

**T.C.**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

**FISTIK ÇAMI (*Pinus pinea* L.) İBRE YAPRAKLARINDA  
TERPEN KONSANTRASYONUNUN ZAMANA BAĞLI  
DEĞİŞİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MERVE KAYA**

**DENİZLİ, MAYIS 2021**

**T.C.**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**



**FISTIK ÇAMI (*Pinus pinea* L.) İBRE YAPRAKLARINDA  
TERPEN KONSANTRASYONUNUN ZAMANA BAĞLI  
DEĞİŞİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MERVE KAYA**

**DENİZLİ, MAYIS 2021**

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 2019FEBE049 nolu proje ile desteklenmiştir.**

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

**Merve KAYA**

## ÖZET

### FISTIK ÇAMI (*Pinus pinea* L.) İBRE YAPRAKLARINDA TERPEN KONSANTRASYONUNUN ZAMANA BAĞLI DEĞİŞİMİ

#### YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERVE KAYA

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. GÜRKAN SEMİZ)

DENİZLİ, MAYIS - 2021

Türkiye’de doğal yayılış gösteren beş çam türünden bir olan Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.), tohumu yenilebilir özellikte, ekonomik açıdan yüksek değere sahip ve ayrıca peyzaj alanlarında sıkça kullanılan bir çam türüdür. Fıstıkçamı, 20 metreye kadar boylanabilen, dağınık tepe tacına sahip, 4-5 metre kazık kök yapabilen, yaşam süresi yaklaşık yüzyıl olan bir ağaçtır. Tıpkı diğer bitkiler gibi fıstıkçamı da abiyotik ve biyotik çevre şartlarına karşı çeşitli kimyasallar üretir. Üretilen bu kimyasalların en yaygın olanları terpen türevli bileşiklerdir. Bu çalışmanın amacı, mevsimsel değişikliklerin fıstıkçamı terpen konsantrasyonu üzerindeki etkilerin araştırılmasıdır. Bu amaçla Pamukkale Üniversitesi (Denizli) Kampüs alanından ve Bergama-Kozak (İzmir) bölgelerinden bireyler seçilmiş ve belirlenen ağaçlardan ibre örnekleri alınmıştır. İbreler, bir yılı kapsayacak şekilde her ay örneklenmiştir. Toplanan ibre örneklerinin içermiş olduğu terpen miktarı GC-MS analizleri ile incelenmiştir. Terpen miktarlarının zamana bağlı değişimleri R programı kullanılarak istatistiksel olarak incelenmiştir. Çalışmada sonuç olarak; fıstıkçamı ibre yapraklarında limonene,  $\alpha$ -pinene ve camphene miktarları arasında mevsimsel değişikliklere bağlı olarak istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur.

**ANAHTAR KELİMELEER:** *Pinus pinea*, terpen, mevsimsel varyasyon, ibre yaprak

## **ABSTRACT**

### **TEMPORAL VARIATION IN TERPENE CONCENTRATION OF THE**

#### ***Pinus pinea* L. NEEDLES**

**MSc THESIS**

**MERVE KAYA**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**BIOLOGY**

**(SUPERVISOR: PROF. DR. GURKAN SEMİZ)**

**DENİZLİ, MAY 2021**

*Pinus pinea* L., is one of the five natural pine species distributed in Turkey. The species has edible seeds, high economic value and it is also used for landscape purposes. *P. pinea* grows up to 20 meters, makes 4-5 meters taproot, has a broad and flat crown and it can live up to a hundred years. *P. pinea* also produces various chemicals in response to abiotic and biotic factors. The most common of these chemicals are terpene compounds. The aim of this study was to investigate the effects of seasonal changes of terpene concentration in *P. pinea*. For this purpose, the trees were randomly selected from Pamukkale University Campus and Bergama-Kozak region in İzmir. The sample collection conducted every month to investigate seasonal terpene variation. The amount of terpene compounds in the needles was determined by GC-MS analyzes. The variations among the concentration of terpene compounds due to seasonality were analyzed using the R program. The results revealed statistically significant differences between the limonene,  $\alpha$ -pinene, and camphene compounds.

**KEYWORDS:** *Pinus pinea*, terpenes, seasonal variation, needles

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ.....	v
SEMBOL LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 Fıstıkçamının Genel Özellikleri.....	3
2.1.1 Fıstıkçamının Dünya’da ve Türkiye’deki Yayılışı.....	5
2.1.2 Fıstıkçamının Biyolojisi ve Taksonomisi.....	6
2.2 Terpenler.....	7
2.3 Koniferlerin Kimyasal Savunmasında Terpen Türevli Bileşikler.....	12
2.4 Çalışmanın Amacı.....	12
3. YÖNTEM.....	14
3.1 Çalışma Alanı ve Örnekleme.....	14
3.2 Örneklerin Ekstraksiyonu ve Terpen Analizleri.....	14
3.3 İstatistiksel Analizler.....	16
4. BULGULAR.....	17
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	25
6. KAYNAKLAR.....	31
7. ÖZGEÇMİŞ.....	43

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: <i>Pinus</i> L. cinsinin global dağılımı ve tür zenginliği .....	4
Şekil 2.2: Fıstıkçamının Dünya üzerindeki yayılışı.....	5
Şekil 2.3: Fıstıkçamının Türkiyede'ki yayılışı .....	6
Şekil 2.4: Fıstıkçamının habitusu .....	7
Şekil 2.5: İzopren molekülü.....	9
Şekil 2.6: İzopren birimi ve bazı terpenoid birimlerin kimyasal yapıları.....	11
Şekil 3.1: Pamukkale Üniversitesi Kınıklı yerleşkesi ve Bergama-Kozak yöresinden toplanan <i>P. pinea</i> örneklerinin laboratuvar ortamındaki işlem aşamaları.....	15
Şekil 4.1: Kampüs örneklerine ait toplam terpen konsantrasyonunun aylara göre olan değişimi .....	18
Şekil 4.2: Bergama örneklerine ait toplam terpen konsantrasyonunun aylara göre olan değişimi .....	19
Şekil 4.3: Kampüs ve Bergama örneklemelerine ait $\alpha$ -pinene bileşiğinin aylara göre değişimi .....	19
Şekil 4.4: Kampüs ve Bergama örneklemelerine ait camphene bileşiğinin aylara göre değişimi. ....	20
Şekil 4.5: Kampüs ve Bergama örneklemelerine ait limonene bileşiğinin aylara göre değişimi .....	20
Şekil 4.6: Kampüs örneklerine ait mono- ve seskuiterpen bileşikleri arasındaki korelasyon ilişkisi.....	23
Şekil 4.7: Bergama örneklerine ait mono- ve seskuiterpen bileşikleri arasındaki korelasyon ilişkisi.....	24



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1:</b> Terpen grupları ve bu grupların izopren birim sayısı ve karbon atomu sayısı bakımından karşılaştırılması .....	9
<b>Tablo 3.1:</b> Kampüs ve Bergama lokalitelerinde ANOVA sonuçlarına göre farklı bulunan $\alpha$ -pinene, camphene, limonene bileşiklerinin aylara göre değişimi. ....	21

## SEMBOL LİSTESİ

<b>ha</b>	: Hektar (10.000 m <sup>2</sup> )
<b>C<sub>10</sub></b>	: On karbonlu
<b>C<sub>15</sub></b>	: Onbeş karbonlu
<b>C<sub>20</sub></b>	: Yirmi karbonlu
<b>GC-MS</b>	: Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi
<b>OGM</b>	: Orman Genel Müdürlüğü
<b>İng.</b>	: İngilizce
<b>SPSS</b>	: Statistical Package for Social Sciences
<b>fw</b>	: Yaş ağırlık
<b>vb.</b>	: Ve benzeri
<b>N/A</b>	: Ölçülemeyen değer
<b>RT</b>	: Alıkonma süresi
<b>SE</b>	: Standart hata
<b>SD</b>	: Standart sapma
<b>gr</b>	: Gram
<b>µgr</b>	: Mikrogram
<b>dk</b>	: Dakika
<b>HP5</b>	: (%5-fenil)-metilpolisiloksan polar olmayan bir kolon
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>ml</b>	: Mililitre
<b>µgr</b>	: Mikrogram
<b>C°</b>	: santigrad derece
<b>dk</b>	: dakika

<b><math>\alpha</math></b>	: alfa
<b><math>\beta</math></b>	: beta
<b>~</b>	: yaklaşık
<b>%</b>	: yüzde
<b>cm</b>	: santimetre

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının konusunun belirlenmesi, araştırılması için beni yönlendiren, çalışma boyunca eşsiz bilgi birikimini ve tecrübesini aktaran ve karşılaştığım her zorlukta bana yardımlarını esirgemeyen, hayatımda daima örnek alacağım saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Gürkan SEMİZ'e, çalışmalarım esnasında istatistiki konuda beni bilgilendiren ve yardımlarını unutmayacağım sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Gürçay Kıvanç AKYILDIZ'a, çalışma süresi boyunca arazi çalışmalarında ve laboratuvar çalışmalarında yardımları ile teknik konularda desteğini esirgemeyen pozitif enerjileri ile daima yanımda olan Arş. Gör. Batıkan GÜNAL'a ve Arş. Gör. Kübra KOCABIYIK'a, saha çalışmalarına yıl boyunca destek veren Bergama İşletme Müdürlüğüne bağlı Kozak İşletme Şefliği çalışanlarından işletme şefi Sayın Mehtap YILDIRIM'a ve çalışanlarına ve son olarak çalışmamın her aşamasında gerek maddi gerek manevi desteğini esirgemeyen çok değerli eşime, anneme, babama, kardeşime ve oğluma sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca, tez çalışmasını maddi yönden destekleyen Pamukkale Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

## 1. GİRİŞ

Orman denilen kavramın tam olarak ortaya konulabilemesi için birçok bilim dalı tarafından değişik tanımlamalar yapılmıştır. Ülkemiz ormancılığında önemli katkıları bulunan Alman bilim insanı Prof. Dr. Bernhard (1935) orman kavramını, “Orman; ağaç ve ağaççıklarla örtülü alanları, kısmen ve tamamen ağaç ve ağaççıklarla çevrili bulunan boşlukları ve ormana bitişik olan boş arazileri kapsar.” şeklinde tanımlamıştır. Silvikültürel açıdan bir başka orman tanımı ise şöyledir; “Belli yükseklikteki ve şekildeki ağaçların, belli bir arazi parçası üzerinde belli sıklıkta birleşerek bir vejetasyon tipi ve bitki formasyonu oluşturmasıdır” (Dengler 1944). Orman botaniği açısından bir başka tanımlama yapan Aytuğ (1976), “Oldukça geniş bir alanda, kendine özgü iklim yaratabilen, belirli yükseklik, yapı ve sıklıktaki ağaçların, ağaççık, çalı ve otsu bitkilerin, yosun, eğrelti ve mantarların, toprakaltı ve üstünde yaşayan mikroorganizmaların ve de çeşitli böcek ve hayvanların, orman toprağı ile birlikte oluşturduğu hayat birliğine orman denir.” demiştir. Yine orman ekolojisi alanında da çeşitli orman tanımlamaları mevcuttur; “Oldukça sık, bir arada büyüyen, olgunluk çağında 8 metrenin üzerinde boylanan ağaçların meydana getirdiği geniş alanları kaplayan odunsu bitki topluluğudur” (Çepel 1995).

Canlıların temel ihtiyaçlarını karşılayabilmesi açısından ormanlık alanların sürdürülebilirliği önemlidir. Biyoçeşitliliğin temeli olan ormanlar; ekolojik ve sosyal yaşamın temel kaynağını da oluşturmaktadır. Ülkemizde toplam 22,342.935 ha alan kaplayan ormanlar, 19,619.718 ha kuru ve 2,723.217 ha baltalık şeklinde meşcereler oluşturmaktadır (OGM 2015). Ülkemizdeki orman alanlarının %48’ini ibrelili türler, %33’ünü yapraklı türler ve %19’unu ise ibrelili ve yapraklı tür birliktelikleri oluşturmaktadır. Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) ülkemizde, orman varlığımızın %0,72’sini (~162 bin ha) oluşturmaktadır (OGM 2015). Fıstıkçamı; ağaçlandırma sahalarında, rekreasyon alanlarında yaygın olarak kullanıldığı gibi bunun dışında ekonomik açıdan önemli geçim kaynağı olan bir kozalağı sahiptir. Fıstık çamı yetiştiriciliğinin en büyük geliri kozalak içerisinde yer alan fıstığı, diğer adı ile künardır. Tohum kabukları yakacak olarak, odunu ise mobilya sanayinde veya yakacak olarak değerlendirilir. Çam kozalaklarından öğütülerek yonga levha üretiminde alternatif bir malzeme olarak da yararlanılabilmektedir. Otomotiv

sektöründe kullanılan balatalarda değişik özellikler kazandırmak amacıyla çam kozalak tozu katkılı otomotiv fren balatası üretim çalışmaları yapılmaktadır. Fıstık çamları dekoratif tepe yapısı nedeniyle, bir peyzaj elemanı olarak park ve bahçelerde sıkça tercih edilmektedir (OGM 2015).

Çevreleri ile sürekli etkileşim içerisinde olan bitkiler, herbivorlara karşı kendilerini savunmak ve çevresel koşullara adaptasyon için bazı stratejiler geliştirmişlerdir. Bitkiler bu savunma ve adaptasyon stratejileri için terpen türevli bileşikler kullanmaktadır (Turlings ve Wackers 2004). Sekonder metabolit olarak da adlandırılan terpen türevli bileşikler, herbivorun gelişimini sınırlamakta, beslenmesini engellemekte ve herbivorun predatörlerini cezbederek popülasyonlarının azalmasına neden olabilmektedir. Koniferler tarafından üretilen reçinenin bileşimi bahsedilen savunma stratejilerinde büyük bir role sahip olan terpen türevli bileşiklerden oluşmaktadır. Bu bileşikler; monoterpen, seskuiterpen (uçucu özellik gösteren) ve diterpenlerden (uçucu özellik göstermeyen) oluşmaktadır (Michelozzi 1999). Bitkinin çeşitli organlarında üretilen bu bileşikler bitkide her daim bulunabilmekte ya da bir tehlike anında salgılanabilmektedir. Primer zararlıların tehlikesi dolayısıyla üretilmiş olan bazı terpen türevli bileşikler, sekonder zararlılar için cezbedici bir özellik gösterebilir. Böcekler; beslenme, yumurta bırakma ve korunma gibi yaşamsal ihtiyaçlarını karşılayabilmek için bitkilerden salınan bu bileşikler takip ederler ve konukçu tercihinde bulunurlar (Kansu 2005).

