Sinopfbd, 2025; 10(2): 583-594 https://doi.org/10.33484/sinopfbd.1691888

Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi
Sinop Uni J Nat Sci
E-ISSN: 2564-7873

https://dergipark.org.tr/tr/pub/sinopfbd

İki Farklı Bölgedeki *Pinus pinea* L. (Pinaceae) İğne Yapraklarındaki Terpen Bileşiminin Mevsimsel Değişimi

Merve KAYA[1] Gürkan SEMİZ[1] Batıkan GÜNAL[1] ve Gürçay Kıvanç AKYILDIZ[1]

How to cite: Kaya, M., Semiz, G., Günal, B., & Akyıldız, G. K. (2025). İki farklı bölgedeki *Pinus pinea* L. (Pinaceae) iğne yapraklarındaki terpen bileşiminin mevsimsel değişimi. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 10*(2), 583-594. https://doi.org/10.33484/sinopfbd.1691888

Araştırma Makalesi

Sorumlu Yazar
Gürkan SEMİZ
gsemiz@pau.edu.tr

Yazarlara ait ORCID
M.K: 0000-0002-9946-0781
G.S: 0000-0003-0276-8542
B.G:0000-0002-6126-6510
G.K.A:0000-0001-9610-8443

Received: 05.05.2025
Accepted: 06.11.2025

Öz

Bu araştırmanın amacı zamansal değişimlerin *P. pinea* iğne yapraklarındaki terpen konsantrasyonuna etkisinin iki farklı bölgede araştırılmasıdır. Çalışma alanı ve materyali olarak, Kozak Yaylası (Bergama/İzmir) ve Pamukkale Üniversitesi (Kınıklı/Denizli) Kampüsü içerisindeki fıstıkçamı ağaçları (*P. pinea*) seçilmiştir. Rastgele olarak işaretlenmiş ağaçlara ait iğne yaprak örneklemeleri tüm yılı kapsayacak şekilde her ay genelde aynı tarihlerde gerçekleştirilmiştir. İğne yaprakların içerdiği terpen miktarı GC-MS analizleri ile incelenmiştir. Ağaçlara ait elde edilen terpen miktarlarındaki farklılıkları istatistiksel olarak değerlendirmek için R istatistik programı kullanılmıştır. Analiz sonucunda Kozak Yaylası örneklerinden 19, Pamukkale Üniversitesi örneklerinden ise 12 terpen türevli bileşen (mono- ve seskuiterpen) belirlenmiştir. Bileşiklerin farklı aylardaki dalgalanmaları incelendiğinde α-pinene, camphene, β-pinene, linalool, trans-β-caryophyllene, β-selinene, guaiol, α-eudesmol ve manoyloxide'in istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, Pearson korelasyon analizi sonuçlarına göre hemen hemen tüm bileşikler arasında pozitif yönde bir ilişkinin varlığı da ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: GC-MS, *Pinus pinea*, terpen, zamansal değişim, Türkiye

Seasonal Variation in the Terpene Composition of *Pinus pinea* L. (Pinaceae) Needles Collected from Two Distinct Regions

[1]Pamukkale Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 20070, Denizli, TÜRKİYE

Abstract

This research aims to investigate the effect of temporal changes on the terpene concentration in the needles of *P. pinea* from two different regions. The study focused on pine trees (*P. pinea*) located in Kozak Plateau (Bergama/Izmir) and the Pamukkale University (Kınıklı/Denizli) campus. Needle samples from randomly marked trees were collected monthly throughout the year, generally on the same dates. The terpene content of the needle leaves was analyzed using GC-MS. The differences in terpene amounts obtained from the trees were statistically evaluated using the R statistical program. As a result of the analysis, 19 terpene-derived compounds were identified from the Kozak Plateau samples and 12 from the Pamukkale University samples. When examining the fluctuations of the compounds in different months, it was determined that α-pinene, camphene, β-pinene, linalool, trans-β-caryophyllene, β-

Bu çalışma Creative Commons Attribution 4.0 International License ile lisanslanmıştır

selinene, guaiol, α-eudesmol, and manoyloxide showed statistically significant differences. Additionally, the Pearson correlation analysis results indicated a positive relationship among almost all compounds.

