



Creation of Spatial and Temporal Based Maps of Climate Class and Reference Evapotranspiration Using AutoCAD Software – A Case Study of Eastern Anatolian Region of Türkiye

Selçuk Usta^{1,a,*}

¹Van Yüzüncü yıl University, Van Vocational School, Department of Construction Technology, 65090 Van, Türkiye

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 24.01.2024 Accepted : 27.02.2024</p> <p>Keywords: AutoCAD Penman-Monteith Climate class Aridity index Reference evapotranspiration</p>	<p>In this study, it is aimed to create spatial and temporal based maps of climate class and ET_o for Eastern Anatolia Region of Türkiye. First of all, climate classes of 15 cities in the region were determined on a monthly basis according to the De Martonne aridity index method. Then, monthly average ET_o values were calculated on a city basis with the CROPWAT software based on the FAO-56 Penman-Monteith method by using the long-term average values of the climate data measured by the existing meteorological stations in the region. AutoCAD software was used to create maps showing the spatial and temporal changes of the obtained climate class and ET_o values. The ET_o values determined from these maps were compared with the ET_o values given for the regional cities in the guide “Plant Water Consumptions of Irrigated Crops in Turkey” prepared by the T.C. General Directorate of Agricultural Research and Policies (TAGEM). The mean absolute percentage error rate (MAPE) was considered as the comparison criterion. Using ET_o maps, daily average ET_o values were estimated with an accuracy rate of 89,85% (MAPE = 10,15%). It was concluded that these maps, where climate class and ET_o can be easily determined depending on location and time, can be used for ET_o-based plant water consumption (ET_c) and irrigation scheduling studies, and the design and project of irrigation systems and water transmission structures, especially in rural areas where the current climate data required for ET_o calculations cannot be measured or obtained.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 12(7): 1213-1224, 2024

AutoCAD Yazılımı Kullanılarak Alansal ve Zamansal Bazlı İklim Sınıfı ve Referans Evapotranspirasyon Haritalarının Oluşturulması – Doğu Anadolu Bölgesi, Türkiye Örneği

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 24.01.2024 Kabul : 27.02.2024</p> <p>Anahtar Kelimeler: AutoCAD Penman-Monteith İklim sınıfı Kuraklık indeksi Referans evapotranspirasyon</p>	<p>Bu çalışmada, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi için alansal ve zamansal bazlı iklim sınıfı ve ET_o haritalarının oluşturulması amaçlanmıştır. Öncelikle, bölgedeki 15 şehrin De Martonne kuraklık indeksi yöntemine göre ay bazında iklim sınıfları belirlenmiştir. Daha sonra bölgedeki mevcut meteoroloji istasyonları tarafından ölçülen iklim verilerinin uzun yıllar ortalama değerleri kullanılarak, FAO-56 Penman-Monteith yöntemi tabanlı CROPWAT yazılımı ile şehir bazında aylık ortalama ET_o değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen iklim sınıfı ve ET_o değerlerinin alansal ve zamansal değişimini gösteren haritaların oluşturulmasında ise AutoCAD yazılımı kullanılmıştır. Bu haritalardan okunan ET_o değerleri, T.C. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) tarafından hazırlanan “Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimleri” isimli rehberde bölge şehirleri için verilen ET_o değerleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma kriteri olarak ortalama mutlak göreceli hata oranı (MAPE) dikkate alınmıştır. ET_o haritaları kullanılarak doğruluk oranı %89,85 (MAPE= %10,15) düzeyine ulaşan günlük ortalama ET_o değerleri tahmin edilmiştir. İklim sınıfı ve ET_o değerlerinin konum ve zamana bağlı olarak kolaylıkla belirlenebildiği bu haritaların özellikle ET_o hesaplamaları için gerekli olan güncel iklim verilerinin ölçülemediği veya temin edilemediği kırsal kesimlerdeki ET_o'a dayalı bitki su tüketimi (ET_c) ve sulama programı çalışmaları ile sulama sistemleri ve su iletim yapılarının tasarımı ve projelendirilmesinde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.</p>

^a susta@yyu.edu.tr

^{id} <https://orcid.org/0000-0001-8970-7333>



Giriş

Toprak ve su yüzeylerinden gerçekleşen buharlaşma (Evaporasyon – E) ile bitki yaprak yüzeylerinden gerçekleşen terleme (Transpirasyon – T) kayıplarının toplamı olarak tanımlanan ET_c (Evapotranspirasyon); bitkilerin sulama suyu ihtiyaçlarının belirlenerek sulama programlarının hazırlanması, sulama ve drenaj sistemleri ile birlikte gölet ve barajların projelendirilmesi, yapımı ve işletilmesi, yağışın yer altı suyuyla karışan miktarının belirlenmesi, kuraklığın izlenmesi ve yer altı suyu havzalarının emniyetli veriminin tahmin edilmesi gibi hidroloji, meteoroloji, sulama ve toprak bilimleri kapsamında yapılan birçok çalışmanın en temel verisini oluşturmaktadır (Kodal, 1982).

ET_c , lizimetre sistemleri ile en doğru şekilde ölçülebilmektedir. Ancak bu sistemlerin kurulum, işletme ve bakım giderlerinin yüksek, ölçme işlemlerinin ise zor ve zaman alıcı olması kullanımlarını kısıtlamaktadır (Mehdizadeh, 2018). Bu nedenlerden dolayı, ET_o 'ın bitki katsayısı (K_c) ile düzeltilerek ET_c 'nin yüksek doğrulukla tahmin edilmesi yaklaşımı (Eşitlik 1) günümüzde daha çok tercih edilmektedir (Karaca ve ark., 2017a).

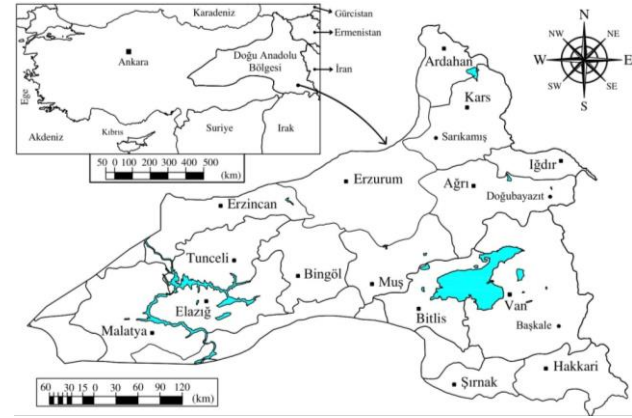
$$ET_c = ET_o K_c \quad (1)$$

ET_o ; hava sıcaklığı, oransal nem, rüzgâr hızı ve solar radyasyon gibi iklim parametrelerine dayalı olarak geliştirilen çok sayıda ampirik yöntem kullanılarak yüksek doğrulukla tahmin edilebilmektedir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından referans çim bitkisi için geliştirilen Penman-Monteith (PM) yöntemi FAO-56 modifikasyonu yerel kalibrasyona ihtiyaç duymadan farklı iklim ve çevre koşullarında kullanılabilir olduğundan dolayı, standart ET_o tahmin yöntemi olarak kabul edilmektedir (Allen ve ark., 1998; Sentelhas ve ark., 2010; Berti ve ark., 2014). Bu yöntemde giriş değişkenleri olarak kullanılan parametreler meteoroloji yer gözlem istasyonları tarafından ölçülmektedir. Bu istasyonların tüm dünyada yeterince yaygın olmamaları ve çoğunlukla şehir merkezlerinde bulunmaları nedeniyle, coğrafi alan içerisindeki her bir nokta için ET_o tahmini yapılması mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla, iklim parametrelerinin ölçülebildiği belirli merkezler için hesaplanan ET_o değerlerinden faydalanarak oluşturulan haritalar ile ET_o 'ın alansal dağılımının gösterilmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Güler ve Kara, 2007; Tural, 2011). Bu doğrultuda farklı iklim ve coğrafi özelliklere sahip birçok bölgede çok sayıda çalışma yürütülmüştür. Karaca ve ark. (2017b), Antalya koşullarında 1960 – 2014 yılları arasında ölçülen iklim verilerini kullanarak, spline yöntemi ile ET_o 'ın alansal ve zamansal değişimini gösteren haritalar oluşturmuşlardır. Benzer çalışmalarda Hong ve ark. (2005) Çin, Čadro ve ark. (2019) Bosna Hersek, Altalib ve ark. (2021) Irak, Wang ve ark. (2022) Pakistan, İkhnefir ve ark. (2023) ise Libya koşullarında FAO-56 PM ile belirlenen ET_o değerlerini kullanarak spline yöntemi ile coğrafi alan ve zaman bazlı ET_o haritaları oluşturmuşlardır. Bu haritalar ile sadece konumu bilinen herhangi bir noktadaki ET_o değerinin yüksek doğrulukla tahmin edilebileceğini ortaya koymuşlardır.

