

Sandıras dağlık kütlesi orman yetiştirme ortamı birimlerinin ayrılması üzerine araştırmalar

Researches on parting of forest site units of Sandıras mountain mass

Salih MALKOÇOĞLU¹, Ömer KARA²

¹Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Köyceğiz Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, Muğla, Türkiye

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği, Trabzon, Türkiye

Eser Bilgisi /Article Info

Araştırma makalesi /Research article

DOI: 10.17474/artvinofd.1649790

Sorumlu yazar/ Corresponding author

Salih MALKOÇOĞLU

e-mail: salihm@mu.edu.tr

Geliş tarihi/Received

02.03.2025

Düzeltilme tarihi/Received in revised form

13.05.2025

Kabul tarihi/Accepted

14.05.2025

Elektronik erişim/Online available

15.05.2025

Anahtar kelimeler:

Gösterge tür analizi

Karaçam

Kızılçam

Yaprak alan indeksi

Yetiştirme ortamı sınıflandırması

Keywords:

Indicator species analysis

Crimean pine

Red pine

Leaf area index

Site classification

Özet

Bu çalışmada Sandıras dağlık kütlesinde orman ekosistemlerini sürekli etkisi altında bulunduran yetiştirme ortamı (YO) faktörlerinden yola çıkılarak yetiştirme ortamı birimleri (YOB) oluşturulmuştur. Bu kapsamda sistematik örneklemeyle kızılçam, karaçam ve kızılçam-karaçam karışık meşcerelerinde 144 adet örnek alanda konum, toprak, iklim ve yerel konum etmenleri belirlenmiştir. Herörnek alanda bitki örtüsü özellikleri Braun-Blanquet yöntemine göre belirlenerek kayı altına alınmıştır. Ayrıca kızılçam ve karaçam orman ekosistemlerinin yaprak alan indeksi (YAI) SNAP yazılımıyla belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, 18 ekolojik toprak serisi (ETS) elde edilmiş ve YOB ayrımında toprakların hava-su ekonomileri kullanılmıştır. Bu yöntemle göre Çok Kuru (ÇK), Kuru(K), Tazece (TZC) ve Taze (TZ) şeklinde dört YOB grubu elde edilmiştir. Belirlenen YOB gruplarının kontrolü; bitki örtüsü dağılışı, gösterge bitkile ve asli ağaç türlerinin YAI değerleriyle sağlanmıştır. Kızılçam kuşağında *Creteagus monogyna* ÇK-K YOB gruplarının, *Crepis sancta* ise TZC-TZ YOB gruplarının önemli pozitif gösterge bitki türleri olmuştur. Karaçam kuşağında *Genista sandrasica* ve *Teucrium sandrasicum* ÇK-K YOB gruplarının, *Genista anatolica*, *Cytisus gueneri*, *Verbascum carienne* ise TZC-TZ YOB gruplarının önemli pozitif gösterge bitki türleri olmuştur. Kızılçam ($F=11.881$, $p=0.000 < p=0.01$) ve Karaçam ($F=8.128$, $p=0.000 < p=0.01$) meşcerelerinin YAI değerleri, YOB gruplarına göre farklılık göstermiştir. YAI bakımından düşük değerler ÇKa ve Ka YOB gruplarında, yüksek değerler ise TZb ve TZCb YOB gruplarında bulunmuştur. Farklı YOB grubu; ETS, yeryüzü, yükselti-iklim kuşağı, bakı grubu ve eğim sınıfında toplam 100 orman YOB elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda tespiti yapılabilen gösterge bitkilerin YOB grubu özelliklerini yansıttıklarını ve kızılçam ve karaçam meşcerelerine ait YAI değerlerinin YO sınıflandırmasında iyi bir ölçüt ve gösterge olabileceğini göstermiştir.

Abstract

In this study, forest site units (FSU) were created and mapped based on the site factors (SF) that constantly affect forest ecosystems in the Sandıras mountainous mass. In this context, location, soil, climate and local location factors were determined in 144 sample plots transferred to the field according to the systematic sampling method in red pine, crimean pine and red pine- crimean pine mixed stands. In each sample plots, the vegetation characteristics were determined and recorded according to Braun-Blanquet method. Additionally, the leaf area index (LAI) of red pine and crimean pine forest ecosystems was determined with SNAP software. As a result of the study, 18 ecological soil series (ESS) were obtained. The air-water economies of soils were used to classify the FSU. According to this method, four FSU groups were obtained as Very Dry (VD), Dry (D), Freshly (FLY) and Fresh (FR). The FSU groups were controlled by vegetation distribution, indicator plants and LAI values of the main tree species. In the red pine stands, *Creteagus monogyna* was a crucial positive indicator plant species for ÇK-K YOB groups. *Crepis sancta* was an essential positive indicator plant species for TZC-TZ YOB groups. In the crimean pine stands, *Genista sandrasica* and *Teucrium sandrasicum* was a crucial positive indicator plant species for ÇK-K YOB groups. *Genista anatolica*, *Cytisus gueneri*, *Verbascum carienne* were an important positive indicator plant species for TZC-TZ YOB groups. The LAI values of the red pine ($F=11.881$; $p=0.000 < p=0.01$) and crimean pine ($F=8.128$; $p=0.000 < p=0.01$) stands differed according to the LAI groups. Low LAI values were found in VD and Da LAI groups, whereas high values were found in FRb and FLYb SU groups. Finally, a total of 100 FSU were obtained in different FSU groups, ESS, landform, climate zone, aspect group and slope class. Our results showed that the identified indicator plants and LAI values of red pine and crimean pine stands reflected the characteristics of the FSU group and that LAI can be a good criterion and indicator in site classification.

GİRİŞ

Sürdürülebilir kalkınma, doğal kaynaklara göre düzenlenerek yönlendirilir. Orman ekosistemleri gibi doğal kaynaklara bağlı olarak gelişmenin sürdürülebilir olması ise doğal kaynakları ekolojik özelliklerine göre sınıflandırmakla mümkün olabilmektedir (Atalay 2014). Bu açıdan ekolojik esaslara uygun bir biçimde oluşturulan yeterli hassasiyeteki yetiştirme ortamı (YO) sınıflandırma çalışmaları, YO koşullarına uygun ormancılık çalışmalarının uygulanmasına olanak sağlar. Böylece verimin artırılması, meşcerayı tehdit eden tehlikelere karşı tedbirlerin alınması, ormancılık tedbirlerinin yerel şartlara göre ayarlanması sağlanabilir. Ayrıca YO sınıflandırması ormancılıkta silvikültür ve arazi planlamasının geliştirilmesi için kullanılabilecek bütün bilgilerin sağlanabileceği vazgeçilmez kaynak sunar (Kantarci 1980, Başkent ve ark. 2005).

Ormancılık için YO sınıflandırmasında tek bir faktör kullanılabileceği gibi birden fazla faktör de kullanılabilmektedir (Savill 1983). Tek faktöre dayalı gerçekleştirilen YO sınıflandırmaları toprak veya iklim gibi bir faktöre dayanmaktadır (Farrelly ve ark. 2009). Toprak özelliklerine dayalı YO sınıflandırmaları, ormancılıkta kullanılan en yaygın tek faktörlü sistemlerdir. Bu sınıflandırma şekli Amerika Birleşik Devletleri, İrlanda, Almanya ve Rusya gibi ülkeler tarafından kullanılmıştır (Ralston 1964, Carmean, 1975, Carey ve ark. 1985). Bunun yanında gösterge bitkiler veya bitki toplulukları da tek faktörlü YO sınıflandırmasının temeli olarak kullanılmıştır (Ellenburg 1988, Klinka ve ark. 1989, Pyatt ve ark. 2001, Wilson ve ark. 2005). Gösterge bitkileri ve bitki türlerinin yayılışına dayalı YO sınıflandırması, orman sahalarının toprak nemi ve toprak besin rejimini ölçmek için kullanıldığı Kanada, Britanya Kolombiyası'nda oldukça gelişmiştir (Green ve Klinka 1994). Son zamanlarda ülkemizde de gösterge bitki türleri, asli orman ağaç türlerimizin YO verimliliğinin ölçütü olarak kullanılmıştır (Özkan 2002, Özkan ve Negiz 2011). Ancak tek faktörlü saha sınıflandırmaları YO verimliliğini etkileyen diğer faktörle desteklenmediğinde YO'nun gerçek verimliliğini yansıtmayacaktır. Nitekim alanda bulunan türler istilacı olabilir veya bilinmeyen şekillerde bozulmalardan etkilenmiş olabilir. Ayrıca toprak özelliklerinin yetersiz kaldığı bir YO'da, topografya YO'nun su dengesinin

sağlanmasında önemli rol üstlenebilirken, atmosferik değişikliklerin tamponlanamadığı, bitki gelişiminin sınırlandığı alanlarda toprak özellikleri bitki gelişimini destekleyebilir.

