



REASSESSMENT OF EXISTING IRRIGATION PROJECTS WITH FAO CRITERIA: TAVAS PLAIN EXAMPLE

A. C. KOÇ * & Ü. GÜNER **

* Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli
a_c_koc@pamukkale.edu.tr

** Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli
ugbacanli@pamukkale.edu.tr

ABSTRACT

In this study, an existing irrigation project is recalculated with the United Nations Food and Agriculture Organization (FAO) criteria and the results are compared. Tavas Plain Irrigation Project which is designed by the State Water Works (DSI) taken as an example. Blaney-Criddle method was used in crop water requirement calculations of this project. On the other hand, FAO recommends Modified Penman-Monteith method instead of the Blaney-Criddle method. CROPWAT computer code which is spread by FAO is used in the recalculations and results are compared with the existing values.

Keywords: Irrigation, Modified Penman-Monteith Method, CROPWAT

MEVCUT SULAMA PROJELERİNİN FAO KRİTERLERİYLE YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ: TAVAS OVASI ÖRNEĞİ

ÖZET

Bu çalışmada, ülkemizde geçmiş yıllarda yapılmış olan sulama projelerinin Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu (FAO) tarafından önerilen kriterlere göre yeniden hesaplanması durumunda nasıl değişiklikler olacağı incelenmiştir. Örnek olarak Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından projelendirilen Tavas Ovası sulaması ele alınmıştır. 1987 yılında yapılan Tavas Projesinde sulama suyu ihtiyacı ülkemizde halen kullanılmakta olan Blaney-Criddle yöntemiyle hesaplanmıştır. FAO, sulama suyu ihtiyacının Geliştirilmiş Penman-Monteith yöntemiyle belirlenmesini önermektedir. FAO tarafından sağlanan CROPWAT programı kullanılarak, Tavas Ovası için, bitki sulama suyu ihtiyaçları hesaplanmış ve mevcut proje değerleriyle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sulama, Geliştirilmiş Penman-Monteith Yöntemi, CROPWAT

1.GİRİŞ

Dünya su tüketiminin %70'i tarım alanlarında gerçekleşmektedir [1]. Sulama, tarımsal üretimi arttırmanın önemli yollarından birisidir. Özellikle ülkemiz gibi kurak ve yarı kurak iklime sahip ülkelerde sulamanın önemi daha da artmaktadır. Cumhuriyetin ilk yıllarından itibaren ülkemizde sulama projelerine önem verilmiş, 1953 yılından itibaren sulama projelerinin hazırlanmasından DSİ sorumlu olmuştur.

Sulama projelerinin gerçekçi bir şekilde hazırlanabilmesi için yetiştirilmesi planlanan bitkilerin kullanacakları aylık ya da daha kısa dönemlere ilişkin su miktarının bilinmesi gerekmektedir. Sulama suyu ihtiyacının hesaplanmasında esas, bitki su tüketiminin belirlenmesidir. Bitki su ihtiyacı da iki kısımdan oluşur. Bunlar, bitkilerin besin maddelerini taşımak için kullandıkları su ve toprak yüzeyinden buharlaşmadır. Bitkilerin kullandıkları su daha sonra yapraklardan terleme yoluyla buharlaşır, buna "transpirasyon" denir. Toprak yüzeyinden buharlaşmaya ise "evaporasyon" denilmektedir. Bu iki kayıp "evapotranspirasyon" deyimiiyle birleştirilmiştir. Sağlıklı bir bitki gelişimi için evapotranspirasyon kaybının karşılanması gereklidir.

Bitki su ihtiyacının fiziksel tanımı basittir. Ancak, bu olaya etki eden pek çok parametre bulunmaktadır. Sıcaklık, rüzgar, güneşlenme süresi, nispi nem, yağış gibi meteorolojik faktörler; bitki cinsi, bitki gelişim evresi, kök derinliği ve bitki yüksekliği gibi bitkiye has özellikler; tarım yapılan toprağın bünyesi ve kimyasal özellikleri gibi yöresel koşullar bitki su ihtiyacına etki eden bazı parametrelerdir. Bu parametrelerin hepsini birden göz önüne alan bir bitki su ihtiyacı hesaplama yöntemi mevcut değildir. Araştırmacılar kendilerince önemli buldukları parametreleri içeren hesaplama yöntemleri önermişlerdir. Bitki su ihtiyacının sağlıklı olarak belirlenmesi, bir sulama projesinin en önemli konusudur. Çünkü sistemdeki depolama ve iletim yapılarının kapasiteleri bu değere göre projelendirilip inşa edilecektir [1].

Tartışmasız en kesin sonuç verecek olan yöntem tarım alanında yapılacak deneysel bir çalışma ile su ihtiyaçlarının belirlenmesidir. Ancak, deneysel çalışmaların pahalı olması ve uzun sürmesi nedeniyle çeşitli hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir. DSİ, bitki su ihtiyacını Blaney-Criddle yöntemi ile hesaplamaktadır. Amerika Birleşik Devletlerinin batı eyaletlerindeki deneylerle ortaya konan bu yöntem, Türkiye şartlarına uygun olması yönünden tercih edilmektedir. Bitki su ihtiyacına etki eden faktörlerden aylık ortalama sıcaklık, aylık ortalama gündüz saatlerinin yıllık ortalama gündüz saatlerine oranı, tarım alanının yeri ve bitki cinsi göz önüne alınmaktadır. Bu yöntemle aylık su ihtiyaçları hesaplanmakta, günlük veya başka bir periyottaki ihtiyaçlar hesaplanamamaktadır.