Türkiye’de iklim sınıfı ve ET_o haritaları oluşturmak amacıyla daha çok ülke geneli için çalışmalar yapıldığı görülmüştür. Yüksek tarımsal üretim potansiyeline sahip olan Doğu Anadolu Bölgesi özelinde detaylı haritalandırma çalışmalarının yapılmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmanın amacı, Doğu Anadolu Bölgesi için aylık iklim sınıfı ve ET_o haritaları oluşturmaktır. Çalışma, bitkisel üretim faaliyetlerinin ağırlıklı olarak yürütüldüğü Nisan – Ekim dönemi için gerçekleştirilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Kafkasya'nın güneyi, İran platosunun kuzeybatısı, Mezopotamya'nın kuzeyi ve Orta Anadolu'nun doğusunda bulunan Doğu Anadolu Bölgesi, 36° 57' – 41° 37' kuzey enlemleri ile 38° 45' – 44° 49' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Türkiye yüz ölçümünün %21'ini oluşturan bu bölgedeki şehirlerin konumları Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Doğu Anadolu Bölgesi
Figure 1. Eastern Anatolian Region

Karasal iklimin egemen olduğu bölgede yaz mevsimi kısa ve serin, kış mevsimi ise uzun ve soğuk geçmektedir. Kışın yağışlar kar şeklinde olup, sıklıkla don olayı görülmektedir. Bölgenin doğusuna göre daha düşük rakımlarda bulunan Elazığ ve Malatya şehirlerinde bozkır bitki örtüsü hakim olup, yaz mevsimi daha sıcak geçmektedir. Bitlis ve Van şehirlerinin Van Gölü kıyısındaki bölümlerinde ılıman iklim özellikleri hissedilmektedir. Bölge genelinde yıllık ortalama günlük hava sıcaklığı 10,20 °C, nem oranı %60,20 ve yıllık toplam yağış miktarı ise 579 mm düzeyindedir.

İklim sınıfı ve ET_o haritalarının oluşturulmasında bölgedeki 15 şehrin enlem, boylam ve rakımları ile birlikte 1991 – 2020 yılları arasında ölçülen günlük maksimum ve minimum hava sıcaklığı (T_{max} , T_{min}), oransal nem (RH), rüzgâr hızı (U_2), güneşlenme süresi (n) ve solar radyasyon (R_s) değerlerinin Nisan – Ekim dönemi uzun yıllar aylık ortalamaları ile aylık toplam yağış miktarları (P') kullanılmıştır. Şehirlerin enlem, boylam ve rakımları Çizelge 1’de, iklim verilerinin bölge geneli ortalamaları Çizelge 2’de, şehirlerin aylık toplam yağış miktarları ise Çizelge 3’de verilmiştir (DMİ, 2023).

Çizelge 1. Doğu Anadolu Bölgesi şehirlerinin enlem, boylam ve rakımları

Table 1. Latitude, longitude and altitude of Eastern Anatolia Region cities

Şehirler	Enlem (°)	Boylam (°)	Rakım (m)
Ağrı	39,75	43,05	1632
Ardahan	41,13	42,70	1829
Bingöl	38,86	40,50	1177
Bitlis	38,36	42,10	1559
Elazığ	38,60	39,28	882
Erzincan	39,73	39,50	1215
Erzurum	39,91	41,26	1758
Hâkkari	37,56	43,76	1720
İğdır	39,93	44,03	858
Kars	40,60	43,08	1775
Malatya	38,43	38,08	849
Muş	38,73	41,50	1335
Şırnak	37,42	42,49	1356
Tunceli	39,31	39,44	919
Van	38,45	43,31	1661

Çizelge 2. Doğu Anadolu Bölgesi aylık ortalama iklim verileri

Table 2. Monthly average climate data of Eastern Anatolia Region

Ay	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	RH (%)	U ₂ (km/gün)	n (saat)	R _s (MJ/m ² /gün)
Nisan	3,34	13,72	62,89	139,00	6,31	17,17
Mayıs	7,34	19,52	59,00	140,39	7,86	21,16
Haziran	11,33	24,89	52,00	141,00	10,28	25,16
Temmuz	15,18	29,67	46,22	148,50	11,25	26,04
Ağustos	14,75	29,78	44,11	138,83	10,92	23,91
Eylül	10,46	25,58	45,78	127,83	9,46	19,18
Ekim	5,17	18,34	58,39	105,39	7,01	12,99

T_{min}: Minimum hava sıcaklığı (°C); T_{max}: Maksimum hava sıcaklığı (°C); RH: Oransal nem (%); U₂: 2 m yükseklikten ölçülen rüzgâr hızı (m/s); n: Günlük güneşlenme süresi (saat); R_s: Solar radyasyon (MJ/m²/gün)

Çizelge 3. Doğu Anadolu Bölgesi şehirlerinin aylık toplam yağış miktarları

Table 3. Monthly total precipitation amounts of Eastern Anatolia Region cities

Şehirler	P' (mm)						
	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
Ağrı	42,2	51,3	35,2	14,1	12,5	18,0	27,5
Ardahan	51,2	81,9	92,7	71,2	63,0	36,1	37,3
Bingöl	116,4	76,2	20,6	7,0	4,2	12,6	66,2
Bitlis	136,6	105,7	14,6	11,1	6,1	27,9	89,0
Elazığ	63,4	51,8	12,4	3,3	1,9	8,6	39,7
Erzincan	52,7	52,8	30,5	12,3	6,9	15,8	39,5
Erzurum	53,8	72,4	48,4	27,0	18,1	24,3	47,4
Hâkkari	125,8	65,1	15,7	6,0	4,8	10,3	63,6
İğdır	34,2	46,9	31,4	14,2	9,8	11,3	25,9
Kars	48,8	82,4	76,4	56,8	44,2	29,4	42,0
Malatya	55,0	45,6	17,4	3,9	3,5	8,1	35,7
Muş	103,2	68,9	27,3	7,8	5,5	15,5	63,4
Şırnak	107,4	54,3	6,0	3,7	0,6	9,3	46,9
Tunceli	104,9	71,6	18,0	4,9	4,9	16,6	63,3
Van	55,1	45,4	18,6	6,3	5,8	15,5	46,5

P': Aylık toplam yağış miktarı (mm)

Çalışma kapsamında öncelikle Eşitlik (2) ile verilen De Martonne kuraklık indeksi yöntemine göre, şehir bazında aylık kuraklık indeksi değerleri hesaplanmıştır. Bu eşitlikte; IM, aylık kuraklık indeksi; P', aylık toplam yağış miktarı (mm) ve T, aylık ortalama hava sıcaklığı (°C) değerini ifade etmektedir. Daha sonra Çizelge 4 kullanılarak şehir bazında her bir ay için iklim sınıfları belirlenmiştir (De Martonne, 1942).

$$IM = \frac{12.P'}{T + 10} \quad (2)$$

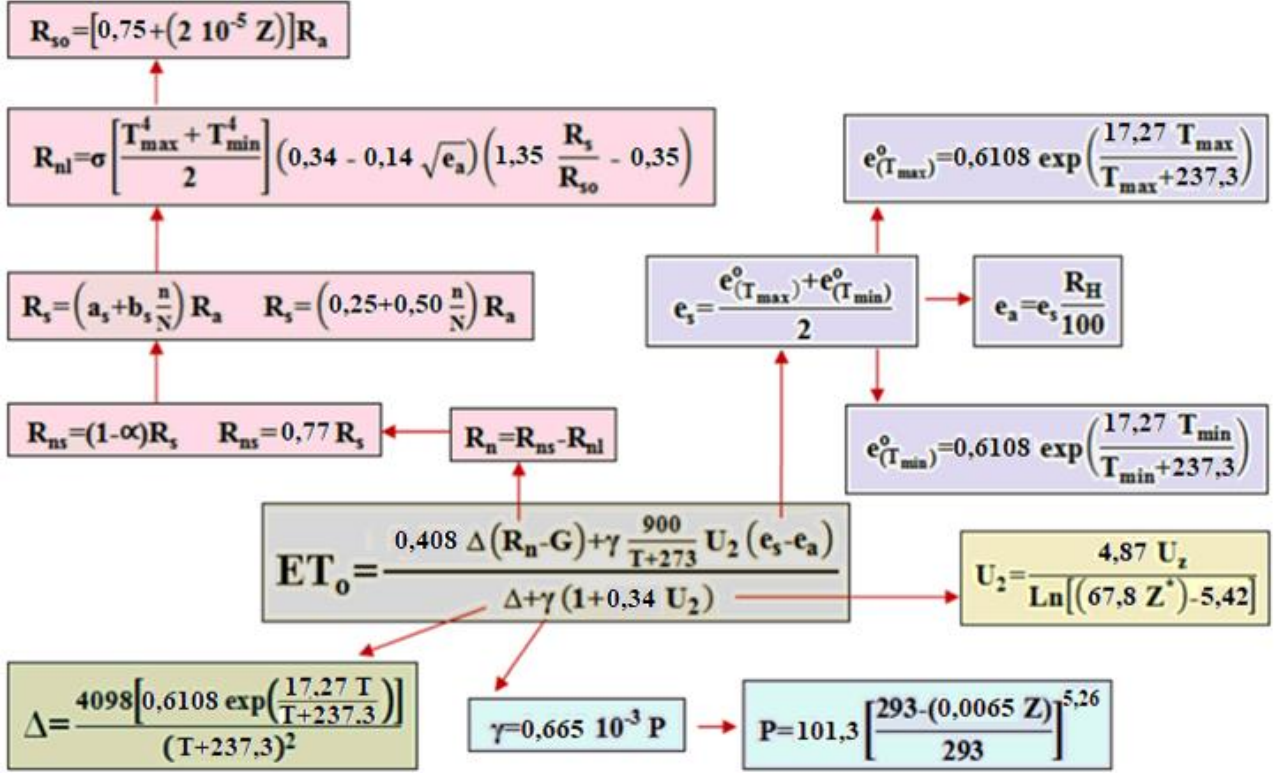
İklim sınıfları belirlendikten sonra, FAO-56 PM (Eşitlik 3) tabanlı CROPWAT yazılımı kullanılarak şehir bazında aylık ortalama ET_o değerleri belirlenmiştir (Allen ve ark., 1998, FAO, 2023). FAO-56 PM eşitliğinin bileşenleri Şekil 2'de gösterilmiştir.