Çok faktörlü YO sınıflandırmaları ise iklim, topografya, topraklar ve bitki örtüsü arasındaki karşılıklı ilişkilere dayanır (Farrelly ve ark. 2009). Topografya genellikle mikro iklimi ve su hareketini belirlerken toprak faktörleri, özellikle toprak nemi, besin maddeleri ve pH, bitki üretkenliğini güçlü bir şekilde kontrol eder. Bitki örtüsü ise topografya ve toprak faktörlerini ve bunların etkileşimlerini entegre eden toprağın ekolojik anlamını yansıtır (Barnes ve ark. 1982). Bu nedenle, bu dört ana faktör ve bunların birbirleriyle olan ilişkileri, YO sınıflandırmasında birlikte kullanılmalıdır.

Toprağın birim alanı (1 m^2) üzerindeki yaprakların bir yüzünün toplam alanını (m^2) ifade eden yaprak alan indeksi (YAI) fotosentez, intersepsiyon, evapotranspirasyon, karbon ve su dolaşımı ve meşcere içine ulaşan ışık miktarı üzerinde etkili olduğundan meşcere verimliliğinin belirlenmesinde kullanılabilir (Jose ve Gillespie 1997). Bitkiler için yeterli besin elementlerinin bulunduğu YO'larda, YAI değerinin yüksek olduğu (Gover ve ark. 1992), kurak alanlarda YAI değerinin $1 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ 'nin altına düştüğü, nemli alanlarda ise $20 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ 'nin üzerine çıkabildiği tespit edilmiştir (Kozłowski ve ark. 1991). İğne yapraklı ormanlarda YAI'nin üst sınırının $38-40 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ arasında olduğu ve maksimum yaprak alanının, ılıman yaz sıcaklıklarının solunum hızını kısıtladığı ve ılıman kış sıcaklıklarının uyku mevsimi boyunca önemli miktarda fotosentez yapımına izin verdiği yerlerde bulunduğu belirtilmiştir (Gholz ve ark. 1976). Aynı çalışmada, 250-450 yaşlarındaki saf *Pseudotsuga menziesii* meşcerelerinde çok kuru ($20 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) ortamdaki, serin-nemli ($32 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) ortama doğru gittikçe toplam yaprak alanının %60 oranında arttığı tespit edilmiştir.

Birçok türün YAI ile YO verimliliği arasındaki bu ilişkilere dikkat çeken birçok araştırmacı YAI'nin YO kalitesini belirlemek için mükemmel bir temsilci olabileceği öne sürmüştür (Carlyle 1998). Bu bilgilerden hareketle bu çalışmada, kızılçam ve karaçam orman ekosistemlerinde yayılış gösteren bitki örtüsü ve meşcerelere ilişkin YAI, YO

birim gruplarıyla ilişkilendirilmiş ve YAI'nın YO birim grupları ayrımında kullanılabilirliğinin ortaya koyulması amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda ilk olarak yersel ölçümlerle elde edilen veriler kullanılarak kızılçam ve karaçam orman ekosistemlerinde, ETS belirlenerek YO birim gruplarının ve YOB'lerin ayrımı gerçekleştirilmiştir. Akabinde bu ekosistemlerde yayılış gösteren bitki örtüsü tespiti yapılarak YOB gruplarına ait gösterge türler belirlenmiş ve kızılçam ve karaçam ağaç türlerinin YAI değerleri tespit edilmiştir. Son aşamada ise elde edilen YAI değerlerinin YOB gruplarına göre farklılık gösterip göstermediği test edilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma Alanı Tanıtımı

Araştırma alanı Muğla ili Köyceğiz ilçesi ve Denizli ili Beyağaç ilçesi sınırları arasında ve Sandıras dağlık kütlesinin 150-2050 m yükseltileri arasında yer almaktadır. Araştırma alanının ortalama yükseltisi 1100 m ve ortalama eğimi %42 olup jeomorfolojik açıdan orta dağlık arazi özelliğine sahiptir. Dağlık kütle, Türkiye'nin coğrafi bölgelerinden Akdeniz ile Ege Bölgelerini birbirinden ayırmakta ve dağlık kütle, kıydan 15-20 km gibi kısa bir mesafede 2300 m'ye ulaşmaktadır. Bu nedenle Akdeniz üzerinden gelen nemli hava kütleleri dağlık kütleye önemli miktarda (1383-1644 mm) yağış bırakmaktadır.

Araştırma alanının içerisinde bulunduğu Sandıras dağlık kütlesi doğu-batı yönünde uzanan Torosların en batı sınırını oluşturmaktadır. Torosların doğu-batı yönünde uzanması, dağların kuzey ve güney yamaçlarındaki aşındırma süreçlerinin farklılık göstermesini ve farklı kaya birimlerini ortaya çıkarmıştır. Toroslarda meydana gelen tektonik hareketlerle birlikte dağlık kütlede yaşanan yükselme çökme hareketleri dağlık kütle üzerinde birçok arızalı yüzey oluşturmuştur (Atalay ve ark. 1990). Bu arızalı aşınım yüzeylerine araştırma alanında özellikle kızılçam kuşağının üst kısımları (700-1050 m) ile karaçam kuşağının orta kısımlarında (1600-1800 m) rastlanmaktadır.

Araştırma alanında üç anakaya grubu bulunmaktadır. Bunlar, volkanik kökenli kayalar, tortul kayalar ve başkalaşım kayalardır. Kızılçamın hakim olduğu yükseltiye kadar volkanik kayalar başta olmak üzere, metamorfize olmuş ofiyolitik kayalar ve tortul kayaç toplulukları bulunurken karaçamın hakim olduğu yükseltilerde ise ofiyolitler yaygındır. Kızılçam kuşağının büyük çoğunluğunda volkanik kökenli spilitik bazalt kayası, önemli bir kısmında ise tortul kayaçlar (konglemera, kumtaşı, kireçtaşı, radyolarit, çört) yüzeylenmiştir. Karaçam ormanlarının bulunduğu kuşakta ise başta peridotit, dunit, serpantin olmak üzere gabro, diyabaz ve bazalt anakayaları bulunmaktadır. Anakaya özellikleri nedeniyle bazı yerlerde Marmaris Ofiyolit napı üzerinde gelişen topraklarda, fizyolojik toprak derinlikleri sığ ve orta olan topraklar oluşurken bazı yerlerde anakayanın ayrışma hızına bağlı olarak derin topraklar oluşmuştur. Araştırma alanının eğimli bir topografik özellik göstermesi, mevcut toprakların horizonlaşmasına engel olmaktadır. Arazinin eğimli yapısı birikme horizonu olan B katının oluşmasına imkân tanımamaktadır. Bu nedenle horizonlaşma gösteremeyen toprakların genç oluşumlu topraklar olduğu söylenebilir. Toprak oluşumunda iklim ve ana materyalin etkisinin ön plana çıktığı alanlarda, iklim koşullarını yansıtan zonal toprak sınıflarından Esmer (Kahverengi) Orman Toprakları ve Kırmızı Akdeniz Toprakları yaygındır. Topoğrafik koşulların ve mikro iklimin ayrışmayı yavaşlattığı alanlarda ise azonal topraklardan A-C horizonlu Ranker tipi topraklar yaygındır. Dağların eteklerinden başlayıp akarsu yataklarının genişlediği düz ve orta eğimli alanlarda çok taşlı Kollüvyal Topraklar yaygındır. Vadi ağzlarına yakın alanlar çoğunlukla az topraklı olup kaba taş ve molozları içermektedir. Araştırma alanının az bir kısmında ise gevşek materyaller üzerinde gelişme gösteren topraklar bulunmaktadır (Malkoçoğlu 2022).

Ekolojik Toprak Serilerinin Oluşturulması

Çalışma alanı ETS gruplarının oluşturulabilmesi için toprakları, temel kaya gruplarına (volkanik kayalar, subofiyolit metamorfite- ofiyolitler, tortul kayalar) göre ayrılmıştır. Daha sonra bu kayaç grupları üzerinde gelişen topraklar, derinliklerine sığ (0-25 cm), orta derin (50-75 cm) ve derin (75-100 cm), taşlılıklarına (taşlı ve orta taşlı) ve dokularına kumlu balçık (KuB), kumlu killi balçık (KuKB)

ve balçıklı kil (BK) göre sınıflandırılarak ekolojik toprak serileri oluşturulmuştur (Kantarci 2005).

