



Use of Monoterpenes in the Control of Bark Beetles (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) in Forest Areas

Gülsevrim Tiring^{1,a,*}, Serdar Satar^{1,b}, Okan Özkaya^{2,c}

¹Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Çukurova University, 01330 Adana, Turkey

²Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Horticulture Department, 01330 Adana, Turkey

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Review Article</i></p> <p>Received : 23/02/2020 Accepted : 13/06/2020</p> <p>Keywords: Attractant Oleoresine Pheromone Pinene Predator</p>	<p>Bark beetles (Coleoptera: Curculionidae) are among the important pests of forest in the world and in Turkey. Pine-feeding bark beetles interact chemically with their host tree via the behavioral, physiological, and biochemical effects of one class of monoterpenes. The half of oleoresin producing by trees such as pines, spruces, firs in the forests is the monoterpene. The monoterpenes occur in the oleoresin and function as behaviorally active kairomones for pine bark beetles and their predators, presenting a classic example of tritrophic chemical communication. The monoterpenes are aggregation pheromones for pine bark beetle. In the control of bark beetles, monoterpenes are used in traps. For example, the monoterpenes are an attractant for bark beetles. Also, Myrcene is used for a synergistic effect in the trap. Monoterpenes can toxic to insects. Limonene is among the most toxic monoterpenes to bark beetles. Also, the interaction is found between monoterpenes and prey of bark beetle. Monoterpenes are enhanced to respond of predatory to the pheromone of bark beetle.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(7): 1522-1527, 2020

Orman Alanlarında Kabuk Böceklerinin (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) Mücadelesinde Monoterpenlerin Kullanımı

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Derleme Makale</i></p> <p>Geliş : 23/02/2020 Kabul : 13/06/2020</p> <p>Anahtar Kelimeler: Cezbedici Oleoresin Feromon Pinene Predatör</p>	<p>Kabuk böcekleri (Coleoptera: Curculionidae) dünyada ve Türkiye’de ormanların önemli zararlıları arasındadır. Kabuk böcekleri, monoterpenlerle davranışsal, fizyolojik ve biyokimyasal etki yolu oluşturarak konukçu ağaçlarla kimyasal olarak etkileşime girmektedir. Ormanlarda bulunan çam, ladin ve köknar gibi ağaçlar tarafından üretilen oleoresinin yaklaşık yarısı monoterpenlerdir. Monoterpenler, çam kabuğu böcekleri ve avcıları için davranışsal olarak aktif kairomonlar olarak işlev görmektedir ve tritrofik kimyasal iletişimin klasik bir örneğini sunmaktadır. Monoterpenler, kabuk böceklerinin toplanma feromonlarıdır. Kabuk böcekleriyle mücadelede monoterpenler, tuzaklar içerisinde kullanılmaktadır. Myrcene tuzaklarda, sinejist bir etki göstermektedir. Monoterpenler, böcekler için toksik olabilmektedir. Kabuk böceklerine en toksik monoterpenler arasında, limonene bulunmaktadır. Ayrıca monoterpenler ve kabuk böceklerinin avcıları arasında bir ilişki vardır. Monoterpenler, kabuk böceklerinin feromonlarına predatörlerin tepkisini arttırmaktadır.</p>