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Teşkilatı (FAO), gelişmekte olan ülkelerdeki sulama projelerine yardımcı olmak üzere bitki su ihtiyacını belirlemek için Geliştirilmiş Penman-Monteith formülünü önermiştir. 1948 yılında Penman tarafından önerilen bu yöntem, 1976'da Monteith'in düzenlemeleriyle son şeklini almıştır.

Penman-Monteith yönteminin Blaney-Criddle yöntemine göre daha gerçekçi sonuçlar verdiği yurtiçi ve yurtdışı çalışmalarla gösterilmiştir. BEYRİBEY vd. ülkemizdeki 120 sulama şebekesinde, sulama suyu ihtiyaçlarını Blaney-Criddle ve Penman-Monteith yöntemlerine göre hesaplamış, sonuçlara bağımsız iki grup için t-testi uygulamış ve

incelenen şebekelerin % 43'ünde önemli farklılık tespit etmişlerdir [2]. AYDINŞAKİR vd. Antalya'da, çim ekilmiş deney alanında yaptıkları çalışmada, en uygun bitki su tüketimi hesaplama yönteminin buharlaşma tavaşından sonra Penman yöntemi olduğunu saptamışlardır [3]. DEHGHANİSANİJ vd. yarı kurak iklimler için yaptıkları deneysel çalışmada, Penman, Penman-Monteith, Wright-Penman, Blaney-Criddle, Radyasyon ve Hargreaves yöntemleriyle elde ettikleri bitki su ihtiyacı sonuçlarını, lizimetre ölçümleriyle karşılaştırmışlar ve en iyi sonucu Penman-Monteith yönteminin verdiğini belirlemişlerdir [4]. BEYAZGÜL vd. Gediz Havzasında pamuk ekimi yapılan uygulama alanı için, Blaney-Criddle, radyasyon, Penman, buharlaşma tavaşı, Hargreaves ve Penman-Monteith yöntemleriyle hesapladıkları sulama suyu ihtiyacını, su dengesi yöntemi ile karşılaştırarak Penman-Monteith yönteminin en yakın sonucu verdiğini bildirmişlerdir [5].

Bu çalışmanın amacı, literatürde özellikle yarı kurak iklimler için kullanılması önerilen, Penman-Monteith yöntemi hakkında sulama projeleriyle uğraşan mühendislerimizi bilgilendirmek ve ülkemizde daha fazla uygulanmasını sağlamaktır.

2.TAVAS PROJESİ

2.1.Tavas Projesi Hakkında Genel Bilgiler ve Meteorolojik Veriler

Devlet Su İşleri XXI. Bölge Müdürlüğü tarafından Eylül 1987'de yapılan Tavas Projesi'nin amacı, Orta Büyük Menderes havzasında yer alan Tavas Ovası'nın toprak kaynaklarının, Yenidere'nin su potansiyelinden yararlanılarak geliştirilmesidir [6].

Proje sahası, Denizli'nin 50 km güneybatısında bulunan, yüksekliği 860 – 950 m kotları arasında değişen, yıllık ortalama yağışı 660 mm ve ortalama sıcaklığı 13.4 °C olan Tavas ovasıdır. İnşa edilecek Yenidere Barajı ile 13000 ha'lık arazinin sulanması planlanmıştır [6]. Proje sahasında Devlet Meteoroloji İşlerine (DMİ) ait Tavas ve Kale ile DSİ'ye ait Sofular (1983'ten sonra Çalıköy) meteoroloji istasyonları bulunmaktadır. Bu istasyonlardan Tavas ve Kale'de sadece yağış, Çalıköy'de ise yağış ve buharlaşma gözlemi yapılmaktadır.

Proje sahasında bulunan meteoroloji istasyonlarında sıcaklık gözlemleri yapılmadığı için, sıcaklık ölçümü yapılan en yakın meteoroloji istasyonu olan Denizli'nin sıcaklık değerleri proje kotuna göre düzeltilmiştir [6]. Tavas'ın sıcaklık değerlerinin Denizli'den 2.4 °C daha az olduğu belirtilmiştir. Çizelge 1'de Denizli meteoroloji istasyonunda ölçülen ortalama sıcaklık değerleri ve Tavas'ın düzeltilmiş sıcaklık değerleri verilmiştir.

2.2.Blaney-Criddle Yöntemiyle Sulama Suyu İhtiyaçlarının Hesaplanması

Blaney-Criddle yöntemi, ABD'de yapılan arazi deneyleri sonucu geliştirilmiş olan ampirik bir yöntemdir. Türkiye şartlarına uygun olduğu için resmi sulama suyu ihtiyacı hesaplama yöntemi olarak ülkemizde benimsenmiştir. Bu yöntemde aylık bitki su ihtiyacı (1) denklemi kullanılarak (mm) cinsinden hesaplanmaktadır.

$$u = f K \quad (1)$$

Burada; f = Aylık su kullanma kapasitesi faktörü, K = Aylık bitki su kullanma katsayısıdır. Sırasıyla (2) ve (3) denklemleriyle hesaplanmaktadır.

$$f = (1.8T + 32) \frac{P}{100} \quad (2)$$

Burada; T = Aylık ortalama sıcaklık derecesidir ($^{\circ}\text{C}$), formüldeki 1.8 ve 32 katsayıları Fahrenheit ve Santigrad sıcaklık birimleri arasındaki dönüşümden kaynaklanmaktadır. P = Projenin yapıldığı bölgenin enlem derecesinde aylık ortalama gündüz saatlerinin yıllık ortalama gündüz saatlerine oranıdır.

$$K = K_t K_c^* 25.4 \quad (3)$$

Burada; K_t = İklim faktörüdür ve (4) denklemiyle hesaplanmaktadır. Denklemdaki 25.4 sabiti inç ve mm arasındaki dönüşümden kaynaklanmaktadır. K_c^* = Blaney-Criddle bitki büyüme safhası faktörüdür ve her bitki için gelişim yüzdesine göre veya aylara göre değişmektedir.

$$K_t = 0.0173(1.8 T + 32) - 0.314 \quad (4)$$

Burada; T = Aylık ortalama sıcaklık derecesidir ($^{\circ}\text{C}$).

