



## Araştırma Makalesi

# Kızılçam (*Pinus Brutia*) Tarafından Yayınlanan Biyojenik Uçucu Organik Bileşik (BVOC) Emisyonlarının Belirlenmesi ve Emisyon Değerlerinin Yükseltiyle Değişiminin İncelenmesi

Bariş YAMAN, Okan DAŞDEMİR, Tolga ELBİR<sup>✉</sup>, Mustafa ODABAŞI

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe Yerleşkesi, Buca-İzmir

Sunuluş tarihi: 8 Ağustos 2012, Kabul edilme tarihi: 31 Ekim 2012

## ÖZET

Bu çalışmada, kızılçam (*pinus brutia*) ağacından kaynaklanan biyojenik uçucu organik bileşik (BVOC) emisyonları belirlenmiş ve emisyonların yükseltiyle değişimi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, üçü Spil Dağı'nda (Manisa), biri Yeni Foça'da (İzmir) gerçekleştirilen saha çalışmaları ile toplam 8 örnekleme yapılmıştır. Her örnekleme kampanyası farklı yükseltide (25 m, 420 m, 660 m, 920 m) bulunan farklı iki kızılçam ağacından yapılan iki tekrarlı örnekleme çalışması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan örneklemler kullanılarak kızılçam için belirlenen farklı BVOC gruplarına ait emisyon faktörleri isoprene için 0,0001-0,013, monoterpenler için 0,084-7,44, sesquiterpenler için 0,0029-0,0914  $\mu\text{g g}^{-1}$  saat<sup>-1</sup> aralığında değişmektedir. Sonuçlar literatürde çam türleri için rapor edilen bulgular ile karşılaştırılarak değerlendirilmiş ve ölçülen değerlerin literatürde rapor edilenler ile uyumlu olduğunu göstermiştir. Yükselti ile BVOC emisyon faktörleri arasında sistematik bir ilişki olmadığını da gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** biyojenik kökenli uçucu organik bileşikler, kızılçam, emisyon faktörü, *pinus brutia*.

© Tüm yayın hakları Hava Kirlenmesi Araştırmaları ve Denetimi Türk Millî Komitesi'ne aittir.

## 1. Giriş

Bitkiler güneş ışığını kullanarak gerçekleştirdikleri biyolojik aktiviteler sonucunda temel fotosentez ürünleri ile birlikte önemli miktarlardaki uçucu organik bileşikleri de atmosfere verirler. Biyojenik kökenli olan bu uçucu organik bileşikler (BVOC), bitkilerce üretilen ve bitkilerin büyümesi, gelişmesi, üremesi ve çevresel etkilere karşı direnç göstermesinde önemli rol alan bileşiklerdir. Bu bileşikler, fotokimyasal açıdan yüksek derecede reaktif olmaları ve bitki örtüsü tarafından önemli miktarlarda yayınlanmaları nedeniyle atmosferin kimyasal kompozisyonunu değiştirme potansiyeline sahiptirler. Bu özellikleri bakımından BVOC'ler biosfer ve atmosfer arasında önemli bir etkileşim sağlarlar (Laothawornkitkul vd., 2009).

Literatürde rastlanan envanterleme çalışmalarına göre, global ölçekte biyojenik VOC miktarları antropojenik VOC miktarlarından fazladır (Lamb vd., 1987; Muller, 1992; Guenther vd., 1995). Emisyonlar bazında ise, yıllık toplam BVOC emisyonu  $700 \times 10^{12}$  g C ve antropojenik VOC emisyonu da  $570 \times 10^{12}$  g C mertebelerinde tahmin edilmektedir (Zimmerman, 1979; Lamb vd., 1987; Muller, 1992; Guenther vd., 1995). Bazı ülkelerdeki BVOC emisyonlarının toplam

VOC emisyonlarına oranlarının ise Ukrayna'da 60%, İspanya'da 45% (Simpson vd., 1999), ve Amerika'da 50%'nin üzerinde olduğu rapor edilmiştir (Guenther, 1997). Türkiye'de BVOC emisyon değerlerinin belirlenmesine yönelik bir çalışma henüz yapılmadığından ülkemize ait böyle bir oran bulunmamaktadır.

Temel olarak; isopren, monoterpenler, sesquiterpenler ve diğerleri (oksijenli türler, alifatik ve aromatik hidrokarbonlar vb.) olmak üzere dört ana gruba ayrılan BVOC'ler içerisinde isopren ve monoterpenler en yaygın türlerdir (Zimmerman vd., 1978). BVOC'ler, azot oksitlerle ( $\text{NO}_x$ ) fotokimyasal reaksiyonlara girerek troposferde ozon oluşumuna neden olurlar ve bu nedenle atmosfer kimyasında büyük öneme sahiptirler (Chameides, 1992; Roselle, 1994; Simpson, 1995; Wang vd., 2008). Özellikle isopren birçok antropojenik VOC'den daha reaktiftir ve atmosferde oksidantların oluşumunda rol alır (Kuhn vd., 1998). BVOC'ler ile  $\text{NO}_x$ 'lerin fotokimyasal reaksiyonları, atmosferdeki fotokimyasal oksidant konsantrasyonunun artışının önemli nedenlerinden biridir (Pierce vd., 1998; Hanna vd., 2001; Pun vd., 2002). Bu artış da küresel ısınma sonucu yükselen ortalama hava sıcaklığının, BVOC emisyonlarını arttırmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, BVOC emisyonlarının küresel ve

✉Tolga Elbir

Tel:(232) 301 71 33/2660, Faks: (232) 453 09 22

E-posta: tolga.elbir@deu.edu.tr

bölgesel olarak belirlenip sürekli olarak izlenmesi, gelecekteki fotokimyasal oksidant konsantrasyonlarının belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır (Bao vd., 2008).

