



ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

## Türkiye Referans Evapotranspirasyon Değerlerinin İklim Sınıflandırması Dikkate Alınarak Kümeleme Analizi

### Clustering Analysis of Türkiye Reference Evapotranspiration Values Considering Climate Classification

Ceren Ustabaş\*<sup>ORCID</sup>, Birol Kaya<sup>ORCID</sup>

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE  
 Sorumlu Yazar / Corresponding Author\*: ceren.ustabas@ogr.deu.edu.tr

#### Öz

İklim değişikliği ve su kıtlığı problemlerinin araştırmalarında bölgesel su tüketim ve temin ihtiyaçlarını incelemek, su kaynaklarını değerlendirmek, su planlaması ve yönetimi için meteorolojik bir parametre olan Referans Bitki Su İhtiyacı (ET<sub>o</sub>) değerlerinin hesaplanması amacıyla tarihsel süreçte birçok ampirik formül geliştirilmiştir. Bu formüller arasından en sağlıklı tahminlerin çok sayıda meteorolojik veriye dayalı olarak kullanılan FAO-56 Penman-Monteith (FAO-56 PM) formülü ile gerçekleştirildiği kabul edilmektedir. Daha az sayıda veri kullanarak ET<sub>o</sub> değerlerini veren ampirik bağıntıların her bölge için kalibre edilmesi gerekmektedir. Sunulan bu çalışmada, Türkiye’de bulunan meteorolojik istasyonlar arasından FAO-56 Penman-Monteith bağıntısı için yeterli meteorolojik verilere sahip olanlar seçilerek FAO-56 PM bağıntısı ile ET<sub>o</sub> değerleri hesaplanmış ve Türkiye için ET<sub>o</sub> haritası oluşturulmuştur. ET<sub>o</sub> değerleri kümeleme analizi ile gruplandırılarak istasyonlar gruplara ayrılmıştır. ET<sub>o</sub> haritası ve elde edilen grupla Türkiye için KoppenTrewartha iklim sınıflandırma haritası ile karşılaştırılmıştır. İklim verileri için Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden (MGM) elde edilen 1960-2020 yılları arasındaki istasyon verileri kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, mevcut iklim sınıflandırması ile oluşturulan ET<sub>o</sub> gruplandırmasının büyük ölçüde benzerliklere sahip olduğunu, dolayısıyla ampirik ET<sub>o</sub> denklemlerinin kalibrasyonunun yapılan kümeleme çalışması sonuçları doğrultusunda sürdürülmesinin uygun olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** İklim Değişikliği, Su Kıtlığı, Referans Bitki Su İhtiyacı, FAO-56 Penman-Monteith, KoppenTrewartha, İklim Sınıflandırmaları

#### Abstract

Many empirical formulas have been developed throughout history to examine regional water consumption and supply needs in research on climate change and water scarcity problems, to evaluate water resources, and to calculate Reference Plant Water Need (ET<sub>o</sub>) values, which is a meteorological parameter for water planning and management. Among these formulas, it is accepted that the most reliable predictions are made with the FAO-56 Penman-Monteith (FAO-56 PM) formula, which is used based on a large number of meteorological data. Empirical equations that give ET<sub>o</sub> values using fewer data need to be calibrated for each region. In this study, among the meteorological stations in Turkey, those with sufficient meteorological data for the FAO-56 Penman-Monteith relation were selected, ET<sub>o</sub> values were calculated with the FAO-56 PM relation, and an ET<sub>o</sub> map for Turkey was created. ET<sub>o</sub> values were grouped by cluster analysis and stations were divided into groups. The ET<sub>o</sub> map and the resulting group were compared with the KoppenTrewartha climate classification map for Türkiye. For climate data, station data between 1960 and 2020 obtained from the General Directorate of Meteorology (MGM) was used. The findings show that the ET<sub>o</sub> grouping created with the current climate classification has great similarities, and therefore it is appropriate to continue the calibration of the empirical ET<sub>o</sub> equations in line with the results of the clustering study.

**Keywords:** Climate Change, Water Scarcity, Reference Plant Water Requirement, FAO-56 Penman-Monteith, KoppenTrewartha, Climate Classifications

#### EXTENDED ABSTRACT

##### Introduction

In recent years, there has been an increasing interest in research on water scarcity and its solutions, which is one of the biggest effects of constantly changing climate parameters. Studies are carried out for water protection, effective irrigation, and water management, and many projects are developed within the scope of these issues. One of the hydraulic data needed during the planning of projects is evapotranspiration values.

Reference Evapotranspiration (ET<sub>o</sub>), one of the ET types, is a meteorological parameter that forms the basic data in studies for examining areal water consumption and supply needs, evaluating water resources, and planning and management.

Therefore, it is of great importance to calculate it accurately and accurately. Although many empirical equations are used in the literature, the FAO-56 PM method is universally accepted as the standard PET method because the results closest to the

measurement values can be obtained with the FAO-56 PM method. However, since the data required for the FAO56 PM equation cannot be measured at every station, empirical equations that provide ETo estimation by requiring less data have been developed. In this study, a clustering was made among Meteorology stations based on ETo values with cluster analysis. As a result of this cluster analysis, in which the climate classification map of Turkey was also taken into account, it was observed that there was a harmony between the clusters obtained and the climate classification. More accurate results can be obtained by considering the obtained clusters in the calibration of ETo empirical relations depending on the region and climate characteristics.