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Fıstıkçamının Genel Özellikleri

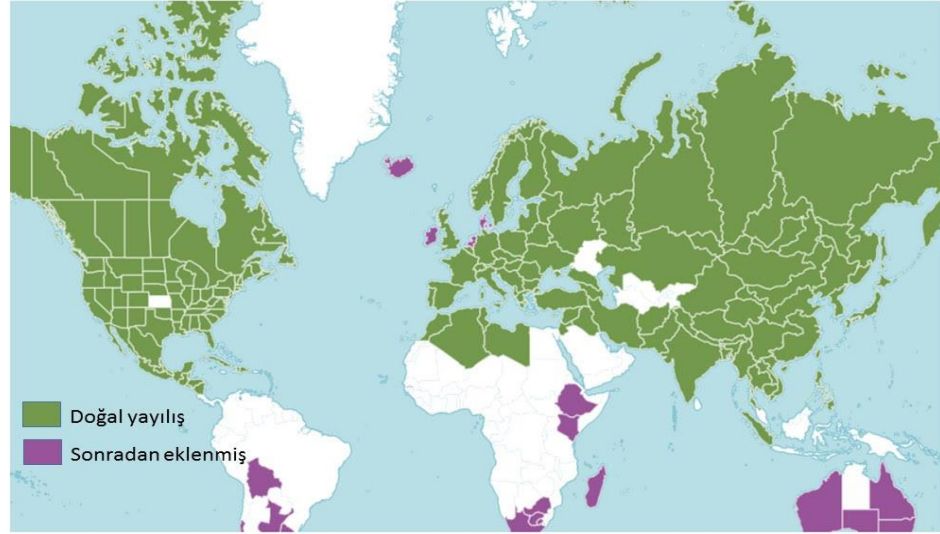
Günümüzde kozalaklılar (Coniferophyta) yaşayan gymnospermlerin en büyük ve en çeşitli alt bölümüdür. Ginkgoopsida ve Pinopsida olmak üzere iki sınıf içerirler (Kramer ve Green 1990). Ginkgoopsida, yaşayan tek temsilcisi *Ginkgo biloba* L. olan tek bir familya (Ginkgoaceae) ile sınırlıdır. Pinopsida 9 familyayı kapsar, bu familyalar Taxaceae, Cephalotaxaceae Phyllocladaceae, Podocarpaceae, Araucariaceae, Sciadopityaceae, Cupressaceae, Taxodiaceae ve Pinaceae şeklindedir (Page 1990). Pinaceae familyası, fitocoğrafik dağılımı, biyokütlesi, tür sayısı ve ekonomik önemi düşünüldüğünde Kuzey Yarımküre'deki en önemli kozalaklı gruptur.

Pinaceae familyasında kabul edilen toplam 11 cins bulunur: *Abies*, *Cathaya*, *Cedrus*, *Keteleeria*, *Larix*, *Nothotsuga*, *Picea*, *Pinus*, *Pseudolarix*, *Pseudotsuga* ve *Tsuga* (Ran ve diğ. 2018). Bu cinsler arasında, *Pinus* en büyük ve en heteromorfik cinstir, sadece Kuzey Yarımküre'de dağılmıştır (İstisnai durum: *P. merkusii*'nin kuzey Sumatra'da ekvatoru geçtiği bilinmektedir). Bu cins, ekolojik olarak çok yönlüdür, Avrasya'daki tundra hattından Nikaragua'daki tropikal kıyı savanlarına ve Pasifik kıyısının tuz püskürtme bölgesinden Avrupa ve batı ABD'deki dağ ağaçlarına kadar uzanır (Farjon 1998). Bazı türler de yarı kurak bölgelerde (örneğin güneybatı Amerika Birleşik Devletleri ve Meksika) geniş bir şekilde dağılmıştır.

Shaw (1964), cinsi *Haploxyton* (iğnelerde sadece bir fibrovasküler demet ile) ve *Diploxyton* (iki fibrovasküler demet ile) olmak üzere iki alt gruba ayırmayı önermiştir. İlk alt cins (*Strobus*, "yumuşak çamlar"), fasikül başına beş ibre bulunduran Asya ve Kuzey Amerika çamlarını içerirken, ikinci alt cins (*Pinus*, "sert çamlar") fasikül başına üç veya iki ibre taşıyan Orta Avrupa ve Akdeniz bölgesi dahil tüm Paleartik bölge çamlarını içerir (Shaw 1964).

*Pinus* cinsi, gen dizisine dayalı olarak filogenetik ilişkileri en detaylı şekilde araştırılan kozalaklı ağaç türlerinden birisidir. Bu bağlamda karşılaştırmalı morfoloji ve bazı kladistik analizler de dahil olmak üzere bu cins üzerinde kapsamlı çalışmalar

yapılmıştır. Sonuç olarak, *Pinus* cinsinin doğal olarak iki alt cinsle bölündüğü tespit edilmiştir (Farjon 2017).



**Şekil 2.1:** *Pinus* L. cinsinin global dağılımı ve tür zenginliği (POWO 2017)

*Pinus* cinsinin global dağılımına baktığımızda Kuzey Amerika'da; Yukon'dan Newfoundland adasına, güneydoğuda ise Alaska ve Britanya Kolombiyası'na, güneyde ise Meksika ve Orta Amerika'dan Nikaragua'ya; doğuda ve güneydoğuda Amerika'dan Florida'ya; ayrıca Bahamalar, Karayipler'de (Küba, Hispaniola adası) yayılış yaptığını; Avrasya'da ise (Kuzey Afrika); Fas ve Cezayir'deki Atlas Dağlarına; İber Yarımadası'ndan güney ve orta Avrupa'ya, doğu Avrupa'da Türkiye'de, Kafkaslar'da, Suriye'de ve Lübnan'da doğal olarak yayılış yaptığını, ayrıca İskoçya; İskandinavya'dan Rusya ve Sibirya'ya, Kamçatka ve Sachalin adasına kadar uzandığını ve Çin-Himalaya dağ sistemi, Çin, Japonya, Tayvan, Çinhindi'den kuzey Sumatera adası ile son olarakta Filipinler'de de doğal meşcereler kurdukları tespit edilmiştir (Şekil 2.1). Yapılan son araştırmalar sonucunda da koniferlerin (~630 tür) büyük bir kısmını oluşturan *Pinus* cinsi dünya genelinde 118 türle temsil edildiği tespit edilmiştir (POWO 2017).

Ülkemizde fıstıkçamı, deniz seviyesi ile 1010 metre rakımlar arasında yayılış göstermektedir. Deniz seviyesinde sayılabilecek yayılış yaptığı alanlar; Antalya-Belek, Bartın-Çakraz ve Gemlik-Fıstıklı köyüdür. Deniz seviyesinden en uzak çıkabildiği yer de Gördes'tir (Yalıtırık 1993). Eğimli arazilerde genel olarak güneyli bakıları tercih ederler ama kuzeyli bakılarda da 700 metrelere kadar çıktıkları



olmuştur. Fıstıkçamı, akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü alanlarda doğal olarak meşcere kurabilmektedirler. Yıllık ortalama yağış istekleri 635,7-1288,1 mm'dir. Yıllık ortalama sıcaklık istekleri 11,4-18,7 °C'dir. Yetiştirebildikleri alanda ortalama nisbi nem oranı %58-80 arasındadır. Yaşayabildikleri en yüksek sıcaklıklar 35-44,6°C, en düşük sıcaklıklar -4,6 ile -13°C arasındadır. Kuzey rüzgârlarından olumsuz olarak etkilenirler (Kılıcı ve diğ. 2014).

Toprak şartları açısından serin, kumlu ve gevşek topraklarda daha iyi geliştiği ancak fazla killi ve taban suyu yüksek toprakları tercih etmediği gözlemlenmiştir (Fırat 1943). Yayılış yaptığı alanlarda toprak ana kaya yapısı genellikle granit, grays, mikaşist, volkan tüfü ve kuvarsit üzerindedir. Bu ana kaya çeşitlerinin parçalandıkça orta kaba bünyeli topraklara dönüştüğü görülmüştür. Fıstıkçamlarının pH'sı hafif asidik-nötr olan toprakları tercih ettikleri saptanmıştır (Kılıcı ve diğ. 2000).

### 2.1.1 Fıstıkçamının Dünya'da ve Türkiye'deki Yayılışı

Fıstıkçamının dünyada doğal olarak yayılış yaptığı ülkeler; akdeniz iklimi etkisi altında yer alan Portekiz, İspanya, İtalya, Fransa, Arnavutluk, Kıbrıs, Yunanistan, Türkiye ve Suriye'dir. Akdeniz iklimi etkisi altında kalan Lauretum kısmen de Castanetum orman zonlarının asli ağaç türlerinden biridir (Fırat 1943).



**Şekil 2.2:** Fıstıkçamının Dünya üzerindeki yayılışı (<https://www.discoverlife.org/>)

Yurdumuzda Bergama-Kozak, Aydın-Koçarlı-Mazon Bölgesi, Çine-Topçam, Bozdoğan-Altıntaş, İzmir-Menderes Küner Köyü, Karpuzlu, Muğla-Katrancı Köyü, Antalya-Manavgat-Belek, Maraş-Önsan Köyü, Trabzon-Kalenima Deresi,

Çanakkale-Radar Mevkii, Manisa-Gördes, Çoruh vadisinde Fıstıklı Köyü, Bartın-İnpiri Köyü'nde doğal olarak bulunmaktadır (Fırat 1943, Kayacık 1957, Selçuk 1964, Gökmen 1970).

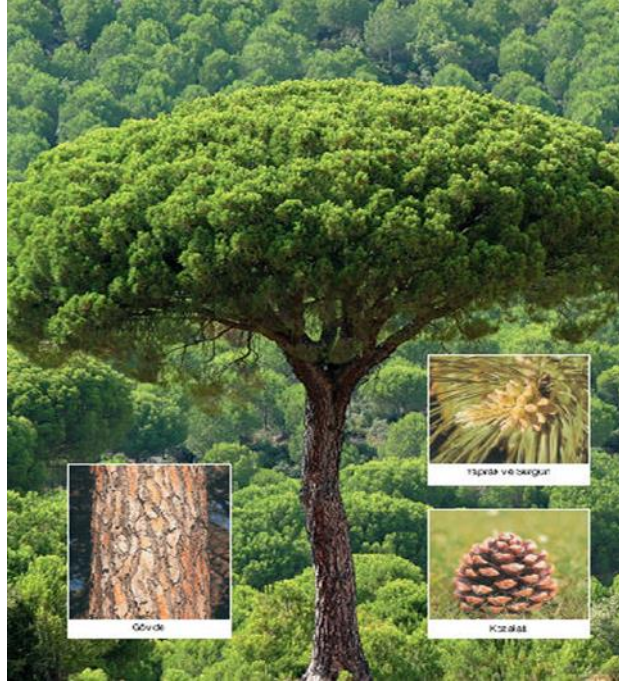


**Şekil 2.3:** Fıstıkçamının Türkiye'deki yayılışı (Kılıcı ve diğ. 2013)

Fıstıkçamı eğimin olmadığı ya da az eğimli arazilerde deniz seviyesi ile 980 metre arasında yayılış yapabilmekte ve deniz seviyesinden yaklaşık 110 metre kadar içeriye sokulabildiği görülmüştür (Sayman ve diğ. 2006). Doğu Akdeniz'de 1400 metre ve kuzey Akdeniz'de ise yaklaşık 600 metrelere kadar çıktığı tespit edilmiştir (Fady ve diğ. 2004).

### 2.1.2 Fıstıkçamının Biyolojisi ve Taksonomisi

Fıstıkçamının tozlaşması rüzgâr ile gerçekleşmektedir. Bu türün çiçekleri diklin ve bireyleri monoiktir. 20-25 metre arası boy yapabilen şemsiye görünlü bir ağaç türüdür. Gövde yapısı genç yaşlarda pulsu, kahverengi-kırmızı iken yaşlandıkça kırmızımtırak gri renkli kalın kabuklu ve derin çatlaklı bir görünüm alır. 7-20 mm büyüklüğünde reçinesiz tomurcukları yumurta şeklindedir. Sürgünler gençken koyu yeşil, yaşlandıkça sarımtırak kahverengi rengini almaktadır (Kayacık 1980, Anşin ve Özkan 1993, Yaltırık 1993). İbreler parlak olup 10-20 cm uzunluğundadır. İbrelerin uçları sivri ve kenarları dişlidir. İğne yapraklarının dip kısımlarından “kın” adlı bir yapı bulunur. Kın; 10-12 mm uzunluğunda ve rengi açık sarı-esmerdir (Sarıbaş 2008).



**Şekil 2.4:** Fıstıkçamının habitusu

Stoma çizgisi yaprakların her iki yüzünde de bulunur. Erkek çiçekler silindirik şekilde ve uzundur. Dişi çiçekler ise terminal durumludur. Kozalaklar sürgüne hemen oturmuş şekilde olup kısa saplıdır ve 8-12 cm uzunluğundadır. Kozalakların olgunlaşma süresi 3 yıldır. Kozalak pulları oval ve simetrik şekilde olup parlak kahverengidir. Kozalağın ortalama ağırlığı 100-400 gr arası değişmektedir. Kozalağın içinde yer alan tohumlar 1,5-2 cm büyüklüğünde, kanat kısmı ince, üst yüzeyi moromsu-kahverengi bir toz ile kaplanmış haldedir (Anşin ve Özkan 1993, Yaltrık 1993).

## 2.2 Terpenler

Kozalaklı ağaçlar geniş bir spektrumda yaşayan uzun ömürlü canlılardır. Hayatta kalabilmek ve yaşadıkları ortama uyum sağlayabilmek için birçok kimyasal bileşik sentezlerler. Bitkiler tarafından sentezlenen önemli bileşik grubu sekonder metabolitlerdir. Bu bileşiklerden bazıları doğrudan etkileri olmasa da büyüme ve gelişmede, bazıları ise stres faktörlerine karşı bitki savunmasında önemli rol oynar (Bartwal ve diğ. 2013).

Terpenler, bitki sınıfının en büyük ve en çeşitli sınıfını temsil eden sekonder metabolitlerdir. Hemen hemen her bitkide bulunurlar (Turtola 2005). İğne yapraklılar çok çeşitli terpen bileşimlerinin sentezini yaparlar ve bu bileşikler, türler arasında bile değişimler gösterebilmektedirler (Keeling ve Bohlmann 2006). Bazı bitkiler patojen ve herbivorlara karşı savunma mekanizması olarak ürettikleri bu bileşikleri reçine kanalları ve reçine kapsülleri içinde depolayabilmektedir. Bazı bitkiler ise bu bileşikleri biyosentezleri tamamlandıktan sonra anında emisyonla doğaya bırakır (Blanch ve diğ. 2009).

Kozalaklı türler genellikle terpeni depolarlar. Bazen de izoprenler veya monoterpenler şeklinde ortama yayarlar (Copolovici ve Niinemets 2016). Sekonder metabolitler bitkilerin çevrelerinde karşılaştıkları stres şartlarını atlattıklarında önemli roller oynar. Terpen üretimi miktarının bazı stres koşulları altında artabileceği ya da azalabileceği görülmüştür (Copolovici ve Niinemets 2016). Terpen profilleri tür içinde hatta bireysel olarak bile farklılık gösterebilmektedir (Komenda ve Koppmann 2002). Coğrafi olarak farklı alanlardaki populasyonlarda terpen bileşimleri farklılık gösterir. Örneğin sahil kesimleri ile kısmen iç kesimlerde yaşayan bitkilerde mevcut terpen bileşiklerinin farklılıklar gösterdiği ortaya konmuştur (Pureswaran ve diğ. 2004).