Son yıllarda literatürde, farklı bitki türlerinden kaynaklanan BVOC emisyonlarının ölçümlerle belirlenmesi ve bu emisyonlara ilişkin bölgesel/ulusal emisyon faktörlerinin belirlenmesi konusunda çok sayıda çalışmaya rastlanmaktadır (Simon vd., 2006; Lamb vd., 1987; Simpson vd., 1999; Smiatek ve Steinbrecher, 2006). Bu çalışmalarda yaygın olarak incelenen bitki türleri genellikle ormanlık alanlarda yetişen çeşitli ağaç türleri olmasına rağmen, literatürde farklı bitki türleri (çiçek, çim, maki, tarım ürünleri, vb.) için de çalışmaların bulunduğu görülmektedir. Yurtdışında yaygın olarak gerçekleştirilen bu çalışmaların kapsam bakımından benzerlerinin henüz ülkemizde gerçekleştirilmediği görülmüştür. Bu çalışmanın temel amacı ise; kızılçam ağacından kaynaklanan biyojenik kökenli uçucu organik bileşiklerin emisyon faktörlerinin belirlenmesidir.

Bu çalışmada, kızılçam (*pinus brutia*) ağacından kaynaklanan biyojenik uçucu organik bileşik (BVOC) emisyonları belirlenmiş ve emisyonların yükseltiyle değişimi incelenmiştir. Çalışma kapsamında üçü Spil Dağı'ndan (Manisa), biri Yeni Foça'dan (İzmir) olmak üzere toplam 4 kampanya halinde düzenlenen saha çalışmaları ile toplam 8 örnekleme yapılmıştır. Her örnekleme kampanyası belirli bir yükseltide bulunan farklı iki kızılçam ağacından yapılan iki tekrarlı örnekleme çalışması şeklinde gerçekleştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metod

### 2.1. Çalışma alanı ve örnekleme programı

Spil Dağı'ndaki örnekleme alanlarının ilki 420 m, ikincisi 660 m ve üçüncüsü de 910 m rakımda; Yeni Foça'daki örnekleme ise deniz seviyesini temsilen 25 m rakımda gerçekleştirilmiştir. Böylece kızılçam ağacından yayınlanan biyojenik emisyonların belirlenmesinin yanısıra bu emisyonların ağacın deniz seviyesinden olan yüksekliğiyle kalitatif veya

kantitatif olarak değişim gösterip göstermediğinin incelenmesi planlanmıştır.

Çalışmada kullanılacak ağacın seçiminde sağlıklı olması, güneş görme durumunun elverişli olması ve 15-40 yaş civarında olması gibi kriterler göz önünde bulundurulmuştur. Örnekleme kapsamında çalışılan ağaçlar, buldukları yerler, rakımları ve örnekleme tarihleri Tablo 1'de verilmektedir.

### 2.2. BVOC emisyonlarının örnekleme

Örnekleme dinamik test odası adı verilen, ağaç dallarının ve üzerindeki yaprakların bir şeffaf Nalofan torba içine alınması esasına dayanan bir metot ile yapılmıştır (Ortega ve Helmig, 2008; Ortega vd., 2008). Bu yöntemde, torba içine alınan dal ve yaprakların örnekleme boyunca torba içinde normal biyolojik aktivitelerine devam etmelerinin sağlanması esastır. Bu nedenle torbanın içinde dış havada (torba dışında) görülen çevresel koşulların oluşması hedeflenmiştir. Bu amaçla, 3 kenarı kapalı olan Nalofan torba (etkin hacmi ~7 L) açık ağzından örnekleme yapılacak dal üzerine geçirildikten sonra sızdırmazlığı sağlanacak şekilde sıkılarak kapatılmıştır. Sıkarak kapatmadan önce açık olan ağzından torbanın içine Teflon hortumlarla bir giriş, bir çıkış ve bir de egzoz olmak üzere 3 farklı hortum hattı yerleştirilmiştir. Şekil 1'de çalışmada kullanılan dinamik test odasına ait bir görüntü verilmiştir.

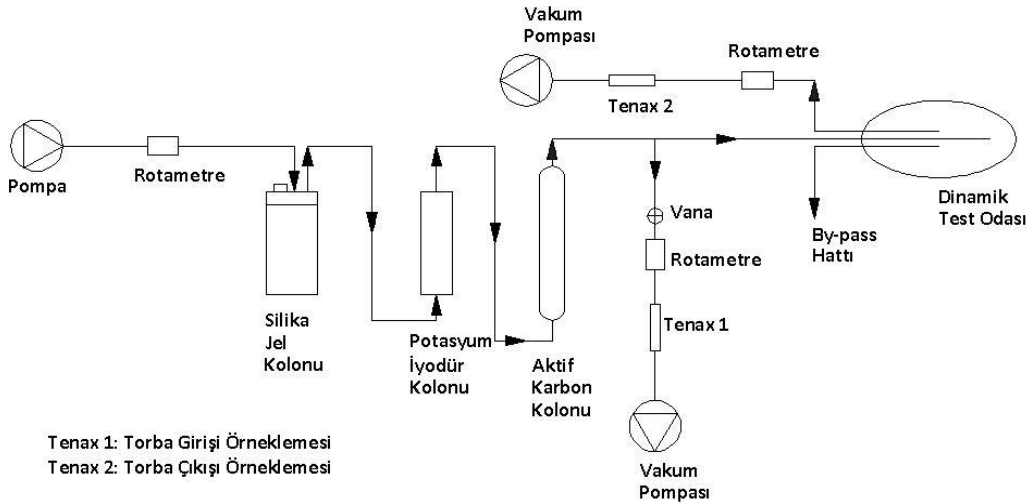
Örnekleme öncesinde dalına geçirilen Nalofan torba nedeniyle bitkinin strese girip biyolojik aktivitesinde ve dolayısıyla emisyon miktarlarında bir değişim yaşanmaması için bitkiyi Nalofan torbaya biyolojik olarak alıştırmak amacıyla ortalama 1 saat süreyle örnekleme yapılmadan torbaya hava verilmiştir (şartlandırma işlemi). Şartlandırma sırasında bir pompa yardımıyla giriş hattından Nalofan torbaya sabit debide (350 L saat<sup>-1</sup>) hava verilmiş ve çıkış hattından bir vakum pompası yardımıyla torba içindeki hava sabit bir debide (20 L saat<sup>-1</sup>) çekilmiştir. Torba içindeki fazla hava ise üçüncü hat olan egzoz hattından dışarıya atılmıştır.