^a gulsevrim_tiring@hotmail.com

^b <http://orcid.org/0000-0002-9140-9690>

^b hserhat@cu.edu.tr

^b <http://orcid.org/0000-0003-0449-205X>

^c oozkaya@cu.edu.tr

^c <http://orcid.org/0000-0002-9448-5576>



Giriş

Scolytinae (Coleoptera: Curculionidae) alt familyası, 6000'den fazla türün tanımlanmış bulunduğu Coleoptera'nın en büyük gruplarından biridir. Türkiye'de Scolytinae'ye ait yüz yedi tür olduğu bilinmektedir (Eroğlu ve ark., 2005; Sarıkaya ve Avcı, 2011). *Dendroctonus mikans* (Kugelann), *Ips sexdentatus* (Boerner), *Ips tipografus* (Linnaeus), *Cryphalu spicea* (Ratz.), *Pityokteines curvidens* (Germ.), *Ips acuminatus* (Gyll.), *Tomicus piniperda* (L.), *Tomicus minor* (Ht) ve *Orthotomicus erosus* (Woll.) Türkiye'de her yıl on binlerce metrekaare ağacın kurummasına neden olmaktadır (Alkan Akıncı ve ark., 2009; Özcan ve ark., 2014). Erginleri genellikle 2 mm'den biraz daha uzun bir vücut uzunluğuna sahiptir. Ancak, Türkiye'nin en büyük yazıcı böceği türü olan *D. micans*'ın vücut uzunluğu, yaklaşık 10 mm civarındadır (Sarıkaya ve Avcı, 2011). Kabuk böceği türleri, ülkemizde genellikle 1-3 döl vermektedir. Ergin böcekler tünel oluşturarak, yumurtalarını ağaçların kabuklarının altında bırakmaktadır (Şekil 1a, b). Larvalar daha sonra yaşadıkları ve beslendikleri yerde, küçük lateral galeriler açarlar. Kabuk böceklerinin çoğu odunsu bitkilerin floem dokusu ile beslenmekte ve saldıkları toplanma feromonu sonucunda, yüzlercesi bir araya gelerek doğrudan konukçusunu öldürebilmektedir. Bu böcekler, orman ağaçlarının büyüklüğünü ve miktarını yapısal ve işlevsel anlamda etkilemektedir (Mattson ve Addy, 1975; Mattson, 1977; Coulson ve Wunneburger, 2000). Kabuk böceği istilası, ağacın gelişmesini yavaşlatmakta ve hızlıca ölümlere sebep olabilmektedir. Son yıllarda, kabuk böceklerinin salgınları tarafından görülen zarar düzeylerinde önemli bir artış gözlemlenmiştir (İnanç ve Laz, 2001; Can, 2005; Sarıkaya ve Avcı, 2006; Sarıkaya ve Avcı, 2011; Özcan ve ark., 2016).

Pinus brutia Ten., *P. nigra* Arnold, *Cedrus libani* A. Rich, *Abies cilicica* Carr. ve *Juniperus excelsa* Bieb., Türkiye'nin Batı Akdeniz Bölgesi'nin iğne yapraklı ormanlarının ana türleridir. Scolytinae türleri tarafından ölen ağaçların sayısı, bu bölge genelinde son yıllarda önemli ölçüde artmıştır (Sarıkaya ve Avcı, 2009). Birçok biyotik ve abiyotik faktörler, yazıcı böcek popülasyonlarının gelişimini etkilemektedir (Faccoli, 2002; Akkuzu ve ark., 2009). Stresler özellikle de don, çığ, heyelan, yıldırım çarpması, yangın, çevre kirliliği ve iklim değişikliği gibi stres etkileri kabuk böceği bulaşıklığını önemli ölçüde etkilemektedir (Kanat, 2000; Forster ve ark., 2003; Sarıyıldız ve ark., 2008; Akkuzu ve ark., 2009). Spellerberg lan (1998)'a göre, yol inşaatı sırasında yol kenarındaki bölgelerde böcek popülasyonu önemli ölçüde etkilenmektedir. Yol yapımı esnasında malzemenin yuvarlanması ve sondaj işlemleri sırasında ağaçlarda yaralanmalar oluşabilmektedir (Gümüş ve ark., 2009). Bu durum yaralı ağaçların strese girmesine sebep olmakta; besin, su ve mineral alımını azaltabilmektedir. Strese girmiş ağaçlar, kabuk böceklerinin saldırılarına karşı sağlıklı ağaçlardan daha duyarlı hale gelmektedir (Özcan ve ark., 2006; De Gomez ve Celaya, 2013). Ağaçların uzun süreli stresi, kabuk böceklerinin popülasyonunda hızlı bir artış için ideal ortam sunmakta ve bu böceklerin sağlıklı ağaçlara hızlıca yayılmasına sebep olabilmektedir (Powers ve ark., 1999).

Çam ağaçlarının böceklerle ve birçok patojene karşı önemli bir savunması, fiziksel yaralardan akan ve biyotik müdahalelere karşı kimyasal bir fiziksel bariyer sağlayan monoterpenler ve reçine asitlerinin bir karışımı olan oleoresindir (Şekil 1a) (Reeve ve ark., 1995; Hofstetter ve ark., 2005; Klepzig ve ark., 2005). Reçine miktarındaki kalitatif farklılıkların, bazı yazıcı böcek türlerinin üreme başarısını etkilediği bilinmektedir (Reeve ve ark., 1995).



Şekil 1. Kabuk böceklerinin zarar şekli (a: Kabuk böceklerinin giriş delikleri ve ağaçta oluşan reçine, b: Kabuk böceğinin ağaç kabuğunun altında oluşturduğu galeriler).