Keywords: GC-MS, *Pinus pinea*, terpene, temporal variation, Türkiye

Giriş

Çevreleri ile sürekli etkileşim içerisinde olan bitkiler, herbivorlara karşı kendilerini savunmak ve değişken çevresel koşullara uyum sağlamak için farklı fizyolojik ve kimyasal stratejiler geliştirmişlerdir. Bitkilerin çevreleriyle olan ekolojik ilişkilerde sıklıkla kullandıkları bileşiklerin başında terpenler gelmektedir [1, 2]. Genel anlamda bitki sekonder metabolitleri içerisinde yer alan terpenler, bitkiye zarar veren diğer organizmaların büyüme ve gelişimini kısıtlamakta, beslenme faaliyetlerini sınırlamakta ve özellikle de herbivor olarak adlandırılan otçul zararlılarla mücadelede doğal savunma mekanizmaları olarak işlev görmektedir. Bunun yanı sıra, terpenler bu zararlıların doğal düşmanlarını cezbederek ekosistem düzeyinde dolaylı koruma da sağlamaktadır [3]. Kozalaklı bitkiler tarafından salgılanan reçinenin büyük orandan kimyasal bileşimi olan terpenler yukarıda açıklanan biyolojik süreçlerde çok kritik rollere sahip olarak bilinmektedir. Terpenler; monoterpen, seskuiterpen ve diterpen olmak üzere genel anlamda üç grup olarak değerlendirilmektedir [4]. Bitkilerin farklı dokularında (çiçek, yaprak, gövde vb.) sentezlenen veya depolanan bu bileşikler, bitki bünyesinde her zaman belirli miktarda bulunabilir ya da bir stres faktörünün varlığında hızla üretilebilirler [5]. Bitkide herhangi bir mekanik zarara karşılık üretilmiş olan terpenler, ikincil zarar oluşturan diğer zararlılar için de önemli mesajlar (örneğin cezbedici) içerebilmektedir. Bitkilerde zarar yeteneğine sahip olan böcek türleri, uygun konak seçimi tercihlerinde bitkilerden salgılanan bu bileşikleri nitel ve nicel olarak izleyebilmekte ve uygun konak seçimine ait karar mekanizmasında bu bileşenlerden faydalanabilmektedirler [6, 7]. Kozalaklı ağaçların büyük bir kısmını (~630 tür) oluşturan *Pinus* L. cinsi, çoğunluğu Kuzey Yarımküre'de olmak üzere yaklaşık 110 türle temsil edilmektedir [8]. Türkiye'de ise *Pinus* cinsine ait beş tür bulunmaktadır [9]. Bu türlerden biri olan fıstık çamı (*Pinus pinea* L.) Akdeniz havzasının karakteristik türlerinden biridir ve özellikle İspanya, Portekiz, İtalya, Türkiye ve Kuzey Afrika kıyılarında doğal yayılış göstermektedir [10]. Türkiye'de Artvin (Fıstıklı köyü), İzmir (Bergama, Kozak Yaylası), Aydın (Koçarlı), Muğla, Antalya (Manavgat), Gemlik, Trabzon (Kalenema Çayı), Bartın (Çakraz) ve Kahramanmaraş (Hacıağalar ve Önsen Köyleri) gibi farklı iklim ve toprak koşullarına sahip gölgelerde lokal popülasyonlar halinde bulunmaktadır. *P. pinea*, hem ekolojik uyum yeteneği hem de ekonomik değeri nedeniyle büyük öneme sahiptir. Özellikle yenilebilir tohumları (çam fıstığı) ve reçine kökenli ürünleriyle bölgesel ekonomiye önemli katkı sağlamaktadır [11-13]. Koniferler genelde uzun bir ömre sahip ve hayatta kalabilmek ve çevrelerine uyum sağlayabilmek için çeşitli bileşikler üretirler. Sekonder metabolitler bitkilerin ürettiği önemli bir kimyasal sınıfıdır. Doğrudan bir etkisi olmamasına rağmen, bu maddeler büyüme ve gelişme için çok önemlidir ve hatta bazıları bitkilerin kendilerini çevresel streslere karşı savunmasına yardımcı olabilmektedir [14, 15]. Terpenoidler, flavonoidler, lignanlar, fenoller ve diğer maddeler 1900'den beri *Pinus* cinsinden izole edilmiş olup 280'den fazla bileşen içermektedir.

E-ISSN: 2564-7873

Terpenoidler bu grubun biyoaktif maddelerinin çoğunluğunu oluşturur [16, 17]. Son yıllarda *P. pinea* ve diğer konifer türlerinde sekonder metabolitlerin, özellikle de terpenlerin ekolojik ve fizyolojik rollerine yönelik ilgi giderek artmıştır [18, 19]. Terpenler; bitkilerin çevresel streslere (kuraklık, sıcaklık değişimi, UV radyasyonu vb.) karşı savunma tepkilerinde, hücresel koruma mekanizmalarında ve tozlayıcı-otçul etkileşimlerinde anahtar bileşikler olarak tanımlanmaktadır [20, 21]. Bu bileşiklerin miktar ve bileşimindeki değişimlerin; sıcaklık, nem, rakım, toprak tipi ve mevsimsel faktörlerden etkilenebildiği birçok çalışmada gösterilmiştir [22, 23]. *P. pinea* türünde terpen bileşiklerinin mevsimsel ve mekânsal varyasyonlarının araştırılması hem türün metabolik plastisitesi hem de çevresel değişkenliklere karşı uyum kapasitesinin anlaşılması açısından önem taşımaktadır. Ayrıca, terpenlerin kimyasal çeşitliliğinin belirlenmesi yalnızca ekolojik değil, aynı zamanda ekonomik ve endüstriyel açıdan da uygulama potansiyeli taşımaktadır. Terpenler farmasötik, kozmetik, gıda ve aroma endüstrilerinde geniş bir kullanım alanına sahiptir; bu nedenle bileşiklerin zamansal dağılımlarının belirlenmesi, uçucu yağ üretiminde optimum hasat dönemlerinin, verimlilik stratejilerinin ve kimyasal kalite standardizasyonunun geliştirilmesine katkı sağlayabilir [24, 25]. Bu bağlamda, koniferlerde uzun yaşam döngüsü ve yüksek ekolojik plastisiteye sahip *P. pinea* türünde iğne yapraklardaki terpen bileşiklerinin zamansal değişiminin ortaya konulması hem ekolojik adaptasyon mekanizmalarının hem de biyoteknolojik ve endüstriyel uygulama potansiyelinin anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada, Kozak Yaylası (Bergama/İzmir) ve Pamukkale Üniversitesi'ndeki (Denizli) fıstık çamı ibrelerinden elde edilen terpenlerin aylara bağlı değişimi karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Bitki Örneklemesi

Örnekleme için Kozak Yaylası'ndan (Bergama-İzmir) 18, Pamukkale Üniversitesi Kınıklı Yerleşkesi (Denizli) içerisinden ise 15 ağaç seçilmiştir. COVID-19 salgını nedeniyle Kozak yaylasından haziran ayı hariç tüm yılı kapsayacak şekilde ibre örnekleri alınmış ve sıvı azot içinde saklanarak Pamukkale Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kimyasal Ekoloji Laboratuvarına taşınmıştır. Numuneler ekstrakte edilip analiz edilene kadar -80°C'de tutulmuştur.