Tablo 1. Örnekleme yerleri ve tarihleri

Örnekleme No	Örnekleme Tarihi	Örnekleme Yeri	Rakım (m)	Koordinatlar (UTM-35N)	
				X	Y
ÇZ2204-1	22.04.2011	Spil Dağı (Manisa)	420	539698	4259673
ÇZ2204-2	22.04.2011	Spil Dağı (Manisa)	420	539651	4259620
ÇZ2604-1	26.04.2011	Spil Dağı (Manisa)	660	540119	4261488
ÇZ2604-2	26.04.2011	Spil Dağı (Manisa)	660	540121	4261490
ÇZ2904-1	29.04.2011	Spil Dağı (Manisa)	920	539836	4263660
ÇZ2904-2	29.04.2011	Spil Dağı (Manisa)	920	539772	4263673
ÇZ0605-1	06.05.2011	Yeni Foça (İzmir)	25	481129	4287400
ÇZ0605-2	06.05.2011	Yeni Foça (İzmir)	25	481125	4287405



Şekil 1. Çalışma kapsamında örneklenen çam ağaçları üzerine yerleştirilen dinamik test odası.



Şekil 2. BVOC örnekleme sisteminin akım şeması.

Şartlandırma işlemi sonrası hemen örnekleme geçilmiş ve örnekleme boyunca sabit debide ( $350 \text{ L saat}^{-1}$ ) hava verilmeye devam edilmiştir. Bu hat üzerinde bulunan bir rotametre ile debi ölçümü yapılmış ve örnekleme boyunca sisteme sabit debinin verilmesi sağlanmıştır. Giriş havası torba içine girmeden hemen önce bir düzenek ile şartlandırılmış ve istenmeyen safsızlıklardan arındırılmıştır. Bu amaçla ardışık olarak nem giderimi için silika jel, ozon giderimi için potasyum iyodür (KI) ve organik bileşiklerin giderimi için aktif karbon içeren kolonlar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan örnekleme düzeneğinin akım şeması Şekil 2' de verilmiştir. Bu şema içinde sözkonusu şartlandırma işlemlerinin yeri görülmektedir. Şekil 3'te ise çalışmada kullanılan düzeneğin bir görüntüsü verilmiştir.

Örnekleme boyunca Nalofan torba içindeki BVOC açısından zenginleşen hava, vakum yapabilen bir pompa yardımıyla ( $20 \text{ L saat}^{-1}$  debi ile) torbanın çıkış hattından alınarak, Tenax

içeren bir adsorban tüp içerisinden geçirilmiş ve BVOC'lerin tüp içerisinde toplanması sağlanmıştır. Giriş hattında, torbaya hava basan pompa ile silika jel kolonu arasında ve yine aynı hat üzerinde aktif karbon kolonu ile torba arasında BVOC örnekleme yapılarak torbaya verilen giriş havasındaki BVOC konsantrasyonları belirlenmiştir. Her bir ağaç için ortalama örnekleme süresi 2 saattir. Örnekleme-lerde kullanılan ekipmanların enerji ihtiyacı sahaya götürülen bir jeneratör ile sağlanmıştır.

Örnekleme-lerde adsorban olarak kullanılan Tenax tüplerinin temizleme işlemi içlerinden 10 dakika boyunca  $240^\circ\text{C}$ 'de  $40 \text{ ml dk}^{-1}$  helyum gazı geçirilerek yapılmıştır ve örnekleme-lerde kullanılanlara kadar, iki ucu kapalı olarak, içerisinde aktif karbon ve silika jel bulunan cam saklama kaplarında muhafaza edilmişlerdir. Örnekleme sonrasında da tüpler yine aynı kaplara alınarak analizlenene kadar  $-20^\circ\text{C}$ 'de saklanmıştır.





Şekil 3. Örnekleme sisteminin genel görünümü.

Örnekleme sonrası dal, Nalofan torbanın dal üzerinde sıklığı noktadan kesilmiştir. Kesilen dallar laboratuvara getirildikten sonra yaprak ve dallar ayrı ayrı hassas terazide tartılmıştır. Daha sonra 60°C'deki etüvde sabit tartıma gelene kadar, ortalama 3 gün süre ile kurutularak kuru ağırlıkları ve nem oranları bulunmuştur. Yaprak ve dalların sabit ağırlığa gelip gelmediğini kontrol etmek amacıyla her 24 saatte bir ara tartımlar alınmıştır.

### 2.3. BVOC numunelerinin analizlenmesi

Örnekler, kütle seçici dedektörü (Agilent 5973 inert MSD) ve termal desorberi (TD) (Tekmar, Aerotrap 6000) bulunan bir gaz kromatografi sistemi (GC) (Agilent 6890N) ile analiz edilmiştir. Örnekler 10 dakika boyunca 240°C'de 40 mL dk<sup>-1</sup> helyum akımı kullanılarak desorblanmıştır. Desorbsiyon sırasında iç tuzak sıcaklığı 35°C'de tutulmuştur. Daha sonra tuzak 1 dakika boyunca 240°C'de desorblanmıştır. Sonra, 250°C'de 10 dakika boyunca ısıtılmıştır. Fırın valfi ve transfer hattı sıcaklıkları 200°C de tutulmuştur. Kromatografik kolon olarak HP5-MS (30 m, 0,25 mm, 0,25 µm), taşıyıcı gaz olarak ise helyum kullanılmıştır (1 mL dk<sup>-1</sup> debi ve 36 cm s<sup>-1</sup> doğrusal hızda). Split oranı 1:40, inlet sıcaklığı ise 240°C'de tutulmuştur. Fırın sıcaklığı 40°C'de başlatılıp 3 dk bu sıcaklıkta tutulmuş, 5°C dk<sup>-1</sup>'lık bir artış hızıyla 120°C'ye yükseltilmiş, 5 dk bu sıcaklıkta tutulmuş, sonra 30°C dk<sup>-1</sup>'lık artış hızıyla 240°C'ye yükseltilmiş ve 3 dk bu sıcaklıkta tutulmuştur. Termal desorber sistemini kalibre etmek için analizlenen bileşiklerden oluşan bir standart karışımından metanol ile seyreltilerek altı seviyeli (1, 3, 5, 7, 10 ve 50 µg mL<sup>-1</sup>) kalibrasyon standartları hazırlanmıştır. Bu standartlardan içinde 100 mg Tenax bulunan termal desorpsiyon tüplerine 1 µL enjekte edilmesi ve numunelerle aynı koşullarda analizlenmesi ile sistem kalibrasyonu yapılmıştır. GC/MS, eşzamanlı "seçilmiş iyon izleme" ve "tarama" modlarında çalıştırılmıştır. Bileşikler çıkış zamanları, hedef iyonları ve

doğrulama iyonları kullanılarak tanımlanmış ve örneklerdeki BVOC miktarları kalibrasyon eğrileri yardımıyla belirlenmiştir. Kullanılan analiz yönteminin detayları Odabaşı vd. (2005) ile Dinçer vd. (2006) tarafından rapor edilmiştir.