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (3)$$

Çizelge 4. De Martonne kuraklık indeksi iklim sınıfları

Table 4. De Martonne aridity index climate classes

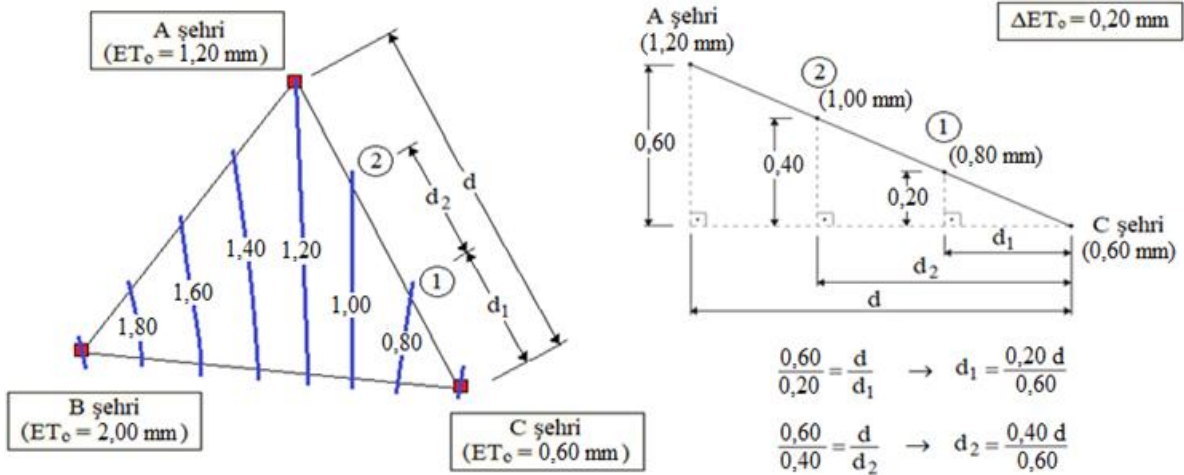
Aylık kuraklık indeksi	İklim sınıfı
$IM < 5$	Kurak (K)
$5 \leq IM < 10$	Yarı kurak (YK)
$10 \leq IM < 20$	Yarı kurak – nemli (YK-N)
$20 \leq IM < 30$	Yarı nemli (YN)
$30 \leq IM < 60$	Nemli (N)
$IM \geq 60$	Çok nemli (CN)



Şekil 2. FAO-56 Penman-Monteith eşitliği
Figure 2. FAO-56 Penman-Monteith equation

Eşitlik (3) ve Şekil 2’de; ET_0 , referans evapotranspirasyon (mm/gün); Δ , doymuş buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa/°C); R_n , net radyasyon (MJ/m²/gün); G , topraktaki ısı akısı değişimi (MJ/m²/gün); γ , psikometrik sabit (kPa/°C); T , ortalama hava sıcaklığı (°C); T_{max} , T_{min} , maksimum ve minimum hava sıcaklıkları (°C); U_2 , 2 m yükseklikten ölçülen rüzgâr hızı (m/s); U_z , toprak yüzeyinden Z yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı (m/s); Z^* , rüzgâr hızının ölçüldüğü yükseklik (m); e_s : doymuş buhar basıncı (kPa); e_a , gerçek buhar basıncı (kPa); RH , oransal nem (%); R_{ns} , güneşten gelen net kısa dalga boylu radyasyon (MJ/m²/gün); R_{nl} , dünyadan giden net uzun dalga boylu radyasyon (MJ/m²/gün); α , yansıtma (albedo) katsayısı; R_s , solar radyasyon (MJ/m²/gün); R_a , extraterrestrial radyasyon (MJ/m²/gün); a_s , b_s , regresyon katsayıları; n , günlük güneşlenme süresi (saat); N , maksimum güneşlenme süresi (saat); σ , Stefan Boltzmann katsayısı (4,903 10⁻⁹ MJ/K⁴/m²/gün); R_{so} , bulutsuz gökyüzü radyasyonu (MJ/m²/gün); Z , rakım (m) ve P , atmosferik basınç (kPa) değerini ifade etmektedir.

Haritaların oluşturulmasında bir bilgisayar destekli tasarım yazılımı olan AutoCAD kullanılmıştır (Anonim, 2023a). Öncelikle AutoCAD ortamında çizilen bir Türkiye mülki idare haritası üzerinde Doğu Anadolu Bölgesi ve bu bölgedeki 15 şehrin konumları belirlenmiştir. Daha sonra aylık iklim sınıfı ve ET_0 haritaları çizilmiştir (Şekil 3). AutoCAD ortamında yapılan işlemlerde, öncelikle “Line” komutu kullanılarak çizilen doğrular ile şehir merkezleri birbirine bağlanmış ve bir üçgen ağı oluşturulmuştur. Daha sonra, her iki şehir merkezi arasından geçirilecek eş ET_0 eğrilerinin değerleri ve bu eğrilerin iki şehri birleştiren doğru (d) üzerindeki konumları (d_1, d_2, \dots, d_n) belirlenerek “Point” komutu ile işaretlenmiştir. Eş ET_0 eğrileri Nisan, Mayıs ve Ekim aylarında 0,20 mm/gün, diğer aylarda ise 0,40 mm/gün aralıklarla çizilmiştir. Her bir şehir için gerçekleştirilen bu işlemler sonucunda, üçgen ağı üzerindeki aynı ET_0 değerine sahip noktalar “Spline” komutu vasıtasıyla çizilen yaylar ile birbirine bağlanarak eş ET_0 eğrileri oluşturulmuştur. Benzer şekilde, Çizelge 4’de verilen IM aralıkları dikkate alınarak yapılan renklendirmeler ile iklimin aylara göre değişimi ortaya koyulmuştur (Anonim, 2023b).



Şekil 3. Eş referans evapotranspirasyon eğrilerinin çizilmesi
Figure 3. Drawing equal reference evapotranspiration curves

Çizelge 5. Doğu Anadolu Bölgesi şehirlerinin aylık kuraklık indeksleri
Table 5. Monthly aridity indexes of Eastern Anatolia Region cities

Şehirler	İM						
	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
Ağrı	32,78	28,05	16,28	5,64	4,94	8,42	17,37
Ardahan	42,37	50,66	49,44	32,74	29,13	19,51	26,96
Bingöl	66,99	34,70	7,80	2,31	1,40	4,90	32,56
Bitlis	92,61	55,15	6,29	4,12	2,27	11,85	48,88
Elazığ	35,06	23,19	4,65	1,09	0,63	3,25	19,06
Erzincan	30,77	25,24	12,62	4,47	2,53	6,65	21,30
Erzurum	41,12	42,28	23,66	11,17	7,50	11,81	30,91
Hakkâri	84,57	32,48	6,52	2,15	1,73	4,22	33,99
Iğdır	17,69	20,35	11,91	5,00	3,37	4,45	13,25
Kars	38,03	49,56	39,18	24,88	19,32	15,05	29,91
Malatya	28,76	19,79	6,40	1,27	1,15	3,03	17,00
Muş	63,84	33,21	10,92	2,68	1,89	6,19	32,79
Şırnak	57,92	23,31	2,10	1,15	0,19	3,25	20,65
Tunceli	56,83	31,71	6,69	1,59	1,59	6,23	29,79
Van	37,89	24,38	8,34	2,45	2,27	6,89	26,64

İM: Aylık kuraklık indeksi

ET_o haritalarından okunan değerler, TAGEM tarafından hazırlanan “Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimleri” isimli rehberde bölge şehirleri için verilen ET_o değerleri ile karşılaştırılmıştır (Anonim, 2023c). Karşılaştırma kriteri olarak MAPE dikkate alınmıştır (Eşitlik 4). Haritalardan okunan ET_o değerlerinin doğruluk düzeyleri; MAPE %10’un altında ise “çok iyi”, %10 – 20 arasında ise “iyi”, %20 – 50 arasında ise “kabul edilebilir”, %50’nin üzerinde ise “uyumsuz” olarak değerlendirilmiştir (Lewis, 1982).