Yetiştirme Ortamı Birim Gruplarının Oluşturulması

Ekolojik toprak serileri oluşturulduktan sonra araştırma alanı mekansal analiz fonksiyonuyla eğim (düzlük, az eğimli, orta eğimli, çok eğimli, dik ve sarp eğimli), bakı (kuzey ve güney), yükselti-iklim kuşağı (150-1000 m, 1000-1250 m ve 1250-2050 m) ve yamaç gruplarına ayrılmıştır (sırt, üst yamaç, orta yamaç ve alt yamaç). Araştırma alanı topoğrafik olarak kısa mesafelerde çok fazla değişkenlik gösterdiğinden ve hemen her kesimi kendi içerisinde sırtlarla ayrıldığından, örnek alanların bulundukları yamaç konumları akış yönü ve mikro havza alanı haritaları yardımıyla belirlenmiştir. Örneğin, akış yönü kuzey, kuzey doğu ve kuzey batı olan ve birbiri ardına gelen aynı mikro havzada birleşen alanlar bir su toplama alanı gibi düşünülerek birleştirilmiştir. Aynı yöntem güney, güney doğu ve güney batı yönleri içinde uygulanmıştır. Daha sonra alanların su toplama alanı üzerindeki konumları dikkate alınarak yamaç durumları belirlenmiştir. Eğim, bakı ve akış yönü haritalarının oluşturulmasında 12.5x12.5 m çözünürlüklü Alos-PALSAR uydusundan üretilen sayısal yükseklik verisi (DEM) kullanılmıştır.

Yükselti-iklim kuşaklarının oluşturulmasında araştırma alanındaki asli ağaç türlerinin dikey yayılışı ve değişen iklim koşulları dikkate alınmıştır. Bu kapsamda araştırma alanı üç yükselti-iklim kuşağına (150-1000 m, 1000-1250 m ve 1250-2050 m) ayrılmıştır. Yükselti-iklim kuşaklarının iklim özelliği ise Thornthwaite analiziyle tespit edilmiştir. İklim analiz için gerekli olan sıcaklık ve yağış verileri

Köyceğiz Meteoroloji istasyonundan temin edilmiştir. Sıcaklık ve yağış verileri yükselti-iklim kuşakları ortalama yükseltilerine (500, 1000, 1600 m) enterpole edilmiştir. Enterpolasyonda sıcaklığın yükseltiyle birlikte her 200m'de 1 °C azaldığı, yağışın her 100 m'de 54 mm arttığı kabul edilmiştir (Erinç 1984). Analiz için gerekli olan depolama ise yükselti-iklim kuşaklarındaki her örnek alanda 1 m derinliğe kadar açılan toprak profillerinin toplam FSK değerlerinin aritmetik ortalamasıyla elde edilmiştir (Kantarci 1980).

Çalışma alanı YOB gruplarının oluşturulmasında ise toprak nem rejimi yöntemi kullanılmıştır. YOB gruplarının oluşturulmasına yönelik çalışmalarında büyüme döneminde su açığı bulunan alanlarda bu yöntem kullanılmıştır (Kantarci 1980, Bakkaloglu 2003, Günlü 2003).

Bu kapsamda yükselti-iklim kuşakları için oluşturulan su bilançoları yardımıyla sırt düzlüğündeki YO'larının kuraklık indisine göre YOB grubu tespiti yapılmıştır. Son olarak farklı yamaç, bakı ve eğim sınıflarında yer alan her bir örnek alan için YO grup ataması gerçekleştirilmiştir. Yükselti-iklim kuşaklarının kuraklık durumu ve YO gruplarının tespitinde Kantarci (1980) tarafından geliştirilen yöntemden yararlanılmıştır (Çizelge 1). Yapılan iklim değerlendirmeleri ve su bilançosu hesaplamalarına göre araştırma alanında yükselti-iklim kuşaklarının indis değeri 8-15 arasında çıkmıştır. Bu sınıflandırmaya göre araştırma alanı örnek alanları ÇK, K, TZC ve TZ olacak şekilde ayrılmıştır.

Çizelge 1. Kuraklık indisine göre sırt düzlüğü yetiştirme ortamı sınıfları

İndis (Im) değeri	YOB grubu
<8	Çok kuru
8-15	Kuru
15-23	Taze
23-40	Tazece
40-55	Nemli
>55	Islak

Bitki Örtüsü Kompozisyonu ve Gösterge Bitkilerin Belirlenmesi

Bitki örtüsü tür kompozisyonunun tespiti için her yükselti-iklim kuşağında büyüme döneminin başladığı dönemlerde örnek alanlarda parsel seçimini takiben parselin bir köşesinden (20x20 m) başlanmak suretiyle alanda bulunan bitkiler; ağaç, ağaççık, çalı ve ot tabakası biçiminde etüt çizelgelerine kaydedilmiştir. Ağaç, çalı ve ot türlerinin toprağı örtme değerlerinin kesin tespitinin hemen hemen olanaksızlığı sebebiyle örtme ve bolluk dereceleri tahmine dayalı olarak belirlenmiştir. Örtme ve toplulaşma derecelerinin değerlendirilmesinde Braun-Blanquet tarafından önerilen ıskala kullanılmıştır (Braun-Blanquet 1964). Gösterge tür analizi için, Braun-Blanquet analiz sonuçlarıyla Microsoft Office Excel programında var-yok veri seti (vejetasyon matris) oluşturulmuştur. Daha sonrasında yine Excel programında her bir yükselti-iklim kuşağında yer alan çok kuru (ÇK), kuru (K), tazece (TZC) ve taze (TZ) YOB grupları kullanılarak ikinci bir veri seti oluşturulmuştur. Hazırlanan veri setleri PC-ORD programına aktararak "Gösterge Tür Analizi" uygulanmıştır (Özkan 2002, McCune ve Mefford 2011, Gülsoy ve Negiz 2015). Veri setine frekansı (tümün bulunduğu örnek alan sayısı) %5 den düşük olan türler dahil edilmemiştir.

Yaprak Alan İndeksinin Belirlenmesi

YAI'nın belirlenmesinde, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) sunucularından ücretsiz olarak temin edilebilen Sentinel 2B optik uydu görüntüleri kullanılmıştır. Sentinel-2, Avrupa Birliği içinde Copernicus programının bir seri gözlem uydusundan biridir ve optik görüntüler temin etmek için kullanılmaktadır. Yüksek zamansal (3-5 gün) ve mekansal (10-60 m) çözünürlük ile yüksek kapsama alanı büyüklüğüne (290 km) sahiptir (Gatti and Bertolini 2015). Sentinel 2 uydusu görünür ve NIR (VNIR) ile SWIR spektral alanları kapsayan 13 spektral banda sahip bir Çoklu Spektral Görüntüleyici (MSI) taşır. MSI, spektral banda bağlı olarak 10, 20 veya 60 m piksel boyutlarıyla 400 ila 2400 nm arasında veri sağlar. Bu bantlardan üçü, vejetasyon çalışması için önemli bir bölge olan kırmızı kenarda (B5, B6 ve B7) yer almaktadır (Drush ve ark. 2012). Sahip olduğu bu üç kırmızı kenar bantları sayesinde YAI ve bitki incelemelerine ait çalışmalarda etkin rol oynamaktadır (Verrelst ve ark. 2015).

Yine çalışma alanı asli ağaç türlerinin YAI'lerinin belirlenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleri kullanılmıştır. YAI belirlemek amacıyla yersel ölçümleri yapıldığı zamana en yakın zaman aralığındaki (24.06.2019 tarihli), bulut kapama oranı düşük ve geometrik çözünürlüğü en uygun görüntü seçilmiştir. Çalışma alanı için uydu görüntüleri elde edildikten sonra Copernicus tarafından ücretsiz sunulan SNAP biyofiziksel değişkenler işlemcisi yardımıyla meşcerelere ilişkin YAI hesaplanmıştır (Kganyago ve ark. 2021). Birçok çalışmada da (Brown ve ark. 2019, Djamaï ve ark. 2019, Pasqualotto ve ark. 2019, Kganyago ve ark. 2020, Binh ve ark. 2022, Chauhan ve Lunagaria 2024) Sentinel-2 görüntülerinden türetilen LAI tahminlerini, SNAP biyofiziksel değişkenlerin işlemcisi olarak kullanıldığı doğrulanmıştır.