Çalışma kapsamında analizlenen BVOC türleri Tablo 2'de verilmiştir. Söz konusu listede, isopren, monoterpenler, homoterpenler, sesquiterpenler, aromatik ve alifatik hidrokarbonlar, oksijenli, azotlu, kükürtlü ve klorlu bileşikler gibi gruplarda yer alan 83 adet bileşik bulunmaktadır.

### 2.4. BVOC emisyon faktörlerinin hesaplanması

Bu çalışmada kapsamında incelenen kızılçam için BVOC emisyon faktörleri ( $\epsilon$ , µg g<sup>-1</sup> saat<sup>-1</sup>); ölçülen BVOC konsantrasyonları, gaz debileri, örnekleme süreleri, örneklenen bitki kütleleri gibi verilerin yardımıyla aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Ortega ve Helmig, 2008):

$$\epsilon = \frac{(C_{\text{çıkış}} - C_{\text{giriş}}) Q t}{m t} \quad (1)$$

Burada  $C_{\text{giriş}}$  ve  $C_{\text{çıkış}}$ , dinamik test odası girişi ve çıkışında ölçülen BVOC konsantrasyonları (µg m<sup>-3</sup>);  $Q$ , dinamik test odasına basılan toplam hava debisi (m<sup>3</sup> saat<sup>-1</sup>);  $t$ , örnekleme süresi (saat);  $m$ , deney odasında bulunan bitkinin dalında bulunan yaprakların kuru ağırlığıdır (g).

Standart koşullar altındaki emisyon miktarı bir türe özel emisyon faktörü olarak adlandırılmaktadır (Pacifico vd., 2009). BVOC emisyonları ortamdaki sıcaklık ve ışık miktarından etkilenmektedir. Bu nedenle, test odası ölçümleri, bitkilerin yaydıkları BVOC emisyonlarının standart koşullardaki (30°C ve 1 000 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> ışık akısı) miktarını hesaplamak için standardize edilir. BVOC türlerinden olan monoterpen, isopren ve sesquiterpen bileşikleri için farklı algoritmalar kullanılır.

Tablo 2. Çalışma kapsamında analizlenen BVOC türleri

CAS No.	Bileşik	Kapalı Formül	CAS No.	Bileşik	Kapalı Formül
	<b>Klorlu Bileşikler</b>			<b>Sesquiterpenler</b>	
75-09-2	Dichloromethane	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	1135-66-6	Isolongifolene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
106-46-7	Benzene, 1,4-dichloro	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	87-44-5	trans-Caryophyllene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
95-50-1	Benzene, 1,2-dichloro	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	23986-74-5	Germacrene-D	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
83-38-5	Benzaldehyde, 2,6-dichloro	C <sub>7</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> O	17699-05-7	Alpha-Bergamotene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
120-83-2	Phenol, 2,4-dichloro	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> O	502-61-4	Alpha-Farnesene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
			17627-44-0	Cis-Alpha-Bisabolene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
			18794-84-8	Beta-farnesene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
	<b>Hidrokarbonlar</b>		469-61-4	Alpha-cedrene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
71-43-2	Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	6753-98-6	Alpha-humulene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
108-88-3	Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	3856-25-5	Copaene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
111-65-9	Octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	17066-67-0	Beta-selinene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
111-84-2	Nonane	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	10208-80-7	Alpha-muurolene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
124-18-5	Decane	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	13744-15-5	Beta-cubebene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
526-73-8	Benzene, 1,2,3-trimethyl	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	24406-05-1	Alpha-cadinene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
91-20-3	Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	39029-41-9	Gamma-cadinene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
112-40-3	Dodecane	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>			
629-50-5	Tridecane	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>			
629-59-4	Tetradecane	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>			
100-41-4	Ethyl benzene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	5780-40-5	<b>Azotlu Bileşikler</b>	
108-38-3	m,p-Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>		Butyl aldoxime, 3-methyl-, syn-	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> NO
100-42-5	Styrene	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>			
95-47-6	o-Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	67-64-1	<b>Oksijenli Bileşikler</b>	
98-82-8	Isopropyl benzene	C <sub>8</sub> H <sub>12</sub>	4170-30-3	Acetone	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O
103-65-1	Propyl benzene	C <sub>8</sub> H <sub>12</sub>	78-94-4	Crotonaldehyde	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O
95-63-6	1,2,4-Trimethylbenzene	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	115-18-4	Methyl vinyl ketone (2-Butenone)	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O
108-67-8	1,3,5-Trimethylbenzene	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	141-78-6	2-Methyl-3-buten-2-ol	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O
104-51-8	n-Butylbenzene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	534-22-5	Ethyl Acetate	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>
112-41-4	1-Dodecene	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	66-25-1	Furan, 2-methyl-	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O
			123-86-4	Hexanal	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O
			78-93-3	n-Butyl acetate	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>
			111-71-7	2-Butanone	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O
508-32-7	Tricyclene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	100-52-7	n-Heptanal	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O
99-83-2	alpha-Phellandrene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	108-95-2	Benzaldehyde	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O
80-56-8	Alpha-Pinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	104-76-7	Phenol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O
471-84-1	Alpha-Fenchene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	470-82-6	1-Hexanol, 2-ethyl-	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O
79-92-5	Camphene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	98-86-2	Eucalyptol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O
3387-41-5	Sabinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	111-87-5	Acetophenone	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O
127-91-3	Beta-Pinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	586-81-2	1-Octanol	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O
123-35-3	Beta-Myrcene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	15186-51-3	Gamma-Terpineol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O
13466-78-9	Delta 3-Carene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	78-70-6	Rosefuran	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O
99-86-5	Alpha-Terpinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	124-19-6	Linalool L	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O
555-10-2	Beta-Phellandrene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	41702-60-7	Nonanal	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O
138-86-3	Limonene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>		2-Methyl-6-methylene-1,7-octadien-3-one	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O
6874-10-8	cis-Ocimene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	34413-88-2	d-Pinocarvone	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O
3779-61-1	trans-beta-Ocimene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	562-74-3	4-Terpineol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O
99-85-4	Gamma-Terpinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	98-55-5	Alpha-Terpineol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O
535-77-3	m-Cymene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	112-31-2	Decanal	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O
99-87-6	p-Cymene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	93-15-2	Methyl Eugenol	C <sub>11</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>
586-62-9	Terpinolene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	77171-55-2	(-)-Spathulenol	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O
673-84-7	Alloocimene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	489-86-1	Guaial	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O
460-01-5	2,6-Dimethyl-1,3,5,7-octatetraene, E	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	123-79-5	Hexanedioic acid, dioctyl ester	C <sub>22</sub> H <sub>42</sub> O <sub>4</sub>
			53219-21-9	Dihydromyrcenol	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O
			001195-79-5	L-Fenchone	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O
51911-82-1	(E)-4,8-Dimethyl-1,3,7-nonatriene	C <sub>11</sub> H <sub>18</sub>	78-69-3	Tetrahydrolinalool	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> O
			76-22-2	Camphor	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O
			124-76-5	Isoborneol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O
78-79-5	Isoprene	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>			
	<b>Kükürtlü Bileşikler</b>				
95-16-9	Benzothiazole	C <sub>7</sub> H <sub>5</sub> NS			