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|X_i - Y_i|}{X_i} 100 \right) \quad (4)$$

Eşitlikte; MAPE, ortalama mutlak göreceli hata oranını (%); X_i, çalışma kapsamında oluşturulan haritalardan okunan ET_o değerlerini (mm/gün); Y_i, TAGEM tarafından hazırlanan “Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimleri” isimli rehberden alınan ET_o değerlerini (mm/gün) ve n, gözlem sayısını ifade etmektedir. Çalışma, Nisan – Ekim dönemi boyunca 214 günlük süre için yürütülmüştür (n= 214).

Bulgular ve Tartışma

Aylık kuraklık indeksi değerleri ve iklim sınıfları belirlenerek sırasıyla Çizelge 5 ve Çizelge 6’da verilmiştir. Genel olarak diğer aylara göre daha fazla yağışın gerçekleştiği ve dolayısıyla nem oranı ve kuraklık indeksinin maksimum değerlere yükseldiği Nisan, Mayıs ve Ekim aylarında nemli iklim sınıflarının (YN, N, CN) etkili olduğu görülmüştür. Nisan ayında en fazla yağış alan Bingöl, Bitlis, Hakkâri ve Muş çok nemli iklime sahip olurlarken, en az yağış alan Iğdır yarı kurak – nemli iklime sahip olmuştur. Diğer şehirlerin ise genel olarak nemli iklime sahip oldukları gözlemlenmiştir. Sıcaklığın artma, yağış ve oransal nemin ise azalma eğilimi gösterdiği Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında genel olarak kurak iklim sınıflarının (YK, K) etkili olduğu belirlenmiştir (Çizelge 6).

Eylül – Ekim geçişinde yağış miktarındaki ani yükselişe bağlı olarak her iki ayda da hem kurak ve hem de nemli iklim özelliklerinin (YK-N) etkili olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6. Doğu Anadolu Bölgesi şehirlerinin aylık iklim sınıfları
Table 6. Monthly climate classes of Eastern Anatolia Region cities

Şehirler	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
Ağrı	N	YN	YK-N	YK	K	YK	YK-N
Ardahan	N	N	N	N	YN	YK-N	YN
Bingöl	CN	N	YK	K	K	K	N
Bitlis	CN	N	YK	K	K	YK-N	N
Elazığ	N	YN	K	K	K	K	YK-N
Erzincan	N	YN	YK-N	K	K	YK	YN
Erzurum	N	N	YN	YK-N	YK	YK-N	N
Hâkkari	CN	N	YK	K	K	K	N
Iğdır	YK-N	YN	YK-N	YK	K	K	YK-N
Kars	N	N	N	YN	YK-N	YK-N	YN
Malatya	YN	YK-N	YK	K	K	K	YK-N
Muş	CN	N	YK-N	K	K	YK	N
Şırnak	N	YN	K	K	K	K	YN
Tunceli	N	N	YK	K	K	YK	YN
Van	N	YN	YK	K	K	YK	YN

K: Kurak; YK: Yarı Kurak; YK-N: Yarı Kurak-Nemli; YN: Yarı Nemli; N: Nemli; CN: Çok Nemli

Çizelge 7. FAO-56 PM eşitliği ile hesaplanan aylık ortalama ET_o değerleri
Table 7. Monthly average ET_o values calculated with FAO-56 PM equation

Şehirler	ET _o (mm/gün)						
	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
Ağrı	2,07	3,37	4,52	5,23	4,99	3,70	1,95
Ardahan	2,13	2,97	3,66	4,13	3,97	3,20	1,85
Bingöl	2,95	4,15	6,30	7,47	7,03	4,90	2,85
Bitlis	2,43	3,65	5,27	6,21	5,61	4,40	2,30
Elazığ	2,97	4,39	5,94	6,99	6,34	4,60	2,60
Erzincan	2,69	3,77	5,02	6,09	5,73	4,00	2,15
Erzurum	2,24	3,31	4,63	5,91	5,48	4,10	2,25
Hâkkari	2,56	3,98	5,52	6,41	5,93	4,80	2,50
Iğdır	2,91	3,81	4,89	5,44	4,97	3,70	2,00
Kars	2,04	3,05	3,81	4,49	4,41	3,40	1,80
Malatya	3,06	4,19	5,32	6,18	5,76	4,20	2,35
Muş	2,66	4,13	5,61	6,56	6,22	4,60	2,50
Şırnak	2,80	3,80	5,08	5,54	5,27	4,10	2,45
Tunceli	2,94	4,18	5,71	6,86	6,31	4,50	2,40
Van	2,38	3,54	4,62	5,28	4,83	3,79	2,19

ET_o: Referans evapotranspirasyon (mm/gün)

Ardahan, Erzurum ve Kars şehirlerinin Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında bölge ortalamasının üzerinde yağış aldıkları tespit edilmiştir. Diğer şehirlerde genel olarak yarı kurak ve kurak iklimin etkili olduğu bu aylarda Ardahan, Erzurum ve Kars'ta yarı kurak – nemli, yarı nemli ve nemli iklimin etkili olduğu görülmüştür (Çizelge 6).

FAO-56 PM eşitliği kullanılarak hesaplanan ve TAGEM rehberinden alınan aylık ortalama ET_o değerleri sırasıyla Çizelge 7 ve 8'de verilmiştir. Hava sıcaklığı ve solar radyasyonun maksimum seviyelere yükseldiği, yağış ve oransal nemin minimum seviyelere gerilediği Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında ET_o artarak en yüksek düzeylere ulaşmıştır. Nisan ve Ekim aylarında ise en düşük düzeylere gerilemiştir. Aylık kuraklık indeksleri (Çizelge 5) ve FAO-56 PM eşitliği ile hesaplanan ET_o değerleri (Çizelge 7) kullanılarak oluşturulan iklim sınıfı ve ET_o haritaları Şekil 4a-g'de verilmiştir.

Nisan ayında genel olarak nemli iklim etkili olmasına rağmen, diğer şehirlere göre daha fazla yağış alan Bingöl, Bitlis, Muş, Hâkkari ve Şırnak civarları ile Kars Sarıkamış ve Erzurum'un kuzey kesiminde çok nemli iklimin etkili olduğu görülmüştür. Ağrı'nın kuzeydoğusu ile

Hakkâri'nin güneydoğusu ve Malatya'da yarı nemli, Iğdır'da ise yarı kurak – nemli iklimin etkili olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek ve en düşük ET_o değerleri sırasıyla Malatya (3,06 mm/gün) ve Kars'ta (2,04 mm/gün) gerçekleşmiştir (Şekil 4a).

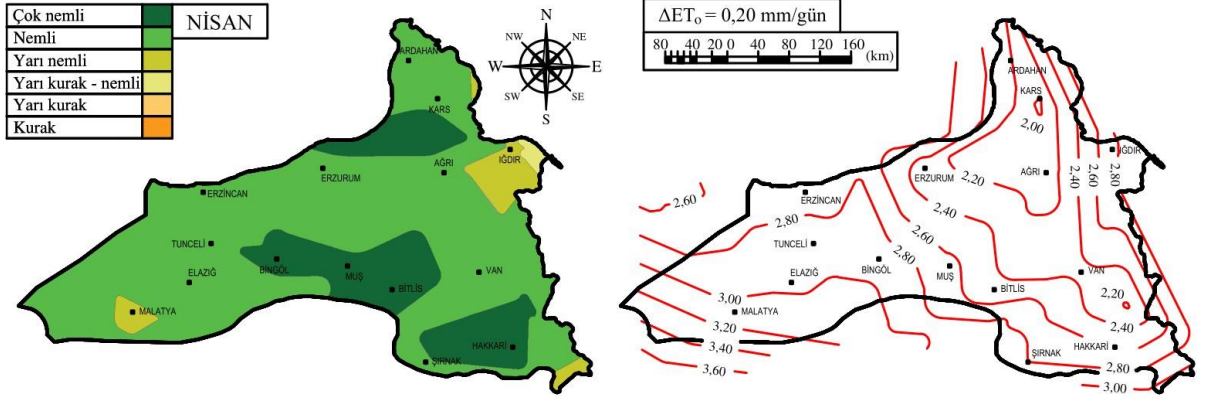
Mayıs ayı genelinde bölgenin güneyi ile yüksek rakımlı kesimleri hariç doğusunda yarı kurak – nemli ve yarı nemli iklimin hakim olduğu görülmüştür. Tunceli, Bingöl, Bitlis ve Muş civarları, Van ve Hakkâri'nin yüksek rakımlı kesimleri ve bölgenin kuzeyinde nemli iklimin, Kars Sarıkamış ve Erzurum'un kuzeyinde ise çok nemli iklimin etkili olduğu belirlenmiştir. En yüksek ve en düşük ET_o değerleri Elazığ (4,39 mm/gün) ve Ardahan'da (2,97 mm/gün) gerçekleşmiştir (Şekil 4b).