Yetiştirme Ortamı Birim Gruplarının Kontrolü

YOB gruplarının kontrolü gösterge türler ve her bir yükselti-iklim kuşağında yayılış gösteren asli orman ağaçlarının YAI değerleriyle gerçekleştirilmiştir. İkinci yükselti-iklim kuşağında yeterli örneklem noktası olmadığı için bu yükselti-iklim kuşağında kontrol işlemi sadece gösterge bitki türleri ile gerçekleştirilmiştir. Gösterge türlerle sınıflandırma doğruluğu için her bir YOB grubu için elde edilen gösterge bitki türlerinin ekolojik istekleri göz önüne alınmıştır. YAI değerleriyle YO sınıflandırmasının kontrolünde tek yönlü varyans analizinden yararlanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Ekolojik Toprak Serileri

Çalışma alanında fizyolojik derinlik bakımından sırasıyla sığ (25-50 cm), orta derin (50-75 cm) ve derin (75-100 cm) sınıflarında örnek alanlar vardır. Ayrıca, taşlılığı %10'dan az olan bir alana rastlanmamış olup sırasıyla taşlı (%10-25) ve orta taşlı (%25-50) sınıflarında alanlar vardır. Böylece, üç toprak türü, üç derinli sınıfı ve iki taşlılık sınıfı dikkate alınarak örnek alanlar sınıflandırılarak 18 ETS oluşturulmuştur (Çizelge 2). Araştırma alanı örnek alanlarının ETS FSK değerler 27.0-92.3 mm arasında değişmiştir. Tortul anakayalar (kumtaşı, çört vd.) üzerinde genellikle Ah-AB-Bv-BC şeklinde horizonlaşma gösteren, nötr ve hafif alkali reaksiyon gösteren, orta derecede humuslu (%2-5 OM) topraklar gelişme göstermiştir.

Volkanik anakayalar (spilit, bazalt, bazalt vd.) üzerinde genellikle Ah-Cv ve Ah-AB-Bv-BC şeklinde horizonlaşma gösteren, orta derecede asit ve hafif asit reaksiyon gösteren, humus bakımından zengin (%5-10 OM) topraklar gelişme göstermiştir.

Metamorfize olmuş ofiyolitik kayalar (peridotit, dunit, serpantin vd.) üzerinde ise Ah-AB-Bv-BC şeklinde horizonlaşma gösteren, hafif asit ve nötr reaksiyon gösteren, humus bakımından zengin (%5-10 OM) topraklar gelişme göstermiştir.

Çizelge 2. Ekolojik toprak serilerinin bazı özellikleri

ETS no	Ekolojik toprak serisi tanımı	FSK	Horizon	OM	pH
I	Siğ-Orta Taşlı KuB Topraklar	27.0	Ah-Cv / Ah-AB-Cv	0.8-7.3	5.7-7.9
II	Orta Derin-Orta Taşlı KuB Topraklar	56.6	Ah-Cv / Ah-AB-BC	1.5-5.3	6.4-6.9
III	Derin-Orta Taşlı KuB Topraklar	68.2	Ah-Cv / Ah- Bv-BC-Cv / Ah-AB-BC	0.9-8.9	5.7-7.8
IV	Derin-Taşlı BK Topraklar	88.7	Ah-AB-Bv-BC	0.7-8.9	5.6-7.1
V	Orta Derin-Orta Taşlı BK Topraklar	55.7	Ah-AB-BC / Ah-Bv-BC-Cv	1.1-7.3	6.3-7.7
VI	Orta Derin-Taşlı KuKB Topraklar	70.1	Ah-AB-Bv-BC	1.1-9.3	5.8-6.5
VII	Siğ-Orta Taşlı KuKB Topraklar	38.0	Ah-AB-Bv-BC	0.4-9.7	5.6-7.1
VIII	Orta Derin-Orta Taşlı KuKB Topraklar	60.4	Ah-AB-Bv-BC / Ah-AB-Cv	0.7-6.3	5.5-7.0
IX	Derin-Orta Taşlı KuKB Topraklar	78.5	Ah-AB-Bv-BC / Ah-AB-Cv	1.2-5.4	6.0-7.0
X	Orta Derin-Taşlı KuB Topraklar	54.6	Ah-AB-Bv-BC / Ah-AB-BC	0.4-9.2	5.8-7.0
XI	Derin-Taşlı BK Topraklar	92.3	Ah-AB-Bv-BC	0.7-7.5	5.7-6.6
XII	Orta Derin-Orta Taşlı BK Topraklar	57.9	Ah-AB-Cv / Ah-AB-Bv-BC	1.1-6.5	5.9-7.0
XIII	Derin-Orta Taşlı BK Topraklar	84.3	Ah-AB-Bv-BC	0.7-4.3	6.2-7.0
XIV	Orta Derin-Taşlı KuKB Topraklar	77.4	Ah-AB-Bv-BC	0.9-4.6	5.8-7.7
XV	Derin-Orta Taşlı KuKB Topraklar	74.8	Ah-AB-Bv-BC	0.2-6.9	6.1-7.4
XVI	Orta Derin-Orta Taşlı BK Topraklar	57.7	Ah-AB-Bv-BC / Ah-AB-Cv / Ah-Cv	0.8-6.8	6.0-7.5
XVII	Derin-Orta Taşlı BK Topraklar	84.0	Ah-AB-Bv-BC	0.7-6.2	5.8-7.6
XVIII	Orta Derin-Orta Taşlı KuKB Topraklar	48.4	Ah-Bv-BC / Ah-Cv / Ah-AB-BC	0.5-5.46	6.1-7.8

Yetiştirme Ortamı Birim Grupları

Bakı, eğim, yeryüzü şekli ve yamaç durumları dikkate alınarak sınıflandırılan 144 örnek alanla, “ÇK”, “K”, “TZC” ve “TZ” olmak üzere dört farklı YOB grubu altında 100 ekolojik birim elde edilmiştir. Araştırma alanında etek ve taban arazide örnek alan bulunmayışı nedeniyle ıslak ve nemli YOB grubuna dahil olan alan olmamıştır. Her yükselti-iklim kuşağında FSK değerlerinin kuraklık sınırının altında olan büyüme döneminin büyük bir kısmındaki PET miktarlarının karşılanamadığı YOB grupları “ÇK” olarak sınıflandırılmıştır. Mevki özellikleri sebebiyle atmosferden gelen yağış dışında başka bir kaynaktan beslenemeyen kuzey bakı grubunda üst yamaçlarda, güney bakı grubunda ise orta yamaçlarda yer alan yetiştirme ortamları “K” olarak sınıflandırılmıştır. FSK değerleri kuraklık sınırının altında olduğu halde mevki özelliklerine bağlı olarak bir miktar sızıntı suyu alabilen ve kuzey bakı grubunun orta yamaçlarında, güney bakı grubunda ise alt yamaçlarında yer alan yetiştirme ortamları “TZC” olarak

sınıflandırılmıştır. FSK değerleri çoğunlukla kuraklık sınırının altında olsa da mevki özelliklerine bağlı olarak komşu yetiştirme ortamlarından bir miktar su alabilmeleri mümkün olan kuzey bakı grubundaki yetiştirme ortamları ise “TZ” olarak sınıflandırılmıştır (Kantarıcı 2005).

Yetiştirme Ortamı Birim Gruplarının Kontrolü

Bitki Örtüsü Kompozisyonu

Batı Anadolu’da kızılçam ve karaçam ormanları benzer çevre koşulları altında bulunur. Her iki çam ormanının üst ağaç katmanının altında çoğunlukla meşe olmak üzere, hem yaprak dökmeyen (örn. *Quercus coccifera*) hem de yaprak döken (örn. *Q. pubescens*) termofil ağaç türlerinin dağınık bireylerinden oluşan bir alt ağaç katmanı bulunabilir. Çalı ve ot katmanları, toprak koşulları, bozulma, yönetim ve ışık mevcudiyeti dahil olmak üzere birçok faktöre bağlı oldukları için bileşim bakımından farklılık gösterir (Bonari ve ark. 2019). Araştırma alanında

I. YİK’de 100 adet, II. YİK’de 48 adet, 3. YİK’de ise 72 adet farklı bitki türü tespit edilmiştir. Bu türlerden 23 tanesi gösterge türdür. Yükselti iklim kuşaklarından I. YİK’te ÇK-YOB grubunda 36 adet, K-YOB grubunda 88 adet,

TZC-YOB grubunda 46 adet, TZ-YOB grubunda ise 43 adet; III. YİK’te ÇK-YOB grubunda 28 adet, K-YOB grubunda 59 adet, TZC-YOB grubunda 34 adet, TZ-YOB grubunda 36 adet bitki türü tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ekseri bitki türü yoğunluğunun K ve ÇK YOB grubunda olduğunu göstermiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Bitki türleri ve gösterge türlerin yükselti-iklim kuşakları ve yetiştirme ortamı sınıflarına dağılımı