Çevresel veya mevsimsel uyarıların neden olduğu terpenlerin dağılım modelindeki varyasyon, ağaç kemotipine bağlı olarak değişebilir, bu da genetik olarak farklı ağaçların çevresel strese farklı yanıtlar verebildikleri görülmüştür (Arrabal ve diğ. 2013). Bitkilerin savunma mekanizmaları yapısal olarak kendi bünyelerinde mevcuttur. Stres faktörlerinin neden olduğu savunma sistemleri, terpenlerin kozalaklı ağaçlarda evrimsel başarılarına katkıda bulunduğunu göstermiştir (Celedon ve Bohlmann 2019). Kozalaklı ağaçlardaki en tipik savunma mekanizmalarından biri, uçucu ve uçucu olmayan terpenoidlerin (monoterpenoidler, neredeyse eşit miktarlarda diterpenoidler ve biraz daha az seskiterpenoidler) kompleks, hoş kokulu bir karışımı olan oleoresin ile ilgili olduğu tespit edilmiştir (Keeling ve Bohlman 2006).

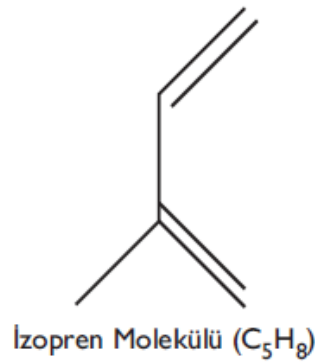
Terpenoidler doğal olarak oluşan kimyasallardır ve yaygın olarak tüm canlılarda bulunur. Genel olarak yapıları, izopren veya 2-metil-1,3-bütadien adı verilen beş karbonlu izopentil birimlerine dayanır. Bu beş üyeli yapısal birimler

genellikle "baştan kuyruğa" prensibine göre bağlanır; burada baş, izopentil biriminin dallanmış bir parçasıdır ve kuyruk, molekülün geri kalanıdır. Bazı terpenoidler sadece izopren birimlerden yapılır, diğerleri hidroksil, keton veya heterosiklik halkalar gibi ek fonksiyonel gruplar içermektedirler. Bitkilerdeki çok çeşitli metabolik yollar nedeniyle, bahsedilen maddelerden bazıları oksitlenebilir veya alkollerine, esterlerine, aldehytlere, ketonlarına ve epoksit analoglarına metabolize edilebilir ve ayrıca glikosidesterler oluşturabilir. (Connolly ve Hill 1991, Breitmaier 2006). Terpenler yapıları bakımından farklı gruplara ayrılır (Tablo 2.1).

**Tablo 2.1:** Terpen grupları ve bu grupların izopren birim sayısı ve karbon atomu sayısı bakımından karşılaştırılması

Terpen Grubu	İzopren Birim Sayısı	Karbon Atomu Sayısı
Monoterpenler	2	10
Seskuiterpenler	3	15
Diterpenler	4	20
Sesterpenler	5	25
Triterpenler	6	30
Tetraterpenler	8	40

Mevalonik asit yolu ve metileritritol fosfat yolu, terpenoid sentezinin iki ana yoludur. Bunlardan ilki mikrozomlar ve sitoplazmada, ikincisi ise kloroplastlarda gerçekleşir (Buhaescu ve Izzedine 2007, Tarkowska ve Strnad 2018).

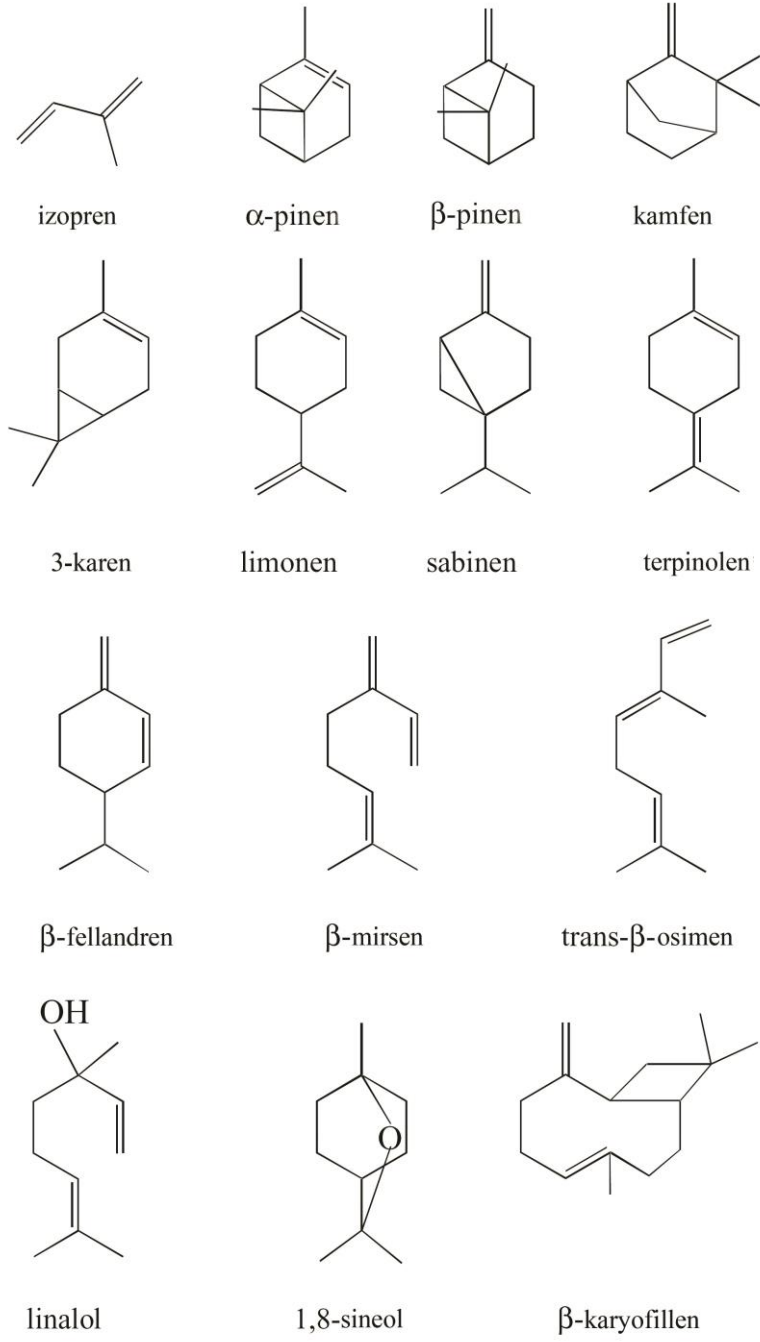


**Şekil 2.5:** İzopren molekülü

Uçucu ve keskin kokuları ile karakteristik bir özellik gösteren monoterpenlerin birçoğu yüksek yapılı bitkilerden üretilmektedir. İki izopren birimi ile monoterpenin iskeletini oluşturan geranil pirofosfattan oluşmuş bileşiklerdir. Monoterpenlerin bazı böceklerin feromonal salgılarında ve koruma amaçlı olarak bünyelerinde üretildikleri görülmüştür. Doğada, monoterpenler 35 farklı kimyasal yapıda bulunmaktadır. Doğal olarak saf formları bulunsada enantiyomer şekilde de görülmektedirler. Özellikle tüm *Pinus L.* türlerinde (+) ve (-)  $\alpha$ -pinene vardır (Robbers ve diğ. 1996). Esansiyel yağların %90'nı monoterpenler oluşturmaktadır ve bu bileşikler damıtılarak elde edilirler (Mammadov 2014).

Seskuiterpenler, üç izopren molekülünden meydana gelirler ve 15 karbonludur.  $C_{15}H_{24}$  genel formülleridir. Bitki eterik yağ ve balzamlarında bulunurlar. Birçoğu antibakteriyel özelliğe sahiptir (Mammadov 2014). Terpenlerin en yoğun olduğu ve en karmaşık olduğu sınıftır. Bu bileşiklerin birçoğu  $\alpha$ - ve  $\beta$ -doymamış karbonil grubu bulundurlar. Her izopren ünitesi çift bağ yapmaktadır ancak bir tanesi her parça bağlandığında kaybolma özelliği göstermektedir (Özer 2010).

Diterpenler, dört izopren molekülünden meydana gelir ve 20 karbon atomu içerirler. Kimyasal yapıları antibiyotiğe benzer davranış gösterirler (Özer 2010). Alkol ve fenolik yapıda bulunabilen bazı diterpenler doğal ortamlarda serbest olarak bulunamazlar. Diterpenler klorofilin yapısında da yer almaktadır (Mammadov 2014).



**Şekil 2.6:** İzopren birimi ve bazı terpenoid birimlerin kimyasal yapıları (Semiz 2009).

### 2.3 Koniferlerin Kimyasal Savunmasında Terpen Türevli Bileşikler

Yeryüzünün yaklaşık %80'ini kaplayan koniferler, ağaç formasyonunda ve oldukça uzun ömürlü bitkilerdir (Scagel 1965). Uygun fiziksel yapıları ve geniş yayılış alanları koniferleri, herbivorlar ve patojenler için potansiyel hedef haline getirmektedir (Kurz ve diğ. 2008). Koniferler, terpenoidlerin ve fenoliklerin bir karışımı olan reçinenin üreticileridirler (Michelozzi 1999). Terpenoidler, izopentenil pirofosfatla ortak bir biyosentetik kökene sahip olsalar da geniş yapısal ve fonksiyonel çeşitlilik gösteren en büyük bitki bileşikleri ailesidir (Dudareva ve diğ. 2004). Koniferlerin ürettiği reçinenin yaklaşık yarısı monoterpenlerden ( $C_{10}$ ) oluşurken, diğer yarısı diterpenlerden ( $C_{20}$ ) ve az miktarda seskuiterpenlerden ( $C_{15}$ ) oluşmaktadır. Bu terpenoid bileşiklerden monoterpenler ve seskuiterpenler uçucu özellik gösterirken, diterpenler uçucu özellik göstermemektedir (Michelozzi 1999). Koniferlerde, salınan terpenlerin miktarı bireyler arasında farklılık gösterebildiği gibi, aynı bireyden salınan terpen konsantrasyonu da mevsimsel olarak farklılık gösterebilmektedir (Staudt ve Bertin 1998). Uçucu özellikteki terpenoidler ve alkaloidler gibi diğer bazı sekonder metabolitler, herbivora ve patojenlere karşı birincil savunma kimyasalları olarak rol oynar (Baydar 2009). Yapılan çalışmalar sonucunda bitkilerin bu terpenoid bileşikleri, herbivor saldırısı ile karşılaştıklarında herbivoru uzaklaştırıcı olarak ya da zararlının doğal düşmanlarını davet etme amaçlı kullandığı bilinmektedir (Birgücü ve diğ. 2014).

### 2.4 Çalışmanın Amacı

Ormanlar; birçok canlı ve cansız etmeni içinde bulunduran, insanlar için ekonomik, ekolojik ve sosyal açıdan önemli olan doğal kaynaklarımızdır. İnsanoğlu için son derece önemli bir varlık olan ormanlar canlı ve cansız birçok etmenin tehdidi altındadır. Dünyamızda hızlı nüfus artışı, sanayileşme, kentleşme ve tüketim alışkanlıklarındaki hızlı değişim doğal kaynaklarımızın üzerindeki baskıyı arttırmaktadır (Sertkaya ve diğ. 2010).

Koniferler yüksek miktarlarda terpen ve benzeri madde üretirler. Üretilen bu bileşikler tür içinde bile büyük farklılıklar gösterebilmektedir (Tobolski ve Hanover 1971). Salgılanan bu bileşiklerin miktarlarının mevsimsel değişikliklere bağlı olarak



farklılık gösterdiği saptanmıştır (Nerg ve diğ. 1994; Willams ve diğ. 1994). Bu bileşiklerin bitkinin toprak altı ve toprak üstü bölümlerinde herhangi bir stres anında üretildiği bilinmektedir (Dudareva ve diğ. 2006).

Akışkan bir yapıya sahip olan terpenler Almanca “terpentin” kelimesinden gelmektedir (Croteau 1998). Keskin bir kokuya sahip olan terpenler, çamların reçinesi olarakta bilinmektedir (Breitmaier 2006). Terpenler genetik olarak kontrol edilebilmekle birlikte ağaç dokularının içinde de bulunurlar (Hiltunen ve diğ. 1975; Gref ve Tenow 1987; Baradat ve Yazdani 1988). Genetik kontrolü değiştiren birtakım etmenler bulunmaktadır. Bunlar abiyotik ve biyotik faktörlerdir. Örneğin; sıcaklık, kuraklık, ışık miktarı, herbivor baskısı ve hava kirliliğidir. (Gleizes ve diğ. 1980; Yazdani ve Nilsson 1986; Gref ve Tenow 1987; Hanover 1966, 1992; Kainulainen ve diğ. 1993, 1996; Tomlin ve diğ. 2000; Turtola ve diğ. 2003; Miller 2005).

Bu çalışmada, Pamukkale Üniversitesi Kınıklı Kampüsü ve Bergama Kozak Yaylası lokalitelerinde mevcut bulunan fıstıkçamlarının ibre yapraklarındaki terpen miktarlarının mevsimsel şartlara bağlı olarak göstermiş oldukları değişimlerin, ağacın biyolojisinin ve ekolojik parametrelerle olan ilişkisinin daha iyi anlaşılması amaçlanmıştır.

### 3. YÖNTEM

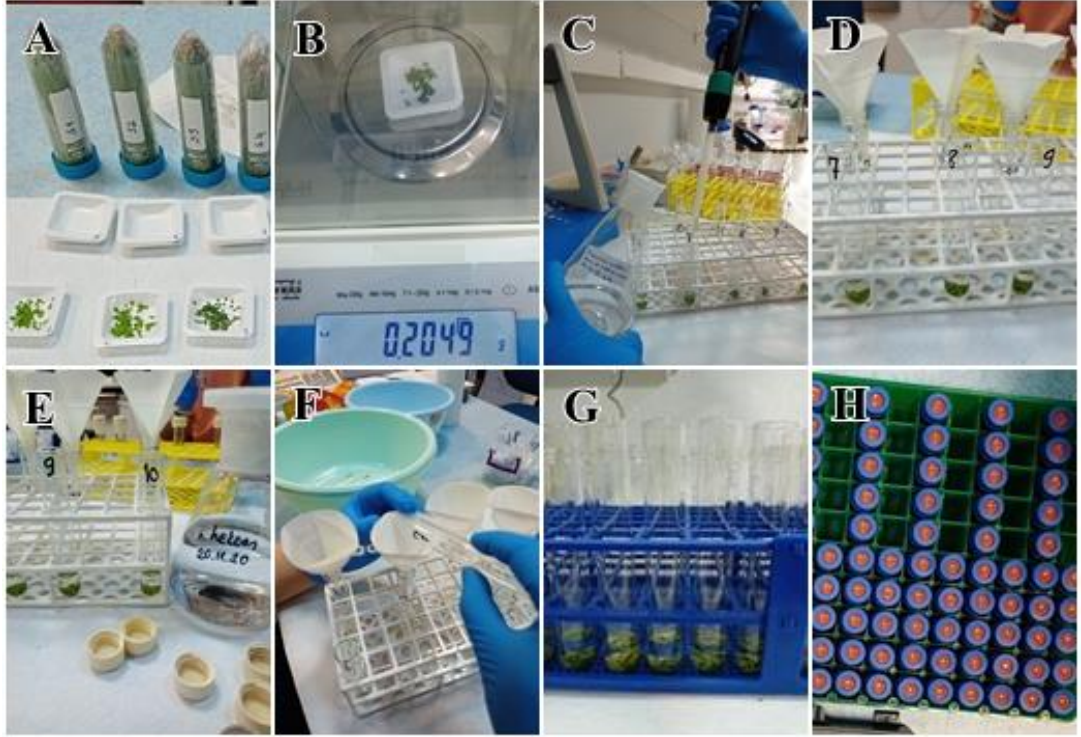
#### 3.1 Çalışma Alanı ve Örnekleme

Pamukkale Üniversitesi Kınıklı Kampüsü (Denizli) ve Kozak Yaylası'nda (İzmir/Bergama) bulunan alanlardaki ağaçlardan seçilmiş ve tüm yılı kapsayacak şekilde ibre yaprak örnekleme gerçekleştirilmiştir. Örneklemede ağaçların aynı bakıdaki ve benzer yüksekliklere sahip dallarında yer alan ibreler seçilmiştir. COVID-19 pandemisi nedeniyle tüm ülkemiz genelinde ve lokal olarak bazı bölgelerde daha katı kurallar şeklinde uygulanan kısıtlamalar kapsamında, Kozak Yaylası'na (Bergama) ait haziran ayı örnekleme uygulanan seyahat ve kapanma kısıtlamaları nedeniyle toplanamamış, diğer tüm aylara ait örnekleme (hem kampüs hem de Kozak Yaylası için) tüm yılı kapsayacak şekilde toplanmıştır. Saha çalışması ile toplanan örnekler arazide sıvı azot ortamına alınmış ve ivedi şekilde aynı gün içerisinde Pamukkale Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kimyasal Ekoloji Laboratuvarı'na getirilerek analizleri ve ekstraksiyonları yapılmaya dek -80° C'de muhafaza edilmiştir.