Terpen Analizleri

Terpen analizlerinde kullanılan ekstraksiyon çözeltisi, standart çözeltinin [88 µl'lık 1-klorooktan (Sigma-Aldrich), *n*-hekzan (Sigma-Aldrich) ile 100 ml'ye tamamlanarak] 1:20 oranında seyreltilmesiyle hazırlanmıştır [26]. İbre örnekleri (200 mg) 2 ml ekstraksiyon solüsyonunda oda sıcaklığında 1 saat inkübe edildi. Çözelti filtre edilmiş, aynı örnek üzerine 2 ml *n*-hekzan ilave edilmiştir ve oda sıcaklığında 2 dakika inkübe edilmiştir. Son adım bir kez daha uygulandıktan sonra ekstrakt elde edilmiştir.

E-ISSN: 2564-7873

Elde edilen ekstraktlar 1.5 ml'lik cam vial tüplerine aktarılmış ve Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (GC-MS, Agilent GC tip 7820A, MSD 5975, Agilent, ABD) ile analiz edilmiştir. Helyum cihazda taşıyıcı gaz olarak kullanılmıştır. GC-MS için bileşenleri analizinde 30 mm uzunluğunda kolon (HP-5MS, ID 0.25 mm, film kalınlığı 0.25 µm, Hewlett Packard) kullanılmıştır. GC-MS'de kullanılan metot için sıcaklık programı 50°C'den 250°C'ye olacak şekilde ayarlanmıştır (artış hızı 5°C/dk). Terpen bileşikleri, bileşiğin sahip olduğu kütle spektrumu ve kolon içindeki alıkonma süreleri dikkate alınarak adlandırılmıştır.

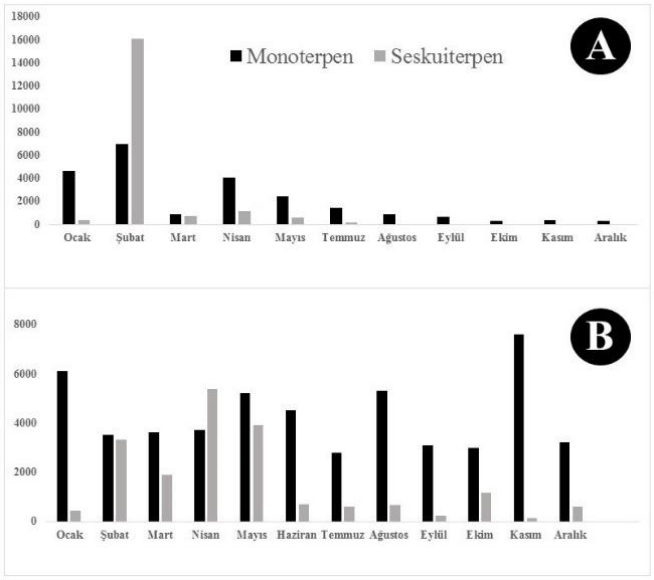
İstatistiksel Analizler

Analizler sonucunda elde edilen veriler R Core Team (2020) istatistik yazılımı kullanılarak ile analiz edilmiştir [27]. Tüm veri setleri istatistiksel analizden önce transpoze edilmiştir. İstatistiksel olarak anlamlı veriler üretecek faktörleri belirlemek için primer analizlerden yararlanılmış ve bu parametreler daha sonra ileri analizlerde kullanılmıştır. Veri setinin homojenliği ve normalliği sırasıyla t-testi ve Shapiro Wilk testi kullanılarak belirlenmiştir. İbre örnekleri ayrı ayrı test edilmiştir. Farklılıkları incelemek için %95 güven aralığı (P<0.05) kullanılmıştır. Her iki bölgenin verileri arasındaki sinerjistik veya antagonistik ilişkileri anlamak için Pearson korelasyon analizi yapılmıştır. Şekil olarak sunulan görseller R Core Team programında hazırlanmıştır [27].

Bulgular ve Tartışma

Gerçekleştirilen analizler sonucunda Kozak Yaylasından toplanan ibre örneklerinden 19, Pamukkale Üniversitesi örneklerinden ise 12 terpen bileşiği tespit edilmiştir. Toplam terpen fraksiyonları her iki bölgede de değişiklik göstermektedir. Şekil 1, aylara göre monoterpen ve seskuiterpen konsantrasyonlarındaki değişimi özetlemektedir. Pamukkale Üniversitesi *P. pinea* ibrelerinde en fazla monoterpen içeriği Kasım ayında tespit edilirken, en düşük konsantrasyon Ekim örneklerinde kaydedilmiştir. Seskuiterpen konsantrasyonları ise Nisan ayında zirveye ulaşırken, Kasım ayında en düşük seviyelerine ulaşmıştır. Kozak Yaylası'ndan alınan iğne yapraklarda en yüksek monoterpen ve seskuiterpen miktarı Şubat ayında kaydedilmiştir. En düşük monoterpen konsantrasyonu Aralık ayı örneklerinde bulunurken, Ağustos ve Ekim aylarında seskuiterpen bileşik tespit edilmemiştir.