Tavas ovası için Blaney-Criddle yöntemiyle sulama suyu ihtiyacının hesaplanmasında DSI tarafından esas alınan meteorolojik veriler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Blaney-Criddle Yöntemi İçin İklim Verileri [2].

Aylar	Denizli Ort. Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Tavas Ort. Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	P	f	K_t	Ölçülen Yağış (mm/ay)	Etkili Yağış (mm/ay)
Ocak	5.7	3.3	6.90	2.58	0.33	110.6	89.09
Şubat	7.0	4.6	6.81	2.72	0.38	80.20	70.54
Mart	9.8	7.4	8.34	3.79	0.47	64.70	58.35
Nisan	14.2	11.8	8.89	4.72	0.60	53.40	48.86
Mayıs	18.9	16.5	9.89	6.12	0.76	49.60	45.66
Haziran	23.6	21.2	9.92	6.98	0.90	24.20	24.20
Temmuz	26.6	24.2	10.07	7.59	0.99	14.70	14.70
Ağustos	26.2	23.8	9.45	7.00	0.97	10.80	10.80
Eylül	21.4	19.0	8.38	5.56	0.83	19.10	19.10
Ekim	16.4	14.0	7.81	4.47	0.68	45.20	41.97
Kasım	11.8	9.4	6.84	3.28	0.52	57.40	52.22
Aralık	8.0	5.6	6.72	2.77	0.40	125.7	96.17

Bitki sulama suyu ihtiyaçlarının hesaplanabilmesi için son adım bitki desenini belirlemektir. Tavas Projesi’nde yetiştirilmesi planlanan bitkilerin ekim ve hasat tarihleri ile ekim yüzdeleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Tavas Ovası Bitki Deseni [2].

Bitki Türü	Ekim Tarihi (gün/ay)	Hasat Tarihi (gün/ay)	Ekim Yüzdesi (%)
Buğday	1 / 10	30 / 6	25
Şeker Pancarı	1 / 4	20 / 9	15
Patates	5 / 4	15 / 8	7
Sebze	1 / 5	1 / 10	6
Fasulye	20 / 4	17 / 8	7
Ayçiçeği	1 / 4	16 / 8	10
Mısır (1. Ürün)	2 / 4	10 / 9	5
Yonca	10 / 4	10 / 11	10
Meyve	10 / 4	10 / 11	15
Mısır (2. Ürün)	5 / 7	15 / 9	10

Blaney-Cridde yöntemiyle DSİ tarafından hesaplanan bitki sulama suyu ihtiyaçları Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Tavas Ovası Bitki Sulama Suyu İhtiyaçları [2].

Bitki Cinsi	Sulama Suyu İhtiyacı (mm / ay)						Yıllık Toplam (mm)
	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	
Buğday	25.05	17.64	-	-	-	0.67	43.36
Şeker Pancarı	-	17.76	25.41	29.73	7.67	-	80.57
Patates	-	7.11	11.01	5.0	-	-	23.12
Sebze	-	2.66	8.15	7.47	2.88	-	21.16
Fasulye	-	5.54	10.50	4.24	-	-	20.29
Ayçiçeği	-	6.54	15.46	7.02	-	-	29.02
Mısır (1. Ürün)	-	4.43	7.90	7.41	4.55	0.22	24.52
Yonca	-	12.41	18.03	17.24	10.28	2.41	60.37
Meyve	-	12.75	25.46	20.36	8.04	-	66.61
Mısır (2. Ürün)	-	-	7.55	10.84	3.76	-	22.15
Aylık Toplam (mm)	25.05	86.84	129.47	109.31	37.18	3.33	391.17

3.GELİŞTİRİLMİŞ PENMAN-MONTEITH YÖNTEMİ

Penman 1948'de, kütle transferi yöntemiyle enerji dengesini birleştirerek ve güneşlenme, sıcaklık, nem ve rüzgar hızı gibi standart meteorolojik kayıtları kullanarak açık su yüzeyinden buharlaşma formülünü geliştirmiştir. Bu yöntem, 1976'da Monteith tarafından aerodinamik ve yüzey direnci faktörleri eklenerek bitkiler için geliştirilmiştir. Son olarak FAO tarafından, Mayıs 1990'da dünyanın çeşitli ülkelerindeki uzmanlar bir araya getirilerek, FAO Penman-Monteith yöntemi adıyla standartlaştırılmıştır. Uygulamada potansiyel su tüketiminin standart bir tanımı yapılamamıştır. Potansiyel bitki su tüketimi, ülkeler arasında, hatta aynı ülkenin farklı araştırmacıları arasında farklı anlamlarda kullanılmaktadır. Bu nedenle, son yıllarda potansiyel su tüketiminin yerine **"referans bitki**

su tüketimi” kavramı yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır [7]. Bu yöntemde; tarım alanındaki günlük evapotranspirasyon, referans bitki için (5) denklemiyle hesaplanır [8].