### Materials and Methods

Within the scope of the study, firstly, all data obtained from the General Directorate of Meteorology (MGM) was checked and incorrect data was removed. This was done by selecting the stations containing all the data in the FAO-56 PM formula among the 936 stations from which meteorological data between 1960 and 2020 were obtained among the stations, and those with the most reliable data measurements were identified. With the FAO56 PM method, ETo values were calculated by writing code in the Python programming language.

The second stage is to perform cluster analysis across the country, taking into account the calculations made. At this stage, firstly, the daily ETo values were converted into the annual average ETo value. For the first analysis, 5 groups were created

with value ranges determined by taking into account the maximum, minimum, and average data of the values through the Excel program. The created groups were marked on the map using the coordinate data obtained from MGM in GoogleEath.

The second analysis was based on the neighborhood rating.

In the final stage, the climate classification maps were compared with the ETo map and minor corrections were made using proximity analysis. In the comparison, the KoppenTrewartha climate classification, one of the most accepted climate classifications in the world, was used.

### Results and Discussion

As a result of these calculations and comparisons, great similarities were obtained between the KoppenThrewartha climate classification map and the ETo climate map. This situation shows that it is appropriate to calibrate the empirical relations used to calculate ETo values in research on water scarcity, which is one of the biggest effects of climate change, considering climate classification.

### Conclusion

The FAO-56 PM method, which is universally accepted to give the closest results to reality, cannot be fully used throughout the country. However, accurate calculation of the ETo value is of great importance in terms of water scarcity and climate problems. It is calibrated with FAO-56 PM to increase the degree of accurate and reliable calculation of formulas commonly used in the literature. Calibration for each station is not possible. By calibrating stations with similar climate characteristics, more accurate results can be achieved with fewer calibrations. With these results, clearer and more permanent solutions can be developed in water management and water supply planning.

## 1. Giriş

Hızlı nüfus artışı ve şehirleşme ile birlikte fosil yakıtların hızla tüketilmesinin sonucunda her geçen gün atmosfere salınan sera gazlarındaki artış hidrolojik döngü için ciddi sorunlara sebep olmaktadır. İklim sisteminde büyük bir öneme sahip olan sera gazları nedeniyle ortaya çıkan küresel ısınmanın, ülkemizde son yıllarda artış göstermekte olan kuraklığı ve su kıtlığını tetikleyerek hızlandıracağı iklim bilimciler tarafından öngörülmektedir. Başta bu sebeplerden dolayı sınırlı miktarda bulunan su kaynaklarımızın etkin ve doğru şekilde kullanımı her geçen gün daha fazla önem kazanmıştır [1]. Dünya genelinde su talebinde artış olmasına karşın temin kaynaklarındaki ciddi azalma sebebiyle mevcut suyu korumak, etkin sulama yöntemleri geliştirmek ve su yönetimi planları oluşturmak özellikle yarı-kurak ve kurak bölgelerde ciddi bir zorunluluk haline gelmektedir. Su yönetim planlarının oluşturulmasında ve bu doğrultuda yapılan araştırmalarda, ürün su isteklerini veya evapotranspirasyon verilerini doğru değerlendirmek oldukça önemlidir [2]. Evapotranspirasyon, hidrolojik çevrim sürecinin hesaplanması en zor bileşeni olmakla birlikte bir bölgedeki bitkilerin ve toprağın yüzeyinden buharlaşan suyun miktarını ifade eder.

Bitki yüzeyinden meydana gelen su kaybı terleme (transpirasyon) ile gerçekleşirken toprak ve açık su yüzeylerinden buharlaşma yoluyla gerçekleşmektedir [3]. Evapotranspirasyon (ET) ana hatlarıyla üç farklı tip ile tanımlanabilmektedir. Referans evapotranspirasyon (ETo); kısa boylu çim kaplı alanda su sıkıntısının yaşanmadığı durumdaki su kaybını, bitki türüne bağlı evapotranspirasyon (ETc); tamamen

bitki ile kaplı bir alanda su sıkıntısının olmadığı durumda, bitki türüne göre gerçekleşen su kaybını ve aktüel evapotranspirasyon (ETA); bitki ile kaplı bir alanda bitki türüne, bitkinin alanı kapladığı yoğunluğa ve su sıkıntısına bağlı olarak meydana gelen gerçek su kaybını ifade eder [4]. ETo, sadece iklim parametrelerinden etkilenmektedir ve meteorolojik veriler kullanılarak ampirik formüller ile hesaplanabilmektedir. Bu sebeple ETo için de bir iklim parametresidir denilebilir. ETo, yılın belirli bir zamanında atmosferin buharlaşma isteğinin miktarını ifade ettiği için hesaplamalarında bitki özellikleri ve toprak faktörleri göz ardı edilmektedir [5]. Bu yönüyle bakıldığında sulama planlaması ve yönetimi için, İklim değişikliği bölgelerinde bitki su ihtiyacının tahmini, su döngüsünü araştırılması ve su kaynaklarının değerlendirilmesi amacıyla referans bitki su tüketimi (ETo) alansal dağılım özelliklerini incelemek yol gösterici öneme sahiptir [6, 7]. ETo meteorolojik veriler kullanılarak ampirik yöntemlerle tahmin edilebilmekte ya da doğrudan lizimetreler yardımıyla ölçülebilmektedir. Lizimetreler ET tahmininde en doğru ve güvenilir yöntemlerdir ancak uygulaması zor ve oldukça pahalı bir yöntemdir [10, 11]. Dolayısıyla, ET hesabında kullanılan eşitlikleri, referans bir bitkinin evapotranspirasyon (ETo) değerlerini kullanarak standartlaştırma fikri ortaya atılmıştır [10, 12].