Figure 1. Damage of bark beetles (a: The entrance holes of the bark beetles and the resin comprising by the tree, b: Galleries comprising by the bark beetle under the bark).

Monoterpenlerin Kabuk Böcekleri için Önemi

Orman ekosistemi içerisinde bulunan kabuk böcekleri, koku sistemlerini ağaçlardan yayılan belirli monoterpenler üzerine odaklanmaktadır. Monoterpenler, böceklerin çoğalmasını ve hayatta kalmasını arttıran temel konukçu çekiciler (kairomonlar) olarak işlev görmektedirler (Seybold ve ark., 2000, 2006). Orman ekosisteminde bulunan ağaçların odunsu dokuları zarar gördüğünde, ağaçlar kesildiğinde ve mekanik zararlanmalar görüldüğünde monoterpenlerin toplam emisyonları önemli ölçüde artmaktadır (Schade ve Goldstein, 2003). Byers (2004), monoterpenlerin kabuk böceklerinin davranışlarını düzenleyebileceğini bildirmiş ve özellikle, önceden açılmış galerilere giriş oranlarının arttığını vurgulamıştır. Bunun sebebinin, yaralanan ağaçların kabuk yüzeyinden ven/veya galerinin kendisinden yayılan toplanma feromonundan kaynaklabileceğini belirtmiştir.

Monoterpenler, kabuk böceklerinin hayatta kalması ve çoğalması için olumsuz sonuçlara sebep olabilmektedir. Monoterpenler genellikle yüksek salım oranlarında (yaklaşık 100-2.000 mg/gün), diğer kimyasallara göre

böceğin fizyolojisinde olumsuz etkilere sebep olabilmektedir (Miller ve Borden, 1990a, b, 2000, 2003; Hobson, 1993; El-Sayed ve Byers, 2000; Erbilgin ve Raffa, 2000; Erbilgin ve ark., 2003). Wallin ve Raffa (2000)'nın yaptıkları laboratuvar çalışmalarında; (-) -, (+) - ve (\pm) - α -pinen, (\pm) - β -pinen ve (\pm) -limonen bileşiklerinin laboratuvar ortamında konsantrasyonu arttıkça, erkek *Ips pini*'nin ilk galeri girişi ve galeri uzunluk oranının azaldığını bildirmişlerdir.

Kabuk Böcekleri Üzerinde Monoterpenlerin Toksik Etkisi

Monoterpenler, böcekler için toksik olabilmektedir. Batı çam böceği (*Dendroctonus brevicomis* Le Conte), ladin böceği (*D. rufpennis* Kirby), karaçam böceği (*D. simplex* Le Conte) ve güney çam böceği (*D. frontalis* Zimmermann) üzerinde yapılan çalışmalarda, limonene monoterpeninin α -pinene, β -pinene, 3-carene ve myrcene monoterpenlerinden daha toksik olduğu belirtilmiştir (Smith, 1965; Coyne ve Lott, 1976; Werner, 1995). Chiu ve ark. (2017) ve Boone ve ark. (2011)'nin yaptıkları çalışmalarda, *D. ponderosae* için limonenin, diğer monoterpenlerden daha toksik olduğu bildirilmiştir. *D. ponderosae* konukçusu olan kontorto çamı ve batı sarıçamı ile birlikte evrimleştiği için bu konukçularda bol miktarda bulunan monoterpenler, bu yazıcı böcek için toksik etki göstermemiştir. Ancak, *D. ponderosae* ile aynı evrimsel ilişkiyi paylaşmayan bank çamında en bol bulunan monoterpenlerin (+) - α -pinen (% 40), (+) - 3-carene (% 20) ve (-) - β -pinen (% 18) olduğu ve bu bileşiklerin *D. ponderosae*'ye karşı orta ila düşük aralıklı toksik etki gösterdiği bildirilmiştir (Clark ve ark., 2014).

Kabuk Böcekleri Üzerinde Monoterpenlerin Feromon ve Cezbedici Etkisi

Ağaçlarda yayılan semiokimyasallar ve bunlar sayesinde böceklerden yayılan feromonlar, kabuk böceğinin yaşamında önemli rol oynamaktadır (Wood, 1982; Borden, 1989). Kabuk böceklerinin biyoteknik mücadelesi için önem arz eden feromonlar ve cezbediciler, popülasyon takibi ve kitle yakalama amacıyla kullanılmaktadır.