E-ISSN: 2564-7873



Şekil 1. *Aylara göre toplam monoterpen ve seskuiterpen konsantrasyonları (µgr/g fwt),* ***A.*** *Kozak Yaylası,* ***B.*** *Pamukkale Üniversitesi*

T-testi analizine göre her iki lokaliteden tanımlanan α-pinene, camphene, α-terpineol, α-eudesmol, limonene, β-selinene, trans-β-ocimene, bornyl acetate, caryophyllene oxide, germacrene-D, α-guaiene, α-humulene ve longifolene arasından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir (Tablo 1). Bileşiklerin farklı aylardaki dalgalanmaları incelendiğinde *α*-pinene, camphene, *β*-pinene, linalool, trans-*β*-caryophyllene, *β*-selinene, guaiol, *α*-eudesmol, ve manoyl oxide bileşiklerinin istatistiksel olarak anlamlı farklar taşıdığı belirlenmiştir (Tablo 2). Her iki lokasyona ait verilerin birbirleriyle sinerjistik veya antagonistik ilişkilerini değerlendirmek amacıyla yapılan korelasyon analizinde şu sonuçlar elde edilmiştir: Pamukkale Üniversitesi örneklerinde (Şekil 2); α-pinene ve β-pinene arasında ve camphene ile α-pinene ve β-pinene arasında güçlü pozitif korelasyon (r>0.75) olduğu belirlenmiştir. Hem myrcene ile α-pinene ve β-pinene arasında, hem de limonene ile β-selinene ve myrcene arasında pozitif korelasyon (0.50<r<0,75) tespit edilmiştir. Kozak Yaylası örneklerinde ise (Şekil 3): Limonene ve caryophyllene-oxide diğer tüm bileşiklerle farklı düzeylerde pozitif korelasyon göstermiştir. α-pinene ile myrcene ve β-pinene arasında güçlü pozitif korelasyon (r>0.75) tespit edilirken trans-β-ocimene ile negatif bir korelasyon (r<0.25) gözlenmiştir.

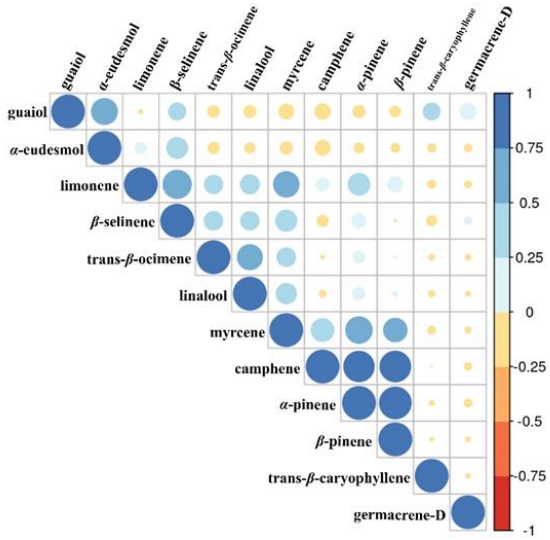
Tablo 1*. Pamukkale Üniversitesi ve Kozak Yaylası'ndan alınan iğne yapraklardaki belirlenen terpenlerin t-testi analiz sonuçları (*P<0.05 seviyesinde istatistiksel olarak farklı)*

Bileşikler	*t*	*P*	Bileşikler	*t*	*P*
α*-pinene	-2.3383	=0.01987	**trans-*β*-caryophyllene***	1.2394	= 0.216
camphene*	-5.6117	<0.001	***α*-guaiene***	2.3176	= 0.02098
***β*-pinene**	-1.1063	=0.2693	***α*-humulene***	2.9366	= 0.003513
myrcene	0.60663	=0.5444	**germacrene-D***	3.6216	< 0.001
limonene*	-13.894	<0.001	***β*-selinene***	-2.8334	< 0.001
trans-*β*-ocimene*	-2.8007	=0.005637	**caryophylleneoxide***	4.0003	< 0.001
linalool	0.34248	=0.7322	**guaiol**	0.84338	= 0.3998
α*-terpineol	2.4537	=0.01457	***α*-eudesmol***	-4.769	< 0.001
bornylacetate*	3.9879	<0.001	**manoyloxide***	-6.4369	< 0.001
longifolene*	2.3393	=0.01982			

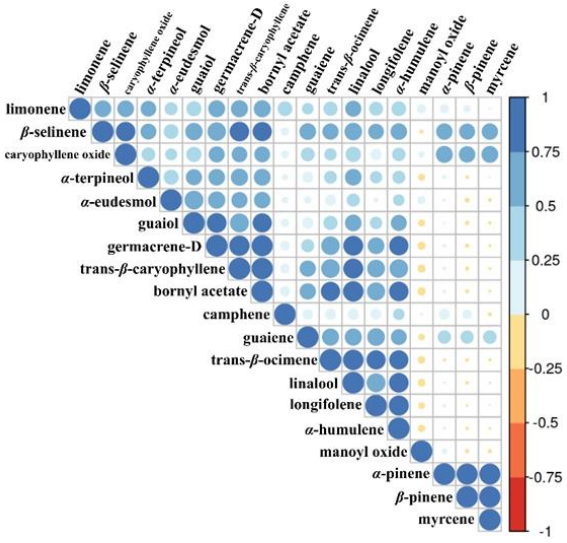
E-ISSN: 2564-7873

***Tablo 2**. Pamukkale Üniversitesi ve Kozak Yaylası'ndan alınan iğne yapraklardaki terpenlerin aylara göre karşılaştıran t-testi analizi sonuçları. Kalın yazı karakteri ile gösterilen veriler istatistiksel anlamda faklıdır (P<0.05).*