Evapotranspirasyon konusunda geçmişten günümüze kadar pek çok çalışma yapılmıştır. Araştırmacıların yaptıkları çalışmaların çoğu deneysel çalışmalar ile gözlemlenen ya da referans olarak aldıkları FAO-56 PM yöntemi ile bu yöntemden daha az değişken içeren diğer ampirik yöntemleri kullanarak hesapladıkları ETo değerlerini kıyaslayarak en iyi tahmin yapan ve mümkün ise mevcut yöntemlerden daha az değişkene ihtiyaç duyan yöntemi

bulabilmek amacıyla gerçekleştirilmiştir [9, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21]. Mevcut olan hesaplama yöntemlerine ek olarak özellikle son dönemlerde geliştirilmeye devam edilen uydu teknolojileri sayesinde, uzaktan algılama ile havza bazında gerçekleşen ET'nin gerçeğe yakın hesaplanması amaçlanmaktadır [21, 22, 23]. Fakat uzaktan algılama ile alınan ölçümlerin zaman adımları fazla, uydu görüntüleri düşük kalitede çözünürlüğe sahip ve atmosferik olaylar (bulutluluk, toz fırtınaları gibi) nedeniyle kızılotesi ölçüm imkanı kısıtlıdır. Bu gibi durumlar uzaktan algılama yöntemlerini kullanılabilirliklerini ve güvenilirliklerini olumsuz etkilemektedir [3, 8]. Çalışmalarda kullanılmış olan bir diğer yöntem ise yapay zeka modellerini içermektedir. Bu çalışmalarda ampirik formüller ile kıyaslanan yapay sinir ağları ve bulanık mantık benzeri yapay zeka modellerinin başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [24, 25]. Ancak gözlemlenen güneş radyasyonu ölçüm değerlerinde azalma, sıcaklık ve atmosferdeki CO2 miktarındaki artış, orman tahribatlarının artması ve su kıtlığı gibi sebeplerden çalışma alanları üzerindeki etkiler değişkenlik gösterebileceğinden, ET'nin daha az değişken ile doğru tahmin edilmesi daha doğru sonuçlar yaratacaktır.

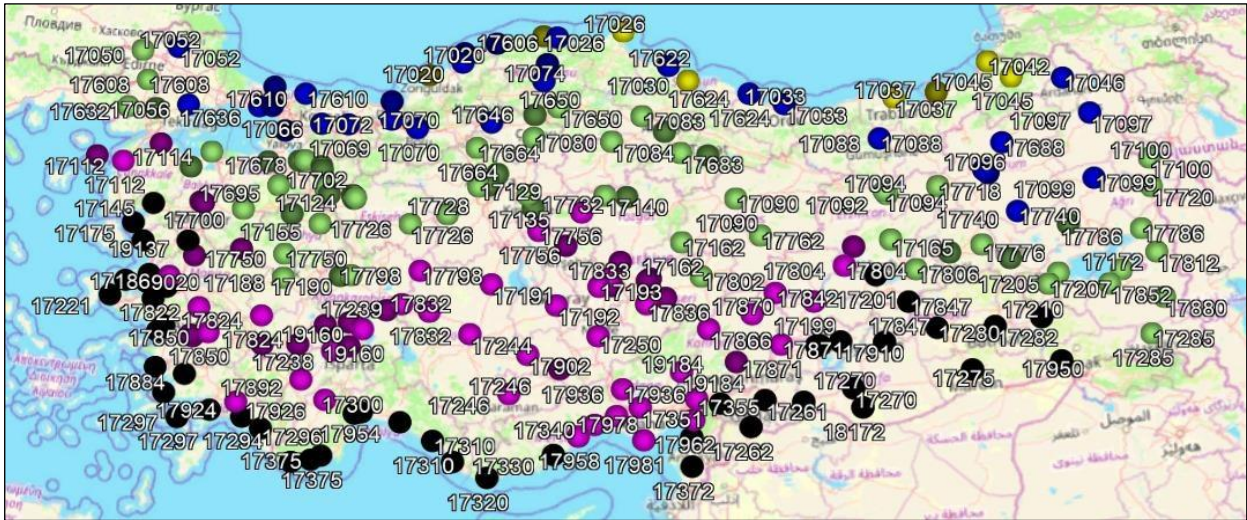
İklim, bir bölgedeki uzun vadeli hava koşullarının genel karakteristiğidir. Bu koşullar, bölgedeki sıcaklık, yağış, rüzgarlar ve nem gibi faktörlerle belirlenir. İklim sınıflandırması ise, dünyanın farklı bölgelerindeki iklimleri tanımlamak ve sınıflandırmak için kullanılan bir yöntemdir. Bu sınıflandırma, genellikle Köppen İklim Sınıflandırma Sistemi gibi belirli standartlara dayanır. Evapotranspirasyon, bir bölgedeki iklim koşullarıyla doğrudan ilişkilidir ve iklim sınıflandırması ile derin bir bağlantı içindedir. İklim sınıflandırması, genellikle sıcaklık ve yağış miktarı gibi faktörlere dayanır. Bu faktörler, bitki örtüsü ve toprak tipi gibi çevresel unsurları da etkiler. Örneğin, sıcak ve nemli bir iklim, yoğun bitki örtüsü ve yüksek evapotranspirasyon