Konifer türlerin kimyasal savunma amacıyla ürettikleri oleoresinin içerisinde farklı uçucu monoterpenler, uçucu olmayan diterpenler ve az miktarda seskiterpenler bulunmaktadır (Keeling ve Bohlmann, 2006; Kolosova ve Bohlmann, 2012). Oleoresin terpenoid bileşikleri, farklı kozalaklı türler, popülasyonlar ve aynı türün bireyleri arasında dahi büyük ölçüde değişebilmektedir (Robert ve ark., 2010; Clark ve ark., 2012). *D. ponderosae*'nin konifer monoterpenler ile birlikte evrimleşmesi, karmaşık kimyasal ekolojik etkileşimlerle sonuçlanmıştır (Seybold ve ark., 2006; Raffa, 2014). Çamlar, kimyasal savunma sisteminin bir parçası olarak monoterpenler üretirken, *D. ponderosae*, uygun bir konukçunun tanımlanması için konifer monoterpenlerinden yararlanabilmekte ve ayrıca konukçu savunmasını aşmak, kitle saldırısı ve feromonlar üretmek için belirli monoterpenleri kullanabilmektedir. Kabuk böceklerinin dişileri (-) - trans-verbenolu, erkekleri ise exo-brevicimini toplanma feromonu olarak salgılamaktadır. Trans-verbenol, konukçu ağacın başlangıç

saldırısında dişiler tarafından salgınmaktadır (Blomquist ve ark., 2010). Toplanma feromonu olan (-)-trans-verbenolün öncüsü, (-)- α -pinenedir. Dişi *D. ponderosae* erginleri, genellikle floemle beslendikten ve 25–250 μ L L⁻¹ konsantrasyonlarında α -pinene uçucusuna maruz kaldıktan sonra, trans-verbenolu üretmektedir (Conn, 1984; Gries ve ark., 1990).

California'nın Sierra Nevada dağındaki ormanlarda, funnel tipi tuzaklar içerisinde ayrı ayrı (S)-(-)- β -pinene, (R)-(+)- α -pinene ve (S)-(+)-3-carene bileşikleri konulduğunda, *Dendroctonus valens* LeConte'i çektiği belirtilmiştir. Bu çalışmada kullanılan üç monoterpeni, *D. valens* tarafından zarar görmüş çam ağaçlarının reçine kısmında saptamışlardır (Sun ve ark., 2004).

Kabuk böceklerini çekmek amacıyla tuzaklarda kullanılan önemli monoterpenlerden biri de, büyük kozalaklı çam ağacının ve batı sarıçam ağacının reçinesinden elde edilen bir uçucu olan 'myrcene', yazıcı böceğin hem dişisini hem de erkeğini çekmek için exo-brevicimin ile birlikte kullanıldığında sinejisit bir rol oynamaktadır. Yapılan bir çalışmada myrcenin sinerjistik etkisinde, exo-brevicimin ve erkek tarafından üretilen frontalinin ikili karışımı ile test edildiğinde, daha az çekicilik etkisinin olduğu belirtilmiştir (Bedard ve ark., 1980). Bu çalışmada, verbenone ve trans-verbenol monoterpenlerin etkisi de araştırılmış ve etkisinin diğerlerine göre çok düşük olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca bu çalışmada, exo-brevicimin + frontalin + turbentin karışımının, exo-brevicimin + frontalin + myrcenden daha yüksek çekicilik etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Poland ve ark. (2003, 2004)'nın yaptıkları çalışmalarda, *T. piniperda*'ya karşı ticari olan cezbedici bileşiklerden Kuzey Amerika'da α -pinene, Avrupa'da terpinolene ve (+)-3-carene adlı uçucuların kullanıldığı belirtilmiştir. Yaptıkları çalışmalarda optimum cezbedici karışımı belirlemek amacıyla, aday feromonlar ve konukçu uçucuların etkinliğini test etmişlerdir. Çalışmalar sonucunda, trans-verbenolün iyi bir feromon olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca çalışmalar sonucunda, optimum karışımın α -pinene ve trans-verbenol adlı ikili karışımın olduğunu bildirmişlerdir.

