, 49(3): 461-476. doi:10.1623/hysj.49.3.461.54352
- Jensen, M.E., Allen, R.G., 2016. Evaporation, evapotranspiration, and irrigation water requirements. American Society of Civil Engineers (ASCE), 744 s, New York, USA.
- Karaca, C., Tekelioğlu, B., Büyüktaş, D., Baştuğ, R., 2017. Kıyas bitki su tüketiminde kullanılan eşitliklerin değerlendirilmesi. *Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, ICAE-IWCB 2017 özel sayı: 144-161.
- Karamürsel, D., Küçükyumuk, C., Yıldız, H., 2017. Elma üretiminde farklı malç uygulamaları ve sulama programlarının ekonomik analizi. *Derim*, 34(2): 147-157. doi:10.16882/derim.2017.310521
- Kırnak, H., Akpınar, Y., İrık, H.A., 2022. Toprak nemi belirlenmesinde kullanılan tansiyometrenin arazi kalibrasyonu. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 9(4): 823-829. doi:10.30910/turkjans.990801
- Kıvanç, F., 1991. Isparta-Atabey Ovasında elmanın su tüketimi. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Konya Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No: 142, 68 s, Konya.
- Klocke, N.L., Hubbard, K.G., Kranz, W.L., Watts, D.G., 1990. Evapotranspiration (ET) or Crop Water Use. NebGuide G992, NE Cooperative Extension. Available at <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2196&context=extensionhist> (Erişim tarihi: 22 Nisan 2023).
- Köksal, A.İ., Yıldırım, O., Dumanoğlu, H., Kadayıfçı, A., Güneş, N., 2000. Farklı sulama yöntemlerinde elma ağaçlarının su tüketimi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 6(2): 22-29.
- Küçükyumuk, C., Yıldız, H., Meriç, M.K., 2020. The response of braeburn apple to regulated deficit irrigation. *Journal of Agricultural Sciences*, 26(2): 154-163. doi:10.15832/ankutbd.491542
- Maiseli, B.J., 2019. Optimum design of chamfer masks using symmetric mean absolute percentage error. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 74: 1-15. doi:10.1186/s13640-019-0475-y
- Munsuz, N., 1985. Toprak mekaniği ve teknolojisi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No: 922, Ders Kitabı No: 260, 448 s, Ankara.
- Nalbantoğlu, A., 2014. Aydın bölgesinde yüzey sulama sisteminden toplu basınçlı sulama sistemine geçilen arazilerde sulama uygulamalarının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 108s, Aydın.
- Orta, A.H., Yüksel, A.N., Erdem, T., 2000. Tekirdağ koşullarında farklı sulama yöntemlerinin elma ağaçlarının su tüketimine etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 6(3): 109-115. doi:10.1501/Tarimbil_00000000978
- Öztürk, F.P., Küçükyumuk, C., Kaçal, E., Yıldız, H., 2018. Verim çağındaki elma ağaçlarında yüzey sulama yönteminin damla sulama sistemine geçiş sürecinin ekonomik değerlendirmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21: 102-108. doi:10.18016/ksutarimdogavi.472705
- Panda, R.K., Behera, S.K., Kashyap, P.S., 2004. Effective management of irrigation water for maize under stressed conditions. *Agricultural Water Management*, 66(3): 181-203. doi:10.1016/j.agwat.2003.12.001
- Salas, W., Green, P., Froling, C., Li, C., Boles, S., 2006. Estimating irrigation water use in California agriculture. Available at http://www.energy.ca.gov/2006_publications/CEC-500-2006-057/CEC-500-2006-057.PDF. (Erişim Tarihi: 18 Şubat 2022).
- TAGEM, 2022. Türkiye'de sulanan bitkilerin bitki su tüketimleri. Available at <https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/Tu%CC%88rkiyede%20Sulanan%20Bitkilerin%20Bitki%20Su%20Tu%CC%88ketimleri.pdf>. (Erişim tarihi: 26 Mayıs 2022).
- Tan, C.S., 1990. Irrigation scheduling for fruit crops. Agriculture Canada. Available at <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/90-069.htm> (Erişim tarihi: 26 Mayıs 2022).
- Thadchayini, T., Thiruchelvam, S., 2005. An economic evaluation of a drip irrigation project for banana cultivation in Jaffna District. Water Professionals Day Symposium, 111-126, 01 October, Peradeniya, Sri Lanka.
- Trajković, S., Gocić, M., 2010. Comparison of some empirical equations for estimating daily reference evapotranspiration. *Facta Universitatis - Series: Architecture and Civil Engineering*, 8(2): 163-168. doi:10.2298/FUACE1002163T
- TÜİK, (2022). Meyve ürünleri, içecek ve baharat bitkileri üretim miktarları, 2020. Available at <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2020-33737> (Erişim tarihi: 18 Ağustos 2022).

- Westarp, S., Chieng, S., Schreier, H., 2003. A comparison between low-cost drip irrigation, conventional drip irrigation, and hand watering in Nepal. *Agricultural Water Management*, 64(2): 143-160. doi:10.1016/S0378-3774(03)00206-3
- Yaman, M., 2013. Van il merkezinin yerleşime uygunluk yönünden değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 99s, Niğde.
- Yetik, A.K., Aşık, M., 2021. Toprak nem içeriğinin izlenmesi ve tayininde kullanılan yöntemler. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8(1): 484-496. doi: 10.35193/bseuffbd.842370
- Yıldırım, O., 2008. Sulama sistemleri tasarımı. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No: 1565, Ders Kitabı No: 518, 354 s, Ankara.
- Young, M.H., Wierenga, P.J., Mancino, C.F., 1996. Large weighing lysimeters for water use and deep percolation studies. *Soil Science*, 161(8): 491-501. doi: 10.1097/00010694-199608000-00004