#### 3.2 Örneklerin Ekstraksiyonu ve Terpen Analizleri

Çalışmamız kapsamında yapılan tüm analizler Pamukkale Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kimyasal Ekoloji Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Düzenli olarak sahadan toplanarak -80° C'de bekletilen ibre yapraklar ekstraksiyon solüsyonu ile ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon solüsyonu şu şekilde hazırlanmıştır: 88 µl 1-chlorooctane (Sigma-aldrich Chemie GmbH, Fluka, EC No. 2093155) *n*-hekzan (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, 34859) ile 100 ml'ye tamamlanmıştır. Elde edilen standart solüsyon *n*-hekzan ile 1:20 oranında seyreltilerek ekstraksiyon solüsyonu elde edilmiştir (Manninen ve diğ. 2002). İbre yaprakları öncelikle bir makas yardımıyla küçük parçalara ayrılmıştır. Ardından bu parçalar hassas terazide yaklaşık 200 mgr olacak şekilde tartılarak deney tüplerine aktarılmıştır. Deney tüplerine aktarılan her örneğe 2 ml ekstraksiyon solüsyonu

eklenerek 1 saat oda sıcaklığında ekstrakte olması beklenmiştir. Bekleme süresi bittikten sonra numuneler *n*-hekzan ile nemlendirilmiş filtre kağıtlarından geçirilerek süzülmesi beklenmiştir. Kesilen ibre parçaları tüplerin içlerine 2 ml *n*-hekzan damlatılarak 2 dakika beklenip tekrar süzülmüştür ve sonra bu işlem bir kez daha tekrarlanmıştır. Ardından 1,5 ml'lik vida kapaklı tüpler içerisine alınan örneklerin ağzları sıkıca kapatılarak ve parafilmlemlenmiş ve buzdolabında (+4 °C) bekletilmiştir (Şekil 3.1). Bu işlemler alınan her örnek için tekrarlanmıştır.



**Şekil 3.1:** Pamukkale Üniversitesi Kınıklı yerleşkesi ve Bergama-Kozak yöresinden toplanan *P. pinea* örneklerinin laboratuvar ortamındaki işlem aşamaları (A: İbrelerin küçük parçalara ayrılması, B: İbre parçalarının tartılması, C,D,E,F,G: Ekstraksiyon ve süzme işlemleri, H: Özütün vial tüplere aktarılması)

Elde edilen ekstraktlar 1,5 ml'lik vial tüplere aktarılarak Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresinde (GC-MS, Agilent GC type 7820A, MSD 5975, Agilent, USA) okuma işlemleri yapılmıştır. Taşıyıcı gaz olarak helyum kullanılmıştır. GC-MS'te 30 mm uzunluğunda HP-5MS bir kapillar kolon kullanılmıştır. Sıcaklık artış hızı 5 °C/dk şeklinde programlanmıştır. Her bir terpen bileşiği kütle spektraları ve alıkonulma süreleri ile ilişkili olarak tanımlama yapılmıştır. Kalibrasyonlar (terpen miktarının belirlenmesi için), internal standardın (1-chlorooctane) bilinen mevcut

değerleri temel alınarak saf bileşiklerin değerleri üzerinden yapılmıştır. Çalışmaların ve analizlerin tamamı Pamukkale Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kimyasal Ekoloji Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

### 3.3 İstatistiksel Analizler

Tüm yılı kapsayacak şekilde her ay toplanmış olan örnekler için elde edilen monoterpen ve seskuiterpen verileri, R Core team (2020) programı yardımıyla analiz edilmiştir. Veri setinin homojenitesi ve normal dağılımının belirlenmesinin ardından bileşiklerin mevsimsel değişimini belirlemek adına Bağımsız *t*-testi ile İki Yönlü Anova testi uygulanmıştır. Güven aralığı  $P < 0,05$  olarak esas alınmıştır. Hazırlanan tüm şekil ve grafikler Microsoft Excel ve R Core team (2020) programında hazırlanmıştır.

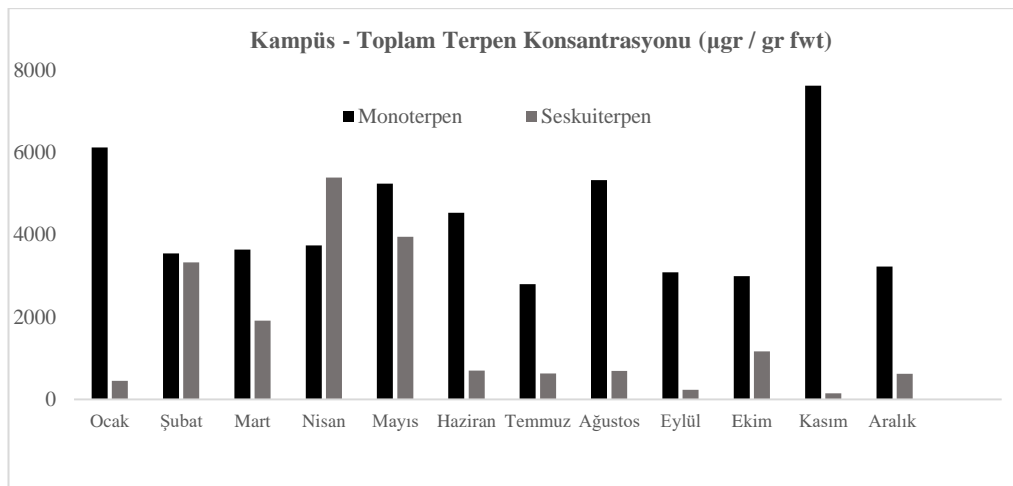
#### 4. BULGULAR

Bu çalışma; Bergama-Kozak Bölgesi ile Pamukkale Üniversitesi Kınıklı Kampüsü yerleşkesinden seçilmiş ağaçların ibrelerinden her ay olacak şekilde toplanmıştır. Toplanan ibrelere ait terpen miktarları istatistiksel olarak değerlendirilmiş, ortalama ve standart hata değerleri hesaplanmıştır. Analizler sonucunda Bergama-Kozak bölgesindeki fıstıkçamı ibre örneklerinde belirlenen toplam 19 bileşikten dokuz tanesinin monoterpen, on tanesinin ise seskuiterpen olduğu belirlenmiştir. Pamukkale Üniversitesi Kınıklı Kampüsü yerleşkesindeki örneklerde tespit edilen toplam 13 bileşikğin yedi tanesinin monoterpen, altı tanesinin ise seskuiterpen olduğu tespit edilmiştir. Bergama-Kozak bölgesindeki ağaçlarda görülen monoterpenler;  $\alpha$ -pinene, camphene,  $\beta$ -pinene, myrcene, limonene,  $\beta$ -ocymene,  $\alpha$ -terpinolene, linalool, bornyl acetate, seskuiterpenler ise; longifolene, trans- $\beta$ -caryophyllene,  $\alpha$ -humulene, germacrene-D, selinene, guaiene, caryophyllene oxide, guaial, eudesmol ve manoyl oxide olarak belirlenmiştir. Pamukkale Üniversitesi Kınıklı Kampüs yerleşkesindeki ağaçlara ait ibre yapraklarda belirlenen monoterpenler;  $\alpha$ -pinene, camphene,  $\beta$ -pinene, myrcene, limonene,  $\beta$ -ocymene, linalool ve seskuiterpenler ise; trans- $\beta$ -caryophyllene, germacrene-D, selinene, guaial, eudesmol ve manoyl oxide'dır.

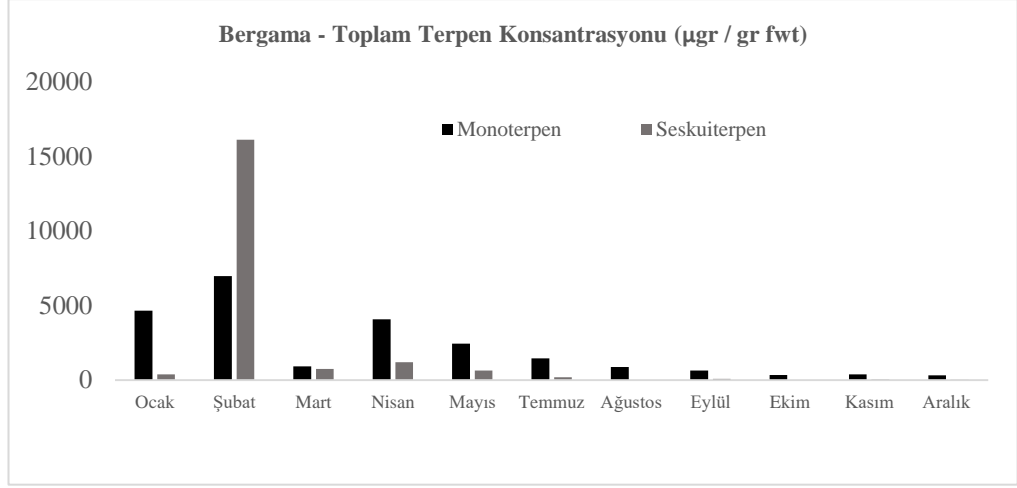
Çalışmamızda elde edilen bileşik değerleri, bağımsız *t*-testi ve iki yönlü Anova testi ile analiz edilmiştir. İki yönlü Anova testinde "additive model" göz önünde bulundurularak farklılıklar saptanmıştır. İbre örnekleri kendi içinde ayrı ayrı test edilmiştir. İki testin sonucunda *P* değerlerine bakılarak farklı aylarda toplanan ibre örneklerinde istatistiksel anlamda fark bulunmuştur. Kümülatif olarak ibre örneklerinde Kampüs ve Bergama örnekleri arasında *t*-testine göre istatistiksel olarak fark gösteren bileşikler;  $\alpha$ -pinene (*t*: -2,33, *P*=0,019), camphene (*t*:-5,61, *P*<0,001),  $\alpha$ -terpinol (*t*: 2,45, *P*=0,014), eudesmol (*t*: -4,769, *P*<0,001), limonene (*t*: -13,894, *P*<0,001), selinene (*t*: -2,8334, *P*<0,001), trans- $\beta$ -ocimene (*t*: -2,8007, *P*<0,001), bornyl acetate (*t*: 3,98, *P*<0,001), caryophyllene oxide (*t*: 4,00, *P*<0,001), germacrene-D (*t*: 3,62, *P*<0,001), guaiene (*t*: 2,31, *P*=0,021),  $\alpha$ -humulene (*t*: 2,93, *P*<0,001) ve longifolene (*t*: 2,33, *P*=0,019) olarak bulunmuştur. İbre içeriklerine göre Kampüs ve Bergama örneklemeleri arasında aylar bazında *t*-testi sonuçlarına göre farklılar ise şu şekilde bulunmuştur:  $t_{\alpha\text{-pinene-mayıs}}$ : -3,921, *P*<0,001;  $t_{\alpha\text{-pinene-haziran}}$ : -

2,68,  $P<0,01$ ;  $t_{camphene-ocak}$ : -5,43,  $P<0,001$ ;  $t_{camphene-nisan}$ : -2,38,  $P=0,031$ ;  $t_{udesmol-nisan}$ : -10,31,  $P<0,001$ ;  $t_{limonene-ocak}$ : -3,35,  $P=0,003$ ;  $t_{limonene-mart}$ : -5,24,  $P<0,001$ ;  $t_{limonene-nisan}$ : -8,60,  $P<0,001$ ;  $t_{limonene-mayıs}$ : -4,87,  $P<0,001$ ;  $t_{limonene-temmuz}$ : -3,04,  $P=0,006$ ;  $t_{limonene-ağustos}$ : -5,83,  $P<0,001$ ;  $t_{limonene-eylül}$ : -6,48,  $P<0,001$ ;  $t_{limonene-ekim}$ : -10,26,  $P<0,001$ ;  $t_{limonene-kasım}$ : -6,25,  $P<0,001$ ;  $t_{limonene-aralık}$ : -6,96,  $P<0,001$ ;  $t_{selinene-ocak}$ : -2,50,  $P=0,023$ ;  $t_{selinene-şubat}$ : 9,13,  $P<0,001$ ;  $t_{selinene-mart}$ : -3,06,  $P=0,008$ ;  $t_{selinene-mayıs}$ : -4,42,  $P<0,001$ .

Her iki örneklem lokasyonunda görülen mono- ve seskuiterpen konsantrasyonları incelendiğinde, toplam terpen fraksiyonunun aylara göre önemli oranda değişim gösterdiği görülmektedir. Kampüs örneklemelerinde sıcaklık artışının yaşandığı aylarda bir artış görülmüş olsa da Kasım-Aralık ayları arasında yüksek oranda monoterpen bileşiği belirlenmiştir. En yüksek monoterpen değeri kasım ayında en düşük ise ekim ayında görülmüştür (Şekil 4.1). Seskuiterpen bileşiklerde ise en yüksek oranda terpen bileşiğine Şubat-Mayıs ayları arasında rastlandığı görülmektedir. En yüksek seskuiterpen konsantrasyonuna nisan ayında görülmekteyken en düşük değere ise kasım ayında rastlanılmıştır. Bergama örneklerinde, kış ve bahar aylarında yaz ve sonbahar aylarına göre daha yüksek oranda toplam terpen bileşiği belirlenmiştir. En yüksek mono- ve seskuiterpen değerine Şubat ayında, en düşük monoterpen değerine Aralık ayında olduğu tespit edilmiştir. Ağustos ve Ekim aylarında ise (bu aylarda seskuiterpen bileşik miktarı yoktur) rastlanılmıştır (Şekil 4.2).