Monoterpenlerin Kabuk Böceklerinin Predatörlerine Etkisi

Monoterpenler yukarıda açıklandığı gibi, hem bitkilerin savunma mekanizmasında hem de Scolytinae alt familyasında bulunan türler için cezbedici olarak önemli rol oynamaktadır. Belirtilen bu uçucu bileşenler, ayrıca çam kabuğu böceklerinin avcılarının davranışını etkileyerek scolytidlerin hayatta kalması ve üremesi üzerinde dolaylı bir etki sağlamaktadır. Yazıcı böceklerin feromonlarına, bu zararlı türlerin predatörleri de tepki verebilmektedir. Staffan Lindgren ve ark. (2002), ağaçların yaşlanmasıyla birlikte farklı türdeki scolytid böcekler tarafından cezbedilebileceğini, kabuk böceklerinin cezbedilmesinden sonraki 2-3 haftada Ambrosia böceklerinden *Trypodendron lineatum* (Olivier) (Coleoptera: Scolytidae)'unda cezbedildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca kabuk böceklerinin ambrosiaya göre, daha taze doku tercih ettiğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde, predatör böcekler avlarının ürettiği kairomonlar tarafından cezbedildiği, daha sonra bu avcılarının

popülasyonunun da artmaya başladığı ifade edilmiştir. Mesela, damalı böceklerden *Thanasimus dubius* (Coleoptera: Cleridae), yazıcı böceği avlarının toplanma feromonları tarafından cezbedilmekte ve kabuk böceklerinin koloni oluşturma aşamasında ağaçlarda sıklıkla görülmektedir (Seybold ve ark., 2006). ABD'nin Büyük Göller Bölgesi'nde Wisconsin'de yapılan bir çalışmada çeşitli *Ips spp.*'nin feromonlarına *T. dubius*'un tepkisi (-) - α -pinen, (+) - α -pinen ve 3-carene ile önemli ölçüde arttığı belirtilmiştir (Erbilgin ve Raffa, 2001). *T. dubius*'un Wisconsin'de yapılan başka bir çalışmada *I. pini* toplanma feromonuna tepkisinin, α -pinene ilavesiyle önemli ölçüde arttığı ifade edilmiştir (Erbilgin ve ark., 2003). Bir başka damalı böcek olan *T. undatulus*'un, ipsdienole 3-carene cezbedicisi eklendiğinde, daha yüksek bir popülasyon oluşturduğu belirtilmiştir (Miller ve Borden, 2003).

Sonuç

Kabuk böcekleri, konukçu bitki monoterpenleri ve izoprenoid toplanma feromonları tarafından yönlendirilen önemli orman zararlılarıdır. Son 30 yılda bu böceklerle ilgili yapılan çalışmalarda, ağaçlardan yayılan monoterpenlerin kabuk böcekleri ve avcıları için çekici olabileceği ortaya konulmuştur. Yapılan çalışmaların bir kısmında, orman ağaçlarında kabuk böceklerinin oluşturduğu zarardan dolayı oluşan oleoresinin ekstraksiyonu sonucu ortaya çıkan monoterpen, uçucular tuzaklar içerisinde cezbedici olarak kullanılmış ve kabuk böceklerinin biyoteknik mücadelesinde güçlü bir silah olmuştur. Orman alanlarında ağaçlardan yayılan uçucu monoterpenlerin, sadece biyoteknik mücadele için değil, biyolojik mücadele içinde önemli olduğu yazar tarafından ortaya konulmuştur. Ortamda artan monoterpen içeriğinin, predatörlerin popülasyonunu arttırdığı vurgulanmıştır. Ağaçlardan salınan monoterpenler, bitki dayanıklılığı açısından da önem arz etmektedir. Çam monoterpenleri yüksek uçucu konsantrasyonlarda, kabuk böceklerine karşı zehirli olmakta ve çamın savunma sisteminin önemli bileşenleri olmaktadır. Son 30-40 yıl değerlendirildiğinde, küresel ısınmayla artan hava sıcaklıkları ve oluşan kuraklıklar, en çok orman alanlarını etkilemiştir. Değişen hava koşulları ve kuraklıklar nedeniyle orman ağaçları strese girmiş ve bu nedenle yazıcı böcek popülasyonları ormanlarda ciddi zararlanmalar meydana getirmeye başlamıştır. Küresel ısınmanın ileriki yıllarda etkisini devam ettireceği dikkate alınacak olursa, bu zararlının artabilecek popülasyonu için önlemler almamız gerekmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar derlendiğinde, monoterpenlerin ormanların önemli zararlı türlerinden olan kabuk böceklerinin mücadelesinde önemli rol oynadığı ortaya konulmuştur. Bu nedenle, kabuk böcekleri ve monoterpenler ile ilişkili yapılacak çalışmaların sayısı artırılmalı ve yapılan çalışmalara destek verilmelidir.