oranlarına sahip olabilir. Bu tür bir iklim, tropikal yağmur ormanlarının tipik örneğidir. Öte yandan, soğuk ve kurak bir iklim, daha az bitki örtüsüne ve daha düşük bir evapotranspirasyon oranına sahip olabilir. Bu tür bir iklim, kutup çevresi gibi yerlerde görülebilir. İklim şartları ne olursa olsun, bitki örtüsü ve toprak özellikleri, evapotranspirasyon üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İklim sınıflandırması, belirli bir bölgenin evapotranspirasyon potansiyelini tahmin etmek için de kullanılabilir. Örneğin, sıcak ve nemli bir iklimde, yüksek evapotranspirasyon oranları beklenirken, soğuk ve kuru bir iklimde bu oran daha düşük olacaktır. Bu bilgi, tarım faaliyetlerini planlarken sulama ihtiyaçlarını belirlemek için önemlidir. Bu makale kapsamında Türkiye genelinde FAO-56 PM metodu referans alınarak ETo değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen veriler ve bölgesel yakınlıklar baz alınarak Kümeleme analizi yapılmış ve ortaya çıkan küme dağılımları ile İklim Sınıflandırmaları arasındaki benzerlikler incelenmiştir. İklim haritaları ve ETo küme dağılımlarının arasındaki ilişkinin incelenmesi hedeflenmiştir. Aradaki uyum kalibrasyon çalışmalarının aynı iklim sınıfında yer alan istasyonlar için yapılmasının yerinde olacağını göstermektedir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışma alanı ve veriler

Bu çalışmada Türkiye kapsamında Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) elde edilmiş olan 936 adet meteorolojik istasyona ait 1960-2020 yılları arasındaki verileri baz alınmıştır. Tüm istasyonların mevcut verileri incelenerek referans kabul edilen FAO56-PM metodu için gerekli olan tüm parametrelerin ölçümlerinin mevcut olduğu istasyonlar tespit edilmiş ve 218 adet istasyon çalışma için seçilmiştir. Şekil 1' de istasyonların Türkiye haritası üzerindeki konumları gösterilmiştir.



Şekil 1. Seçilen istasyonların Türkiye haritası üzerinde gösterilmesi.

Figure 1. Showing selected stations on the map of Türkiye.

### 2.2. FAO56 Penman Monteith metodu

ETo meteorolojik verilerden hesaplanabilmektedir. Radyasyon, hava sıcaklığı, hava nemi ve rüzgar hızı verilerine ihtiyaç duyan FAO56 Penman-Monteith eşitliği, uzmanlar tarafından, referans evapotranspirasyonun tanımında ve hesaplanmasında tek standart metod olarak tavsiye edilmiştir [29]. FAO56 Penman Monteith metodu referans evapotranspirasyonun hesaplanması için;

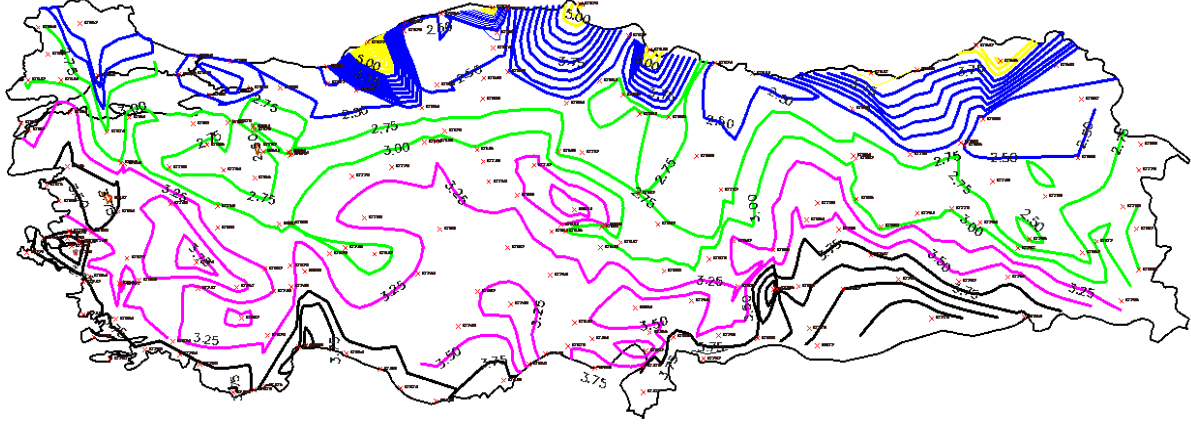
$$ETo = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

Denklem (1)'de kullanılan ; ETo [mm gün<sup>-1</sup>]: referans evapotranspirasyon, G [W m<sup>-2</sup>]: toprak ısı akısı, T [°C]: ortalama sıcaklık, Rn [W m<sup>-2</sup>]: net güneş radyasyonu, u<sub>2</sub> [m s<sup>-1</sup>]: yüzeyden 2 metre yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı, γ [kPa °C<sup>-1</sup>]: psikometrik sabit [kPa]: ortalama doygun buhar

basıncı,  $e$  [kPa]: gerçek buhar basıncı,  $\Delta$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]: doymuş buhar basıncı-sıcaklık eğrisinin eğimi olarak tanımlanmaktadır [4].

Seçilen 247 adet istasyonun da Python programlama dili ile bir kod yazılarak, FAO56-PM metodu ile ETo değerleri hesaplanmıştır.

Hesaplanan ETo değerleri kullanılarak oluşturulan ETo İzohips Haritası Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Seçilen istasyonların ETo izohips haritası.

Figure 2. ETo isohips map of selected stations.