Monoterpen miktarı ortamdaki sıcaklık değerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu ilişki şu şekilde yazılabilir (Tingey vd., 1980; Guenther vd., 1995):

$$\varepsilon_{mtp} = \varepsilon_{mtps} \exp \beta (T - T_s) \quad (2)$$

$$\gamma_{mtp} = \exp \beta (T - T_s) \quad (3)$$

Burada  $\varepsilon_{mtp}$ , monoterpenler için emisyon faktörü;  $\varepsilon_{mtps}$ , standart koşullardaki emisyon faktörü (30°C ve 1 000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ışık akısı);  $T$ , torba içindeki ortam sıcaklığı (K);  $T_s$ , standart koşullardaki sıcaklık değeri (303 K);  $\beta$ , empirik sabittir (0,09 K<sup>-1</sup>).  $\gamma_{mtp}$  ise düzeltme faktörü olarak adlandırılmaktadır.

Bitkilerden yayılan isopren miktarını hesaplayabilmek için Guenther vd. (1993) emisyon miktarını ortamdaki yaprak sıcaklığı ve ışığa bağlı olarak ifade eden bir algoritma geliştirmişlerdir. Herhangi bir sıcaklık ve fotosentetik aktif radyasyon değerindeki isopren emisyonları, standart koşullardaki emisyon faktörünün ( $\varepsilon_s$ ) sıcaklık ( $C_T$ ) ve ışık ( $C_L$ ) düzeltme fonksiyonları yardımıyla düzeltilmesi yoluyla hesaplanmaktadır:

$$\varepsilon_{iso} = \varepsilon_{isos} C_L C_T \quad (4)$$

$$\gamma_{iso} = C_L C_T \quad (5)$$

Burada  $\varepsilon_{iso}$ , isopren için emisyon faktörü;  $\varepsilon_{isos}$ , standart koşullardaki emisyon faktörü (30°C sıcaklık ve 1 000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ışık akısı);  $C_L$ , ışığa bağlı düzeltme fonksiyonunu;  $C_T$ , sıcaklığa bağlı düzeltme fonksiyonunu ifade etmektedir.  $\gamma_{iso}$  ise düzeltme faktörü olarak adlandırılmaktadır.

Emisyon ölçümlerinden yararlanılarak ışığa ( $C_L$ ) (Guenther vd., 1993) ve sıcaklığa ( $C_T$ ) (Dominguez-Taylor vd., 2007) bağlı düzeltme fonksiyonları formüle edilmiştir:

$$C_L = \frac{\alpha C_{L1} L}{\sqrt{(1+\alpha^2 L^2)}} \quad (6)$$

Burada,  $C_{L1}$  (1,066) ve  $\alpha$  (0,0027) empirik sabitler;  $L$  ise ortamdaki PAR değeridir ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

$$C_T = \frac{\exp C_{T1}(T-T_s)/RT_sT}{1+\exp C_{T2}(T-T_M)/RT_sT} \quad (7)$$

Burada,  $T$ , ortam sıcaklığı (K);  $R$ , ideal gaz sabiti (8,314 J K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup>);  $T_s$ , standart koşullardaki sıcaklık (303 K);  $T_M$  (314 K),  $C_{T1}$  (95 000 J mol<sup>-1</sup>) ve  $C_{T2}$  (230 000 J mol<sup>-1</sup>) ise empirik sabitlerdir.

Standart koşullardan farklı çevresel şartlarda yapılan ölçümlerle ve Eşitlik (1) kullanılarak belirlenen emisyon faktörleri monoterpenler ve diğer BVOC'ler (OVOC) için Eşitlik (2) ve (3) kullanılarak standart koşullara göre düzeltilerek rapor edilmiştir. Çalışmada PAR (Fotosentetik Aktif Radyasyon) değerleri ölçülemediği için bu parametre için düzeltme yapılmamıştır.

### 3. Sonuçlar

Ölçülen giriş-çıkış konsantrasyonları ve örneklenen daldaki yaprakların kuru ağırlıkları kullanılarak (Eşitlik 1) hesaplanan emisyon faktörleri Tablo 3'te sunulmaktadır.

Literatürde karşılaşılan bazı çalışmalarda, (Helmig vd., 2006; Ortega vd., 2007) her bir ağaç türü için birden fazla sayıda örnekleme yapıldığı takdirde, elde edilen emisyon faktörü değerlerinin değişim aralıklarının da ele alındığı görülmüştür. Bu durumda kızılçam ağacı için yapılan ve toplamda 8 tekrardan oluşan bu örnekleme çalışmalarıyla elde edilen emisyon faktörü değerlerinin değişim aralıkları da Tablo 4'te verilmiştir. BVOC gruplarına ait emisyon faktörleri isoprene için 0.0001-0.013, monoterpenler için 0.084-7.44, sesquiterpenler için 0.0029-0.0914  $\mu\text{g g}^{-1} \text{saat}^{-1}$  aralığında değişmektedir.