Kaynaklar

Akkuzu E, Eroglu H, Sonmez T, Yolasıgımaz, HA, Sariyildiz T. 2009. Effects of forest roads on foliage discoloration of oriental spruce by *Ips typographus* (L.). African Journal of Agricultural Research, 4(5): 468-473.

- Alkan Akıncı H, Özcan GE, Eroglu, M. 2009. Impacts of site effects on losses of oriental spruce during *Dendroctonus micans* (Kug.) outbreaks in Turkey. African Journal of Biotechnology, 8(16): 3934-3939.
- Bedard WD, Wood DL, Tilden PE, Lindahl KQ Jr, Silverstein RM, Rodin JO. 1980. Field responses of the western pine beetle and one of its predators to host- and beetle-produced compounds. Journal of Chemical Ecology, 6: 625-641.
- Blomquist GJ, Figueroa-Teran R, Aw M, Song M, Gorzalski A, Abbott NL, Tittiger C. 2010. Pheromone production in bark beetles. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 40(10): 699-712. doi: 10.1016/j.ibmb.2010.07.013
- Boone CK, Aukema BH, Bohlmann J, Carroll AL, Raffa KF. 2011. Efficacy of tree defense physiology varies with bark beetle population density: a basis for positive feedback in eruptive species. Canadian Journal of Forest Research, 41: 1174-1188. doi: 10.1139/x11-041
- Borden JH. 1989. Semiochemicals and bark beetle populations: exploitation of natural phenomena by pest management strategists. Ecography, 12(4): 501-510. doi: 10.1111/j.1600-0587.1989.tb00928.x
- Byers, J. A. (2004). A synthesis chemical ecology of bark beetles in a complex olfactory. In Lieutier F., Day KR, Battisti A, Gre'goire JC, Evans HF (editors). Bark and wood boring insects in living trees in Europe. Berlin: Springer, pp. 89-135. ISBN: 978-1-4020-2240-1, (Print) 978-1-4020-2241-8 (online).
- Can P. 2005. Türkiye Ormanlarında Son Yıllarda Görülen Kabuk Böcekleri (Coleoptera, Scolytidae) Sorunu Üzerinde Bir Değerlendirme. Orman ve Av, 82: 4-11.
- Chiu CC, Keeling CI, Bohlmann J. 2017. Toxicity of pine monoterpenes to mountain pine beetle. Scientific Reports, 7(1): 1-8. doi: 10.1038/s41598-017-08983-y
- Clark EL, Pitt C, Carroll AL, Lindgren BS, Huber DPW. 2014. Comparison of lodgepole and jack pine resin chemistry: implications for range expansion by the mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae* (Coleoptera: Curculionidae). PeerJ, 2: e240. doi: 10.7717/peerj.240.
- Clark EL, Huber DPW, Carroll AL. 2012. The legacy of attack: implications of high phloem resin monoterpene levels in lodgepole pines following mass attack by mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae* Hopkins. Environmental Entomology, 41(2): 392-398. doi:10.1603/EN11295.
- Conn JE, Borden JH, Hunt DWA, Holman J, Whitney HS, Spanier OJ, Oehlschlager AC. 1984. Pheromone production by axenically reared *Dendroctonus ponderosae* and *Ips paraconfusus* (Coleoptera: Scolytidae). Journal of Chemical Ecology, 10(2): 281-290. doi: 10.1007/BF00987856.
- Coulson RN, Wunneburger DF. 2000. Invertebrates as Webmasters in Ecosystems. Wallingford, UK: CAB publishing. ISBN : 978-0-8519-9394-2.
- Coyne JF, Lott LH. 1976. Toxicity of substances in pine oleoresin to southern pine beetles. Journal Georgia Entomological Society, 11:301-305.
- De Gomez T, Celaya B. 2013. The Piñon *Ips* Bark Beetle. College of Agriculture and Life science. The University of Arizona Cooperative Extension, 5.
- El-Sayed AM, Byers JA. 2000. Inhibitory effect of monoterpenes on response of *Pityogenes bidentatus* to aggregation pheromone released by piezoelectric sprayer for precision release of semiochemicals. Journal of Chemical Ecology, 26: 1795-1809.
- Erbilgin N, Raffa KF. 2000. Opposing effects of host monoterpenes on responses by two sympatric species of bark beetles to their aggregation pheromones. Journal of Chemical Ecology, 26: 2527-2548.
- Erbilgin N, Raffa KF. 2001. Modulation of predator attraction to pheromones of two prey species by stereochemistry of host plant volatiles. Oecologia, 127: 444-453.