### 2.3. Kümeleme analizi

Çok değişkenli analiz tekniklerinden biri olan kümeleme analizinin öncelikli amacı uzaklık değerlerinin normalliği ile verilerin temel özelliklerini dikkate alıp onları gruplandırmaktır. Bir başka deyişle gruplanmamış verileri benzerliklerine göre gruplandırmak ve araştırmacılara özet bilgiler sunmaktır [26,27]. Kümeleme analizinde pek çok yöntem bulunmaktadır. Bu araştırmada kullanılan yöntem K-ortalama kümeleme ya da K-means kümeleme (K-means clustering) yöntemi olarak adlandırılabilir.

Bu yöntemle göre N adet veri nesnesinden oluşan veri kümesini giriş parametresi olarak verilen K adet kümeye bölmektir. Böylece belirlenen küme sayısının sınırları ile birbirine en yakın olan veriler aynı kümeye dağıtılacaktır. Bu işlemde ilk olarak küme merkezleri belirlenir ve merkez dışındaki verilerin merkeze olan mesafeleri baz alınarak kümelendirme yapılır. Bu kümelendirme ile yeni merkezler yani ikincil merkezler belirlenir. Gruplandırma kararlılığa (stable state) ulaşana kadar bu işlemler tekrarlanır [32].

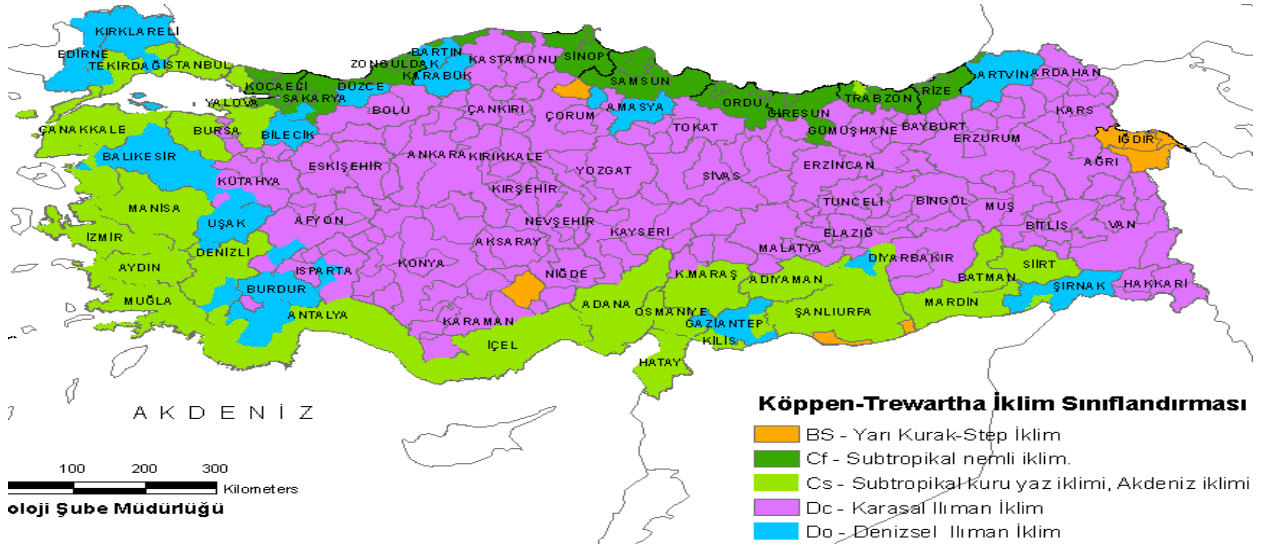
Bu çalışmada Kümeleme analizi için ilk olarak MGM'den 1960-2020 yılları için günlük olarak sağlanan meteorolojik veriler kullanılarak hesaplanan ETo değerleri, yıllık ortalama ETo değerlerine dönüştürülmüştür. 2. adımda tüm yıllık ortalamaların tek bir genel ortalaması hesaplanmıştır. 3. adımda hesaplanan yıllık ortalamalar ile genel yıllık ortalama arasında büyüklük küçüklük ilişkisi kurularak yıllık ortalamalar 2 gruba ayrılmış ve bu grupların ortalamaları belirlenmiştir. Son olarak analiz için ETo değerlerinin maksimum, minimum ve ortalama verileri dikkate alınarak ve bulunan ilk 2 grubun ortalamaları belirlenmiştir. Son olarak analiz için ETo değerlerinin maksimum, minimum ve ortalama verileri dikkate alınarak ve bulunan ilk 2 grubun ortalamaları dikkate alınarak belirlenen değer aralıkları ile 5 grup oluşturulmuştur. Daha sonra harita üzerinde istasyonlar her grup için farklı renkler ile gösterilerek incelenmiştir ve aykırı istasyonlar en yakın komşu gruplara dahil edilmiştir. Tüm bu analizlerin sonucunda ortaya çıkan gruplar

2.2.FAO56-Penman Monteith Metodu bölümünde yer alan Şekil1.' de verilmiş olan harita üzerinde farklı renkler ile gösterilmiştir.

### 2.4. İklim sınıflandırmaları

Bir yerin iklimi o yerin enlemine, yükseltisine, yer şekillerine, kalıcı kar durumuna ve denizlere olan uzaklığına bağlıdır. İklim sınıflandırması, sıcaklık ve yağış rejimi gibi durumlara bakılarak yapılabilmektedir [28]. Günümüze kadar birçok bilim insanı tarafından farklı farklı iklim sınıflandırmaları yapılmıştır. Bilim insanlarının bu sınıflandırmaları arasında birçok farklılıklar bulunmaktadır. Çağdaş iklim sınıflandırma yöntemleri genetik ve yapay olarak iki kısımda incelenebilir. Genetik (kalıtsal) sınıflandırma, ayrı hava kütlelerini aynı sıklık ve durum yönünden değerlendiren bozuklukların üzerine kurulu yöntemlerdir. Yapay sınıflandırmalar ise bu makalede detaylandırıldığı gibi bitki örtüsü sıklığıyla iklim kuşaklarının bağlantısı üzerine kurulu olan yöntemleri içerir[28].