**Tablo 3.** Kızılçam için belirlenen BVOC emisyon faktörleri

VOC Türü	Emisyon Faktörleri ( $\mu\text{g g}^{-1} \text{saat}^{-1}$ )								
	çz2204-1*	çz2204-2	çz2604-1	çz2604-2	çz2904-1	çz2904-2	çz0605-1	çz0605-2	
Isoprene	0,0004	0,0010	0,0001	0,0001	n.d.	0,0006	0,0005	0,0013	
Monoterpen	1,13	7,15	0,0840	1,11	0,918	7,44	0,304	1,95	
Sesquiterpen	0,0523	0,0325	0,0038	0,0364	0,0336	0,0914	0,0029	0,0254	
Diğer VOC'ler	Oksijenli VOC'ler	0,227	0,582	0,0110	0,0226	0,0892	0,124	0,144	0,0889
	Hidrokarbonlar	0,0050	0,0408	n.d.	n.d.	0,0883	0,0338	0,0027	0,0083
	Kükürtlüler	0,0012	0,0062	n.d.	n.d.	0,0021	0,0009	0,0011	0,0007
	Homoterpen	0,0002	0,0008	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

\*çz (çalışılan ağaç: kızılçam)2204(tarih: 22 Nisan)-1(örnekleme sırası: 1. örnekleme), n.d.: Saptanamadı

**Tablo 4.** Emisyon faktörlerinin (EF) değişim aralıkları

VOC Türü	EF ( $\mu\text{g g}^{-1} \text{ saat}^{-1}$ )		Std. Sapma	Ortalama Değer ( $\mu\text{g g}^{-1} \text{ saat}^{-1}$ )
	Min.	Max.		
Isoprene	0,0001	0,0013	0,000442	0,0006
Monoterpene	0,0840	7,44	3,01	2,51
Sesquiterpene	0,0029	0,0914	0,0282	0,0348
Diğer VOC'ler	Oksijenli VOC'ler	0,0110	0,582	0,195
	Hidrokarbonlar	n.d.	0,088	0,0309
	Kükürtlüler	n.d.	0,0062	0,00202
	Homoterpene	0,0002	0,0008	0,00041

(n.d.: Saptanamadı)

**Tablo 5.** Pinaceae familyasına ait bazı türlerin monoterpene ve sesquiterpen emisyonları (Ortega vd., 2008)

Ağaç Türü	Örnekleme Sayısı	Monoterpene Emisyon Faktörü ( $\mu\text{g g}^{-1} \text{ saat}^{-1}$ )	Sesquiterpene Emisyon Faktörü ( $\mu\text{g g}^{-1} \text{ saat}^{-1}$ )
<i>Pinus echinata</i>	1	0,44	0,09
<i>Pinus ponderosa</i>	2	0,27 – 0,73	0,02 – 0,11
<i>Pinus resinosa</i>	3	0,05 – 0,99	0,03 – 0,14
<i>Pinus sabiniana</i>	1	4,02	0,06
<i>Pinus strobus</i>	4	0,18 – 1,35	<0,01 – 0,35
	3	0,18 – 1,11	0,02 – 0,09
<i>Pinus sylvestris L.</i>	1	1,70	<0,01
<i>Pinus teada</i>	7	0,06 – 0,62	0,07 – 0,62
	3	0,79 – 0,97	0,03 – 0,04
<b><i>Pinus brutia</i></b>	<b>8</b>	<b>0,08 – 7,44</b>	<b>&lt;0,01 – 0,09</b>

Tablo 4'e göre en çok salınımın monoterpene grubu BVOC'lerde olduğu görülmektedir. En kararlı trendi ise isopren izlemektedir. Ortega vd. (2008) emisyon faktörü değerlerinin yüksek derecede değişkenlik gösterdiğini rapor etmişlerdir.

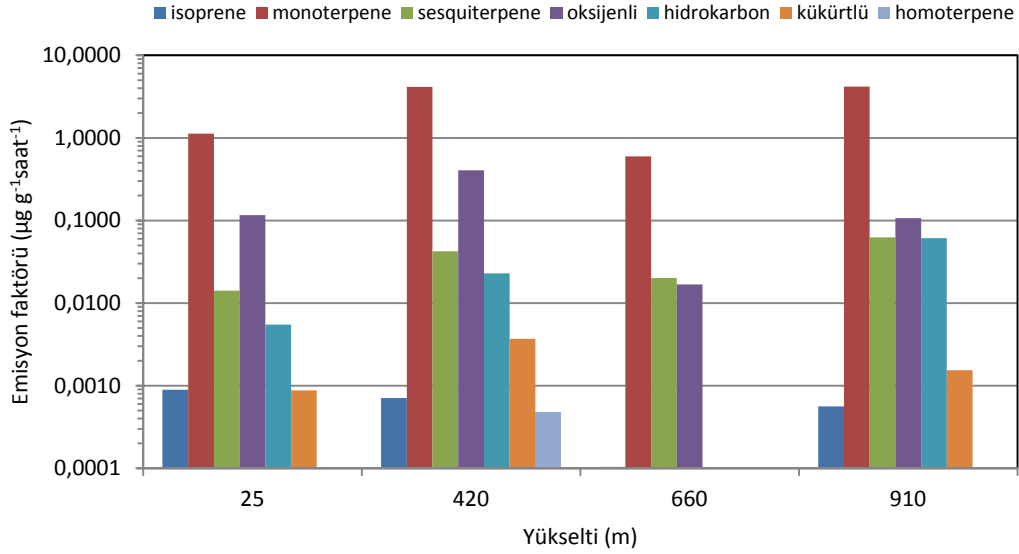
Örnekleme yapılacak ağacın belirlenmesinde; ağacın bulunduğu yerin, deniz seviyesinden yüksekliği göz önünde bulundurulmuş ve ağacın yetiştiği yükseltinin ve bu nedenle değişen çevresel koşulların (sıcaklık, basınç, nem ve yetiştirme ortamı) emisyon değerlerini etkileyip etkilemediği belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 4, yükseltiyle emisyon değerleri arasında herhangi bir sistematik ilişkinin bulunmadığını ortaya koymaktadır.