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (5)$$

Burada; ET_0 = Referans evapotranspirasyon (mm/gün), R_n = Bitki yüzeyindeki net radyasyon (MJ/m^2 gün), G = Zemin ısı değişim yoğunluğu (MJ/m^2 gün), T = 2 m yükseklikte günlük ortalama hava sıcaklığı ($^{\circ}C$), u_2 = 2 m yükseklikteki ortalama rüzgar hızı (m/s), e_s = Doymuş buhar basıncı (kPa), e_a = mevcut buhar basıncı (kPa), $e_s - e_a$ = doymuş buhar basıncı açığı (kPa), Δ = Buhar basıncı eğrisinin eğimi ($kPa / ^{\circ}C$) ve γ = Psikrometrik sabit ($kPa / ^{\circ}C$)'dir.

ET_0 'ın Penman-Monteith yöntemiyle farklı zaman dilimleri için hesaplanabileceği denklemler geliştirilmiştir. YILDIRIM vd. GAP bölgesi için yaptıkları bir çalışmada günlük ve saatlik referans evapotranspirasyon değerlerini hesaplayarak, sonuçları ölçümlerle karşılaştırmışlar ve saatlik hesaplamaların daha doğru sonuç verdiğini belirtmişlerdir [9]. Ancak saatlik ET_0 değerlerinin hesaplanabilmesi için saatlik ölçüm yapan otomatik meteoroloji istasyonlarına ihtiyaç vardır. Bu çalışmada günlük evapotranspirasyonu hesaplayan (5) denklemi kullanılacaktır.

FAO Penman-Monteith yönteminde referans bitki olarak, suya doymuş toprağı tamamen örten çimen seçilmiştir. Diğer bitkiler için evapotranspirasyon (ET_c) (6) denklemiyle hesaplanır.

$$ET_c = ET_0 K_c \quad (6)$$

Burada; K_c = Bitki katsayısıdır.

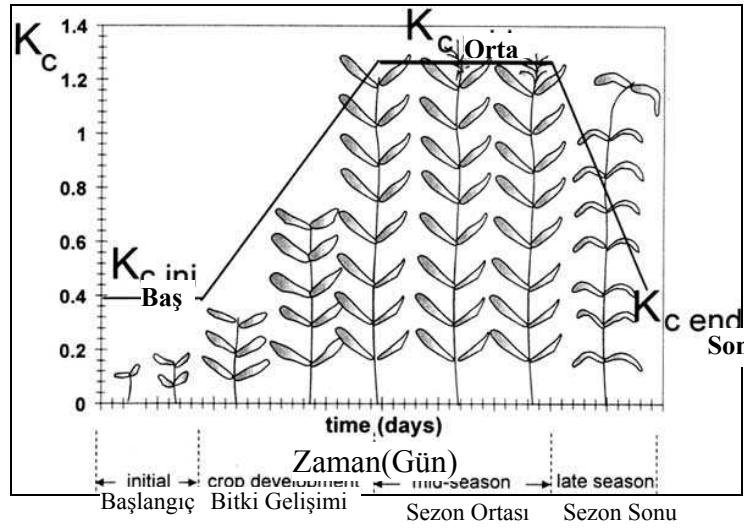
Tarla bitkileri, referans bitki olan çimenden, toprak üzerindeki yayılımları ve rüzgar dirençleriyle ayrılır. Tarla bitkileri için de evapotranspirasyon doğrudan hesaplanabilir. Ancak, ışığı yansıtma oranı (albedo), bitkinin rüzgar direnci gibi verilerin her bitki türü için hesaplanması zor olduğu için önce ET_0 'ın hesaplanması daha uygundur. K_c , iklimden ziyade bitki karakteristiklerine göre değiştiği için farklı iklim bölgelerinde K_c 'nin standart değerleri kolaylıkla dönüştürülebilir [8].

K_c 'yi belirleyen karakteristikler; bitki türü, bitki yüksekliği, bitki ve toprak yüzeyinden yansıma (albedo), bitkinin buharlaşmaya karşı direnci, bitki büyüme safhası, iklim ve toprak türüdür.

Tarla bitkileri çimenden daha yüksek oldukları için rüzgar dirençleri fazla ve dolayısıyla buharlaşmaları da %5-%10 kadar yüksektir. Hatta mısır, şeker pancarı gibi yüksek bitkilerde %15-%20 daha fazla olabilir. Yarı nemli iklimler için gündüz saatlerindeki ortalama nispi nem %45 ve rüzgar hızı 2 m/s olarak tanımlanmıştır. Nem değeri standart

değerin altına inerse ve rüzgar hızı standart değerine çıkarsa K_c artar. Suya doymun zeminlerde K_c daha büyüktür [8].

Bitki büyümesi; başlangıç, gelişme, sezon ortası ve sezon sonu olmak üzere dört ayrı safhada düşünülür. Referans bitki olan çimen ve yapraklarını dökmeyen ağaçlar için bitki gelişme safhası tüm yıla yayılmıştır. Yıllık bitkilerde ise 4 safhayı tam ayrılmış şekilde görmek mümkündür. Bitki büyüme safhalarının sürelerinin ve K_c 'lerin belirlenmesiyle bir bitki katsayısı eğrisi oluşturulur. Şekil 1'de geliştirilmiş bir bitki katsayısı eğrisi görülmektedir.