Haziran ayında Malatya ve Elazığ ile birlikte Bingöl, Muş ve Bitlis'in güney kesimleri de dahil Van'ın güney sınırlarına kadar kurak ve yarı kurak, Ağrı ve Iğdır ile birlikte Erzurum'un güney kesimi de dahil bölgenin orta kesiminde yarı kurak – nemli ve yarı nemli, Erzurum'un kuzey kesimi ile birlikte Kars ve Ardahan'da nemli iklimin hakim olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek ve en düşük ET_o değerleri sırasıyla Bingöl (6,30 mm/gün) ve Ardahan'da (3,66 mm/gün) gerçekleşmiştir (Şekil 4c).

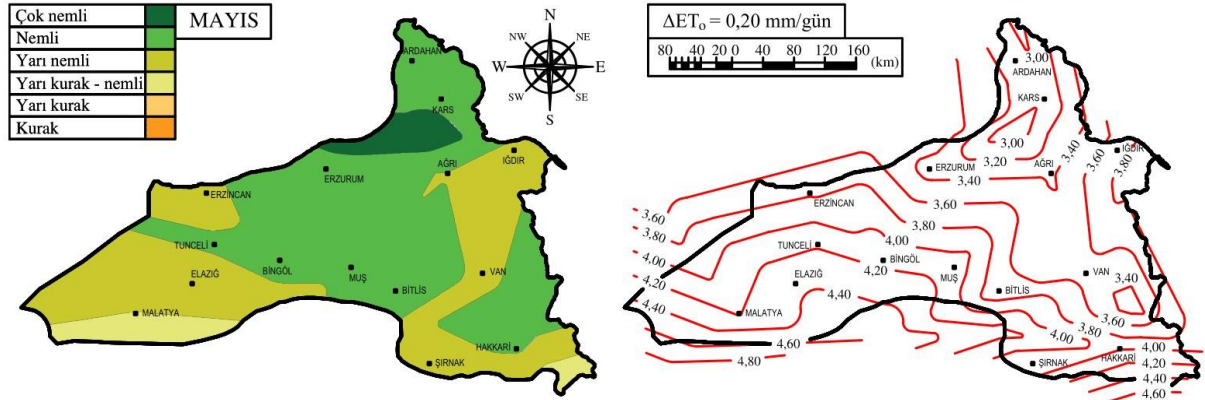
Çizelge 8. TAGEM rehberinden alınan aylık ortalama ET_o değerleri (Anonim, 2023c)
Table 8. Monthly average ET_o values taken from the TAGEM guide (Anonymous, 2023c)

Şehirler	ET_o (mm/gün)						
	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
Ağrı	2,30	3,57	4,57	5,37	4,90	3,37	1,73
Ardahan	2,30	3,33	3,97	4,53	4,10	2,83	1,60
Bingöl	2,87	4,30	5,77	6,70	5,93	4,10	2,17
Bitlis	2,53	3,80	5,13	5,90	5,23	3,70	2,00
Elazığ	3,27	4,67	6,27	7,20	6,40	4,50	2,50
Erzincan	3,03	4,17	5,13	5,73	5,00	3,43	1,83
Erzurum	2,47	3,60	4,53	5,70	5,20	3,53	1,90
Hâkkari	2,83	4,20	5,47	6,13	5,50	3,97	2,27
Iğdır	3,20	4,27	5,30	5,77	5,00	3,43	1,80
Kars	2,33	3,30	4,10	4,77	4,40	3,07	1,67
Malatya	3,37	4,77	6,10	6,90	6,10	4,30	2,30
Muş	2,63	3,97	5,17	6,00	5,40	3,77	1,97
Şırnak	3,67	5,60	7,03	7,57	6,37	4,90	3,03
Tunceli	2,97	4,27	5,47	6,20	5,47	3,73	2,03
Van	3,00	4,30	5,47	6,13	5,57	3,97	2,27

ET_o : Referans evapotranspirasyon (mm/gün)



Şekil 4a. Nisan ayı için aylık iklim sınıfı ve ET_o haritaları
Figure 4a. Monthly climate class and ET_o maps for April



Şekil 4b. Mayıs ayı için aylık iklim sınıfı ve ET_o haritaları
Figure 4b. Monthly climate class and ET_o maps for May

Temmuz ayında Erzurum'un güney kesimi de dahil Kars'ın güney sınırlarına kadar kurak ve yarı kurak iklim sınıflarının etkili olduğu görülmüştür. Erzurum'un orta kesimi ile birlikte Kars'ın güney ve doğu kesimlerinde yarı kurak - nemli, Kars'ın kuzey ve batı kesimleri ile Ardahan'da genel olarak yarı nemli iklimin hakim olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek ve en düşük ET_o değerleri sırasıyla Bingöl (7,47 mm/gün) ve Ardahan'da (4,13 mm/gün) gerçekleşmiştir (Şekil 4d).

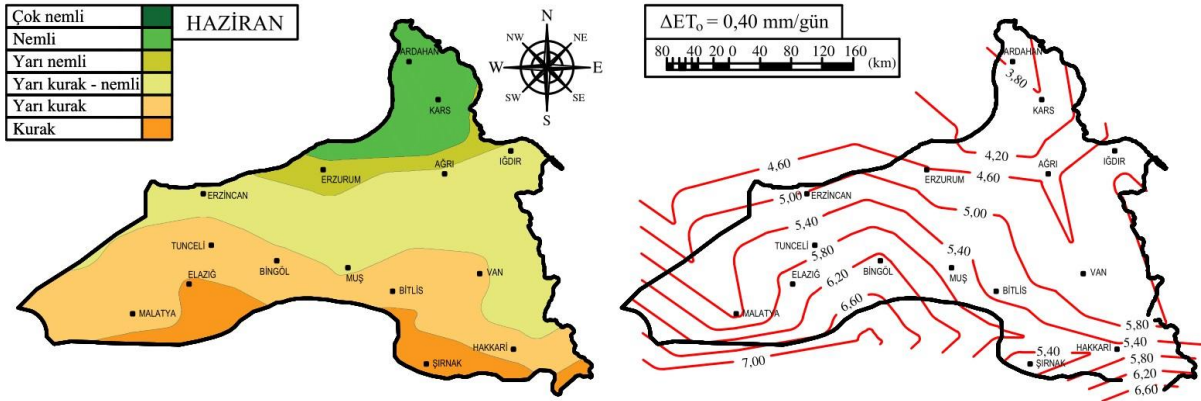
Ağustos ayında Erzurum ve Ağrı'nın güney kesimleri de dahil bölgenin güneyi ile Iğdır ve Ardahan'da kurak, Erzurum'un orta kesimi ile Ağrı'nın kuzeyinde yarı kurak, Erzurum'un kuzeyi ile Kars'ın doğusunda yarı kurak - nemli, Kars'ın batısı ve Sarıkamış civarlarında ise yarı nemli iklimin etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bölge genelinde Ağustos ayının en yüksek ve en düşük ET_o değerleri sırasıyla Bingöl (7,03 mm/gün) ve Ardahan'da (3,97 mm/gün) gerçekleşmiştir (Şekil 4e).

Eylül ayında Van'ın güney kesimleri ve Iğdır'ın doğusu ile Malatya, Elazığ, Şırnak ve Hakkâri'nin kurak, Erzurum ve Kars'ın güney sınırlarına kadar bölgenin orta kesiminin yarı kurak, Erzurum'un kuzey kesimleri ile Kars ve Ardahan'ın yarı kurak - nemli iklime sahip olduğu belirlenmiştir. En yüksek ve en düşük ET_0 değerleri sırasıyla Bingöl (4,90 mm/gün) ve Ardahan'da (3,20 mm/gün) gerçekleşmiştir (Şekil 4f).