- Erbilgin N, Powell JS, Raffa KF. 2003. Effect of varying monoterpene concentrations on the response of *Ips pini* (Coleoptera: Scolytidae) to its aggregation pheromone: implications for pest management and ecology of bark beetles. *Agricultural and Forest Entomology*, 5: 269-274. doi: 10.1046/j.1461-9563.2003.00186.x.
- Eroğlu M, Alkan-Akinci H, Özcan GE. 2005. Kabuk Böceği Salgınlarının Nedenleri ve Boyutları. *Orman ve Av Dergisi*, 5: 27-34.
- Faccoli M. 2002. Winter mortality in sub-corticolous populations of *Ips typographus* (Coleoptera, Scolytidae) and its parasitoids in the South-Eastern Alps. *Anzeiger für Schädlingskunde = Journal of Pest Science*, 75: 62-68.
- Forster B, Meier F, Gall R. 2003. Bark beetle management after a mass attack some Swiss experiences. In: Michael LM editor. *Proceedings of Ecology, Survey and Management of Forest Insects*, Krakow, Poland, 1-5 September 2002, Gen. Tech. Rep. NE-311, pp. 10-15.
- Gries G, Leufvén A, Lafontaine JP, Pierce Jr HD, Borden, JH, Vanderwel D, Oehlschlager AC. 1990. New metabolites of α -pinene produced by the mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae* (Coleoptera: Scolytidae). *Insect Biochemistry*, 20(4): 365-371. doi: 10.1016/0020-1790(90)90056-Z.
- Gümüş S, Arıca B, Enez K. 2009. Analysis of tree damage caused by rockfall at forest road construction works. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 30(2): 151-158.
- Hobson KR, Wood DL, Cool LG, White PM, Ohtsuka T, Kubo I, Zavarin E. 1993. Chiral specificity in responses by the bark beetle *Dendroctonus valens* to host kairomones. *Journal of Chemical Ecology*, 19(9): 1837-1846.
- Hofstetter RW, Mahfouz JB, Klepzig KD, Ayres MP. 2005. Effects of tree phytochemistry on the interactions among endophloedic fungi associated with the southern pine beetle. *Journal of Chemical Ecology*, 31(3): 539-560.
- İnanç S, Laz B. 2001. Kahramanmaraş Andırın kızılçam ormanlarında Akdeniz çam kabuk böceği *Orthotomicus erosus* (Woll.)'ne karşı feromon denemesi. *K.S.Ü Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(1): 86-91.
- Kanat M. 2000. Türkiye Ormanlarında Görülen Başlıca Abiyotik ve Biyotik Zararlıların İncelenmesi. *Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3 (2): 39-50.
- Keeling CI, Bohlmann J. 2006. Genes, enzymes and chemicals of terpenoid diversity in the constitutive and induced defence of conifers against insects and pathogens. *New Phytologist*, 170(4), 657-675. doi: 10.1111/j.1469-8137.2006.01716.x.
- Klepzig KD, Robison DJ, Fowler G, Minchin PR, Hain FP, Allen HL. 2005. Effects of mass inoculation on induced oleoresin response in intensively managed loblolly pine. *Tree Physiology*, 25(6): 681-688. doi: 10.1093/treephys/25.6.681.
- Kolosova N, Bohlmann J. 2012. Conifer defense against insects and fungal pathogens. In: Matyssek R, Schnyder H, Oßwald W, Ernst D, Munch JC, Pretzsch H (editors). *Growth and defence in plants: resource allocation at multiple scales*. Berlin Heidelberg, Germany: Springer-Verlag. pp.: 85– 108. (print) 978-3-642-30644-0 (online) 978-3-642-30645-7.
- Mattson WJ. 1977. *The role of arthropods in forest ecosystems*. New York: Springer-Verlag, ISBN 978-3-642-88448-1.
- Mattson WJ, Addy ND. 1975. Phytophagous insects as regulators of forest primary production. *Science*, 190(4214): 515-522.
- Miller DR, Borden JH. 1990a. b-Phellandrene: Kairomone for pine engraver, *Ips pini* (Say) (Coleoptera: Scolytidae). *Journal of Chemical Ecology*, 16: 2519-2531.