Tüm iklim sınıflandırmaları arasında en çok kabul görmüş olan sınıflandırma Wladimir Köppen'e (1846-1940) ait olan sınıflandırmadır. İklim çalışmalarında çoğunlukla Köppen-Geiger haritası tercih edilmiştir [30]. MGM internet sitesinde Türkiye için yer alan Köppen, Trewartha, Aydeniz, Erinc, Thornthwaite, ve De Martonne gibi bilim insanlarının yaptığı iklim sınıflandırmaları mevcuttur. Bu çalışmada dünya genelinde kabul görmüş olan Köppen iklim haritasından geliştirilmiş Köppen-Trewartha sınıflandırması baz alınmıştır. Köppen-trewartha sınıflandırmasında Köppen sınıflandırması ile benzer olarak yıllık yağış miktarı ve bu yağışın yıl içindeki dağılımı, aylık sıcaklıklar, yıllık sıcaklıklar ve sıcaklık ile yağışın bitki örtüsü ile ilişkileri önemlidir. Bunun için Köppen'in sınıflandırması bitki örtüsüne dayalı iklim sınıflandırmasına yani referans evapotranspirasyon ile yaptığımız sınıflandırmaya kabaca uymaktadır. Köppen-Trewartha sınıflandırması dünya genelinde başlıca 6 iklim grubundan oluşmaktadır. Bu sınıflandırmada A,C,D,E ve F gösterimleri temel termal bölgeleri ifade ederken, Altıncı grup B, F kutup iklimi hariç diğerleri ile kesişen kuru iklim kuşağıdır [31]. Köppen-Trewartha İklim Sınıflandırması Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Köppen-Trewartha iklim sınıflandırmasına göre Türkiye iklimi.

Figure 3. Climate of Türkiye according to Köppen-Trewartha climate classification.

Seçilen haritalarından dünya üzerinde en çok kabul gören Köppen İklim Sınıflandırması ve bu sınıflandırmadan türetilen Köppen-Trewartha iklim sınıflandırması ile ETo gruplandırma haritası karşılaştırılarak uyumları değerlendirilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Seçilen 218 adet istasyonun hesaplanan ETo verilerinin, sınıflandırma için Excel hesaplamaları ile elde edilen enbüyük, enküçük ve ortalama ETo değerleri ile bu değerlerden biri olan ortalama baz alınarak ilk iki grup için hesaplanan sınıflandırma aralıkları aşağıda Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. İstatistik veriler ve birincil sınıflandırma aralıkları.

Table 1. Statistical data and primary classification ranges.

Veri	Değer
Yıllık Maksimum ETo Değeri (ETo <sub>enb</sub> )	6,48
Yıllık Minimum ETo Değeri (ETo <sub>enk</sub> )	2,14
Yıllık Ortalama ETo Değeri (ETo <sub>ort</sub> )	3,24
Ortalama ETo Değerinden Küçük Olan Değerlerin Ortalaması (ETo <sub>ortb</sub> )	2,80
Ortalama ETo Değerinden Büyük Olan Değerlerin Ortalaması (ETo <sub>ortk</sub> )	3,78

Ortalama ETo değerinden küçük olan değerlerin ortalaması ' ETo<sub>ortk</sub>', Ortalama ETo değerinden büyük olan değerlerin ortalaması ' ETo<sub>ortb</sub> ' olarak gösterilmiştir. İkinci sınıflandırma için kullanılan aralıklar ve hesaplanma şekilleri Tablo 2 ' de verilmiştir. Bu aralıkların ait oldukları grupların isimleri ve o gruba giren istasyon adetleri Tablo 3' te gösterilmiştir.

Son aşama ise elde edilen bu istasyonlar harita üzerinde Tablo 4'te belirtilen renklerle gösterilerek iklim sınıflandırması haritası ile karşılaştırılmıştır. Yapılan gruplandırmanın iklim sınıflandırması haritasıyla büyük oranda uyum içinde olduğu görülmüştür. Sınıflandırmaya uymayan bazı istasyonların grupları bölgesel yakınlıklar dikkate alınarak değiştirilmiş ve grupların son şekli oluşturulmuştur. Sınıflandırma grupları, Şekil 1'de ki harita üzerinde istasyonların gösterim renkleri ve o gruba ait istasyon sayıları Tablo 4 'te verilmiştir.

Tablo 2. İkincil sınıflandırma aralıklarının sınır değerleri.

Table 2. Limit values of secondary classification ranges.

Formül	Değer
ETo <sub>enk</sub>	2,14
$\frac{(ETo_{ortk} - ETo_{ort}) * 2}{3} + ETo_{enk}$	2,58
$\frac{ETo_{ort} + ETo_{ortk}}{2}$	3,02
$\frac{ETo_{ort} + ETo_{ortb}}{2}$	3,51
$\frac{ETo_{enb} - ETo_{ortb}}{3} + ETo_{ortb}$	4,68
ETo <sub>enb</sub>	6,48

Tablo 3. Sınıflandırma grupları ve aralıkta bulunan istasyon sayıları.

Table 3. Classification groups and number of stations in the range.