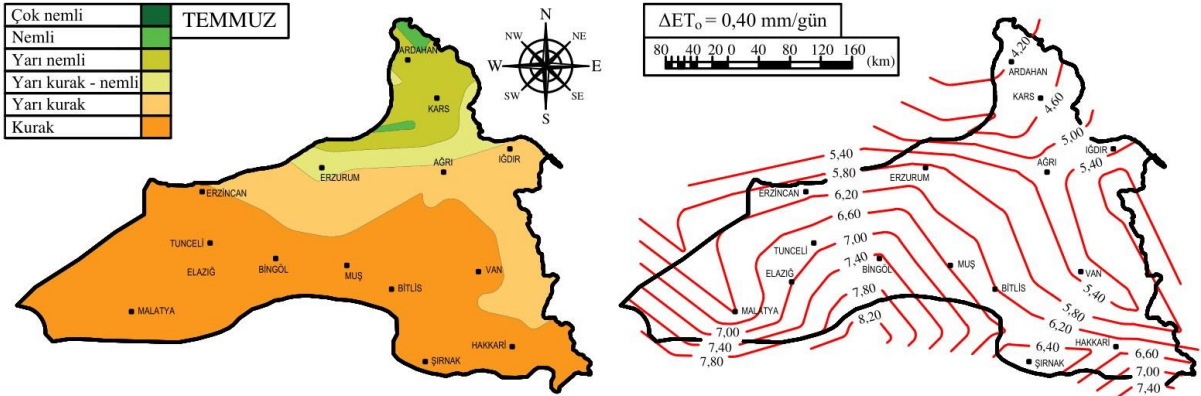
Ekim ayında bölgenin güneybatısı ile Iğdır, Doğubayazıt, Van ve Hakkâri'nin doğu kesimlerinde yarı kurak - nemli iklimin hakim olduğu görülmüştür. Bingöl, Muş, Bitlis ve Erzurum ile birlikte Kars'ın batı kesimlerinde nemli iklimin, geriye kalan bölümlerde ise yarı nemli iklimin etkili olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek ve en düşük ET_0 değerleri Bingöl (2,85mm/gün) ve Kars'ta (1,80 mm/gün) gerçekleşmiştir (Şekil 4g).

Nisan - Ekim dönemi boyunca en düşük ve en yüksek dönemlik ortalama ET_0 değerlerine sahip şehirler sırasıyla

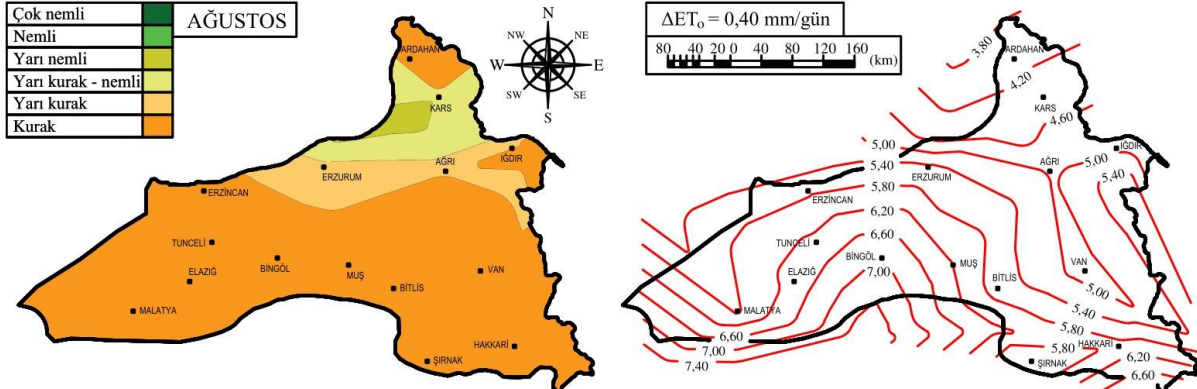
Ardahan (3,13 mm/gün) ve Bingöl (5,09 mm/gün) olmuştur. Bölgenin en kuzeyinde yer alan Ardahan nemli iklime (IM = 35,83) sahip olup, dönemlik toplam 433,40 mm yağış ile en çok yağış alan şehir konumundadır. Bölgenin orta bölümünde yer alan Bingöl ise yarı nemli iklime (IM = 21,52) sahip olup, ET_0 'ın maksimum düzeylere ulaştığı Haziran (6,30 mm/gün), Temmuz (7,47 mm/gün) ve Ağustos (7,03 mm/gün) aylarında en yüksek ET_0 değerlerinin gerçekleştiği şehir olmuştur. Bölge geneli aylık ortalama ET_0 değerleri ve iklim sınıfları; Nisan için 2,60 mm/gün ve nemli, Mayıs için 3,75 mm/gün ve nemli, Haziran için 5,06 mm/gün ve yarı kurak - nemli, Temmuz için 5,92 mm/gün ve yarı kurak, Ağustos için 5,52 mm/gün ve yarı kurak, Eylül için 4,13 mm/gün ve yarı kurak, Ekim için 2,28 mm/gün ve yarı nemli olarak belirlenmiştir. Bölgenin kuzeyinden güneyine doğru gidildikçe artan hava sıcaklığına paralel olarak ET_0 'ın artma eğilimi gösterdiği gözlemlenmiştir.



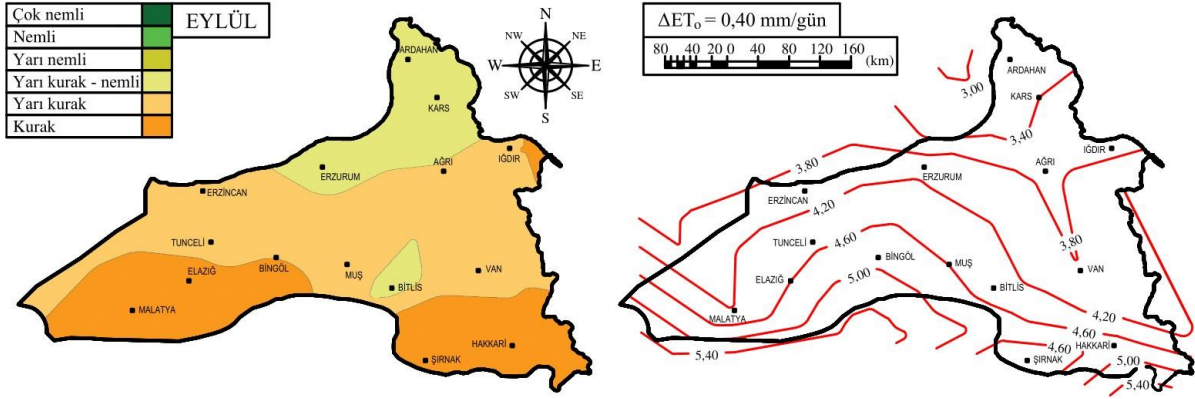
Şekil 4c. Haziran ayı için aylık iklim sınıfı ve ET_0 haritaları
Figure 4c. Monthly climate class and ET_0 maps for Jun



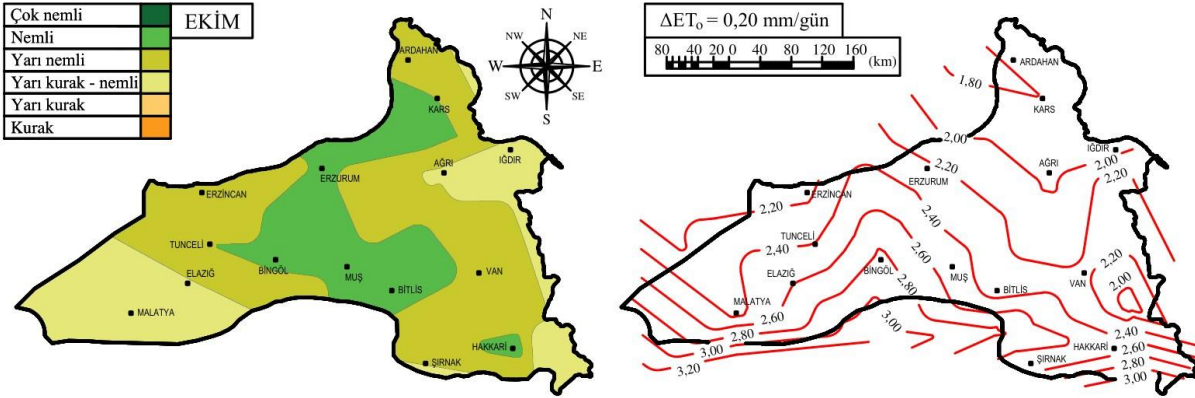
Şekil 4d. Temmuz ayı için aylık iklim sınıfı ve ET_0 haritaları
Figure 4d. Monthly climate class and ET_0 maps for July



Şekil 4e. Ağustos ayı için aylık iklim sınıfı ve ET_0 haritaları
Figure 4e. Monthly climate class and ET_0 maps for August



Şekil 4f. Eylül ayı için aylık iklim sınıfı ve ET_0 haritaları
Figure 4f. Monthly climate class and ET_0 maps for September



Şekil 4g. Ekim ayı için aylık iklim sınıfı ve ET_0 haritaları
Figure 4g. Monthly climate class and ET_0 maps for October

Çizelge 9. Haritalardan okunan ET_0 değerlerinin MAPE hataları
Table 9. MAPE errors of ET_0 values determined from maps