YİK	YO	YAI	ÖA	BTa	BTb	GT
I (150-1000 m)	ÇK	1.26	10	38	9 (5-14)	11
	K	1.44	39	88	8 (2-16)	4
	TZC	1.95	12	46	7 (1-16)	8
	TZ	1.93	10	43	8 (2-16)	-
II (1000-1250 m)	ÇK	-*	3	25	7 (2-13)	3
	K		1	28	7 (1-10)	3
	TZC		1	17	9 (7-11)	-
	TZ		-	-	-	-
III (1250-2050 m)	ÇK	1.08	9	28	6 (2-10)	2
	K	1.14	35	59	6 (1-13)	10
	TZC	1.31	14	34	6 (1-11)	7
	TZ	1.53	10	36	6 (2-11)	5

*İstatistiksel analizler için yeterli örneklem sağlanamadığı için araştırmaya dahil edilmemiştir

Yarı kurak alanlarda yamaç yönü mikro iklimi, toprak özelliklerini ve hidrolojik süreçleri önemli ölçüde etkiler ve sonuç olarak zıt yamaçları kaplayan farklı bitki örtüsü tiplerinin ortaya çıkmasına neden olur. Yersel olarak eğim ve bakıda meydana gelen farklılıklar, bitki örtüsü çeşitliliği, tür dağılımı ve ekosistem süreçleri için kilit bir göstergedir (Bennie ve ark. 2006) ve YO’daki nispeten küçük değişiklikler, bitki topluluklarındaki tür kompozisyonu ve çeşitliliğini önemli derecede etkileyebilir (Luan ve ark. 2012).

Kutiel ve ark. (1999), yarı kurak bölgelerde bakı farkının, bitki örtüsü türü ve çeşitliliği üzerinde ihmal edilebilir etkisinin olduğunu bildirmişlerdir. Stenberg ve Shoshany (2001) ise zıt yamaçlar arasında önemli bitki örtüsü farkı bulmuş ve kritik su kısıtlaması olan alanlarda eğimin etkisinin ön planda olduğunu vurgulamışlardır. Bununla birlikte, belirli eşiklerin altında, ışık sınırlaması tek başına diğer kaynak seviyelerinden bağımsız olarak otsu türlerin hayatta kalmasını önleyebilir (Tilman 1982). Nitekim K ve ÇK YO’lardaki elverişsiz koşullar nedeniyle meşcere tepe çatısının kapanması gecikebilir. Bu koşullar meşcere alt katmanlarının gelişimi üzerinde olumlu etki yapabilir

(Haugo ve Halpern 2010). Tersine, TZC ve TZ YOB gruplarının sahip olduğu kısmen daha elverişli koşullar meşcere tepe çatısının daha hızlı kapanmasına dolayısıyla meşcere altına daha az ışık girmesine de yol açabilir. Bu koşullar ise alt katmanın gelişimi üzerinde olumlu etki yapabilir (Thomas ve Bazzaz 1999). Bu yargıyı üst tabakayı oluşturan kızılçam ve karaçam meşcerelerinin YAI değerleri de destekler niteliktedir. YAI değerleri daha düşük olan K ve ÇK YO’larda meşcere tepe çatısı altına daha fazla ışık ulaşabilirken, TZC ve TZ YOB gruplarına daha az ışık ulaşmıştır. Dolayısıyla ÇK ve K YOB gruplarına örnek alan başına daha fazla türün düştüğü söylenilebilir.

Kızılçamın hakim ağaç türünü oluşturduğu I. YİK’de akarsu kenarlarında ve vadi yamaçlarında yer yer münferit ve küçük gruplar halinde toplulaşan kızılğaç ve çınar toplulukları, akarsu kenarları boyunca kızılçamla birlikte bitki örtüsünün ağaç katını oluşturmuştur. Bu kuşakta kızılçama eşlik eden en önemli çalı türü tespih çalısı olarak bilinen “*Styrax officinalis*” olmuştur. *Styrax officinalis*, anakaya farkı gözetmeksizin BK ve KuKB bünyeli, daha çok hafif alkali olmak üzere nötr reaksiyona sahip, orta derecede humuslu topraklar üzerinde küçük grup ve

küme halinde topluluşma göstermiştir. Daha çok kuzey bakıdaki K YOB grubunda yayılış gösteren türün TZ ve TZC YOB grubunda toprağı örtme derecesi %75'lere ulaşmıştır. *Styrax officinalis*'in daha çok gölgeli bakıları tercih ettiği belirtilmiştir (Efe ve ark. 2012).

Bu YİK'de çalı türü formunda görülen diğer türler ise *Quercus coccifera*, *Quercus pubescens*, *Nerium oleander*, *Cercis siliquastrum* ve *Crataegus monogyna* olmuştur. Bu türlerden *Nerium oleander* ve *Cercis siliquastrum* özellikle yol şevleri ve toprağın nispeten hava ve su ekonomilerinin iyi olduğu alanlarda gelişme göstermiştir. *Nerium oleander*'in özellikle akarsu kıyılarında ve yılın en azından bir bölümünde su taşıyan akarsu yataklarında ve vadilerde yaygın olduğu belirtilmiştir (Pagen 1987). *Quercus coccifera*, daha çok volkanik kayalar üzerinde KuB bünyeli, nötr reaksiyona sahip, humus bakımından fakir topraklar üzerinde münferit ve yer yer grup halinde toplulaşma göstermiştir. *Quercus coccifera*'nın nötr veya orta derecede bazik toprakta, balçıklı dokuda, düşük geçirgenlikte ve düşük organik maddede yetiştiği belirtilmiştir (Cañelles 1993). Tür daha çok güney bakıdaki K, ÇKY YOB grubunda yayılış göstermiştir. *Crataegus monogyna*, *Quercus coccifera*'dan farklı olarak daha çok BK topraklarda yayılış göstermiştir.

Kızılçam ve karaçam türlerinin karışık meşcereler kurduğu kuşakta hakim ağaç türü kızılçamdır. Bu kuşakta neredeyse tüm örnek alanlarda bulunan çok yıllık otsu türü, ege kuduzotu olarak bilinen *Alyssum fulvescens* olmuştur. *Alyssum fulvescens*, daha çok volkanik kayalar üzerinde KuB bünyeli, hafif asit reaksiyona sahip, orta derecede humuslu topraklar üzerinde ve yer yer grup halinde toplulaşma göstermiştir. Bakı farkı göstermeyen tür daha çok K YOB grubunda yayılış göstermiştir. Genellikle kuzey bakılı yamaçları tercih eden, münferit veya küçük grup şeklinde toplulaşan kuduzotlarının toprağı örtme derecesi %10-25 arasında çıkmıştır.

Karaçamın hakim olduğu kuşakta ise neredeyse tüm örnek alanlarda bulunan çok yıllık otsu tür, çam kuduzotu olarak bilinen *Alyssum masmanium* olmuştur. *Alyssum masmanium*, *Alyssum fulvescens*'in tersine (daha çok metamorfize olmuş ofiyolitik kayalar üzerinde (özellikle peridotit, serpantin) BK bünyeli, daha çok hafif alkali

olmak üzere nötr reaksiyona sahip, orta derecede humuslu topraklar üzerinde daha çok grup halinde toplulaşma göstermiştir. Aynı türün toprağı örtme derecesi meşcere kapallılığının kırıldığı sahalarda %75'lere çıkmıştır. 1800 m yükseltiye kadar çıkabilen *Alyssum masmanium*'a daha çok K ve TZC YOB grubunda rastlanmıştır. Katır tırnakları (*Genista* sp.) 1900 m yükseltilere kadar yayılış göstermiştir. Katır tırnakları daha çok metamorfize olmuş ofiyolitik kayalar üzerinde BK bünyeli, nötr reaksiyona sahip, orta derecede humuslu topraklar üzerinde yayılış göstermiştir.

Gösterge Bitkiler

YO sınıflarının kontrolünde farklı YİK'larda her bir YOB grubuna düşen gösterge türler ile benzer YOB grubuna (ÇK-K ve TZC-TZ) ilişkin gösterge türlerin ekolojik istekleri göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan gösterge tür analizi sonucunda; asli ağaç türünü kızılçamın oluşturduğu, I. YİK'de çalı türlerinden *Quercus pubescens* ÇK YOB grubunda, *Asparagus acutifolius* ve *Hedera helix* TZC YOB grubunda pozitif gösterge bitki türü olmuştur. *Quercus pubescens*'in tipik olarak kuru ortamlarda yetiştiği, *Asparagus acutifolius*'in kuru veya nemli ortamları (Reif 1999), *Hedera helix*'in ise genellikle hafif nemli veya nemli alanları (McAllister ve Rutherford 1990) tercih ettiği belirtilmiştir. Odunsu türlerden olan *Alnus glutinosa* ve *Platanus orientalis* ise TZ YOB grubunun en önemli pozitif gösterge bitki türü olmuştur. *Alnus glutinosa*, yoğun, suyla doymuş topraklara dayanıklı olduğu belirtilmiştir (Sakalli 2017). Ayrıca, otsu türlerden *Arabis verna* ve *Micromeria myrtilifolia*'nın ÇK YO sınıfının, *Bellis perennis*'in ise K YOB grubunun pozitif gösterge bitki türü olmuştur. *Crataegus monogyna*, *Geranium lucidum*, ÇK-K YOB grupları için, *Crepis sancta* ise TZC-TZ YOB grupları için pozitif gösterge bitki türü olmuştur. *Crataegus monogyna* türünün daha çok nemli, nemlice ve kuru koşullarda yetişebildiği belirtilmiştir (Hellwig 2006). Başka bir çalışmada ise *Crataegus monogyna* Jacq. türünün kızılçamın hem bonitet endeksi, hem de tutma başarısı ile pozitif ilişkili olduğu belirtilmiştir (Altındal 2015).