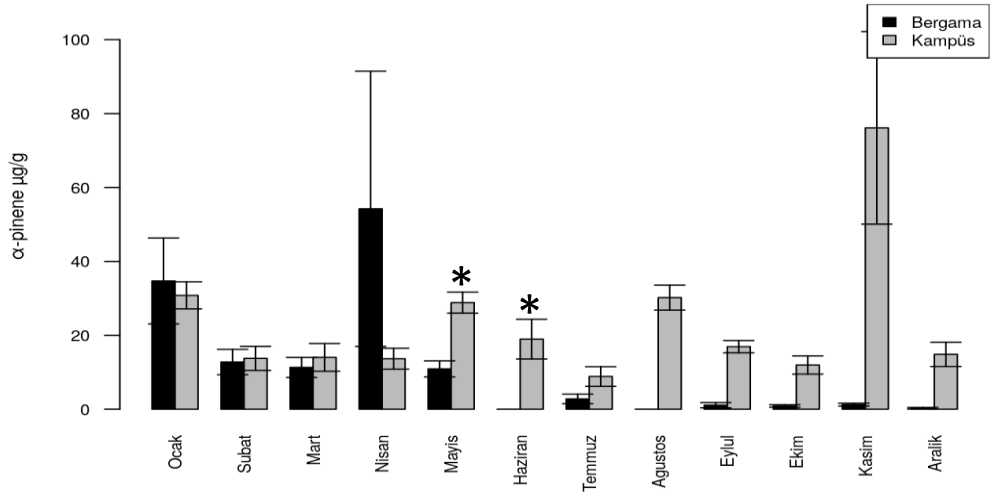


**Şekil 4.1:** Kampüs örneklerine ait toplam terpen konsantrasyonunun aylara göre olan değişimi.

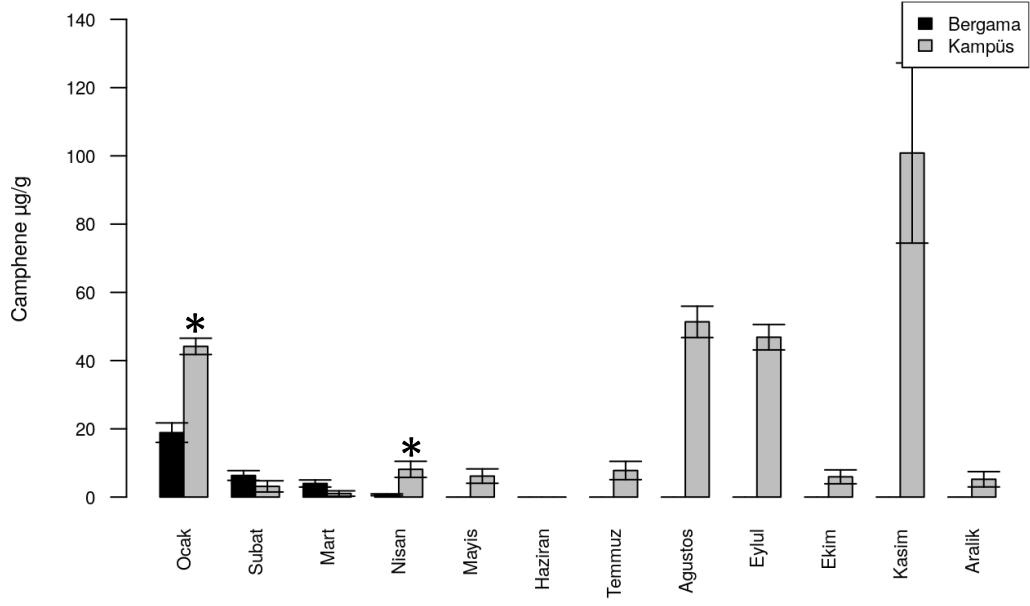


**Şekil 4.2:** Bergama örneklerine ait toplam terpen konsantrasyonunun aylara göre olan değişimi.

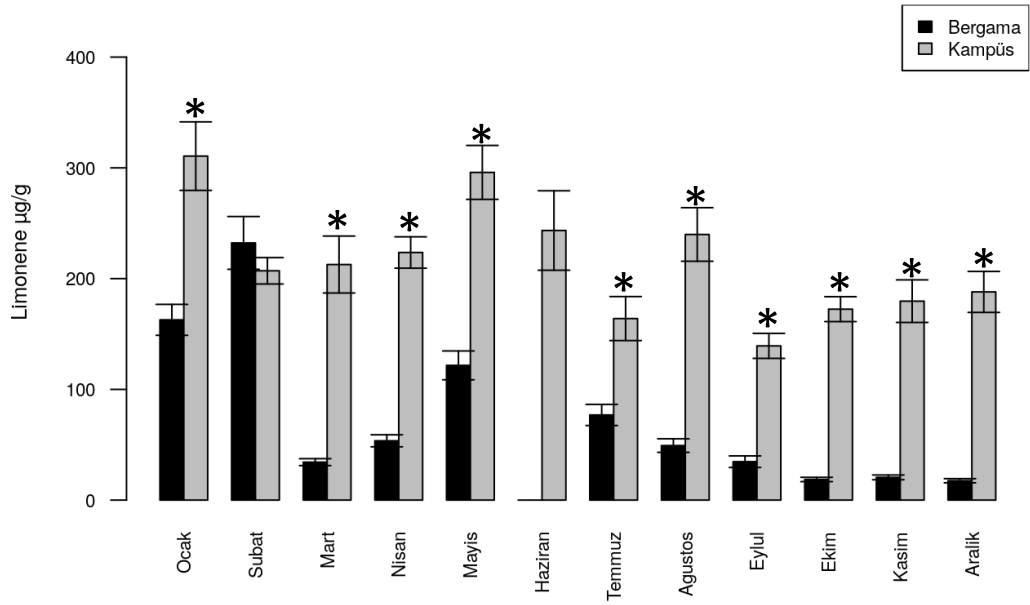
İki Yönlü Anova testine göre ise; ibre örneklerinde terpen bileşikleri ve aylara göre değişimleri arasında istatistiksel olarak fark bulunanlar;  $\alpha$ -pinene, camphene ve limonene olarak görülmüştür. Limonene, camphene ve  $\alpha$ -pinene bileşikleri her bir lokalite içinde aylar bazında bakıldığında istatistiksel olarak anlamlı farklar tespit edilmiştir (Tablo 3.1, Şekil 4.3- Şekil 4.4- Şekil 4.5).



**Şekil 4.3:** Kampüs ve Bergama örneklemelerine ait  $\alpha$ -pinene bileşiğinin aylara göre değişimi. Değerler ortalama  $\pm$  SD ve  $\mu$ gr/gr fwt cinsinden verilmiştir (P<0,05).



**Şekil 4.4:** Karpus ve Bergama örneklemelerine ait camphene bileşiminin aylara göre değişimi. Değerler ortalama  $\pm$  SD ve  $\mu\text{gr/gr}$  fwt cinsinden verilmiştir ( $P<0,05$ ).



**Şekil 4.5:** Karpus ve Bergama örneklemelerine ait limonene bileşiminin aylara göre değişimi. Değerler ortalama  $\pm$  SD ve  $\mu\text{gr/gr}$  fwt cinsinden verilmiştir ( $P<0,05$ ).



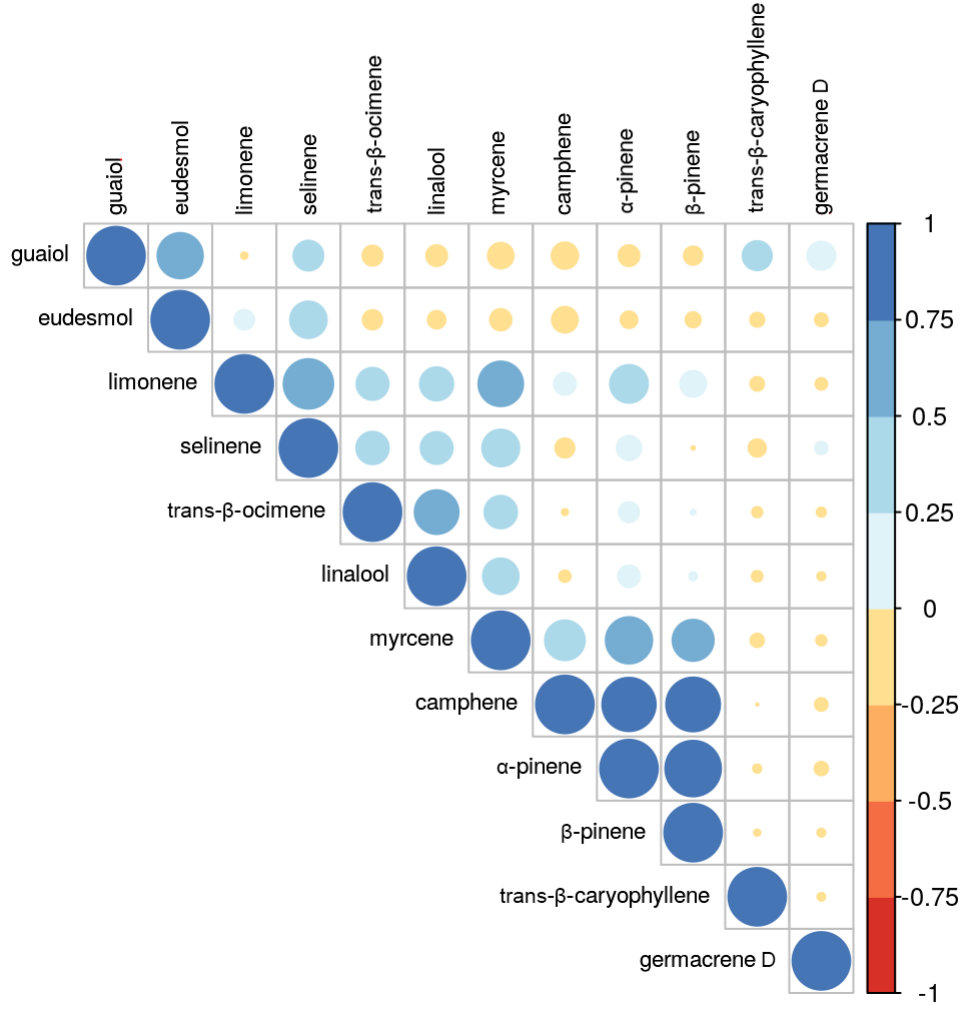
**Tablo 3.1:** Kampüs ve Bergama lokalitelerinde ANOVA sonuçlarına göre farklı bulunan  $\alpha$ -pinene, camphene, limonene bileşiklerinin aylara göre değişimi. Değerler ortalama  $\pm$  SE ve  $\mu\text{gr/gr}$  fwt cinsinden verilmiştir ( $P<0,05$ ).

	KAMPÜS			BERGAMA		
	<i><math>\alpha</math>-pinene</i>	<i>camphene</i>	<i>limonene</i>	<i><math>\alpha</math>-pinene</i>	<i>camphene</i>	<i>limonene</i>
<i>Ocak</i>	30,8 $\pm$ 4,4 ab	44,2 $\pm$ 2,9 bc	310,6 $\pm$ 37,2 a	34,7 $\pm$ 14,0	18,9 $\pm$ 3,4 a	162,8 $\pm$ 16,8 b
<i>Şubat</i>	13,8 $\pm$ 3,9 b	3,1 $\pm$ 2,0 bc	207,0 $\pm$ 14,3 abc	12,8 $\pm$ 4,1	6,3 $\pm$ 1,7 b	232,2 $\pm$ 28,6 a
<i>Mart</i>	14,0 $\pm$ 4,5 b	1,0 $\pm$ 0,9 c	212,7 $\pm$ 30,9 abc	11,3 $\pm$ 3,3	4,0 $\pm$ 1,3 bc	34,3 $\pm$ 3,8 de
<i>Nisan</i>	13,7 $\pm$ 3,4 b	8,1 $\pm$ 2,8 bc	223,6 $\pm$ 17,0 abc	54,2 $\pm$ 44,8	0,7 $\pm$ 0,3 c	53,6 $\pm$ 6,5 de
<i>Mayıs</i>	28,9 $\pm$ 3,4 ab	6,2 $\pm$ 2,5 bc	295,9 $\pm$ 29,3 ab	10,9 $\pm$ 26,0	N/A	121,6 $\pm$ 15,7 bc
<i>Haziran</i>	19 $\pm$ 6,5 b	N/A	243,4 $\pm$ 43,1 abc	N/A	N/A	N/A
<i>Temmuz</i>	8,9 $\pm$ 3,2 b	7,8 $\pm$ 3,2 bc	163,9 $\pm$ 23,9 bc	2,8 $\pm$ 1,5	N/A	76,9 $\pm$ 11,5 cd
<i>Ağustos</i>	30,2 $\pm$ 4,1 ab	51,3 $\pm$ 5,5 b	239,8 $\pm$ 29,1 abc	N/A	N/A	49,3 $\pm$ 7,4 de
<i>Eylül</i>	16,9 $\pm$ 2,0 b	46,9 $\pm$ 4,5 bc	139,3 $\pm$ 13,6 c	1,1 $\pm$ 0,8	N/A	34,7 $\pm$ 6,3 de
<i>Ekim</i>	12 $\pm$ 3 b	5,9 $\pm$ 2,4 bc	172,4 $\pm$ 13,5 bc	0,9 $\pm$ 0,4	N/A	18,6 $\pm$ 2,3 e
<i>Kasım</i>	76,1 $\pm$ 31,3 a	100,8 $\pm$ 31,7 a	179,6 $\pm$ 23,1 abc	1,2 $\pm$ 0,5	N/A	20,6 $\pm$ 2,6 e
<i>Aralık</i>	14,9 $\pm$ 3,9 b	5,2 $\pm$ 2,7 bc	187,9 $\pm$ 22,3 abc	0,3 $\pm$ 0,3	N/A	17,5 $\pm$ 2,2 e
<b>F</b>	<b>2,878</b>	<b>8,703</b>	<b>3,195</b>	<b>1,536</b>	<b>22,44</b>	<b>35,5</b>
<b>P</b>	<b>&lt;0,01</b>	<b>&lt;0,01</b>	<b>&lt;0,01</b>	<b>0,121</b>	<b>&lt;0,01</b>	<b>&lt;0,01</b>