Diğer yandan, her yükseltide yapılan örnekleme çalışmalarından birincisi (kodu "1" ile bitenler) günün erken saatlerinde (~10:00-14:00 arası), ikincisi ise (kodu "2" ile bitenler) güneşlenmenin ve biyolojik aktivitelerin daha yoğun olduğu nispeten daha geç saatlerde (~14:00-18:00 arası) yapılmıştır. Tablo 3'te görüldüğü gibi ikinci örneklemelelerdeki BVOC emisyonlarının hem toplam olarak hem de değişik gruplar bazında ilk örneklemelelerdekilere göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bunun nedeninin gün içerisinde artan sıcaklık ve radyasyon nedeniyle olduğu düşünülmektedir.

Her ne kadar emisyon faktörü değerlerinin çevresel koşullardan azami ölçüde etkilendiği bilinse de, elde edilen verilerin belirli makul değerler içerisinde olması beklenmektedir. Bu nedenle daha önceden yapılmış çalışmalarda çamgillerden (*pinaceae*) çeşitli ağaçların emisyon faktörü değerlerinin, bu çalışmada elde edilen verilerle karşılaştırılması Tablo 5 ve Tablo 6'da sunulmaktadır. Sonuç olarak bu çalışmada ölçülen değerlerin çamgillere ait emisyon faktörlerinin tipik sınırları içerisinde bulunduğu ve literatürde bulunan rapor edilen değerler ile uyumlu olduğu saptanmıştır.

#### 4. Değerlendirme ve Öneriler

Bu çalışmanın temel amacı kızılçam ağacından kaynaklanan biyogenik kökenli uçucu organik bileşiklerin farklı yükseltelerde belirlenmesi ve yükselti - emisyon ilişkisinin araştırılmasıdır. Çalışma kapsamında üçü Spil Dağı'nın farklı yükseltelerinde (Manisa), birisi ise deniz seviyesini temsil eden Yeni Foça'dan (İzmir) olmak üzere toplam 4 kampanya halinde düzenlenen saha çalışmaları ile her noktada iki defa olmak koşulu ile dinamik test odası tekniği kullanılarak 8 örnekleme yapılmıştır. Örnekler, laboratuvarında gaz kromatografisi (GC)/Kütle Spektrometresi (MS) cihazı ile analizlenmiştir. Yapılan ölçümler kullanılarak kızılçam için emisyon faktörleri hesaplanmış, sonuçlar farklı BVOC



Şekil 4. Emisyon faktörlerinin yükselti ile değişimi.

Tablo 6. Bazı çam türlerinin literatürde rapor edilen emisyon faktörleri ve bu çalışmada ölçülen kızılçam emisyon faktörlerinin bunlar arasındaki yeri (Simon vd., 2006)

Ağaç Türü	Emisyon Faktörleri ( $\mu\text{g g}^{-1}\text{saat}^{-1}$ )		
	Isoprene	Monoterpene	Diğer VOC'ler
<i>Pinus halepensis</i>	0,05	0,57	1,50
<i>Pinus sylvestris</i>	0,05	5,72	1,50
<i>Pinus pinaster</i>	0,00	1,66	1,50
<i>Pinus nigra</i>	0,00	3,00	1,50
<i>Pinus pinea</i>	0,10	4,00	1,50
<i>Pinus laricio</i>	0,00	3,00	1,50
<i>Pinus uncinata</i>	0,00	3,00	1,50
<i>Pinus brutia</i> (Bu çalışma)	0,0006	2,51	0,19

grupları için kendi içerisinde ve literatürde diğer çam türleri için rapor edilen değerler ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, yükselti ile BVOC emisyon faktörleri arasında sistematik bir ilişki olmadığını ve ölçülen değerlerin literatürde aynı cinsten ağaçlar için rapor edilenler ile uyumlu olduğunu göstermiştir.

Çalışma kapsamında yapılan ölçümler sırasında çevresel koşullar (özellikle sıcaklık) örnekten örneğe önemli farklılıklar göstermiştir. Bu da sonuçların belirli bir değişkenlik göstermesine neden olmuştur. Gözlemlenen bu değişkenlik literatürde rapor edilenlerle benzer olmakla birlikte, örnekleme sayısının artırılarak daha değişken çevresel koşullarda BVOC değişimlerinin incelenmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 110Y302 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

## Kaynaklar

- Bao, H., Kondo, A., Kaga, A., Tada, M., Sakaguti, K., Inoue, Y., Shimoda, Y., Narumi, D., Machimura, T., 2008. Biogenic volatile organic compound emission potential of forests and paddy fields in the kinki region of japan. *Environmental Research* 106, 156-169.
- Chameides, W.L., Fehsenfeld, F., Rodgers, M.O., Cardelino, C., Martinez, J., Parrish, D., Lonnenan, W., Lawson, D.R., Rasmussen, R.A., Zimmerman, P., Greenberg, J., Middleton, P., Wang, T., 1992. Ozone precursor relationships in the ambient atmosphere. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 97, 6037-6055.
- Dincer, F., Odabasi, M., Muezzinoglu, A., 2006. Chemical characterization of odorous gases at a landfill site by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* 1122, 222-229.
- Guenther, A., 1997. Seasonal and spatial variations in natural volatile organic compound emissions. *Ecological Applications* 7, 34-45.