Asli ağaç türünü karaçamın oluşturduğu III. YİK'de çalı türlerinden *Genista sandrasica* K YO sınıfı, *Alyssum masmanium* TZC YOB grubu, *Cytisus gueneri* (endemik)

ise TZ YOB grubu için pozitif gösterge bitki türü olmuştur. Diğer bir ifadeyle *Styrax officinalis* TZC-TZ YOB grupları için negatif gösterge tür olmuştur. Diğer bir ifadeyle *Styrax officinalis* verimliliğin iyi olduğu TZC-TZ YOB gruplarında çok fazla rastlanmamıştır. *Styrax officinalis*'in verimliliğin düşük olduğu karaçam ormanları için önemli bir pozitif gösterge bitki türü olduğu tespit edilmiştir (Gülsoy ve ark. 2013). Bu YİK'de ÇK YOB grubunda gösterge çalı türü tespit edilememiştir. *Genista sandrasica* ve *Teucrium sandrasicum* ÇK-K YOB grupları için, pozitif gösterge bitki türü olmuştur. *Genista anatolica*, *Cytisus gueneri*, *Verbascum cariense* ise TZC-TZ YOB grupları için pozitif gösterge bitki türü olmuştur. Ülkemizde karaçamın yayılış gösterdiği farklı YO'larında gerçekleştirilen çalışmalarda, karaçamın verimli olduğu sahalarda *Urtica dioica* L., *Rosa canina* L., ve *Rubus canescens* DC (Çınar 2017); *Rosa canina* ve *Creteagus monogyna* (Oğuzoğlu 2015) türlerinin pozitif gösterge bitki türü olduğu; hedef türün verimliliğin düşük olduğu alanlarda ise *Juniperus excelsa*, *Juniperus oxycedrus*, *Phylomis grandiflora* ve *Prunus divaricata* (Çınar ve Gülsoy 2019) türlerinin pozitif gösterge bitki türü olduğu tespit edilmiştir.

Yaprak Alan İndeksi

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucunda kızılçam meşcereleri için YAI değeri $1.54 \pm 0.28 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ olarak bulunmuştur. Kızılçam türü için bulunan bu değer ülkemiz saf kızılçam meşcerelerinde gerçekleştirilmiş olan önceki araştırma sonuçlarıyla benzerlik göstermiştir (Özbayram ve ark. 2015). Karaçam meşcereleri için YAI değeri $1.22 \pm 0.26 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ olarak bulunmuştur. Ülkemizde Çankırı yöresi saf karaçam meşcerelerinde yapılan bir çalışmada YAI değeri $0.49-2.92 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ arasında (Ercanlı ve ark. 2018), Denizli yöresi karaçam meşcerelerinde yapılan bir çalışmada YAI değeri $0.61-5.57 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ arasında (Özbayram ve ark. 2015), Kastamonu yöresi karaçam meşcerelerinde gerçekleştirilen bir çalışmada ise YAI değerleri $0.78-4.96 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ arasında bulunmuştur (Yer 2021). Karaçam meşcereleri için bulunan YAI değerinin ülkemizdeki diğer karaçam meşcerelerine kıyasla düşük çıkması, olumsuz YO şartlarının etkisiyle açıklanabilir. Nitekim su mevcudiyeti ve topraktaki azot içeriği ormanlarda YAI'yi ve ağaçların maksimum yaprak alanlarına ulaşma kabiliyetini etkileyen başlıca YO

faktörüdür. Yıllık yağışın 1500 mm 'nin altında olduğu farklı bölgelerdeki meşcereler arasında (Grier ve Running 1977, Gower 2003, Ellis ve Hatton 2008), YAI genel olarak yıllık yağışa paralel olarak artmaktadır. Yeterli yıllık yağışa sahip ($>1500 \text{ mm}$) bir ortamda, yıllık yağış belirtilen bu değerin üzerine çıksa da (Gower 2003) YAI'deki bu artış, toprak verimliliği ve sıcaklık gibi diğer faktörlerle sınırlandırılabilir (Waring ve ark. 1978). Karaçam kuşağının büyük bir bölümü peridotit, dunit ve serpantinit gibi kayaç toplulukları üzerinde yüzeylenmiştir. Bu kayaç toplulukları düşük verimlilik, düşük makro besin (N, P, K) konsantrasyonları ve son derece düşük Ca ve yüksek Mg konsantrasyonları ve yüksek ağır metal (Ni, Cr, Co) konsantrasyonlarıyla bilinmektedir (Kruckeberg 2002). Önceki çalışmalar serpantin gibi ağır metaller bulunduran ana kayalarda yaşamaya uyum sağlamış bitkilerin dar yapraklara (dolayısıyla daha düşük YAI) sahip olduğunu göstermiştir (Hayakawa ve ark. 2012). Bu azalmaların bu topraklardaki besin eksikliğine karşılık bir yanıt olabileceği belirtilmiştir (Kruckeberg 1954).

Yüksek buharlaşma talebi, yapraklarda ciddi su eksikliklerine neden olabilir. Bu da öğlen stomaların kapanmasına sebep olabilir (Helms 1965). Toprak suyunun yeterli olabileceği yaz başlarında yüksek buharlaşma ihtiyacı kısmi stoma kapanmasına neden olabilir (Running 1976). Bu nedenle, aynı ETS üzerinde yer alan iki alandan (FSK değerleri yakın), daha yüksek buharlaşma talebi olan YOB grupları (ÇK-K), diğer YOB gruplarına (TZC-TZ) oranla daha düşük terleme/solunum yüzey alanına sahip olacaktır. Bu araştırma sonucunda aynı YOB grubu (TZ) ancak farklı ETS üzerinde gelişme gösteren iki karaçam meşceresi arasında YAI değerleri bakımından %12'ye varan farklılık oluşmuştur. Daha elverişli toprak özelliklerine sahip olması nedeniyle su noksanının daha yüksek olduğu (300.2 mm) bir karaçam meşceresinin YAI değeri, su noksanının daha düşük olduğu (226.3 mm) diğer karaçam meşceresine kıyasla daha yüksek çıkmıştır.

Yapılan varyans analizi sonucunda kızılçam ($F=4.266$, $p=0.008 < p=0.01$) ve karaçam ($F=8.128$, $p=0.000 < p=0.01$) meşcerelerinde YAI, YOB gruplarına göre farklılık göstermiştir. Varyans analizi sonrasında uygulanan Duncan testi sonucunda YAI değerleri kızılçam ve karaçam

meşcerelerinde YOB gruplarına göre ÇKa-Ka ve TZb-TZCb olarak iki gruba ayrılmıştır. YAI bakımından en düşük

değerler ÇKa ve Ka YOB grubunda, en yüksek değerler ise TZb ve TZCb YOB grubunda çıkmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 4. Varyans analizi sonuçları

Meşcere		YOS	Adet	Min.	Mak.	Ort. + Std. H.	F değeri	Önem D. (p)
Kızılçam	YAI (m ² m ⁻²)	ÇK	10	1.00	1.78	1.42±0.26 a	4.266	0.008*
		K	39	0.94	2.03	1.48±0.24 a		
		TZC	12	1.24	1.94	1.75±0.33 b		
		TZ	10	1.25	2.29	1.61±0.22 b		
Karaçam	YAI (m ² m ⁻²)	ÇK	9	0.81	1.55	1.23±0.23	0.387	0.763
		K	36	0.79	1.91	1.21±0.29		
		TZC	13	0.60	1.53	1.20±0.26		
		TZ	10	1.11	1.63	1.30±0.16		

YAI: Yaprak alan indeksi, YOB: Yetiştirme ortamı birimi, ÇK: Çok kuru, K: Kuru, TZC: Tazece, TZ: Taze, FSK: Faydalanılabilir su kapasitesi, Min: Minimum, Mak: Maksimum, Ort: Ortalama, Std.d.: Standart hata, a ve b: Duncan testine göre farklı gruplar

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yükselti iklim kuşaklarına, bakıya ve toprak özelliklerine bağlı olarak değişen birimler, kızılçam ve karaçam YO'larının beslenme ve büyüme ilişkilerini de etkilemiştir. Bu nedenle kızılçam ve karaçam YO'larındaki bu farklılıklar uygulanacak gençleştirme ve bakım yöntemleri ile idare sürelerinin kararlaştırılmasında da belirleyici olacaktır. Bu bağlamda yapılacak gençleştirme çalışmalarında, önce ÇK ve K YO'lardan başlanmalı, TZ ve/veya TZC YO'lar daha sonraya bırakılmalıdır. TZ YO'larda geniş alanlarda çalışılabilir. Ancak, TZC yetiştirme ortamlarında kısmen geniş, K ve özellikle ÇK YO'larda ise daha küçük alanlarda çalışılmalıdır.