Grup Numarası	Minimum Sınır	Maksimum Sınır	İstasyon Adedi
1. Grup	2,14	2,58	26
2. Grup	2,58	3,02	63
3. Grup	3,02	3,51	67
4. Grup	3,51	4,68	56
5. Grup	4,68	6,48	6
Toplam			218

**Tablo 4.** Kümleme analizi sonucunda ortaya çıkan grupların bilgileri.**Table 4.** Information on the groups revealed as a result of cluster analysis.

Grup Numarası	Haritada Gösterim Rengi	İstasyon Adedi
1. Grup	Lacivert	30
2. Grup	Yeşil	66
3. Grup	Pembe	62
4. Grup	Siyah	52
5. Grup	Sarı	8
Toplam		218

#### 4. Sonuçlar

İklim sınıflandırması ve evapotranspirasyon arasındaki ilişki, doğanın dengesini anlamak ve doğal kaynakları yönetmek için kritik öneme sahiptir. Bu iki kavram arasındaki etkileşimleri anlamak, tarım, su kaynakları yönetimi, çevresel planlama ve iklim değişikliği gibi alanlarda karar verme süreçlerine rehberlik eder. Bu nedenle, iklim sınıflandırması ve evapotranspirasyon arasındaki ilişkiyi incelemek ve anlamak, sürdürülebilir bir gelecek için önemlidir.

İklim sınıflandırmaları, belirli bir bölgedeki iklim koşullarını tanımlamak için kullanılan sistemlerdir. Bu sistemler genellikle sıcaklık, yağış, nem ve diğer meteorolojik faktörler gibi çeşitli değişkenlere dayanır. Evapotranspirasyon da meteorolojik verilere bağlı olduğundan, iklim sınıflandırması ve evapotranspirasyon arasında derin bir ilişki vardır.

İklim koşulları, evapotranspirasyonu etkilerken, evapotranspirasyon da su döngüsünün bir parçası olarak iklimi şekillendirir. Bu nedenle, doğa ve insanlar için yaşamsal olan su kaynaklarını anlamak ve yönetmek için iklim ve evapotranspirasyon arasındaki bu ilişkiyi dikkate almak önemlidir.

Referans Bitki Su İhtiyacı (ET<sub>o</sub>) değerlerinin hesaplanması amacıyla geliştirilmiş birçok empirik formül arasından en sağlıklı tahminlerin çok sayıda meteorolojik veriye dayalı olarak kullanılan FAO-56 PM formülü ile gerçekleştirildiği kabul edilmektedir. Ancak bu bağıntı için çok sayıda veri gerekmekte ve bu veriler her istasyonda ölçülmemektedir. Bu nedenle daha az sayıda veri kullanılarak hesap yapan diğer empirik bağıntıların ET<sub>o</sub> bağıntılarının kalibre edilmesi gerekmektedir. Sağlık bir kalibrasyon için seçilen istasyonların aynı iklim sınıflandırması içinde yer alan istasyonlar olmasında yarar bulunmaktadır.

#### Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Teşekkür

Yüksek Lisans tezi kapsamında yapılan bu çalışmada yazarlar Meteorolojik verileri sağlayan T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğüne teşekkür ederler.

#### Yazar katkılarının beyanı

İkinci yazar ET<sub>o</sub> değerlerinin hesaplanmasını gerçekleştirmiştir. Diğer tüm çalışmalar ikinci yazarın yönlendirmesi ve danışmanlığında ilk yazar tarafından yapılmıştır.