Bileşikler	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
α-pinene	0.80	0.87	0.65	0.38	**<0.05**	0.13	-	-	-	**<0.05**	-
camphene	**<0.05**	0.26	-	**<0.05**	-	-	-	-	-	-	-
β-pinene	**<0.05**	0.10	0.15	0.35	**<0.05**	-	-	-	-	-	-
myrcene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
limonene	**<0.05**	0.45	**<0.05**	**<0.05**	**<0.05**	**< 0.05**	**<0.05**	**<0.05**	**<0.05**	**<0.05**	**<0.05**
trans-β-caryophyllene	0.33	**<0.05**	**<0.05**	0.17	0.47	0.06	0.21	0.16	-	-	-
germacrene-D	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
β-selinene	**<0.05**	**<0.05**	**<0.05**	0.24	**<0.05**	0.25		0.16		0.39	0.33
guaiol	-	**<0.05**	0.12	**<0.05**	**<0.05**	-	-	-	-	-	-
α-eudesmol	-	0.54	0.53	**<0.05**	-	-	-	-	-	-	-
manoyloxide	-	-	0.06	**<0.05**	**<0.05**	-	-	-	-	-	-



***Şekil 2.** Pamukkale Üniversitesi (Denizli) örneklerinin mono- ve seskuiterpen bileşikleri arasındaki korelasyon*



***Şekil 3.** Kozak Yaylası (İzmir) örneklerinin mono- ve seskuiterpen bileşikleri arasındaki korelasyon*

E-ISSN: 2564-7873

Tüm canlılar sürekli değişen çevresel şartlara karşı yaşamsal faaliyetleri sürdürebilmek için çok değişik adaptasyonlar geliştirebilmektedir. Dünyamızın son dönemde yaşadığı en önemli global sorunlardan biri olan iklim değişikliği ile karşı karşıya kalan canlıların ne gibi bir adaptasyon/korunma mekanizması geliştirdiği merak edilen araştırma konularının başında gelmektedir. Canlılara yaşamsal faaliyetlerinin kusursuz sürdürebilmek adına hem çevresel oluşan stres unsurlarına [28] hem de yaşadıkları çevreye uyum göstermek zorundadırlar [29, 30]. Önemli oranda sekonder metabolit üretebilen konifer türlerinde de aynı türe ait populasyonlar arasında önemli derecede farklılıklar olabildiği değişik çalışmalarla kanıtlanmıştır [31]. Ayrıca zamansal/mevsimsel değişimler de üretilen metabolit madde miktarlarında önemli derecede farklılıklara neden olabilmektedir [32, 33]. Çalışmamız sonucunda her iki lokaliteden tanımlanan terpenlerin mevsimsel değişimlere göre varyasyonlar gösterdiği belirlenmiştir. GC-MS analizleri doğrultusunda her iki örnekleme alanında tespit edilen miktarca en yüksek bileşik limonene'dir. Limonene bileşiğini sırasıyla α-pinene, camphene ve β-pinene bileşikleri izlemektedir. Bu sonuçlar daha önce yapılan çalışmaların büyük bir kısmıyla paralellik göstermektedir [34, 35]. Ancak Fas ve Cezayir örnekleriyle gerçekleştirilen çalışmalarda ana bileşikler sırasıyla α-pinene ve α-copaene olarak kaydedilmiştir [36, 37]. Bu iki çalışmada limonene bileşiğine örneklerde rastlanılmama sebebinin iklimsel, genetik ve edafik faktörlerden kaynaklanabileceğini düşündürtmektedir. Kısmen Türkiye populasyonuna yakın sayılabilecek coğrafyalarda (Yunanistan, İtalya, Portekiz) gerçekleştirilen çalışmalarda *P. pinea* örneklerinde yüksek konsantrasyonda limonene saptanması bu tezi destekler niteliktedir [38-40]. Monoterpen miktarı Kozak Yaylası'nda kışın en yüksek miktarda iken yılın diğer zamanlarında azalma eğilimindedir. Pamukkale Üniversitesi örneklerinde benzer sonuçlara rastlanılmamıştır. Bu örneklerdeki monoterpen miktarları yıl boyunca dalgalanma göstermektedir. Önceki çalışmada Schönwitz ve ark. [41], gerçekleştirdikleri çalışma ile *Picea abies* türündeki genç ibrelerin monoterpen seviyelerinin Şubat ayında arttığını ve olgun yapraklardaki monoterpen konsantrasyonunun yıl boyunca dalgalandığını tespit etmişlerdir. Monoterpen konsantrasyonlarındaki en büyük değişiklikler genellikle ibrenin büyüme zamanlarında görülmektedir [42, 43]. Olgun ibrelerde monoterpen bileşimi oldukça tutarlıdır, ancak monoterpen konsantrasyonlarında hem bireysel hem de kümülatif olarak mevsimsel değişiklikler gözlenebilmektedir [32, 41]. Bu çalışma ile elde ettiğimiz bulgular tüm bu sonuçlarla tutarlılık göstermektedir. Pamukkale Üniversitesi örneklerinde toplam seskuiterpen düzeyleri Nisan ve Mayıs aylarında artmaktadır. Ağustos, Eylül ve Kasım aylarında seskuiterpen konsantrasyonunun önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Kozak Yaylası örneklerinde Şubat ayında en yüksek seviyeye ulaşan seskuiterpen konsantrasyonu, Ağustos-Aralık ayları arasında en düşük seviyede yer almaktadır. Bu örneklerde Ekim ayında seskuiterpen tespit edilememiştir. Denizli örneklerinden elde edilen sonuçlar daha önce yapılan araştırmalarla tutarlı olsa da Kozak Yaylası'na ait Şubat ayı verileri önceki çalışmalarla tutarlı bulunmamıştır. Seskuiterpen içeriğindeki farklılıklar, bu kimyasalların bitkilerdeki fizyolojik süreçlerde rol oynadığını göstermektedir. Ayrıca, bitki-bitki [44] ve bitki-böcek [45-48] etkileşimlerinde sinyal molekülleri olarak önemli bir biyolojik role sahip