Şekil 1. Genelleştirilmiş Bitki Katsayısı Eğrisi [8].

Ekimi düşünülen her bitki için bitki büyüme safhası süreleri ve K_c Baş, K_c Orta, K_c Son değerleri yerel iklim koşullarına göre belirlenerek bitki katsayısı eğrisi çizilir. Bitki gelişimine veya buharlaşmaya etki eden kısıtlar (tuzluluk, su azlığı, zararlı böcekler, yabancı ot istilası, yetersiz gübreleme gibi) bitki katsayısı eğrisini etkiler. Bu çalışmada, kısıtlar göz önüne alınmamıştır.

K_c Baş toprak tipine, sulama sıklığına ve ET_0 değerine bağlıdır. K_c Orta ve K_c Son, bitki yüksekliğine, rüzgar hızına ve minimum nispi nem değerine bağlıdır. Tavas Ovası için ortalama değerler kullanılacaktır.

4.PENMAN-MONTEITH YÖNTEMİNİN TAVAS PROJESİNE UYGULANMASI

Önceki bölümde açıklanan Geliştirilmiş Penman-Monteith yöntemiyle bitki sulama suyu ihtiyacını hesaplamak ve sulama takvimini oluşturmak için FAO'nun toprak ve su kaynaklarını geliştirme bölümü tarafından CROPWAT adlı bilgisayar programı hazırlanmıştır ve ücretsiz olarak FAO'nun internet sayfasından dağıtılmaktadır [10]. CROPWAT programı, referans evapotranspirasyonu, bitki su ihtiyacını, bitki sulama suyu ihtiyacını hesaplamak, çeşitli işletme koşullarında sulama programı geliştirmek ve yağış ile kuraklığın üretimdeki etkilerini hesaba katmak için geliştirilmiştir.

Bitki su ihtiyacı ve sulama suyu ihtiyacı, iklim ve bitki verileri ile hesaplanmaktadır. Standart bitki verileri programda bulunmaktadır. Yerel farklılıklara göre bu veriler değiştirilebilir. İklim verileri ise CLIMWAT adlı veritabanı ile sağlanmaktadır. FAO tarafından geliştirilen CLIMWAT'ta 144 ülkeden 3262 meteoroloji istasyonunun iklim bilgileri CROPWAT programında kullanılmaya hazır bir şekilde bulunmakta ve internetten ücretsiz olarak sağlanmaktadır [11].

4.1. Tavas Ovası İçin Veri Hazırlanması

CLIMWAT veri tabanında Denizli meteoroloji istasyonundan alınan iklim verileri bulunmaktadır. Ancak, bu veriler olduğu gibi kullanılmamış, tarım yeri olan Tavas Ovası için yeniden düzenlenmiştir. Uluslararası Su Yönetimi Enstitüsünün (IWMI), su ve iklim atlasından dünya üzerindeki herhangi bir yerin enlem ve boylam değerleri girilerek çeşitli iklim bilgilerine ulaşılabilmektedir [12]. Tavas ovası için yapılacak olan sulama suyu ihtiyacı hesabında DSİ tarafından 1987 yılında hazırlanmış olan projede verilen meteorolojik veriler kullanılmamış, onun yerine daha güncel olan CLIMWAT ve IWMI'den elde edilen verilerden yararlanılmıştır (Çizelge 4).

CROPWAT programında veri girişi 6 adımda gerçekleşmektedir. Birinci adım, “aylık iklim verisi”dir. Burada, tarım yerinin kotu, enlem ve boylamı tanımlanır. Bu verilerden program bitki yüzeyindeki net radyasyonu hesaplar. Tavas Ovası için CROPWAT programı tarafından hesaplanan aylık ortalama net radyasyon değerleri Çizelge 5'te verilmiştir. Ayrıca aylık ortalama maksimum ve minimum sıcaklıklar (Celsius, Fahrenheit veya Kelvin), hava nem (%), mmHg, kPa veya mbar), rüzgar hızı (km/gün, km/saat veya m/s) ve günlük güneşlenme (saat veya %) birimleriyle tanımlanabilmektedir. Tavas ovası için aylık ortalama maksimum ve minimum sıcaklıklar CLIMWAT veri tabanında Denizli için verilen değerlerden 2.4 °C çıkarılarak elde edilmiştir. Nispi nem, rüzgar hızı ve güneşlenme için IWMI'den alınan değerler kullanılmıştır.

Çizelge 4. Tavas İçin IWMI'den Alınan Meteorolojik Veriler

Aylar	En Büyük Sıcaklık (°C)	En Küçük Sıcaklık (°C)	Nispi Nem (%)	Rüzgar Hızı (m/s)	Güneşlenme (saat)
Ocak	7.9	-0.5	74.00	2.30	5.0
Şubat	9.2	0.2	71.00	2.40	5.6
Mart	12.5	2.6	64.00	2.60	6.8
Nisan	17.7	5.7	59.00	2.60	7.9
Mayıs	22.6	9.7	54.00	2.30	8.6
Haziran	28.1	13.6	47.00	2.40	9.9
Temmuz	31.8	16.2	42.00	2.60	13.0
Ağustos	31.8	15.8	42.00	2.50	12.2
Eylül	27.0	11.5	46.00	2.10	10.4
Ekim	21.8	7.9	59.00	2.00	7.6
Kasım	15.5	4.8	69.00	2.10	5.9
Aralık	10.3	1.9	76.00	2.30	4.7

CROPWAT programının veri girişinin ikinci adımı “referans evapotranspirasyon (ET₀)”dur. Aylık iklim verisi bölümünde, program tarafından otomatik olarak hesaplanan

ET_0 değerlerini değiştirmek mümkündür. CROPWAT programı tarafından hesaplanan referans evapotranspirasyon değerleri Çizelge 5'te verilmiştir.