#### Kaynaklar

- [1] Yürekli, K., Ünlükara, A., Cömert, M.M., 2017. Holt yaklaşımı ile referans bitki su tüketiminin mevsimsel değişiminin saptanması. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, Cilt 6, (Özel Sayı (BSM 2017)), s. 75-81.
- [2] Kaya, S.E., 2012. Iğdır Ovası koşullarında panevaporasyonu kullanılarak referans evapotranspirasyon eşitliklerinin değerlendirilmesi. *Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türk Doğa ve Fen Dergisi*, s. 7-14.
- [3] Şarlak, N., Bağcı, S., 2020. Ampirik potansiyel evapotranspirasyon tahmin yöntemlerinin değerlendirilmesi: Uygulama Konya Kapalı Havzası. *Teknik Dergi*, Cilt 31, Sayı 1, s. 9755-9772. DOI: 10.18400/tekderg.408019.
- [4] Peker, F., Bayhan, H., Akkoyunlu, A., 2021. Global gerçek evapotranspirasyon (ET<sub>a</sub>) haritalarından arazi kullanım sınıflarına ait ET<sub>a</sub> kayıplarının tahmini. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, Cilt 4, Sayı 1, s. 18-26. DOI: 10.55581/ejeas.936950.
- [5] Ünlükara, A., Yürekli, K., Aküzüm, T., Örs, İ., Safi, S., 2011. Konya ve Karaman illerinde bitki su tüketimi (ET<sub>o</sub>) değişiminin analizi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, Cilt 4, Sayı 1, s. 1-5.
- [6] Zhang, Y.D., Zheng, S.Z., Lu, C., Jia, H.W., Huang, W.Y., 2018. Spatial distribution of reference crop evapotranspiration in Hangjiahu Area. *The 4th International Conference on Water Resource and Environment*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Cilt 191, 012078.
- [7] Arabi, C., Candoğan, B.N., 2022. Marmara Bölgesinde referans bitki su tüketiminin alansal ve zamansal değişimi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, Cilt 8, Sayı 2, s. 268-281. DOI: 10.24180/ijaws.1080376.
- [8] Zhao, L., Xia, H., Xu, C., Wang, Z., Sobkawiak, L., Uzun, C., 2013. Evapotranspiration estimation methods in hydrological models. *Journal of Geographical Sciences*, Cilt 23, Sayı 2, s. 359-369. DOI: 10.1007/s11442-013-1015-9.
- [9] Alexandris, S.G., Stricevic, R.J., Petkovic, S., 2008. Comparative analysis of reference evapotranspiration from the surface of rainfed grass in Central Serbia, calculated by six empirical methods against the Penman-Monteith formula. *European Water*, Sayı 21/22, s. 17-28.
- [10] Yıldırım, E.A., 2023. Tekirdağ koşullarındaki iklim değişikliğinin referans bitki su tüketimi değerlerine etkisinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ*.
- [11] Karaca, C., Büyüktaş, D., Baştuğ, R., Aydınşakir, K., Tekelioğlu, B., 2017. Antalya koşullarında karşılaştırma bitki su tüketiminin alansal ve zamansal dağılımının belirlenmesi. *Derim*, Cilt 34, Sayı 2, s. 158-171. DOI: 10.16882/derim.2017.292134.
- [12] Jensen, M.E., Wright, J.L., 1978. The role of evapotranspiration models in irrigation scheduling. *Transactions of the ASAE*, Cilt 21, Sayı 1, s. 82-87. DOI: 10.13031/2013.35254.
- [13] Akpolat, A., 2011. Mikrometeorolojik ve lizimetre yöntemleriyle belirlenen buğday bitki su tüketimlerinin karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Adana*.
- [14] Beyazgül, M., Kayam, Y., Engelsan, F., 2000. Estimation methods for crop water requirements in the Gediz Basin of Western Turkey. *Journal of Hydrology*, Cilt 229, Sayı 1-2, s. 19-26. DOI: 10.1016/S0022-1694(99)00196-1.
- [15] Şahin, Ü., Angın, İ., Anapalı, Ö., 2004. Evaluation of reference evapotranspiration calculation methods applied to the climatic conditions of Turkey. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, Cilt 52, Sayı 2, s. 125-133.
- [16] Lu, J., Sun, G., McNulty, S.G., Amatya, D.M., 2005. A comparison of six potential evapotranspiration methods for regional use in the Southeastern United States. *JAWRA*, Cilt 41, Sayı 3, s. 621-633. DOI: 10.1111/j.1752-1688.2005.tb03759.x.
- [17] Tukimat, N.N.A., Harun, S., Shahid, S., 2012. Comparison of different methods in estimating potential evapotranspiration at Muda Irrigation Scheme of Malaysia. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, Cilt 113, Sayı 1, s. 77-85.
- [18] Fisher, D.K., Pringle III, H.C., 2013. Evaluation of alternative methods for estimating reference evapotranspiration. *Agricultural Sciences*, Cilt 4, Sayı 8, s. 51-60. DOI: 10.4236/as.2013.48A008.
- [19] Uçar, Y., Kazaz, S., İnal, F.G., Baydar, H., 2017. Empirical models likely to be used to estimate the evapotranspiration of oil rose (*Rosa damascena* Mill.). *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, Cilt 12, Sayı 1, s. 1-10.
- [20] Eftimiou, N., Alexandris, S.G., Karavitis, C.A., Mamassis, N., 2013. Comparative analysis of reference evapotranspiration estimation

between various methods and the FAO56 Penman-Monteith procedure. *European Water*, Sayı 42, s. 19-34.

- [21] Zhang, K., Kimball, J.S., Nemani, R.R., Running, S.W., 2010. A continuous satellite-derived global record of land surface evapotranspiration from 1983 to 2006. *Water Resources Research*, Cilt 46, W09522. DOI: 10.1029/2009WR008800.
- [22] Aksu, H., Arıkan, A., 2017. Satellite-based estimation of actual evapotranspiration in the Büyük Menderes Basin, Turkey. *Hydrology Research*, Cilt 48, Sayı 2, s. 559-570. DOI: 10.2166/nh.2016.226.
- [23] Peng, J., Loew, A., Chen, X., Ma, Y., Su, Z., 2016. Comparison of satellite-based evapotranspiration estimates over the Tibetan Plateau. *Hydrology and Earth System Sciences*, Cilt 20, Sayı 8, s. 3167-3182. DOI: 10.5194/hess-20-3167-2016.
- [24] Partal, T., 2016. Comparison of wavelet-based hybrid models for daily evapotranspiration estimation using meteorological data. *KSCE Journal of Civil Engineering*, Cilt 20, Sayı 5, s. 2050-2058. DOI: 10.1007/s12205-015-0556-0.
- [25] Citakoglu, H., Cobaner, M., Haktanir, T., Kisi, O., 2014. Estimation of monthly mean reference evapotranspiration in Turkey. *Water Resources Management*, Cilt 28, Sayı 1, s. 99-113. DOI: 10.1007/s11269-013-0474-1.
- [26] Memnun, D.S., 2013. Kalaycı, Ş. (Ed.), 2006. SPSS uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri. Ankara: Asil Yayın Dağıtım. İlköğretim Online, Cilt 12, Sayı 1, s. 1-6.
- [27] Yaz, F.H., 2014. Çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden kümeleme analizi; SPSS ile bir uygulama. Ankara. DOI: 10.13140/RG.2.2.30469.24800.
- [28] Wikipedia Katılımcıları, 2023. İklim. *Wikipedi, Özgür Ansiklopedi*. (Erişim tarihi: 28.03.2024) <https://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=%C4%B0klim&oldid=30384250>.