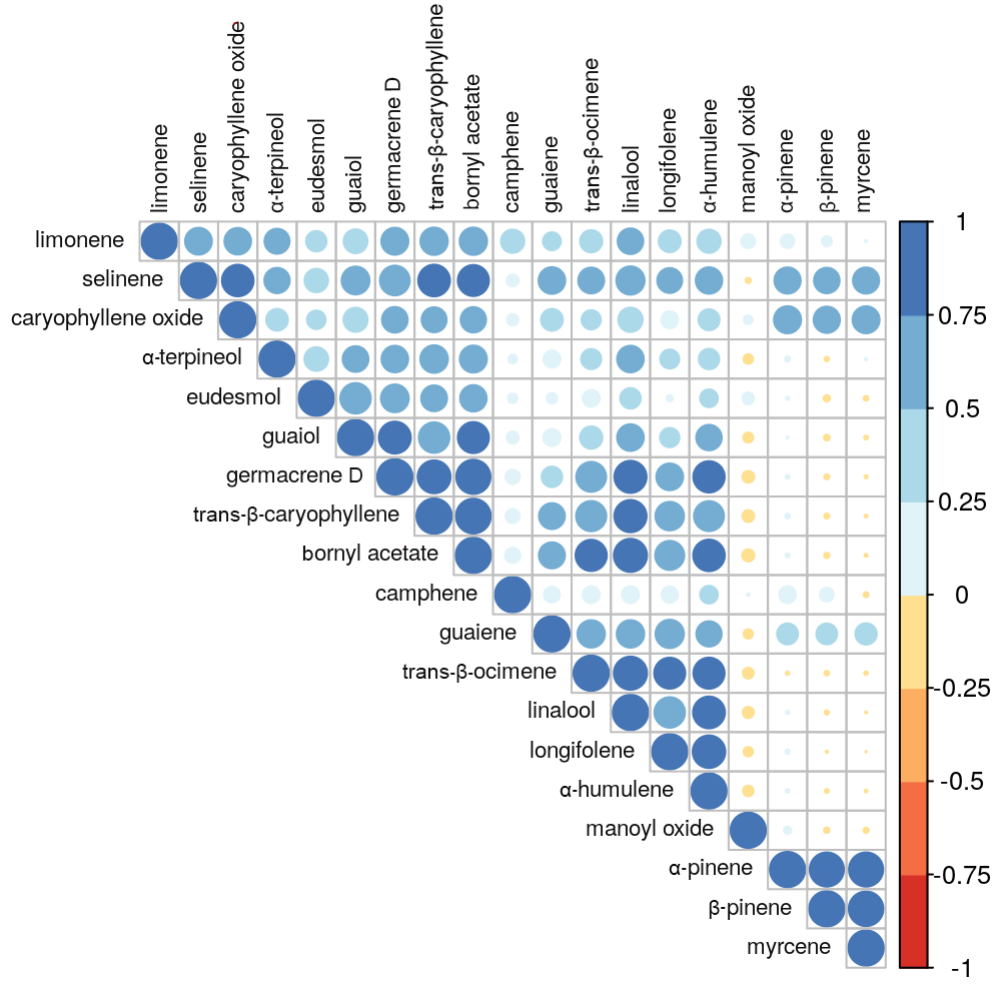
Pearson korelasyon analizi; değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü, gücünü belirleyen ve aralarında herhangi bir kuvvetli bağ olup olmadığını gösteren analizdir. Bu analiz her iki değişken arasındaki nedensel ilişki hakkında bilgi vermemektedir. İki değişkenin değerleri arasındaki ilişki düz bir doğru ise değişkenler doğrusal ilişki içindeyken birbirlerini etkilemiyorlarsa aralarında doğrusal bir ilişkiden bahsedilememektedir. Bir değişkenin değeri artarken\azalırken diğeri de artıyor\azalıyor ise aralarında doğrusal bir ilişkinin var olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca bir değişkenin değeri artarken diğeri de artış gösteriyorsa pozitif ilişki, biri artarken diğeri azalış gösteriyorsa aralarında negatif bir ilişki olduğu kabul edilmektedir (Terzi 2018).

Çalışmamızda her iki örneklem lokasyonuna ait verilerin birbirleri ile olan sinerjik ya da antagonistik ilişkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan korelasyon analiz sonuçları irdelendiğinde ise şu sonuçlar elde edilmiştir. Kampüs örneklerinin değerlendirilmesinde  $\alpha$ -pinene ile  $\beta$ -pinene arasında pozitif yönde güçlü bir ilişkinin var olduğu, camphene ile  $\alpha$ -pinene ve  $\beta$ -pinene arasında pozitif yönde bir ilişkinin var olduğu tespit edilmiştir. Elde ettiğimiz verilere göre myrcene ile  $\alpha$ -pinene ve  $\beta$ -pinene arasında güçlü bir ilişki tespit edilmiştir. Merdin (2017) *Juniperus excelsa* Bieb. yapraklarındaki uçucu yağ özelliklerinin çevresel faktörler ile ilişkilerini belirlemek amacıyla gerçekleştirdiği çalışmada myrcene ve  $\alpha$ -pinene arasında pozitif yönde bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Bhatt ve diğ. (2019) yapmış oldukları çalışmayla farklı doğal kurutma yöntemlerinin *Ocimum americanum* L. uçucu yağ profili üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Bu çalışmada limonene ve selinene bileşikleri arasında bir ilişki olduğunu tespit edilmiştir. Gerçekleştirdiğimiz çalışmaya göre limonene bileşiğinin selinene ve myrcene ile arasında güçlü bir ilişkinin var olduğu görülmektedir (Şekil 4.6). Bergama örneklerinde ise, hemen hemen tüm bileşiklerin arasında değişen seviyelerde (pozitif veya negatif) bir ilişki olduğu görülmektedir. Bergama örneklerinde ise, hemen hemen tüm bileşiklerin arasında değişen seviyelerde (pozitif veya negatif) bir ilişki olduğu görülmektedir. Fakat güçlü bir ilişki olarak kabul edilecek değer olan  $>0.75$ 'ten büyük ilişkiler ele alındığında; selinene ile trans- $\beta$ -caryophyllene ve bornyl acetate arasında pozitif yönlü güçlü bir ilişkinin var olduğu, germacrene-D ile linool ve  $\alpha$ -humulene

arasında, *trans*- $\beta$ -caryophyllene ile linool arasında, bornyl acetate ile *trans*- $\beta$ -ocimene, linalool ve  $\alpha$ -humulene arasında, *trans*- $\beta$ -ocimene ile linalool, longifolene ve  $\alpha$ -humulene arasında, linalool ile  $\alpha$ -humulene arasında, longifolene ile  $\alpha$ -humulene,  $\alpha$ -pinene ile  $\beta$ -pinene ve myrcene arasında ve  $\beta$ -pinene ile myrcene arasında güçlü bir ilişkinin var olduğu görülmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.6: Kampüs örneklerine ait mono- ve seskuiterpen bileşikleri arasındaki korelasyon ilişkisi.



Şekil 4.7: Bergama örneklerine ait mono- ve seskuiterpen bileşikleri arasındaki korelasyon ilişkisi.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ağaçlandırma politikalarının artışı ve ekonomik getirisi nedeniyle fıstıkçamının yayılışında son yıllarda genişlemeler olmuştur. Tohum üretimi için limonene, abietic ve leuopimaric asitlerden oluşan ve iyi oleoresin üretimi yapan bireyleri bulmak için araştırmalar yapılmaktadır (Lange ve Weibmann 1991; Carvalho 1996; Silva 1998). Fıstıkçamının reçinesinin yüksek kristalleşme hızı vardır. Yüksek kristalleşme hızı göz önünde bulundurularak yöntemler uygulanmalıdır. *Pinus* türlerinin sahip olduğu monoterpen profilleri çoğunlukla bitkinin genotipine bağlıdır. Birçok genetik ve ekolojik çalışmada monoterpenlerin biyokimyasal bir belirteç işlevi gördüğü gösterilmiştir (Rudolf 1969; Baradat ve diğ. 1991; Hanover 1992; Cates 1996). Bu bileşiklerin incelenmesi esas olarak ibre örnekleri üzerinde gerçekleştirilmektedir. Çünkü reçine kanallarının epitelyumu terpenlerin üretiminden sorumlu dokudur. Kortikal monoterpenler daha kararlı kabul edilir çünkü yaprakda bulunan monoterpenler ibrenin yaşı ile doğrudan bağlantılıdır (Baradat ve diğ. 1991). Fıstıkçamındaki belirlenmiş olan dominant monoterpenler limonen (%87),  $\alpha$ -pinene (%10),  $\beta$ -pinene ve myrecene (%2) olarak gösterilmiştir (Roussis ve diğ. 1995; Silva 1998).

Ormanlar tarafından atmosfere salınan monoterpenler, troposferde önemli bir reaktif karbon kaynağıdır. Emisyon miktarına ve kalitesine bağlı olarak, bu uçucu bileşenlerin atmosferik bozunması; ozon, karbonmonoksit ve metan gibi hava kirleticileri ile sera gazlarının atmosferik konsantrasyonları ve ayrıca aerosol oluşumunu doğrudan ve dolaylı olarak etkiler (Graedel 1979; Atkinson 1990; Fehsenfeld ve diğ. 1992; Andreae ve Crutzen, 1997). Son 50 yıldan bu yana, bitkilerden kaynaklanan terpen türevli bileşiklerin emisyonları, bölgesel veya küresel ölçüde çok ciddi ve büyük araştırmalarla sürekli olarak takip edilmektedir (Rasmussen ve Went 1965; Lamb ve diğ. 1993; Guenther ve diğ. 1995; Simpson ve diğ. 1995). Sıcaklık ve ışığın emisyon miktarını ve oranını önemli oranda etkilediği ve hatta dakikalar içerisinde önemli emisyon değişikliklerine neden olabildiği gösterilmiştir (Pierce ve Waldruff 1991; Hewitt ve Street 1992; Guenther ve diğ. 1995). Her iki faktöre verilen kısa-uzun vadeli tepkiler, birçok bitki ve bileşik için kapsamlı bir şekilde çalışılmış ve çeşitli matematiksel modellemelerle de tanımlanmıştır (Fehsenfeld ve diğ. 1992; Monson ve diğ. 1995; Kesselmeier ve

Staudt, 1999). Şimdiye kadar, emisyon envanterleri, yıl boyunca emisyonların için zamansal değişimini simule etmek için yalnız ışık ve sıcaklık etkilerini hesaba katmak şeklinde yapılmaktadır. Bununla birlikte emisyonlarda görülen önemli varyasyonlarının büyük bir kısmının, bitkinin çevre şartları ile olan ilişkisinden ve büyüme koşullarına (örneğin ışık ve sıcaklık rejimi veya su mevcudiyetindeki değişikliklerden kaynaklanan uzun vadeli tepkiler) bağlı olduğuna dair artan kanıtlar vardır (Tingey ve diğ. 1980; Guenther ve diğ. 1991; Schuh ve diğ. 1997; Staudt ve Bertin 1998).

Bazı *Pinus* L. türlerinin ibrelerinden elde edilen uçucu yağların kimyasal bileşimleri hakkında çok az bilgi mevcuttur (Roussis ve diğ. 1995; Macchioni 2003). Macchioni ve diğ. (2003), *P. pinea*'da tespit etmiş oldukları uçucu yağ bileşiğinin %58,9-62,5'ni limonene olduğunu belirtmiştir. *P. halepensis*'te  $\alpha$ -pinene %18,1-53,6 ve myrecene %13,7-47,1'dir. *P. pinaster*'de  $\alpha$ -pinene %24,7-40,4 ve  $\beta$ -pinene %21,7-29,2'dir, *P. nigra*'da ise  $\alpha$ -pinene %28,4-61,7 olarak bildirilmiştir (Macchioni ve diğ. 2003). Yunanistan'da doğal popülasyonlarda yapılan bir çalışmada, *P. halepensis*, *P. brutia*, *P. nigra*, *P. pinea* ve *P. canariensis* ibrelerinden elde edilen uçucu metabolitlerin büyük oranda monoterpenlerden oluştuğunu ve az uçucu olarakta 50 farklı metabolitlerin görüldüğü ve bu metabolitlerin de seskuiterpen ve diterpenlerden meydana geldiği tespit edilmiştir (Roussis ve diğ. 1995).

Limonene, çalışmamızda ve güncel mevcut literatürde *P. pinea*'daki başlıca uçucu bileşen olarak görülmektedir. *Pinus* türlerinde en yüksek seskuiterpen ve diterpen seviyeleri toplam uçucu yağların sırasıyla %48,3 ve %60,3'ü ile temsil edilen *P. halepensis* ve *P. canariensis*'in uçucu yağlarında bulunmuştur (Baradat ve diğ. 1991). *P. pinea* ve *P. brutia* uçucu yağlarında az miktarlarda seskuiterpen alkoller tespit edilmiştir. Uçucu yağlar, bileşiminin özellikle bitkinin genotipine bağlı olduğu ve taksonomik bir amaçla kullanılabilceği gösterildiğinden kemo-taksonomik bir amaç çerçevesinde çalışılmıştır (Baradat ve diğ. 1995). Roussis ve arkadaşları bu türlerden terpenoid bileşiklerin değişkenliğini ve kemotaksonomik önemini incelemişlerdir. Araştırılan beş çam türünün her birine karşılık gelen beş kemotipi çıkarmışlardır (Roussis ve diğ. 1995). Daha sonra Petrakis ve arkadaşları Yunanistan'daki doğal habitatlarında büyüyen *P. attenuata*, *P. heldreichii*, *P. peuce*, *P. pinaster* ve *P. radiata* ibrelerindeki uçucu kimyasal metabolitleri incelemişler ve karşılaştırılabilir sonuçlar elde etmişlerdir (Petrakis 2001).

Tunus'ta yapılan başka bir çalışmaya göre *P. pinea* ibrelerinde uçucu bileşiklerin içeriği ibrelerde bulunan toplam 57 bileşiğin 34'nü monoterpenler oluşturmuş olup ana bileşenleri %35,9 limonene, %6,4  $\alpha$ -pinene, %5,3 thymol, %4,2 camphor, %3,8 verbenone, %3,7 terpinolene ve %2,6 sabinene'dir. Tüm uçucu yağlarda; %2'ye ulaşmayan eser miktarda 27 monoterpen bulunmuştur. İncelenen yağlarda bulunan seskuiterpenler %1,8  $\beta$ -cubenene, %1,70  $\beta$ -caryophyllene,  $\alpha$ -humulene ve %1,7 pharnesene'dir. Tüm *P. pinea* örneklerinin uçucu yağları arasındaki farklar göz önüne alındığında çoğunlukla %26,8'e kadar  $\alpha$ -pinene ve daha az %20,4-46,4 arası limonene bileşikleri göze çarpmaktadır (Nasri ve diğ. 2011). Bu çalışmalardaki verilerin çalışmamıza ait veriler ile benzerlik gösterdiği söylenebilir

Uçucu terpen analizleri, sistematik sorunların çözümü için önemli bir değere sahip olmasının yanında aynı zamanda böcekler ve diğer hayvanlar için kimyasal mesajlar olarak da işlev görmesi nedeniyle oldukça önemlidir (Romeo ve diğ. 2007). Staudt ve arkadaşlarının yapmış oldukları bir araştırma Kuzey İtalya'daki Maggiore gölü yakınlarındaki Ispra'da fıstıkçamlarının monoterpen salımının kısmen ışık tarafından kontrol edildiğini ve emisyon miktarının ve bileşiminin mevsimler arasında büyük ölçüde değiştiğini ortaya koymaktadır. Yapılan çalışma sonucunda monoterpen bileşiklerinin kış aylarında önemli oranda azaldığı gösterilmiştir. Sıcaklık ve ışık miktarı arttıkça monoterpen seviyesinde artış olduğu tespit edilmiştir (Staudt ve diğ. 2000). Yaptığımız çalışmada sıcaklık ve ışık artımında monoterpen salımını artırmayı destekleyen bir bulguya rastlanmamıştır. Ancak özellikle sıcaklık arttıkça monoterpen salımının %30 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Araştırma sonucunda bulunan monoterpenler; limonene, linalool,  $\alpha$ -pinene, myrcene, 1,8-cineol, trans- $\beta$ -ocimene'dir.