Veri girişinin üçüncü adımı, "yağış" tır. Tavas ovası için yağış değerleri Çizelge 1'den alınmıştır. Etkili yağışın hesaplanması için CROPWAT programında çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan, (7) denklemiyle verilen ABD Toprak Koruma Servisi (USSCS) yöntemi DSİ tarafından da kullanıldığı için seçilmiştir. Bu yöntemle hesaplanan etkili yağış Çizelge 5'te gösterilmiştir.

$$P_{et} = P_{ay} (125 - 0.2P_{ay}) / 125 \quad (P_{ay} < 250 \text{ mm})$$
$$P_{et} = 0.1P_{ay} - 125 \quad (P_{ay} \geq 250 \text{ mm}) \quad (7)$$

Çizelge 5. Tavas Ovası için Aylık Ortalama Radyasyon, ET_0 ve Etkili Yağış Değerleri

Aylar	Net Radyasyon (MJ/m ² gün)	Referans Evapotranspirasyon ET_0 (mm/gün)	Etkili Yağış (mm/ay)
Ocak	8.5	1.11	91.0
Şubat	11.1	1.55	69.9
Mart	15.4	2.46	58.0
Nisan	19.6	3.68	48.8
Mayıs	22.3	4.72	45.7
Haziran	24.6	5.81	23.3
Temmuz	28.7	7.31	14.4
Ağustos	26.1	6.69	10.6
Eylül	20.9	4.72	18.5
Ekim	14.2	2.91	41.9
Kasım	9.8	1.68	52.1
Aralık	7.6	1.09	100.4

CROPWAT programının veri girişinin dördüncü adımı; gelişim süreleri, bitki katsayıları ve kök derinlikleri gibi bitki verileridir. Tavas Ovası sulama projesinde ekimi planlanan bitkilerin gelişim safhaları ve bitki katsayıları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Bitki Gelişim Safhalarının Süreleri ve Bitki Katsayıları

Bitki Türü	Başlangıç (gün)	Bitki Gelişimi (gün)	Sezon Ortası (gün)	Sezon Sonu (gün)	K _c Baş	K _c Orta	K _c Son
Buğday	30	140	40	30	0.4	1.15	0.4
Şeker Pancarı	25	35	50	50	0.35	1.20	0.70
Patates	30	35	50	50	0.5	1.15	0.75
Sebze	30	40	60	20	0.7	1.05	0.95
Fasulye	20	30	35	15	0.4	1.15	0.35
Ayçiçeği	25	35	45	25	0.35	1.15	0.35
Mısır (1. Ürün)	30	40	50	30	0.3	1.2	0.6
Yonca	10	15	75	35	0.4	0.9	0.85
Meyve	20	70	90	30	0.45	0.95	0.7
Mısır (2. Ürün)	20	25	25	10	0.3	1.15	1.05

Veri girişinin beşinci adımı, bitki deseni veya bitki ekim yüzdeleridir. CROPWAT programında, Tavas Ovası bitki deseni Çizelge 2’de DSI tarafından planlandığı gibi tanımlanmıştır. Altıncı ve son veri giriş adımı, toprak türünün belirlenmesidir. CROPWAT programında, ağır, orta ve hafif olmak üzere 3 toprak türüne ait parametreler hazır olarak bulunmaktadır. Toprak; toplam kullanılabilir zemin nemi (mm/m), maksimum yağış sızma hızı (mm/gün), maksimum kök derinliği (m) ve başlangıçtaki zemin nemi eksikliği (%) parametreleriyle tanımlanmaktadır. Bu parametreler sulama projesi yapılan bölgeye göre değiştirilebilir. Tavas Ovası için orta toprak türü seçilmiştir. CROPWAT programının orta toprak türü için kabul ettiği değerlerin orijinal gösterimi Şekil 2’de verilmektedir.

Soil Data	
***** Data Source: C:\CROPWATW\SOILS\MEDIUM.SOI *****	
Soil description	: Medium
Total available soil moisture	= 140.0 mm/m depth.
Initial soil moisture depletion	= 0 %
Initial available soil moisture	= 140.0 mm/m depth.
Maximum infiltration rate	= 40 mm/d.
Depth of root-restricting layer	= 9.00 m.

Şekil 2. Toprak Verileri

Veriler girildikten sonra sulama takviminin oluşturulabilmesi için sulama şartları tanımlanmalıdır. Bunlar; uygulama zamanı, uygulama derinliği ve takvim başlangıcıdır. Uygulama zamanı, sulamanın zemin nemi hangi değere düştüğünde başlayacağını belirler. Programda beş seçenek vardır.