oldukları kabul edilmektedir. Dolayısıyla bu varyasyonun Şubat ayında Kozak Yaylası'nda etkin olan biyotik ve/veya abiyotik etkenlerden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Sonuç

Yapılan çalışma sonucunda farklı lokalitelerden örneklenen *P. pinea* bireylerinde mevsimsel dönemlere bağlı olarak terpen türevli bileşikler bakımından (içerik ve miktar yönünden) önemli farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda terpen profili bakımından iki lokalite arasında istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde önemli farklılıkların bulunduğu gösterilmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar, *P. pinea* ibrelerindeki terpen profilinin hem mevsimler şartlara göre hem de bulunduğu lokasyona göre değişim gösterebildiğini göstermektedir. Terpen bileşiklerinin bir yıl boyunca iki farklı lokasyonda gösterdiği değişimlerin belirlenmesi, türün metabolik yanıtlarının çevresel faktörlerle ilişkisini ortaya koymaktadır. Elde edilen veriler, terpen sentezinin hem mevsimsel koşullardan hem de lokasyon bazlı mikroklimatik farklılıklardan önemli ölçüde etkilendiğini göstermiştir. Bu durum, *P. pinea*'nın bulunduğu ekosistemlerdeki çevresel stres faktörlerine (örneğin sıcaklık, nem, su stresi, toprak özellikleri vb.) karşı kimyasal savunma stratejilerinin dinamik bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, özellikle orman ekosistem yönetimi, biyotik ve abiyotik streslere karşı adaptasyon stratejilerinin modellenmesi ve uçucu yağ bileşiklerinin endüstriyel üretiminde optimum hasat dönemlerinin belirlenmesi açısından pratik uygulama potansiyeline sahiptir. Terpen içeriklerinin zamansal varyasyonları, endüstriyel kullanımlar (örneğin farmasötik, kozmetik ve aromatik ürün üretimi) için maksimum verim elde edilebilecek dönemlerin belirlenmesine katkı sağlayabilir. Ayrıca, lokasyonlar arası farklılıkların ortaya konması, genetik ıslah programlarında çevresel adaptasyonun dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Sonuç olarak, *P. pinea*'nın terpen metabolitlerine ilişkin bu bulgular hem ekolojik süreçlerin anlaşılmasına hem de ekonomik değerlendirme stratejilerinin geliştirilmesine temel oluşturmakta; türün sürdürülebilir yönetimi, korunması ve ekonomik değerinin artırılmasına yönelik uygulamalara bilimsel veri sağlamaktadır.

Teşekkür: Bu çalışmada sunulan veriler birinci yazarın yüksek lisans tez çalışmasından elde edilmiştir.

Fon/Finansman Bilgileri: Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 2019FEBE049 nolu proje ile desteklenmiştir.

Etik Kurul Onayı ve İzinler: Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Çıkar Çatışmaları/Çatışan Çıkarlar: Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Yazarların Katkısı: Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamıştır.

E-ISSN: 2564-7873

Kaynaklar

[1] Turlings, T. C., & Wäckers, F. (2004). Recruitment of predators and parasitoids by herbivore-injured plants. In R. T. Carde, J. G. Millar, (Eds), *Advances in Insect Chemical Ecology,* (pp. 21-75). Cambridge: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511542664.003

[2] Kocabıyık, K., Erbilgin, N., & Semiz, G. (2024). Volatile terpene profiles of needle and phloem tissues of healthy and *Tomicus destruens*-infested *Pinus brutia* trees. *Journal of Chemical Ecology 50*, 529–535. https://doi.org/10.1007/s10886-024-01541-7

[3] Pichersky, E., & Raguso, R. A. (2018). Why do plants produce so many terpenoid compounds?. *New Phytologist, 220*(3), 692-702. https://doi.org/10.1111/nph.14178

[4] Michelozzi, M. (1999). Defensive roles of terpenoid mixtures in conifers. *Acta Botanica Gallica, 146*(1), 73-84. http://dx.doi.org/10.1080/12538078.1999.10515803

[5] Ghosh, S. K., Ishangulyyeva, G., Erbilgin, N., & Bonello, P. (2024) Terpenoids are involved in the expression of systemic-induced resistance in Austrian pine. *Plant Cell & Environment, 47*(6)*,* 2206–2227. https://doi.org/10.1111/pce.14875

[6] Kansu, İ. A., (2005). *Böcek Çevrebilimi*, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.