- Guenther, A., Hewitt, C.N., Erickson, D., Fall, R., Geron, C., Graedel, T., Harley, P., Klinger, L., Lerdau, M., McKay, W.A., Pierce, T., Scholes, B., Steinbrecher, R., Tallamraju, R., Taylor, J., Zimmerman, P., 1995. A global-model of natural volatile organic-compound emissions. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 100, 8873-8892.
- Guenther, A.B., Zimmerman, P.R., Harley, P.C., Monson, R.K., Fall, R., 1993. Isoprene and monoterpene emission rate variability - model evaluations and sensitivity analyses. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 98, 12609-12617.
- Hanna, S.R., Lu, Z.G., Frey, H.C., Wheeler, N., Vukovich, J., Arunachalam, S., Fernau, M., Hansen, D.A., 2001. Uncertainties in predicted ozone concentrations due to input uncertainties for the uam-v photochemical grid model applied to the july 1995 otag domain. *Atmospheric Environment* 35, 891-903.
- Helmig, D., Ortega, J., Guenther, A., Herrick, J.D., Geron, C., 2006. Sesquiterpene emissions from loblolly pine and their potential contribution to biogenic aerosol formation in the southeastern us. *Atmospheric Environment* 40, 4150-4157.
- Kuhn, M., Builtjes, P.J.H., Poppe, D., Simpson, D., Stockwell, W.R., Andersson-Skold, Y., Baart, A., Das, M., Fiedler, F., Hov, O., Kirchner, F., Makar, P.A., Milford, J.B., Roemer, M.G.M., Ruhnke, R., Strand, A., Vogel, B., Vogel, H., 1998. Intercomparison of the gas-phase chemistry in several chemistry and transport models. *Atmospheric Environment* 32, 693-709.
- Lamb, B., Guenther, A., Gay, D., Westberg, H., 1987. A national inventory of biogenic hydrocarbon emissions. *Atmospheric Environment* 21, 1695-1705.
- Laohawornkitkul, J., Taylor, J.E., Paul, N.D., Hewitt, C.N., 2009. Biogenic volatile organic compounds in the earth system. *New Phytologist* 183, 27-51.
- Muller, J.F., 1992. Geographical-distribution and seasonal-variation of surface emissions and deposition velocities of atmospheric trace gases. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 97, 3787-3804.
- Odabasi, M., Ongan, O., Cetin, E., 2005. Quantitative analysis of volatile organic compounds (voc) in atmospheric particles. *Atmospheric Environment* 39, 3763-3770.
- Ortega, J., Helmig, D., 2008. Approaches for quantifying reactive and low-volatility biogenic organic compound emissions by vegetation enclosure techniques - part a. *Chemosphere* 72, 343-364.
- Ortega, J., Helmig, D., Daly, R.W., Tanner, D.M., Guenther, A.B., Herrick, J.D., 2008. Approaches for quantifying reactive and low-volatility biogenic organic compound emissions by vegetation enclosure techniques - part b: Applications. *Chemosphere* 72, 365-380.
- Ortega, J., Helmig, D., Guenther, A., Harley, P., Pressley, S., Vogel, C., 2007. Flux estimates and oh reaction potential of reactive biogenic volatile organic compounds (bvocs) from a mixed northern hardwood forest. *Atmospheric Environment* 41, 5479-5495.
- Pacifico, F., Harrison, S.P., Jones, C.D., Sitch, S., 2009. Isoprene emissions and climate. *Atmospheric Environment* 43, 6121-6135.
- Pierce, B.L., Redente, E.F., Barbarick, K.A., Brobst, R.B., Hegeman, P., 1998. Plant biomass and elemental changes in shrubland forages following biosolids application. *Journal of Environmental Quality* 27, 789-794.
- Pun, B.K., Wu, S.Y., Seigneur, C., 2002. Contribution of biogenic emissions to the formation of ozone and particulate matter in the eastern united states. *Environmental Science & Technology* 36, 3586-3596.
- Roselle, S.J., 1994. Effects of biogenic emission uncertainties on regional photochemical modeling of control strategies. *Atmospheric Environment* 28, 1757-1772.
- Simon, V., Dumergues, L., Ponche, J.L., Torres, L., 2006. The biogenic volatile organic compounds emission inventory in france - application to plant ecosystems in the berre-marseilles area (france). *Science of the Total Environment* 372, 164-182.
- Simpson, D., 1995. Hydrocarbon reactivity and ozone formation in europe. *Journal of Atmospheric Chemistry* 20, 163-177.
- Simpson, D., Winiwarer, W., Borjesson, G., Cinderby, S., Ferreira, A., Guenther, A., Hewitt, C.N., Janson, R., Khalil, M.A.K., Owen, S., Pierce, T.E., Puxbaum, H., Shearer, M., Skiba, U., Steinbrecher, R., Tarrason, L., Oquist, M.G., 1999. Inventorying emissions from nature in europe. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 104, 8113-8152.
- Smiatek, G., Steinbrecher, R., 2006. Temporal and spatial variation of forest voc emissions in germany in the decade 1994-2003. *Atmospheric Environment* 40, S166-S177.
- Tingey, D.T., Manning, M., Grothaus, L.C., Burns, W.F., 1980. Influence of light and temperature on monoterpene emission rates from slash pine. *Plant Physiology* 65, 797-801.
- Wang, Q.G., Han, Z.W., Wang, T.J., Zhang, R.J., 2008. Impacts of biogenic emissions of voc and nox on tropospheric ozone during summertime in eastern china. *Science of the Total Environment* 395, 41-49.
- Zimmerman P., 1979. Testing of hydrocarbon emissions from vegetation, leaf litter and aquatic surfaces, and development of a methodology for compiling biogenic emission inventories. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, EPA-450/4-79-004, 1-113.



## Research Article

# Measurement of Biogenic Volatile Organic Compound Emissions from Red Pine (*Pinus Brutia*) and Investigation of Their Variation with Altitude

Bariş YAMAN, Okan DAŞDEMİR, Tolga ELBİR<sup>✉</sup>, Mustafa ODABAŞI

Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Dokuz Eylul University,  
Tinaztepe Campus, 35160 Buca, Izmir, Turkey

Received: August 8, 2012; Accepted: October 31, 2012

## ABSTRACT

In this study, biogenic volatile organic compound (BVOC) emissions from Turkish Red Pine (*pinus brutia*) were measured and their variation with the elevation above the sea level was investigated. Eight samples were collected within four field campaigns, three of from Spil Mountain (Manisa) and one from Yeni Foça (Izmir). Turkish Red Pine trees at different elevations (25 m, 420 m, 660 m, 920 m) were sampled in replicates. Emission factors for several BVOC groups for Turkish Red Pine ranged between 0.0001-0.013, 0.084-7.44, and 0.0029-0.0914  $\mu\text{g g}^{-1} \text{hour}^{-1}$  for isoprene, monoterpenes, and sesquiterpenes, respectively. Results indicated that, measured values were comparable with the reported ones in the literature for pine species. No systematic relationship between the elevation and BVOC emissions was observed.

**Keywords:** Biogenic volatile organic compounds, Turkish Red Pine, emission factor, *pinus brutia*.

© Turkish National Committee of Air Pollution Research and Control.