- Mevcut kullanılabilir zemin nemi (RAM) belirlenen yüzdeye düştüğünde
- Toplam kullanılabilir zemin nemi (TAM) belirlenen yüzdeye düştüğünde
- Zemin neminde mm azalma olduğunda
- Sabit aralıklarla (gün)
- Değişken aralıklarla (gün)

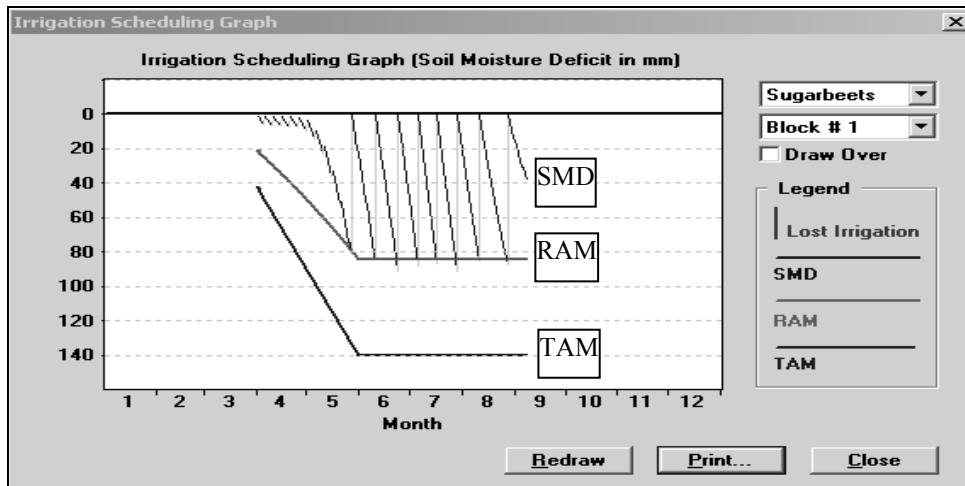
Uygulama derinliği sulamanın ne kadar yapılacağını belirler. Programda üç seçenek vardır.

- Mevcut kullanılabilir zemin neminin belirlenen yüzdesi dolduğunda
- Sabit derinlik (mm)
- Değişken derinlik (mm)

Takvim başlangıcı için ise, her bitkinin ilk ekim tarihinden itibaren veya belirlenen bir tarihten itibaren olmak üzere iki seçenek vardır.

Toplam kullanılabilir zemin nemi (TAM), bitkinin kök bölgesinde kullanabileceği nem miktarını gösterir. Mevcut kullanılabilir zemin nemi (RAM) ise TAM'ın 1'den küçük bir "tüketim katsayısıyla" çarpılmasıyla elde edilir. Her bitki ve gelişim dönemi için tüketim katsayıları CROPWAT programında belirlenmiştir ve istenirse bitki verileri sayfasında değiştirilebilir.

Tavas Ovası bitki sulamalarında, topraktaki toplam kullanılabilir nemin (TAM) değil, mevcut kullanılabilir zemin neminin (RAM) tamamı tükendiğinde sulamaya başlanması ve zemin %100 oranında neme doyana kadar sulamaya devam edilmesi planlanmıştır. Sulamaya her bitkinin ilk ekim tarihinden itibaren başlanacak ve ihtiyaç oldukça yapılacaktır. Ancak, bu oranlar program içerisinde değiştirilerek farklı senaryolar kolayca uygulanabilir. Ekimi yapılan tüm bitkiler için sulama programları grafik olarak veya tablo şeklinde alınabilmektedir. CROPWAT'ın örnek olarak, şeker pancarı için verdiği sulama programının orijinali Şekil 3'te verilmiştir. TAM ile RAM arasında tüketim katsayısı kadar bir oran vardır. Toprak nemi açığı (SMD) değerlerindeki küçük artışlar yağışların etkisiyle olmakta, büyük artışlar ise sulamaları göstermektedir. Şekil 3'ten şeker pancarı için 8 defa sulama yapılması gerektiği görülmektedir. Toprak nemi açığı (SMD), RAM değerine düşünce sulama başlayacak ve toprak %100 oranında neme doyuncaya kadar devam edecektir.



Şekil 3. Şeker Pancarı İçin Sulama Programı

Tavas Ovası için DSİ tarafından yapılan projeye sadık kalınarak CROPWAT programı ile tüm bitkiler için 30 gün aralıkla ve %70 sulama verimi için hesaplanan sulama programı tablosunun orijinali Şekil 4'te verilmiştir. Verilen periyot ve sulama verimi için hesaplanan, referans bitki evapotranspirasyonu (ET_0), ekili alan oranı (%), ortalama bitki katsayısı (K_c), bitki su ihtiyacı (mm/periyot), toplam ve etkili yağışlar (mm/periyot), sulama ihtiyacı (mm/periyot) ve sulama suyu debisi (l/s ha) sırasıyla tabloda bulunmaktadır.

Date	ET ₀ (mm/period)	Crop Area (%)	Crop K _c	CWR (ET _m) (mm/period)	Total Rain (mm/period)	Effect. Rain (mm/period)	Irrig. Req. (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1/1	25.97	40.00	0.33	8.49	42.70	35.21	0.00	0.00
31/1	39.40	25.00	0.24	9.69	20.83	17.99	0.00	0.00
2/3	72.61	25.00	0.28	20.46	16.20	14.61	5.86	0.03
1/4	116.50	77.47	0.49	57.71	41.98	38.38	19.33	0.11
1/5	158.72	93.33	0.72	114.66	41.67	38.27	76.39	0.42
31/5	187.82	69.67	0.76	142.73	18.47	17.73	125.00	0.69
30/6	196.19	72.27	0.69	135.71	1.84	1.82	133.89	0.74
30/7	181.70	59.10	0.49	89.70	0.50	0.48	89.22	0.49
29/8	148.15	27.00	0.23	34.03	5.59	5.12	28.91	0.16
28/9	104.43	37.50	0.23	24.03	12.85	12.60	11.44	0.06
28/10	62.46	40.00	0.26	16.08	26.89	23.48	0.00	0.00
27/11	33.84	40.00	0.30	10.07	41.32	33.77	0.00	0.00
27/12	4.25	40.00	0.32	1.37	7.67	6.20	0.00	0.00
Total	1332.02			664.74	278.49	245.65	490.03	[0.22]