Kampüs ve Bergama Kozak yaylasından alınan ibre yaprak örnekleri üzerinden yapılan GC-MS analizleri ile gerçekleştirilen analizler doğrultusunda her iki lokasyonda da en yüksek miktarda bulunan bileşik limonene olarak belirlenmiştir. Limonene bileşiğini sırasıyla  $\alpha$ -pinene, camphene ve  $\beta$ -pinene bileşikleri izlemiştir. Bollukları ve nispeten düşük maliyetleri nedeniyle, limonene ve  $\alpha$ -pinene, oksijenli emsallerinin sentezi için ana öncüler olarak kullanılırlar (Serra ve diğ. 2005). Bu durum, örneklerde görülen yüksek limonene ve  $\alpha$ -pinene miktarlarını açıklamaktadır. Ayrıca mevcut literatür taramaları ile karşılaştırıldığında literatür ile uyum gösterdiği görülmektedir. Sadece Fas ve Cezayir'de yapılan iki çalışmada en yüksek bileşikler

sırasıyla  $\alpha$ -pinene ve  $\alpha$ -copaene olarak bulunmuştur (Hmamouchi ve diğ. 2001; Tahar ve diğ. 2005). Genel olarak bu çalışmada incelenen *P. pinea* ağaçlarına ait örneklerin yukarıda bahsi geçen çalışma hariç literatürde verilen örnekler ile nitelik bakımından benzerlik, nicelik bakımından ise farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Türkiye’de yetişen fıstıkçamı ibrelerinin, diğer ülkelere kıyasla limonene açısından zengin grup içerisinde yer aldığı görülmektedir. Diğer bir deyişle Fas ve Cezayir örneklerinde hiç limonen bulunmaması genetik çeşitlilik, iklim şartları ve ağaçların bulunduğu alanlardaki edafik faktörlerden kaynaklanmış olabileceği fikrini ortaya çıkarmaktadır. Bu durumuda destekler nitelikte Yunanistan, İtalya ve Portekiz gibi bölgelere ait *P. pinea* örneklerinde (kısmen Türkiye’deki popülasyona daha yakın coğrafyalar) yüksek oranda limonene içeriği bulunduğu gösterilmiştir (Roussis ve diğ. 1995; Macchioni ve diğ. 2003; Santos ve diğ. 2006).

Değişen çevre koşullarına karşı tüm canlılar hayatta kalabilmek için çeşitli adaptasyonlar göstererek kendilerini geliştirmişlerdir. Son zamanlarda yaşanan en büyük sorunlardan biri olan küresel ısınma tehditi ile karşı karşıya kalan canlıların, bu tehdit altında nasıl bir savunma mekanizması geliştirdikleri konusunda araştırmalar sürdürülmektedir. Verimli bir şekilde canlılıklarını devam ettirebilmek için organizmaların hem çevre baskısına (Pianka 1988) hem de yaşadıkları çevreye uyumlu olmalıdırlar (Mayr 2001). Mevsimsel değerler, fiziksel koşullar, çevrenin yaşattığı kararsızlık, besin miktarı ve ulaşılabilirlik, predatörlerin etrafındaki canlılar arasındaki ilişkiler gibi unsurlar çevresel baskılar adı altında toplanmaktadır. Organizmanın genotipinde yarattığı değişimler yaşam döngüsüyle birlikte incelenmesi çevresel baskıların etkilerini daha da iyi göstermektedir (Richardson 2001; Ricklefs ve Wikelski 2002; Stevens 2004).

Koniferler yaşadıkları ekosistem içinde karşılaştıkları biyotik ve abiyotik koşullara karşı çeşitli savunma mekanizmaları geliştirmişlerdir. Sıcaklık değişimi abiyotik bir faktörken, kozalak tohum böceği ise (*Leptoglossus occidentalis* Heidemann) biyotik bir faktördür. Bu faktörlerde fıstıkçamlarının terpen profilini önemli oranda etkilediği, böceğin hayat döngüsüne bağlı olarak başta ibre yapraklar olmak üzere ağacın terpen profilinin önemli oranda değişim gösterebileceği düşünülmektedir. Büyük miktarlarda sekonder metabolit üreten koniferlerin aynı türe ait bireyleri arasında bile farklılıklar olduğu saptanmıştır (Tobolski ve Hanover



1971). Ayrıca mevsimsel değişimlerde bile üretilen madde miktarlarında farklılıklar söz konusudur (Nerg ve diğ. 1994, Williams ve diğ. 1994).

Yapılan çalışma sonucunda seçilen iki farklı lokalitede bulunan fıstıkçamları tarafından üretilen terpenlerin mevsimsel değişikliklere göre içerik ve miktar yönünden farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir. Bu bileşikler bitkinin hem toprak üstü hem de toprak altı organlarında üretilmekte ve herhangi bir stres (abiyotik veya biyotik) faktörü karşısında çok çabuk değişebilmektedir (Dudareva ve diğ. 2006).

Çalışma sonucunda; Kampüs (Denizli) ve Bergama (İzmir) lokalitelerinde bulunan fıstıkçamlarının terpen profillerinde mevsimsel değişiklere bağlı olarak gerçekleşen varyasyonlar analiz edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara ait öneriler şu şekilde sıralanabilir:

- Çalışma yapılan alanda terpen analizlerinin yanı sıra gövde, sürgün ve kozalaktaki besin kalitesinin araştırılması da önem arz etmektedir. Böylece terpenler arasındaki antagonistik etkiler de anlaşılabilir. Ayrıca monoterpenler ve seskuiterpenlere ek olarak diterpenlerle de çalışılarak mevsimsel olarak etkilerinin gözlenmesi önerilmektedir.
- Çalışmanın ilerlemesi yönünde örnekleme alanlarının artırılması katkıda sağlayacaktır.
- Bergama-Kozak bölgesindeki amenajman planları doğrultusunda yapılan (gençlik, sıklık bakımları, ışıklandırma kesimleri v.b.) çalışmaların ve uygulamaların sahadaki etkisi araştırılmalıdır.
- Çap artımı için uygulanan ışıklandırma kesimleri sonrasında arta kalan dalların bekletilmeden sahadan uzaklaştırılıp uzaklaştırılmadığı konusu ele alınmalıdır.
- Genç ve yaşlı bireyler arasında da zamansal olarak monoterpen ve seskuiterpen salınımları değerlendirilerek muhtemel farkların gözlenmesi durumunda ortaya çıkacak etkilerinin değerlendirilmesi diğer bir araştırma konusu olarak ele alınabilir.
- Sıcaklık ve ışık miktarındaki artışın monoterpenlerin üretimini %30 oranında fazlalaştırdığı görülmüştür (Staudt ve diğ. 2000). Bu sebeple farklı

bakılarda örnekleme alanları oluşturularak ilgili varyasyonlar daha detaylıca tespit edilebilir.

- Fıstıkçamlarını istila eden kozalak tohum böceği (*Leptoglossus occidentalis* Heidemann) gibi biyotik faktörlerin terpen salınımı ile ilişkisi detaylı olarak incelenmelidir.

- Çalışmamızdaki terpen analizlerine ek olarak şeker ve glikozit miktarı, alkoloitler, yağ asitleri, aminoasitler bakımından zenginliği vb gibi besin kalitelerine bakılarak terpenler ile ilgili ilişkisi incelenmelidir.

- Terpen profilleri genetik çeşitliliğe bağlı olarak önemli oranda farklılık gösterebilmektedir. Bu çalışmaya araştırma konusu olan varyasyonun, zamansal ve genetiksel faktörlere bağlı olarak değişebildiğini gösterilmiştir. Bu çalışmanın yanında abiyotik ve biyotik diğer etmenlerin de oluşan varyasyona etkisi detaylı şekilde araştırılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

Andreae, M. O. ve Crutzen, P. J., “Atmospheric aerosols: Biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry”, *Science*, 276 (5315), 1052-1058, (1997).

Anşin, R. ve Özkan, Z. C., *Tohumlu Bitkiler (Spermatophyta) Odunsu Taksonlar*, 167, Trabzon: K.T.Ü. Yayınları, 512 s, Trabzon, (1993).

Arrabal, C., García-Vallejo, M. C., Cadahia, E., Cortijo, M. ve de Simón, B. F. “Seasonal variations of lipophilic compounds in needles of two chemotypes of *Pinus pinaster* Ait”, *Plant Syst. Evol.*, 300(2), 359-367, (2013).

Atkinson, R., “Gas-phase tropospheric chemistry of organic compounds: a review”, *Atmos. Environ.*, A, 24, 1-41, (1990).

Aytuğ, B., “Orman tanımlaması ve bu tanımlamada yer alan ağaç, ağaççık ve çalı kavramları”, *OGM Yayın.*, 46, 100-106, (1976).

Baradat, P. ve Yazdani, R. “Genetic expression for monoterpenes in clones of *Pinus sylvestris* grown on different sites”, *Scand. J. For. Res.*, 3, 25–36, (1988).

Baradat P., Marpeau, A. ve Walter, J., “Terpene markers” (Eds: Muller Starck G. ve Ziehe M.), *Genetic variation in European populations of forest trees*, Frankfurt: Sauerlander’s Verlag, 40–66, (1991).

Baradat, P., Michelozzi, M., Tognetti, R., Khouja, M. L. ve Khaldi, A. “Geographical variation in the terpene composition of *Pinus halepensis* Mill.”, (eds: P. Baradat, A. W. Thomas and S. G. Mueller), *Population genetics and genetic conservation of forest trees*, Amsterdam, Academic Publishing, 141-158, (1995).

Bartwal, A., Mall, R., Lohani, P., Guru, S. K. ve Arora, S., “Role of secondary metabolites and brassinosteroids in plant defense against environmental stresses”, *J. Plant Growth Regul.*, 32(1), 216-232, (2013).

Baydar, H., “Lavanta Tıbbi ve Aromatik Bitki Bilimi ve Teknolojisi” (3. baskı). *Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları*, 51, 274-278, (2009).

Bernhard, R. J., *Türkiye Ormancılığının Mevzuatı, Tarihi ve Vazifeleri*, Ankara: Ankara Yüksek Ziraat Enstitüsü Çalışmaları, 15, (1935).

Bhatt, S., Bisht, M., Tewari, G., Pande, C., Prakash, O. ve Rana, L., “Evaluation of antioxidant potential and quality of volatile constituents of fresh and sun dried *Ocimum gratissimum*”, *J. Indian Chem. Soc*, 96, 297-304, (2019).

Blanch, J. S., Penuelas, J., Sardans, J. ve Llusia, J., “Drought, warming and soil fertilization effects on leaf volatile terpene concentrations in *Pinus halepensis* and *Quercus ilex*”, *Acta Physiol. Plant*, 31(1), 207-218, (2009).

Birgücü, A. K., Çelikpençe, Y. ve Karaca, İ., “Böcek yumurtası ve konukçu bitki arasındaki karşılıklı ilişkiler” *Turk. Bull. Entomol.*, 4(2), 107-119, (2014).

Breitmaier, E., *Terpenes: Flavors, Fragrances, Pharmaca, Pheromones*, Weinheim: Wiley-VCH, 223, (2006).

Buhaescu, I. ve Izzedine, H. “Mevalonate pathway: a review of clinical and therapeutical implications”, *Clin. Biochem.*, 40(9-10), 575-584, (2007).

Carvalho, J. S., “Caracterização Química do Pinhao de *Pinus pinea*. L.”, *Silva Lusit.*, 4(1), 89-96, (1996).

Cates, R. G., “The role of mixtures and variation in the production of terpenoids in conifer-insect-pathogen interactions”, (Ed: R. G. Cates), *Phytochemical diversity and redundancy in ecological interactions*, Boston: Springer, 179-216, (1996).

Celedon, J. M. ve Bohlmann, J., “Oleoresin defenses in conifers: chemical diversity, terpene synthases and limitations of oleoresin defense under climate change.” *New Phytol.*, 224(4), 1444-1463, (2019).

Connolly, J. D. ve Hill, R. A., “Triterpenoids”, (Ed: M. Sainsbury), *Second Supplements to the 2nd Edition of Rodd's Chemistry of Carbon Compounds*, Amsterdam: Elsevier, 555-596, (1991).

Copolovici, L. ve Niinemets, Ü., “Environmental impacts on plant volatile emission.”, (Eds: J. D. Blande ve R. Glinwood), *Deciphering Chemical Language of Plant Communication*, Boston: Springer, 35-59, (2016).

Croteau, R., “The discovery of terpenes”, (Eds: S. D. Kung ve S. F. Yang), *Discoveries in Plant Biology*, Singapur: World Scientific, 329–343, (1998).

Çepel, N., *Orman Ekolojisi*, 49, İstanbul: İ.Ü. Orman Fak. Yayınları, (1995).

Dengler, A., “Ästungen, Unterbau und sonstige Pflegemaßregeln”, (Ed: A. Dengler), *Waldbau auf ökologischer Grundlage Ein Lehr-und Handbuch*, Berlin, Heidelberg: Springer, 487-495, (1944).

Dudareva, N., Pichersky, E. ve Gershenzon, J., “Biochemistry of Plant Volatiles”, *Plant Physiol.*, (135), 1893-1902, (2004).

Dudareva N., Negre, F., Nagegowda, D. A. ve Orlova I., “Plant volatiles: recent advances and future perspectives.” *CRC Crit. Rev. Plant Sci.*, 25, 417–440, (2006).

Fady, B., Fineschi, S. ve Vendramin, G. G., *EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for Italian stone pine (Pinus pinea)*, İtalya: Bioversity International, (2004).

Farjon, A., “World checklist and bibliography of conifers”, *The Royal Botanic Garden, Kew*, (1998).

Farjon A., *A Handbook of the World's Conifers*, Leiden-Boston: Brill Academic, (2017).

Fehsenfeld, F., Calvert, J., Fall, R., Goldan, P., Guenther, A. B., Hewitt, C. N. ve Zimmerman, P., “Emissions of volatile organic compounds from vegetation and

the implications for atmospheric chemistry”, *Glob. Biogeochem. Cycles*, 6(4), 389-430, (1992).

Fırat, F. “Fıstıkçamı ormanlarımızda meyve ve odun verimi bakımından araştırmalar ve bu ormanların amenajman esasları”, *Yüksek Ziraat Enstitüsü Yayınları*, 141, (1943).

Gleizes, M., Pauly, G., Bernard-Dagan, C. ve Jacques, R., “Effects of light on terpene hydrocarbon synthesis in *Pinus pinaster*”, *Physiol. Plant.*, 50, 16–20, (1980).

Graedel, T. E., “Terpenoids in the atmosphere”, *Rev. Geophys.*, 17(5), 937, (1979).

Gref, R. ve Tenow, O., “Resin acid variation in sun and shade needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)”, *Can. J. For. Res.*, 17, 346–349, (1987).

Gökmen, H., “Açık Tohumlular (Gymnospermae)” *T.C. Orman Bakanlığı OGM Yayın*, 523/49, 266, (1970).

Guenther, A. B., Monson, R. K., ve Fall, R., “Isoprene and monoterpene emission rate variability: observations with eucalyptus and emission rate algorithm development”, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 96(D6), 10799-10808, (1991).

Guenther, A., Hewitt, C. N., Erickson, D., Fall, R., Geron, C., Graedel, T. ve Zimmerman, P. “A global model of natural volatile organic compound emissions”, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 100(D5), 8873-8892, (1995).