Şehirler	MAPE (%)							
	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Ort.
Ağrı	10,00	5,60	1,09	2,61	1,84	9,79	12,72	6,24
Ardahan	7,39	10,81	7,81	8,83	3,17	13,07	15,63	9,53
Bingöl	2,79	3,49	9,19	11,49	18,55	19,51	31,34	13,77
Bitlis	3,95	3,95	2,73	5,25	7,27	18,92	15,00	8,15
Elazığ	9,17	6,00	5,26	2,92	0,94	2,22	4,00	4,36
Erzincan	11,22	9,59	2,14	6,28	14,60	16,62	17,49	11,14
Erzurum	9,31	8,06	2,21	3,68	5,38	16,15	18,42	9,03
Hakkari	9,54	5,24	0,91	4,57	7,82	20,91	10,13	8,45
Iğdır	9,06	10,77	7,74	5,72	0,60	7,87	11,11	7,55
Kars	12,45	7,58	7,07	5,87	0,23	10,75	7,78	7,39
Malatya	9,20	12,16	12,79	10,44	5,57	2,33	2,17	7,81
Muş	1,14	4,03	8,51	9,33	15,19	22,02	26,90	12,45
Şırnak	23,71	32,14	27,74	26,82	17,27	16,33	19,14	23,31
Tunceli	1,01	2,11	4,39	10,65	15,36	20,64	18,23	10,34
Van	20,67	17,67	15,54	13,87	13,29	4,53	3,52	12,73
Ortalama	9,37	9,28	7,68	8,56	8,47	13,44	14,24	10,15

MAPE: Ortalama mutlak göreceli hata oranı (%)

Haritalardan okunan ve TAGEM rehberinden alınan aylık ortalama ET_0 değerleri arasındaki sapmanın bir göstergesi olarak hesaplanan MAPE hataları Çizelge 9'da verilmiştir. Şehir bazında Nisan – Ekim dönemi ortalama MAPE değerleri %4,36 – 23,31 arasında değişmiştir. Haritalardan okunan aylık ortalama ET_0 değerlerinin doğruluk oranı %76,69 – 95,64 arasında değerler almıştır. Bölge geneli ortalama doğruluk oranı ise %89,85 (MAPE= %10,15) olarak belirlenmiştir. En yüksek (MAPE= %7,68)

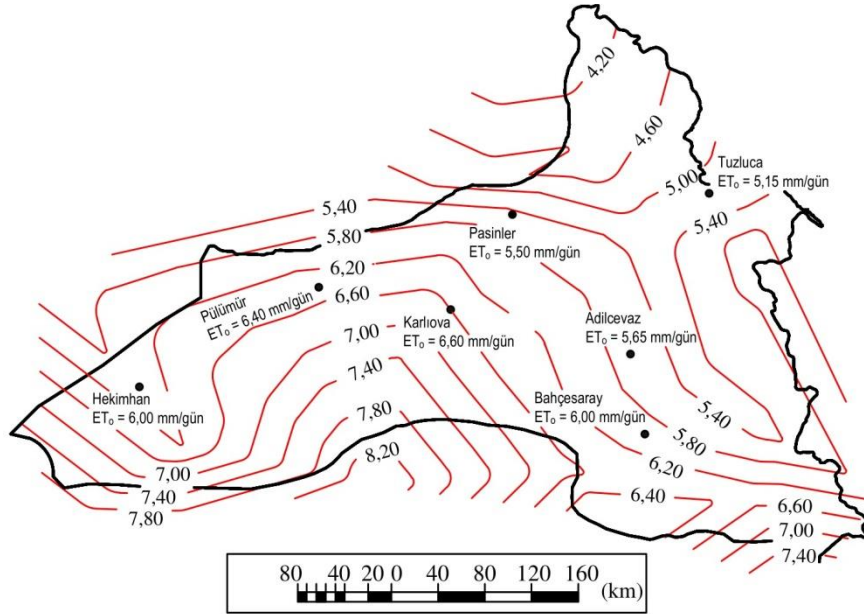
ve en düşük (MAPE= %14,24) doğruluk oranına sahip ET_0 değerleri sırasıyla Haziran (%92,32) ve Ekim (%85,76) aylarında elde edilmiştir. Şehir bazında okunan ET_0 değerlerinin Ağrı, Ardahan, Bitlis, Elazığ, Erzurum, Hakkari, Iğdır, Kars ve Malatya için “çok iyi” (MAPE< %10); Bingöl, Erzincan, Muş, Tunceli ve Van için “iyi” (MAPE= %10 – 20); Şırnak için ise “kabul edilebilir” (MAPE= %20 – 50) düzeyde doğruluğa sahip olduğu görülmüştür.

Doğu Anadolu Bölgesinde, bitkisel üretim faaliyetleri daha çok yaz aylarında gerçekleştirilmektedir. Bu aylarda bitkilerin yüksek sıcaklıklardan etkilenerek su stresine girmemesi ve dolayısıyla verim ve kalite kaybı yaşanmaması için sulama yapılması zorunlu hale gelmektedir. Günümüzde ET_c ve sulama suyu ihtiyacının belirlenmesi amacıyla T , RH , U_2 ve R_s gibi iklim parametrelerine dayalı ampirik tahmin yöntemleri daha çok tercih edilmektedir. Bu parametreler daha çok şehir merkezlerinde bulunan meteoroloji istasyonları tarafından devamlı ve düzenli olarak ölçülebilmektedir. Kırsal kesimlerde ise yeterli ve donanımlı istasyonlar bulunmaması nedeniyle veri temininde sorunlar yaşanabilmektedir. Doğu Anadolu Bölgesi için oluşturulan ET_o haritaları, bölgenin kırsal kesimlerindeki ET_c tahminlerinde kullanılabilir. Örnek olarak bölgede yaygın şekilde yetiştirilen ceviz, kayısı ve şeker pancarının bazı ilçelerdeki Temmuz ayı günlük ET_c değerleri belirlenerek Çizelge 10'da verilmiştir. Öncelikle Temmuz ayı için oluşturulan haritadan (Şekil 4d) ilgili ilçelerdeki ET_o değerleri okunmuştur (Şekil 5).

Çizelge 10'da görüleceği gibi, Temmuz ayı haritasından okunarak Şekil 5'de verilen ET_o değerlerin K_c katsayıları ile düzeltilmesi sonucunda elde edilen ET_c

değerleri "Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimleri" rehberinde ilgili ilçeler için verilen değerler ile çok yakın benzerlikler göstermiştir (Anonim, 2023c). Hesaplamalarda cevizin Temmuz ayı K_c katsayısı 1,14 olarak alınmıştır. Kayısı ve şeker pancarı için ise sırasıyla 1,10 ve 1,15 katsayıları kullanılmıştır (Allen ve ark., 1998).

Doğu Anadolu Bölgesi'ne benzer iklim ve çevre koşullarında yürütülen bazı çalışmalarda Temmuz ayı günlük ET_c değeri olarak ceviz için 6,16 – 9,14 mm/gün ve şeker pancarı için 7,41 – 8,12 mm/gün arasında değişen değerler elde edilmiştir (Göçmen, 2017; Gençoğlu ve ark., 2020; Süheri ve ark., 2019; Ebrahimpak ve Ghalebi, 2014). Demirtaş ve ark. (2012) Malatya ili iklim ve çevre koşullarında farklı sulama yöntemleri ile sulanan kayısının Temmuz ayı günlük ortalama ET_c değerinin 5,13 – 8,53 mm/gün arasında değiştiğini ortaya koymuşlardır. Kaya ve ark. (2013) ise kayısının Iğdır Ovası koşullarındaki Temmuz ayı günlük ortalama ET_c değerini 5,21 mm/gün olarak belirlemişlerdir. Bu çalışmalardan elde edilen ET_c değerleri, ET_o haritaları kullanılarak tahmin edilen ET_c değerleri ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 5. Aylık ortalama ET_o haritaları üzerinden değerlerin okunması
Figure 5. Determination of values over monthly average ET_o maps

Çizelge 10. ET_o haritaları kullanılarak bazı bitkilerin ET_c değerlerinin tahmin edilmesi

Table 10. Estimating ET_c values of some crops using ET_o maps

Ceviz Şehir/İlçe	ET_o (mm/gün)	K_c	ET_c (mm/gün)	
			Harita	(Anonim, 2023c)
Tunceli/Pülümür	6,40	1,14	7,30	6,60 – 7,60
Van/Bahçesaray	6,00	1,14	6,84	6,50 – 7,10
Bitlis/Adilcevaz	5,65	1,14	6,44	6,10 – 7,00
Kayısı	ET_o (mm/gün)	K_c	Harita	ET_c (mm/gün) (Anonim, 2023c)
Şehir/İlçe				
Malatya/Hekimhan	6,00	1,10	6,60	6,30 – 6,90
Iğdır/Tuzluca	5,15	1,10	5,67	5,30 – 5,70
Şeker pancarı	ET_o (mm/gün)	K_c	Harita	ET_c (mm/gün) (Anonim, 2023c)
Şehir/İlçe				
Erzurum/Pasinler	5,50	1,15	6,33	5,80 – 7,50
Bingöl/Karlıova	6,60	1,15	7,59	6,50 – 8,10