Şekil 4. Aylık Sulama Suyu İhtiyaçları

5.SONUÇ ve ÖNERİLER

Blaney-Criddle yöntemi az meteorolojik veriye ihtiyaç gösterdiği ve hesap adımları kolay olduğu için ülkemizde geniş kullanım alanı bulmuştur. Ancak, Penman-Monteith yöntemi gibi daha fazla meteorolojik veri kullanan yöntemlerin daha gerçekçi sonuçlar verdiği literatürde belirtilmiştir. Bu yöntemlerin ülkemizde bugüne kadar tutulmamasının en önemli sebebi veri teminindeki güçlüklerdir. Uluslararası Su Yönetimi Enstitüsü (IWMI) ve Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Teşkilatı (FAO) tarafından, gerekli verilerin ve bilgisayar programlarının ücretsiz olarak sağlanması nedeniyle Penman-Monteith yönteminin ülkemizde kullanımının yaygınlaşması beklenmektedir.

Tavas Ovası sulaması için Blaney-Criddle (Çizelge 3) ve Geliştirilmiş Penman-Monteith (Şekil 4) yöntemleriyle hesaplanan aylık sulama suyu ihtiyaçları karşılaştırıldığında şu farklılıklar tespit edilmiştir.

Blaney-Criddle yönteminde Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Kasım ve Aralık aylarında sulama suyu ihtiyacı olmadığı görülmektedir. Mayıs ayında sadece buğday için 25.05 mm'lik bir sulama ihtiyacı hesaplanmıştır. Beklendiği gibi en fazla sulama suyu ihtiyacı 129.47 mm ile Temmuz ayında oluşmaktadır. Yıllık toplam sulama suyu ihtiyacı ise 391.17 mm olmuştur.

Penman-Monteith yöntemi sonuçlarına göre ise Ocak, Şubat, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında sulama suyu ihtiyacı olmamaktadır. En fazla sulama suyu ihtiyacı Temmuz ayında 133.89 mm olarak hesaplanmıştır. Yıllık toplam sulama suyu ihtiyacı ise 490.03 mm olmuştur.

Her iki yöntemde de en büyük aylık sulama suyu ihtiyacı Temmuz ayında ve birbirine yakın değerlerde bulunmuştur. Bu değer, kanalların projelendirilmesinde kullanılacağı için inşa edilmiş ya da edilecek olan kanalların boyutlarında bir değişiklik yapılması gerekmemektedir. Ancak, Penman-Monteith yöntemiyle yapılan hesaplarda yıllık toplam sulama suyu ihtiyacı ve Ağustos ile Eylül ayları hariç diğer aylardaki sulama suyu ihtiyacı Blaney-Criddle yöntemiyle hesaplanandan daha fazla olduğu için, Tavas Ovası'na sulama suyu sağlayan Yenidere Barajı'nın hazne işletme çalışmasında bu hususun göz önüne alınması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] T. Acatay, *Sulama Mühendisliği*, Dokuz Eylül Üniversitesi Vakfı, İzmir (1996), 598 s.
- [2] M. Beyribey vd., *Sulama Şebekelerinde Blaney-Criddle ve Penman-Monteith Yöntemlerine Göre Sulama İhtiyacının Karşılaştırılması*, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi, (1997), Cilt 3, Sayı 1, s 74-78.
- [3] K. Aydınşakir vd., *Antalya Yöresinde Çim Kıyas Bitki Su Tüketimini Veren Bazı Ampirik Eşitliklerin Tarla ve Lizimetre Koşullarında Kalibrasyonu*, Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, (2003), Cilt 16, Sayı 1, s. 107-109.
- [4] H. DehghaniSanij vd., *Assessment of Evapotranspiration Estimation Models For Use in Semi-Arid Environments*, Elsevier, Agricultural Water Management, (2004), Vol. 64, p. 91-106.
- [5] M. Beyazgül vd., *Estimation Methods for Crop Water Requirements in the Gediz Basin of Western Turkey*, Elsevier, Journal of Hydrology, (2000), Vol. 229, p. 19-26.
- [6] Devlet Su İşleri XXI Bölge Müdürlüğü, *Tavas Projesi Planlama Raporu*, (1987).
- [7] A. İ. İlhan, M. Utku, *GAP Sulama Alanında Bitki Su Tüketimi ve Bitki Su Gereksinimi*, Tarım Orman Meteorolojisi Sempozyumu (1998), İTÜ, İstanbul.
- [8] R. G. Allen, *Crop Evapotranspiration*, FAO Irrigation and Drainage Paper No: 56 (1998).
- [9] Y. E. Yıldırım vd., *Comparison of Hourly and Daily Reference Evapotranspiration Values For GAP Project Area*, Journal of Applied Sciences, (2004), Vol. 4, p. 53-57
- [10] Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Teşkilatı, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), (2005), <http://www.fao.org/ag/AGL/AGLW/Cropwat.stm>
- [11] Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Teşkilatı, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), (2005), <http://www.fao.org/ag/AGL/AGLW/Climwat.stm>
- [12] Uluslararası Su Yönetimi Enstitüsü, International Water Management Institute (IWMI), (2005), <http://www.iwmi.cgiar.org/WAtlas/AtlasQuery.htm>