[7] Mageroy, M. H., Nagy, N.E., Steffenrem, A., Krokene, P., & Hietala, A.M. (2023) Conifer defences against pathogens and pests—mechanisms, breeding, and management. *Current Forestry Reports 9,* 429–443. https://doi.org/10.1007/s40725-023-00201-5

[8] Farjon, A. (2018). Phylogeny and classification of the genus *Pinus*. In A. Farjon, (Eds), *Pines:* Drawings and Descriptions of the genus *Pinus*, (pp. 218-224). Leiden-Boston: Brill Academic Publishers. https://doi.org/10.1163/9789047415169

[9] Coode, M. J. E, & Cullen, J. (1984). *Pinus* L., In P. H. Davis, (Ed), *Flora of Turkey and the East Aegean Islands,* Vol. 1, (pp. 72-76). Edinburgh: Edinburgh University Press.

[10] Demirci, F., Bayramiç, P., Göger, G., Demirci, B., & Başer, K. (2015). Characterization and antimicrobial evaluation of the essential oil of *Pinus pinea* L. from Turkey. *Natural Volatiles and Essential Oils, 2*(2), 39-44.

[11] Yaltırık, F. (1988). *Gymnospermae (Açık Tohumlular)*. Istanbul University Publishing.

[12] Batur, M. (2015). Kozak Yöresi Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) ormanlarında fıstık verimi ile artım ve bazı meteorolojik olaylar arasındaki ilişkiler. *Ormancılık Araştırma Dergisi, 1*(2), 29-34. https://doi.org/10.17568/oad.89717

[13] Akyol, A., & Örücü, Ö. K. (2020). Investigation and evaluation of stone pine (*Pinus pinea* L.) current and future potential distribution under climate change in Turkey. *Cerne, 25*(4), 415-423. https://doi.org/10.1590/01047760201925042643

[14] Blanch, J. S., Penuelas, J., Sardans, J., & Llusia, J. (2009). Drought, warming and soil fertilization effects on leaf volatile terpene concentrations in *Pinus halepensis* and *Quercus ilex*. *Acta Physiologiae Plantarum, 31*(1), 207-218. https://doi.org/10.1007/s11738-008-0221-z

[15] Stierle, A. A., & Stierle, D. B. (2015). Bioactive secondary metabolites produced by the fungal endophytes of conifers. *Natural Product Communications, 10*(10), 1671-1682.

E-ISSN: 2564-7873

[16] Li, B., Shen, Y. H., He, Y. R., & Zhang, W. D. (2013). Chemical constituents and biological activities of *Pinus* species. *Chemistry & Biodiversity, 10*(12), 2133-2160. https://doi.org/10.1002/cbdv.201100373

[17] Xiao, Y. C., Ye, L., Zhao, M. X., Yan, C. Q., Wang, W., Huang, Q. S., Liang, K., Meng, B. H., & Ke, X. (2017). Two new sesquiterpene glycosides isolated from the fresh needles of *Pinus massoniana* Lamb. *Natural Product Research, 31*(3), 341-346. https://doi.org/10.1080/14786419.2016.1239089

[18] Gaspar, M. J., Nunes, J., Rodrigues, M., & Ferreira, L. (2023). Chemotaxonomic differentiation of *Pinus* species based on *n*-alkane and long-chain alcohol profiles of needle cuticular waxes. *Chemistry & Biodiversity, 20*(5), e202300043. https://doi.org/10.1002/cbdv.202300043

[19] Wilson, T. M., Rotter, M. C., Ziebarth, E. A., & Carlson, R. E. (2023). Volatile compound chemistry and insect herbivory: *Pinus edulis* Engelm. (Pinaceae) seed cone resin. *Forests 14*(9), 1862. https://doi.org/10.3390/f14091862

[20] Gershenzon, J., & Dudareva, N. (2007). The function of terpene natural products in the natural world. *Nature Chemical Biology 3*(7):408-414. https://doi.org/10.1038/nchembio.2007.5

[21] Loreto, F., & Schnitzler, J. P. (2010). Abiotic stresses and induced BVOCs. *Trends in Plant Science, 15*(3),154-166. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.12.006

[22] Blanch, J. S., Peñuelas, J., Sardans, J., & Llusià, J. (2009). Drought, warming and soil fertilization effects on leaf volatile terpene concentrations in *Pinus halepensis* and *Quercus ilex*. *Acta Physiologiae Plantarum 31*, 207-218. https://doi.org/10.1007/s11738-008-0221-z

[23] Niinemets, Ü., Arneth, A., Kuhn, U., Monson, R. K., Peñuelas, J., & Staudt, M. (2010). The emission factor of volatile isoprenoids: stress, acclimation, and developmental responses, *Biogeosciences, 7*, 2203-2223. https://doi.org/10.5194/bg-7-2203-2010

[24] Aprotosoaie, A. C., Hăncianu, M., Costache, II., & Miron, A. (2014). Linalool: a review on a key odorant molecule with valuable biological properties. *Flavour Fragrance Journal, 29*(4),193-219. https://doi.org/10.1002/ffj.3197

[25] Maffei, M. (2010). Sites of synthesis, biochemistry and functional role of plant volatiles. *South African Journal of Botany, 76*(4), 612–631. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2010.03.003

[26] Manninen, A. M., Tarhanen, S., Vuorinen, M., & Kainulainen, P. (2002). Comparing the variation of needle and wood terpenoids in Scots pine provenances. *Journal of Chemical Ecology, 28*(1), 211-228. https://doi.org/10.1023/A:1013579222600

[27] R Core Team (2020). *A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

[28] Pianka, E. R. (1988). *Evolutionary Ecology,* Harper & Row, New York.

[29] Mayr, E. (2001). *What evolution is*. Basic Books, New York.