ET_o : Referans evapotranspirasyon (mm/gün); K_c : Bitki katsayısı; ET_c : Bitki su tüketimi (mm/gün)

Sonuç

Bu çalışmada, Doğu Anadolu Bölgesi için alan – zaman bazlı iklim sınıfı ve ET_0 haritaları oluşturulmuştur. De Martonne kuraklık indeksi yöntemine göre belirlenen iklim sınıfları ve CROPWAT yazılımı ile hesaplanan ET_0 değerlerinin aylık değişimlerini gösteren bu haritaların oluşturulmasında AutoCAD yazılımından faydalanılmıştır. İklim sınıfı haritaları üzerinde yapılan değerlendirmelere göre, Nisan – Ekim dönemi boyunca genel olarak yarı kurak – nemli iklimin etkili olduğu Doğu Anadolu Bölgesinde, yağışın diğer aylara göre daha fazla olduğu Nisan, Mayıs ve Ekim aylarında yarı kurak, nemli ve çok nemli iklim özelliklerinin etkili olduğu gözlemlenmiştir. Hava sıcaklığının artma, yağış ve nem oranının ise azalma eğilimi gösterdiği Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında ise genel olarak yarı kurak – nemli, yarı kurak ve kurak iklim özelliklerinin etkili olduğu görülmüştür. ET_0 haritaları üzerinde yapılan değerlendirmelere göre, bölge genelinde kuzeyden güneye doğru gidildikçe artan hava sıcaklığına paralel olarak ET_0 'ın artma eğilimi gösterdiği gözlemlenmiştir. Nisan, Mayıs ve Ekim aylarında sırasıyla 2,60 mm/gün, 3,75 mm/gün ve 2,28 mm/gün düzeylerinde gerçekleşen bölge geneli ortalama ET_0 değeri Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında artarak sırasıyla 5,06 mm/gün, 5,92 mm/gün ve 5,52 mm/gün düzeylerine yükselmiştir. ET_0 haritaları kullanılarak şehir bazında doğruluk oranı %76,69 – 95,64 arasında değişen ET_0 değerleri elde edilmiştir. Bölge geneli doğruluk oranı ise %89,85 (MAPE=%10,15) olarak belirlenmiştir. En yüksek ve en düşük doğruluk oranına sahip ET_0 değerleri sırasıyla %92,32 ve %85,76 değerleri ile Haziran ve Ekim aylarında elde edilmiştir. Sadece konumu bilinen herhangi bir noktadaki ET_0 değerinin zamana bağlı olarak tahmin edilebildiği bu haritaların, güncel iklim verilerinin temin edilemediği kırsal kesimlerdeki ET_0 'a dayalı ET_c tahminlerinde ve sulama programı çalışmalarında kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Kaynaklar

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, No: 56, 333p.
- Altalib, A.A., Mahmood, M.T., & Al-Ogaidi, A.A.M. (2021). Mapping reference evapotranspiration for Iraq using FAO Penman-Monteith method. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 23(2), 18-29.
- Anonim. (2023a). *AutoCAD Computer Program for Computer Aided Design*. AUTODESK. <https://www.autodesk.com/products>
- Anonim. (2023b). *Eş yükseklik eğrileri MEGEP modülü*. https://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/E%C5%9F%20Y%C3%BCkseklik%20E%C4%9Frileri.pdf
- Anonim. (2023c). *Türkiye'de sulanan bitkilerin bitki su tüketimleri*. <https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/Tu%CC%88rkiyede%20Sulanan%20Bitkilerin%20Bitki%20Su%20Tutumu%CC%88ketimleri.pdf>
- Berti, A., Tardivo, G., Chiaudani, A., Rech, F., & Borin, M. (2014). Assessing reference evapotranspiration by the Hargreaves method in north-eastern Italy. *Agricultural Water Management*, 140, 20-25. <https://doi:10.1016/j.agwat.2014.03.015>

- Čadro, S., Cherni-Čadro, S., Marković, M., & Žurovec, J. (2019). A reference evapotranspiration map for Bosnia and Herzegovina. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(1), 89-101. <https://doi:10.1016/j.iswcr.2018.11.002>
- De Martonne, E. (1942). Nouvelle carte mondiale de l'indice d'aridité. *Annales de Géographie*, 51, 242-250. (in French)
- Demirtaş, M.N., Kırmak, H., Bolat, İ., Taner, O., Çolak, S., Şahin, S., & Doğan, E. (2012). Kayısı sulamasında buharlaşma kabı (K_p) katsayısının belirlenmesi. *Ziraat Mühendisliği*, 359, 38-42.
- DMİ. (2023). Van ili iklim verileri. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Ebrahimipak, N.A., & Ghalebi, S. (2014). Determination of evapotranspiration and crop coefficient of sugar beet using lysimeter and its comparison with experimental methods in Shahrekord, Iran. *Journal of Sugar Beet*, 30(1), 23-32. <https://doi:10.22092/jsb.2014.5854>
- FAO. (2023). *CROPWAT-A Computer Program for Irrigation Planning and Management*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>
- Gençoğlan, C., Gençoğlan, S., & Usta, S. (2020). Lizimetre kullanılarak Maraş 18 çeşidi ceviz ağacının su tüketiminin belirlenmesi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 33(3), 397-403. <https://doi:10.29136/mediterranean.735874>
- Göçmen, E. (2017). Tekirdağ koşullarında farklı sulama uygulamalarının ceviz ağaçlarının su kullanımı ve vejetatif gelişme unsurlarına etkisinin belirlenmesi (Doktora Tezi), Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Güler, M., & Kara, T. (2007). Alansal dağılım özelliği gösteren iklim parametrelerinin coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi ve kullanım alanları; genel bir bakış. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(3), 322-328.
- Hong, Y., Nix, H.A., Hutchinson, M.F., & Booth, T.H. (2005). Spatial interpolation of monthly mean climate data for China. *International Journal of Climatology*, 25(10), 1369-1379. <https://doi:10.1002/joc.1187>
- Ikhneifir, A.A., Bubareek, H.M.Y., & Balomi, F.M.H. (2023). Reference evapotranspiration mapping of Libya. *Al-Mukhtar Journal of Sciences*, 38(2), 185-198. <https://doi:10.54172/mjsc.v38i2.672>
- Karaca, C., Tekelioğlu, B., Büyüktaş, D., & Baştuğ, R. (2017a). Kıyas bitki su tüketiminin hesaplanmasında kullanılan eşitliklerin değerlendirilmesi. *Akademi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, özel sayı, 144-161.
- Karaca, C., Büyüktaş, D., Baştuğ, R., Aydınşakir, K., & Tekelioğlu, B. (2017b). Antalya koşullarında kıyas bitki su tüketiminin alansal ve zamansal dağılımının belirlenmesi. *Derim*, 34(2), 158-171. <https://doi:10.16882/derim.2017.292134>
- Kaya, S., Evren, S., Dasci, E., & Adiguzel, M.C. (2013). Evapotranspiration and crop coefficients of drip-irrigated apricot trees under semiarid climatic conditions. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 11(1), 883-886.
- Kodal, S. (1982). İç Anadolu'da bitki su tüketiminin saptanması için uygun yöntemin belirlenmesi üzerine bir araştırma (Doktora Tezi), Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Lewis, C.D. (1982). *Industrial and Business Forecasting Methods: A Practical Guide to Exponential Smoothing and Curve Fitting*. Butterworths Scientific, London, England.
- Mehdizadeh, S. (2018). Estimation of daily reference evapotranspiration (ET_0) using artificial Intelligence methods: offering a new approach for lagged ET_0 data-based modeling. *Journal of Hydrology*, 559, 794-812. <https://doi:10.1016/j.jhydrol.2018.02.060>
- Sentelhas, P.C., Gillespie, T.J., & Santos, E.A. (2010). Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. *Agricultural Water Management*, 97, 635-644. <https://doi:10.1016/j.agwat.2009.12.001>

- Süheri, S., Amarkai, P.A., & Yavuz, D. (2019). A comparative study of crop evapotranspiration estimation by three methods with measured crop evapotranspiration in Konya Plain. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 33(1), 1-6. <https://doi: 10.15316/SJAFS.2019.148>
- Tural, S. (2011). Gerçek zamanlı meteoroloji verilerinin toplanması analizi ve haritalanması (Yüksek Lisans Tezi), Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Wang, J., Raza, A., Hu, Y., Buttar, N. A., Shoaib, M., Saber, K., Li, P., Elbeltagi, A., & Ray, R.L. (2022). Development of monthly reference evapotranspiration machine learning models and mapping of Pakistan—a comparative study. *Water*, 14(10), 1666. <https://doi: 10.3390/w14101666>