Ülkemiz ormanlarının potansiyel verim gücünün ortaya koyulması ve daha güvenilir verimlilik tahminleri yapabilmek adına kapsamlı sınıflandırma çalışmalarının ihtiyaç vardır. Ancak, arazi tabanlı YO çalışmaları zaman alıcı, emek yoğun ve masraf gerektiren çalışmalardır. Bu çalışmaların kısa zaman aralıklarında ve ekonomik bir biçimde yapılabilmesi de mümkün değildir.

Bu nedenle, bu çalışmalarda kolay elde edilebilir ve doğruluğu kanıtlanmış yöntem ve tekniklerin kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Bu kapsamda özellikle CBS teknolojisi ve mekansal analiz tekniklerinin kullanılabilirliği, gelecekteki saha sınıflandırma sistemlerinin yapısına büyük esneklik kazandırabilir ve orman yönetiminde çeşitli uygulamalar için orman sahalarını sınıflandırmak üzere çeşitli kombinasyonlarda farklı kapsamlar kullanılabilir. Özellikle YO haritalandırma çalışmalarında klasik haritalandırma yönteminden ziyade, gösterge bitki ve bitki toplulukları gibi vejetasyon örtüsü ile sıcaklık, yağış ve FSK gibi çevresel değişkenleri altlık olarak kullanan model tabanlı haritaların yapılması daha iyi sonuç verecektir. Model tabanlı oluşturulan haritalar sayısal nitelikte olduklarından civar YO'lardaki benzer ekolojik koşulları içeren farklı alanlara da entegre edilebilir. Bununla birlikte, yine model tabanlı haritalama sayesinde arazi kullanım durumu veya iklim değişimi sonucunda meydana gelebilecek farklılıklar kolaylıkla haritaya işlenebilecektir.

BİLGİLENDİRME

Bu araştırma makalesi sorumlu yazarın doktora tezinden üretilmiş olup Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, 18/041 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Alemdag IS (1991) National site-index and height-growth curves for white spruce growing in natural stands in Canada. Canadian Journal of Forest Research, 21(10): 1466-1474.
- Altındal U (2015) Burdur yöresi ağaçlandırma sahalarında kızılçam (*Pinus brutia* ten.)'in gelişimi ile bazı yetiştirme ortamı özellikleri arasındaki ilişkiler. Süleyman Demirel Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Anderson ML (1961) The Selection of Tree Species. Oliver and Boyd, Edinburgh.
- Atalay İ, Sezer Lİ, Temuçin E, Işık Ş, Mutluer M (1990) Ege Bölümü'nde Toprak Oluşumunu Etkileyen Faktörler. Ege Coğrafya Dergisi, 5: 32-43.
- Bakkaloğlu M (2003) Gümüşhane Orman İşletmesi Karanlıkdere Bölgesi'nde orman yetiştirme ortamı birimlerinin sınıflandırılması ve haritalanması üzerine araştırmalar. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Trabzon.
- Barnes BV, Pregitzer KS, Spies TA, Spooner VH (1982) Ecological forest site classification. Journal of Forestry, 80(8): 493-498.
- Barnes BV, Zak DR, Denton SR, Spurr SH (1998) Forest Ecology, 4th Ed., John Wiley and Sons, New York, 1998.
- Başkent EZ, Altun L, Yılmaz M, Günlü A (2005) Yetiştirme ortamı haritalarının orman amenajmanındaki yeri ve önemi. Orman Mühendisleri Odası Dergisi, 44: 26-30.
- Bennie JJ, Hill MO, Baxter R, Huntley B (2006) Influence of slope and aspect on long-term vegetation change in British Chalk Grasslands. Journal of Ecology, 94: 355-368.
- Binh NA, Hauser LT, Hoa PV, Thao GTP, An NN, Nhut HS (2022) Quantifying mangrove leaf area index from Sentinel-2 imagery using hybrid models and active learning. Int J Remote Sens., 43(15-16):5636-57.
- Braun-Blanquet J (1964) Pflanzensoziologie, Grundzüge Der Vegetationskunde, Dritte Auflage, Springer-Verlag, Wien-New York.
- Breda NJJ (2008) Leaf Area Index, In Sven Erik Jorgensen and Brian D. Fath, General Ecology of Encyclopedia of Ecology, Oxford. Academic Press, 3, 5, 2148-2154.
- Brown LA, Ogutu BO, Dash J (2019) Estimating forest leaf area index and canopy chlorophyll content with Sentinel-2: an evaluation of two hybrid retrieval algorithms. Remote Sens., 11(15):1752.
- Bonari G, Knollová I, Vlčková P, Xystrakis F, Coban S, Sağlam C, Chytrý M (2019) CircumMed pine forest database: an electronic archive for mediterranean and submediterranean pine forest vegetation data. Phytocoenologia, (3).
- Cañelles I (1993) Ecología, características y usos de los coscojares (*Quercus coccifera* L.) en España. Ph D. Thesis, p 573.
- Carmean WH (1975) Forest site quality evaluation in the United States. Advances in Agronomy, 27: 209-269.
- Carey ML, Hammond RF, McCarthy RG (1985) Plantation forestry on Cutaway raised Bogs and Fen peats in the Republic of Ireland. Irish Forestry, 42 (2): 106-122.
- Carlyle JC (1998) Relationships between nitrogen uptake, leaf area, water status and growth in an 11-year-old *Pinus radiata* plantation in response to thinning, thinning residue, and nitrogen fertiliser. Forest Ecology and Management, 108: 41-55.
- Chauhan KK, Lunagaria MM (2024) Validation of biophysical parameters of wheat retrieved from Sentinel-2 data using in-situ measurements at Anand Region of India. Int J Environ Climate, 14(1):626-38.
- Çepel N (1995) Orman Ekolojisi. İ.Ü. Yayın No: 3886, İstanbul.
- Çınar T (2017) Demirci (Manisa) yöresinde Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) meşçerelerinde verimlilik çevre ilişkileri. Süleyman Demirel Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Çınar T, Gülsoy S (2019) Anadolu karaçamı meşçerelerinde verimlilik için gösterge bitki analizleri: Manisa-Demirci Yöresi Örneği. Journal of the Institute of Science and Technology, 9(1): 91-99.
- Djamai N, Fernandes R, Weiss M, McNairn H, Goita K (2019) Validation and Comparison of Cropland Leaf Area Index Retrievals from Sentinel-2/ MSI Data Using SI2P Processor and Vegetation Indices Models. Paper presented at: IGARSS 2019-2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium; Yokohama, Japan: p. 4595-98.
- Efe R (2012) Ecological conditions and distribution of vegetation on southern slopes of Kaz Mountain, Turkey. Journal of Balkan Ecology, 15 (4): 373-382.
- Ellenberg H (1988) Vegetation Ecology of Central Europe. 4th Ed. (English). Cambridge University Press, Cambridge.
- Ellis TW, Hatton TJ (2008) Relating leaf area index of natural eucalypt vegetation to climate variables in Southern Australia. Agriculture Water Manage, 95: 743-747.
- Ercanlı İ, Günlü A, Şenyurt M, Keleş S (2018) Artificial neural network models predicting the leaf area index: a case study in pure even-aged Crimean pine forests from Turkey. Forest Ecosystems, 5 (29): 2-12.
- Farrelly N, Fealy RM, Radford T (2009) The use of site factors and site classification methods for the assessment of site quality and forest productivity in Ireland. Irish Forestry.
- Gatti A, Bertolini A (2015) Sentinel-2 Products Specification Document. Rapport Technique, 4-7.
- Gedikoglu I (2000) Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Teknikleri-I: Mekansal Analizler. Set Ofset, Ankara. S, 22.
- Gholz HL, Fitz FK, Waring RH (1976) Leaf area difference associated with old-growth forest communities in the Western Oregon Cascades. Canadian Journal Forest Research, 6: 49-57.
- Gholz HL (1982) Environmental limits on aboveground net primary production, leaf area and biomass in vegetation zones of the Pacific Northwest. Ecology, 53: 469-481.
- Green R, Klinka K (1994) A Field Guide for Identification and Interpretation for the Vancouver Fore.
- Goude M, Nilsson U, Holmsröm E (2009) Comparing direct and indirect leaf area measurements for *Scots Pine* and Norway spruce plantations in Sweden. European Journal of Forest Research, 138: 1033-1047.