[30] Dudareva N., Negre, F., Nagegowda, D. A., & Orlova I. (2006). Plant volatiles: recent advances and future perspectives. *Critical Reviews in Plant Sciences, 25*(5), 417–440. https://doi.org/10.1080/07352680600899973

[31] Tobolski, J. J., & Honover, J. W. (1971). Genetic variation in monoterpenes of Scotch pine. *Forest Science, 17*(3), 293-299.

E-ISSN: 2564-7873

[32] Nerg, A., Kainulainen, P., Vuorinen, M., Hanso, M., Holopainen, J. K., & Kurkela, T. (1994). Seasonal and geographical variation of terpenes, resin acids and total phenolics in nursery grown seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *New Phytologist, 128*(4), 703-713. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1994.tb04034.x

[33] Williams, R. S., Lincoln, D. E., & Thomas, R. B. (1994). Loblolly pine grown under elevated CO_2 affects eary instar pine sawfly performance. *Oecologia, 98*, 64–71. https://doi.org/10.1007/BF00326091

[34] Baradat P. H., Marpeau, A., & Walter, J. (1991). Terpene markers. In G. Muller-Starck, M. Ziehe, (Eds), *Genetic variation in European populations of forest trees,* (pp. 44-66). Frankfurt am Main: Sauerlander's Verlag.

[35] Nasri, N., Tlili, N., Triki, S., Elfalleh, W., Chéraif, I., & Khaldi, A. (2011). Volatile constituents of *Pinus pinea* L. needles. *Journal of Essential Oil Research, 23(*2), 15-19. https://doi.org/10.1080/10412905.2011.9700441

[35] Hmamouchi, M., Hamamouchi, J., Zouhdi, M., & Bessiere, J. M. (2001). Chemical and antimicrobial properties of essential oils of five Moroccan Pinaceae. *Journal of Essential Oil Research, 13*(4), 298-302. https://doi.org/10.1080/10412905.2001.9699699

[37] Tahar, D., Berramdane, T., Dahmane, D., & Chelghoum, C. (2005). Volatile oil from *Pinus pinea* leaves cultivated in Algeria. *Rivista Italiana Eppos, 39*, 9-13.

[38] Roussis, V., Petrakis, P. V., Ortiz, A., & Mazomenos, B. E. (1995). Volatile constituents of needles of five *Pinus* species grown in Greece. *Phytochemistry, 39*(2), 357-361. https://doi.org/10.1016/0031-9422(94)00885-W

[39] Macchioni, F., Cioni, P. L., Flamini, G., Morelli, I., Maccioni, S., & Ansaldi, M. (2003). Chemical composition of essential oils from needles, branches and cones of *Pinus pinea*, *P. halepensis*, *P. pinaster* and *P. nigra* from central ltaly. *Flavour and Fragrance Journal, 18*(2), 139-143. https://doi.org/10.1002/ffj.1178

[40] Santos, A. M., Vasconcelos, T., Mateus, E., Farrall, M. H., da Silva, M. G., Paiva, M. R., & Branco, M. (2006). Characterization of the volatile fraction emitted by phloems of four *Pinus* species by solid-phase microextraction and gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Chromatography A, 1105*(1-2), 191-198. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.10.049

[41] Schönwitz, R., Lohwasser, K., Kloos, M., & Ziegler, H. (1990). Seasonal variation in the monoterpenes in needles of *Picea abies* (L.) Karst. *Trees, 4*, 34-40. https://doi.org/10.1007/BF00226238

[42] Rudloff, E. V. (1972). Seasonal variation in the composition of the volatile oil of the leaves, buds, and twigs of white spruce (*Picea glauca*). *Canadian Journal of Botany, 50*(7), 1595-1603. https://doi.org/10.1139/b72-195

[43] Rudloff, E. V. (1975). Seasonal variation in the terpenes of the foliage of black spruce. *Phytochemistry, 14*(8), 1695-1699. https://doi.org/10.1016/0031-9422(75)85276-9

[44] Kelsey, R. G., & Locken, L. J. (1987). Phytotoxic properties of cnicin, a sesquiterpene lactone from *Centaurea maculosa* (spotted knapweed). *Journal of Chemical Ecology, 13*, 19-33. https://doi.org/10.1007/BF01020348

E-ISSN: 2564-7873

[45] Threlfall, D., & Whitehead, I. M. (1991). Terpenoid phytoalexins: aspects of biosynthesis, catabolism, and regulation. In J. B. Harborne, F. A. Tomas-Barberan, *Ecological Chemistry and Biochemistry of Plant Terpenoids*, Oxford Science Publications, Oxford, (pp. 159–208). https://www.gbv.de/dms/bs/toc/01603936X.pdf

[46] Steele, C. L., Katoh, S., Bohlmann, J., & Croteau, R. (1998). Regulation of oleoresinosis in grand fir (*Abies grandis*) differential transcriptional control of monoterpene, sesquiterpene, and diterpene synthase genes in response to wounding. *Plant Physiology, 116*(4), 1497-1504. https://doi.org/10.1104/pp.116.4.1497

[47] Semiz, G., Erbilgin, N., & Holopainen, J. K. (2017). *Hylobius abietis* L. feeding on the novel host *Pinus brutia* Ten. increases emission of volatile organic compounds, *Journal of Applied Entomology, 141*: 133–140. https://doi.org/10.1111/jen.12310

[48] Semiz, G., Blande, J., Heijari, J., Isik, K., Niinemets, Ü., & Holopainen, J. K. (2011). Manipulation of VOC emissions with methyl jasmonate and carrageenan in evergreen conifer *Pinus sylvestris* and evergreen broadleaf *Quercus ilex*. *Plant Biology*, 14 (Suppl. 1): 57-65. https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2011.00485.x