Hanover, J. W., “Environmental variation in the monoterpenes of *Pinus monticola* Dougl”, *Phytochem.*, 5, 713–717, (1966).

Hanover, J. W., "Applications of terpene analysis in forest genetics", *New Forest.*, 6(1-4), 159-178, (1992).

Hewitt, C. N. ve Street, R. A., “A qualitative assessment of the emission of non-methane hydrocarbon compounds from the biosphere to the atmosphere in the UK: present knowledge and uncertainties”, *Atmos. Environ.*, 26(17), 3069-3077, (1992).

Hiltunen, R., Tigerstedt, P. M. A., Juvonen, S., ve Pohjola, J., "Inheritance of 3-carene quantity in *Pinus sylvestris* L.", *Farmaseuttinen Aikakauslehti*, 84, 69–72, (1975).

Hmamouchi, M., Hamamouchi, J., Zouhdi, M. ve Bessiere, J. M., "Chemical and antimicrobial properties of essential oils of five Moroccan Pinaceae.", *J. Essent. Oil Res.*, 13(4), 298-302, (2001).

Kainulainen, P., Holopainen, J., Hyttinen, H. ve Oksanen, J., "Effect of ozone on the biochemistry and aphid infestation of Scots pine", *Phytochem.*, 35(1), 39-42, (1993).

Kansu, İ.A., Böcek Çevrebilimi, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, 302, 338, (2005).

Kayacık, H. "Gemlik Körfezi Kıyılarındaki Fıstıkçamı Meşcereleri ve Bunlar Üzerinde Müşahedeler", *J. Fac. For. Istanbul U.*, 7, 7-21, (1957).

Kayacık, H., *Orman ve Park Ağaçlarının Özel Sistematiği. Gymnospermae (Açık Tohumlular)*, 1, İstanbul: İ. Ü. Yayınları, 388, (1980).

Keeling, C. I. ve Bohlmann, J., "Genes, enzymes and chemicals of terpenoid diversity in the constitutive and induced defence of conifers against insects and pathogens", *New Phytol*, 170, 657–675, (2006).

Kesselmeier, J. ve Staudt, M., "Biogenic volatile organic compounds (VOC): an overview on emission, physiology and ecology", *J. Atmos. Chem*, 33(1), 23-88, (1999).

Kılıcı, M., Sayman, M. ve Akbin, G., *Batı Anadolu'da Fıstıkçamının Gelişmesini Etkileyen Faktörler*, İzmir: Orman Bak. Yay, 115, (2000).

Kılıcı, M., Sayman, M. ve Akbin, G., *Doğal Fıstıkçamı Sahalarının Ekolojik Durumu*, Bursa: OGM Yayınları, (2013).

Kılıcı, M., Sayman, M. ve Akbin, G., “Kozak Yöresi Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) Ormanlarında Fıstık Verimi ile Artım ve Bazı Meteorolojik Olaylar Arasındaki İlişkiler”, *J. For. Res.*, 29-34, (2014).

Komenda, M. ve Koppmann, R., “Monoterpene emissions from Scots pine (*Pinus sylvestris*): field studies of emission rate variabilities”, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 107(D13), 1-13, (2002).

Kramer, KU ve Green, P. S., Introduction to Pteridophytes and Gymnosperms, (Eds: K. U. Kramer ve P. S. Green), *Pteridophytes and Gymnosperms*, Berlin, Heidelberg: Springer, 1-1, (1990).

Kurz, W. A., Dymond, C. C., Stinson, G., Rampley, G. J., Neilson, E. T., Carroll, A. L. ve Safranyik, L., “Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change”, *Nature*, 452, 987-990, (2008).

Lamb, B., Gay, D., Westberg, H. ve Pierce, T., “A biogenic hydrocarbon emission inventory for the USA using a simple forest canopy model”, *Atmos. Environ.*, 27(11), 1673-1690, (1993).

Lange W. ve Weibmann G., “Studies on the gum oleoresins of *Pinus resinosa* Ait and *Pinus pinea* L.”, *Eur. J. Wood Wood Prod.*, 49, 476–480, (1991).

Macchioni, F., Cioni, P. L., Flamini, G., Morelli, I., Maccioni, S. ve Ansaldi, M. “Chemical composition of essential oils from needles, branches and cones of *Pinus pinea*, *P. halepensis*, *P. pinaster* and *P. nigra* from central Italy”, *Flavour Fragr. J.*, 18(2), 139-143, (2003).

Mammadov, R., *Tohumlu bitkilerde sekonder metabolitler*, Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık, (2014).

Manninen, A. M., Pasanen, P., ve Holopainen, J. K. “Comparing the VOC emissions between air-dried and heat-treated Scots pine wood”, *Atmos. Environ.*, 36(11), 1763-1768, (2002).

Mayr, E., *What evolution is*, New York: Basic Books, 192, (2001).



Michelozzi, M., “Defensive roles of terpenoid mixtures in conifers”, *Acta Bot. Gall.*, 146(1), 73-84, (1999).

Miller, B., Madilao, L. L., Ralph, S. ve Bohlmann, J., “Insect-induced conifer defense. White pine weevil and methyl jasmonate induce traumatic resinosis, de novo formed volatile emissions, and accumulation of terpenoid synthase and putative octadecanoid pathway transcripts in Sitka spruce” *Plant Physiol.*, 137, 369–382, (2005).

Merdin, A., “Boylu ardıç (*Juniperus excelsa* Bieb.) yapraklarının uçucu yağ özellikleri ve çevresel faktör ilişkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi*, Isparta, (2017).

Monson, R. K., Lerdau, M. T., Sharkey, T. D., Schimel, D. S. ve Fall, R., “Biological aspects of constructing volatile organic compound emission inventories”, *Atmos. Environ.*, 29(21), 2989-3002, (1995).

Nasri, N., Tlili, N., Triki, S., Elfalleh, W., Chéraif, I., & Khaldi, “A. Volatile constituents of *Pinus pinea* L. needles”, *J. Essent. Oil Res.*, 23(2), 15-19, (2011).

Nerg, A., Kainulainen, P., Vuorinen, M., Hanso, M., Holopainen, J. K. ve Kurkela, T., “Seasonal and geographical variation of terpenes, resin acids and total phenolics in nursery grown seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L)”, *New Phytol.*, 128, 703–713, (1994).

OGM, *Türkiye Orman Varlığı*, Ankara: OGM Yayınları, (2015).

Özer, Z., “*Sideritis* L. (Lamiaceae) türlerinden izole edilen siderol bileşiği üzerine deneysel ve hesapsal çalışmalar”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2010).

Page, C. N., *Gymnosperms: Coniferophytina (Conifers and Ginkgoids)*, (Ed: Kubitzki, K.), *The Families and Genera of Vascular Plants*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 279–361, (1990).

Petrakis, P. V., Tsitsimpikou, C., Tzakou, O., Couladis, M., Vagias, C. ve Roussis, V., “Needle volatiles from five *Pinus* species growing in Greece”, *Flavour Fragr. J.*, 16(4), 249-252, (2001).

Pianka, E. R., *Evolutionary Ecology*, New York: Harper and Row Publishers, 468, (1988).

Pierce, T. E. ve Waldruff, P. S., “PC-BEIS: a personal computer version of the biogenic emissions inventory system”, *J. Air Waste Manag. Assoc.*, 41(7), 937-941, (1991).

Pickering, J., Discover Life [online], Aralık 2020, <https://www.discoverlife.org/mp/20m?r=0.2&la=3&lo=12&kind=Pinus+pinea>, (2018).

POWO, *Pinus* L. [online], 11 Aralık 2020, <http://www.plantsoftheworldonline.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:328247-2#source-KB>, (2017).

Pureswaran, D. S., Gries, R. ve Borden, J. H., “Quantitative variation in monoterpenes in four species of conifers”, *Biochem. Syst. Ecol.*, 32(12), 1109-1136, (2004).

Ran, J.H., Shen, T. T., Wu, H., Gong, X., Wang, X. Q. "Phylogeny and evolutionary history of Pinaceae updated by transcriptomic analysis". *Mol. Phylogenet. Evol.*, 129: 106–116, (2018).

Rasmussen, R. A. ve Went, F. W., “Volatile organic material of plant origin in the atmosphere”, *PNAS*, 53(1), 215, (1965).

Ricklefs, R.E. ve Wikelski, M., “The physiology/life-history nexus”, *Trends Ecol. Evol.*, 17, 462–468, (2002).

Richardson, J.S., “Life cycle phenology of common detritivores from a temperate rainforest stream”, *Hydrobiol.*, 455, 87–95, (2001).

Robbers, J. E., Speedie, M. K. ve Tyler, V. E., “Pharmacognosy and pharmacobiotechnology”, *London, Internation Edition, Willians & Wikins*, (1996).

Romeo, V., Ziino, M., Giuffrida, D., Condurso, C., ve Verzera, A. “Flavour profile of capers (*Capparis spinosa* L.) from the Eolian Archipelago by HS-SPME/GC–MS”, *Food Chem.*, 101(3), 1272-1278, (2007).

Roussis, V., Petrakis, P. V., Ortiz, A. ve Mazomenos, B. E., “Volatile constituents of needles of five *Pinus* species grown in Greece”, *Phytochem.*, 39(2), 357-361, (1995).

Rudolf von E., “Volatile leaf analysis in chemosystematic studies of North American conifers”, *Biochem. Syst. Ecol.* 2, 131–167, (1969).

Santos, A. M., Vasconcelos, T., Mateus, E., Farrall, M. H., da Silva, M. G., Paiva, M. R., and Branco, M., “Solid phase micro extraction and gas chromatography-mass spectrometry emitted by phloemes of four *Pinus* species characterization of the volatile fraction”, *J. Chromatogr. A.*, 1105 (1-2), 191-198, (2006).

Sarıbaşı, M., *Dendroloji I (Gymnospermea)*, Ankara: Dönmez Ofset, (2008).

Sayman, M., Akbin, G. ve Kılıcı, M., “Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) kurak ve yarı kurak bölge ağaçlandırmaları için uygun bir tür müdür?” *Türkiye’de Yarıkurak Mıntika Ağaçlandırmalarının Değerlendirilmesi Çalıştayı*, I. Cilt, Ürgüp, 343-352, (2006).

Scagel, R. F., *An evolutionary survey of the plant kingdom*, Belmont, California: Wadsworth, (1965).

Schuh, G., Heiden, A. C., Hoffmann, T., Kahl, J., Rockel, P., Rudolph, J. ve Wildt, J. “Emissions of volatile organic compounds from sunflower and beech: dependence on temperature and light intensity”, *J. Atmos. Chem.*, 27(3), 291-318, (1997).

Selçuk, H., *Fıstıkçamı (Pinus pinea L.)'nin Özellikleri Ekonomik Değeri Büyüme ve Bakım Tekniği Hakkında Rapor*, Ankara: Tarım Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü, Yeni Desen Matbaası, 394 (5), 15s, (1964).

Semiz, G., “Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.)’da Çam Kese Böceği (*Thaumetopoea wilkinsoni* Tams.)’ne karşı direncin genetik çeşitliliğinin terpenler bakımından araştırılması”, Doktora Tezi. *Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı*, 132 ss, Antalya, (2009).

Serra, S., Fuganti, C. ve Brenna, E., “Biocatalytic preparation of natural flavours and fragrances”, *Trends Biotechnol.*, 23(4), 193-198, (2005).

Sertkaya, E., Kaya, K. ve Soylu, S., “Acaricidal activities of the essential oils from several medicinal plants against the carmine spider mite (*Tetranychus cinnabarinus* Boisd.) (Acarina: Tetranychidae)”, *Ind. Crops. Prod.*, 31(1), 107-112, (2010).

Shaw, G. R., *The Genus Pinus*, Cambridge: Riverside Press, (1964).

Simpson, D., Guenther, A., Hewitt, C. N. ve Steinbrecher, R., “Biogenic emissions in Europe: 1. Estimates and uncertainties”, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 100(D11), 22875-22890, (1995).

Silva, M. M. N., “*Pinus pinea*: chemical potencialities of its products”, *Simposio de Aprovechamiento de Resinas Naturales*, Segovia (España), Agrofitor, (1998).

Staudt, M. ve Bertin, N., “Light and temperature dependence of the emission of cyclic and acyclic monoterpenes from holm oak (*Quercus ilex* L.) leaves”, *Plant Cell Environ.*, 21(4), 385-395, (1998).

Staudt, M., Bertin, N., Frenzel, B. ve Seufert, G. “Seasonal variation in amount and composition of monoterpenes emitted by young *Pinus pinea* trees—implications for emission modelin”, *J. Atmos. Chem.*, 35(1), 77-99, (2000).

Stevens, D.J., “Pupal development temperature alters adult phenotype in the speckled wood butterfly, *Pararge aegeria*”, *J. Therm. Biol.*, 29: 205–210, (2004).

Tahar, D., Berramdane, T., Dahmane, D., Chelghoum, C., “Volatile oil from *Pinus pinea* leaves cultivated in Algeria”, *Eppos*, 39, 9-13, (2005).

Tarkowska, D. ve Strnad, M., “Isoprenoid-derived plant signaling molecules: biosynthesis and biological importance”, *Planta*, 247, 1051–1066, (2018).

Terzi, Y., “Temel İstatistik II Ders notları [online]”, (Nisan 2021), [https://personel.omu.edu.tr/docs/ders\\_dokumanlari/1026\\_53176\\_1500.pdf](https://personel.omu.edu.tr/docs/ders_dokumanlari/1026_53176_1500.pdf), (2018).

Tingey, D. T., Manning, M., Grothaus, L. C. ve Burns, W. F., “Influence of light and temperature on monoterpene emission rates from slash pine”, *Plant Physiol.*, 65(5), 797-801, (1980).

Tomlin, E., Antonejevic, E., Alfaro, R. ve Borden, J., "Changes in volatile terpene and diterpene resin acid composition of resistant and susceptible white spruce leaders exposed to simulated white pine weevil damage", *Physiol.*, 20(16), 1087-1095, (2000).

Tobolski, J.J. ve Honover, J.W., “Genetic variation in monoterpenes of Scotch pine”, *For. Sci.*, 17: 293–299, (1971).

Turlings, T. C. ve Wäckers, F., *Advances in insect chemical ecology*, Cambridge: Cambridge University Press, (2004).

Turtola, S., Manninen, A.M., Rikala, R., Kainulainen, P. “Drought stress alters the concentration of wood terpenoids in Scots pine and Norway spruce seedlings”, *J. Chem. Ecol.*, 29: 1981–1995 (2003).

Turtola, S., *The effects of drought stress and enhanced UV-B radiation on the growth and secondary chemistry of boreal conifer and willow seedlings*, PhD dissertations, University of Joensuu, Joensuu, Finland, (2005).

Williams, R.S., Lincoln, D.E. ve Thomas, R. B., “Loblolly pine grown under elevated CO<sub>2</sub> affects early instar pine sawfly performance”, *Oecol.*, 98: 64–71, (1994).

Yaltırık, F., *Dendroloji Ders Kitabı I, Gymnospermae*, İstanbul: 2. Baskı, Matbaa Teknisyenleri Koll. Şti., (1993).

Yazdani, R. ve Nilsson, J.E., "Cortical monoterpene variation in natural populations of *Pinus sylvestris* in Sweden," *Scand. J. For. Res.*, 1: 85–93, (1986).