- Gower ST, Vogt KA, Grier CC (1992) Carbon dynamics of rocky mountain douglas-fir: influence of water and nutrient availability. *Ecology Monograph*, 62: 43-65.
- Gülsoy S, Şentürk Ö, Negiz MG (2013) Hedef türler için gösterge bitki türlerinin sayısal metotlar kullanarak tespiti: Acipayam Yöresi örneği. *Turkish Journal of Forestry*, 14 (1): 10-14.
- Gülsoy S, Negiz MG (2015) Determination of environmental factors and indicator species affecting the distribution of *Origanum onites* L.: a case study from the lakes district, Turkey. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13: 1013-1019.
- Günlü A (2003) Artvin-Genya Dağı orman yetiştirme ortamı birimlerinin ayrılması ve haritalanması üzerine araştırmalar (Artvin Orman İşletme Şefliği Örneği). Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Haugo RD, Halpern CB (2010) Tree age and tree species shape positive and negative interactions in a montane meadow. *Botany*, 88(5): 488-499.
- Hayakawa H, Tunala Minamiya Y, Ito K, Gale S, Yokoyama J, Fukuda T (2012) Comparative study of leaf morphology in *Aster hispidus* Thunb. var. *leptocladus* (Makino) Okuyama (Asteraceae). *American Journal of Plant Sciences*, 3: 110-113.
- Hellwig FH (2006) Krataegus HJ, Zündorf KF, Günter H, Westhus W (Ed.), Flora von Thüringen, Wildwachsenden öl Farn-und Blütenpflanzen Thüringens, 184-185.
- Helms JA (1965) Diurnal and seasonal patterns of net assimilation in douglas-fir, *Pseudotsuga menziesii* (mirb.) franco, as influenced by environment. *Ecology*, 46: 698-708.
- Jose S, Gillespie AR (1997) Leaf area-productivity relationships natural disturbances. among mixed-species hardwood forest communities of the central hardwood region. *Forest Science*, 43(1): 56-64.
- Kantarıcı MD (1980) Belgrad Ormanı Toprak Tipleri ve Orman Yetiştirme Ortamı Birimlerinin Haritalanması Üzerine Araştırmalar. İ.Ü. Orman Fakültesi, İstanbul.
- Kantarıcı MD (2005) Orman Ekosistemleri Bilgisi. İ.Ü. Orman Fakültesi Toprak ilmi ve Ekoloji Anabilim Dalı, İstanbul.
- Klinka K, Krajina VJ, Ceska A, Scagel AM (1989) Indicator Plants of Coastal British Columbia. University of British Columbia Press, Vancouver, BC.
- Kozlowski TT, Kramer PJ, Pallardy SG (1991) The Physiological Ecology of Woody Plants, Academic Press, New York.
- Krückeberg AR (1954) The ecology of serpentine soils III. plant species in relation to serpentine soils. *Ecology*, 35: 267-274.
- Krückeberg AR (2002) The Influences of Lithology on Plant Life. In *Geology and Plant Life: The Effects of Landforms and Rock Type on Plants*, Seattle/London Univ. Wash. Press, London.
- Kutiel P, Zhevelev H, Harrison R (1999) The effect of recreational impacts on soil and vegetation of stabilised coastal dunes in the Sharon Park, Israel. *Ocean and Coastal Management*, 42(12): 1041-1060.
- Kganyago M, Mhangara P, Alexandridis T, Laneve G, Ovakoglou G, Mashiyi N (2021) Validation of Sentinel-2 leaf area index (IAI) product derived from snap toolbox and its comparison with global IAI products in an African semi-arid agricultural landscape. *Remote Sensing Letters*, 12 (2): 883-892.
- Luan JW, Liu SR, Zhu XL, Jingxin W, Kuan L (2012) Roles of biotic and abiotic variables in determining spatial variation of soil respiration in secondary oak and planted pine forests. *Soil Biol. Biochem*, 44: 143-150.
- McCune B, Mefford MJ (2011) PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 6.08, MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.
- Malkoçoğlu S (2022) Sandiras dağlık kütlesi orman yetiştirme ortamı birimlerinin ayrılması ve haritalandırılması üzerine araştırmalar. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Trabzon.
- McAllister HA, Rutherford A (1990) *Hedera helix* L. and *H. hibernica* (Kirchner) bean (Araliaceae) in the British Isles. *Watsonia*, 18: 7-15.
- Oğuzoğlu Ş (2015) Eskişehir Türkmen Dağı'nda Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* J.F. arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe var. *pallasiana*)'nın verimlilik dağılım modellemesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Özbayram AK, Çiçek E, Yılmaz F (2015) Kızılçam ve Karaçam meşcerelerinde yaprak alanı indeksi (YAI) ile bazı meşcere özellikleri arasındaki ilişkiler. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 15 (1): 78-85.
- Özkan K (2002) Türler arası birlikteliğin interspesifik korelasyon analizi ile ölçümü. *Turkish Journal of Forestry*, 2: 71-78.
- Özkan K (2008) Akdeniz Bölgesi'nin geçiş zonunda büyüme türleri için bağımsız değişkenin analitik olarak belirlenmesi. *Biyolojik Çeşitlilik ve Koruma*, 1(1): 75-88.
- Özkan K, Negiz MG (2011) Isparta Yukarıgökdere Yöresi'ndeki odunsu vejetasyonun hiyerarşik yöntemlerle sınıflandırılması ve haritalanması. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 12: 27-33.
- Pagen FJJ (1987) Oleanders; Nerium L. and the Oleander cultivars. Series of revisions of Apocynaceae XX. (Agricultural University Wageningen papers; No. 87-2). Wageningen Agricultural University.
- Pasqualotto N, d'Urso G, Bolognesi SF, Belfiore OR, Van Wittenberghe S, Delegido J (2019) Retrieval of evapotranspiration from Sentinel-2: comparison of vegetation indices, semi-empirical models and SNAP biophysical processor approach. *Agronomy*, 9(10):663.
- Pyatt G, Ray D, Fletcher J (2001) An Ecological Site Classification for Forestry in Great Britain. Bulletin 124. Forestry Commission, Edinburgh.
- Ralston CW (1964) Evaluation of site productivity. *International Review of Forest Research*, 171-201.
- Reif A (1999) The Ecology of Downy Oak (*Quercus Pubescens* willd.) and its hybrids on limestone at the northern limits of its distribution- a study of the interrelations between soil, climate and vegetation. Phd. Thesis, Science University of Freiburg.

- Running SW (1976) Environmental control of leaf water conductance in conifers. *Canadian Journal Forest Research*, 6: 104-112.
- Savill PS (1983) Land classification for plantation forestry. *Irish Forestry*, 40 (2): 78-91.
- Sternberg M, Shoshany M (2001) Influence of slope aspect on Mediterranean woody formations: comparison of a semiarid and an arid site in Israel. *Ecological Research*, 16: 335-345.
- Thomas SC, Bazzaz FA (1999) Asymptotic height as a predictor of photosynthetic characteristics in Malaysian rain forest trees. *Ecology*, 80(5): 1607-1622.
- Tilman D (1982) *Resource Competition and Community Structure*. Princeton University Press, NJ.
- Verrelst JJP, Rivera F, Veroustraete J, Muñoz-marí JG, Clevers G (2015) Experimental Sentinel-2 LAI estimation using parametric, non-parametric and physical retrieval methods—a comparison. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 108:260–272.
- Waring RH, Emmingham WH, Gholz HL, Grier CC (1978) Variation in maximum leaf area of coniferous forest in oregon and its ecological significance. *Forest Science*, 24: 131-140.
- Wilson S, Pyatt DG, Ray D, Malcolm D, Connolly T (2005) Indices of soil nitrogen availability for an ecological site classification of British forests. *Forest Ecology and Management*, 220: 51-65.
- Yer BM (2021) Kastamonu yöresi karaçam meşcerelerinde yaprak alan indeksi ile çeşitli meşcere özellikleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi. *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Kastamonu.