- Miller DR, Borden JH. 1990b. The use of monoterpenes as kairomones by *Ips latidens* (LeConte) (Coleoptera: Scolytidae). *The Canadian Entomologist*, 122: 301-307.
- Miller DR, Borden JH. 2000. Dose-dependent and species-specific responses of pine bark beetles (Coleoptera: Scolytidae) to monoterpenes in association with pheromones. *The Canadian Entomologist*, 132: 183-195.
- Miller DR, Borden JH. 2003. Responses of *Ips pini* (Say), *Pityogenes knechteli* Swaine and associated beetles (Coleoptera) to host monoterpenes in stands of lodgepole pine. *Journal of Entomological Science*, 38: 602–611.
- Özcan GE, Çiçek O, Enez K, Yıldız M. 2014. A new approach to determine the capture conditions of bark beetles in pheromone-baited traps. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 28(6): 1057-1064. DOI: 10.1080/13102818.2014.974015
- Özcan GE, Eroğlu M, Alkan-Akinci H. 2006. Ladin Ormanlarında *Dendroctonus micans* (Kugelann) (Coleoptera, Scolytidae)'in Zarar Durumu ve *Rhizophagus grandis* (Gyllenhal) (Coleoptera, Rhizophagidae)'in Zararının Populasyonuna Etkisi. *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 30(1): 11-22.
- Özcan GE, Çiçek O, Enez K, Yıldız M. 2016. Evaluation of the counting success of pheromone-baited trap with electronic control unit. *Current Science*, 111(1): 192-197.
- Poland TM, De Groot P, Burke S, Wakarchuk D, Haack RA, Nott R, Scarr T. 2003. Development of an improved attractive lure for the pine shoot beetle, *Tomicus piniperda* (Coleoptera: Scolytidae). *Agricultural and Forest Entomology*, 5: 293-300.
- Poland TM, de Groot P, Haack RA, Czokajlo D. 2004. Evaluation of semiochemicals potentially synergistic to α -pinene for trapping the larger European pine shoot beetle, *Tomicus piniperda* (Col., Scolytidae). *Journal of Applied Entomology*, 128: 639-644. doi: 10.1111/j.1439-0418.2004.00900.x.
- Powers JS, Sollins P, Harmon ME, Jones JA. 1999. Plant-pest interactions in time and space: A Douglas-fir bark beetle outbreak as a case study. *Landscape Ecology*, 14: 105-120.
- Raffa KF. 2014. Terpenes tell different tales at different scales: glimpses into the chemical ecology of conifer - bark beetle - microbial interactions. *Journal of Chemical Ecology*, 40: 1-20. doi: 10.1007/s10886-013-0368-y.
- Reeve JD, Ayres MP, Lorio Jr. PL. 1995. Host suitability, predation, and bark beetle population dynamics. In: Cappuccino N, Price PW (editors). *Population Dynamics. New Approaches and Synthesis*. New York: Academic Press, pp. 339-357. ISBN: 9780121592707 (Print), ISBN: 9780080539256 (Online).
- Robert JA, Madilao LL, White R, Yanchuk A, King J, Bohlmann J. 2010. Terpenoid metabolite profiling in Sitka spruce identifies association of dehydroabietic acid, (+)-3-carene, and terpinolene with resistance against white pine weevil. *Botany*, 88(9): 810-820. doi: 10.1139/B10-049
- Sarıkaya O, Avcı M. 2006. Kabuk Böceklerine Karşı Ormanlarımızda Alınabilecek Koruyucu Önlemler. *Orman Mühendisliği Dergisi*, 1-2-3: 26-31.
- Sarıkaya O, Avcı M. 2009. Predators of Scolytinae (Coleoptera: Curculionidae) species of the coniferous forests in the Western Mediterranean Region, Turkey. *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 33(4): 253-264.
- Sarıkaya O, Avcı M. 2011. Bark beetle fauna (Coleoptera: Scolytinae) of the coniferous forests in the Mediterranean region of Western Turkey, with a new record for Turkish fauna. *Turkish Journal of Zoology*, 35(1): 33-47. doi:10.3906/zoo-0901-8.
- Sarıyıldız T, Akkuzu E, Küçük M, Duman A, Aksu Y. 2008. Effects of *Ips typographus* (L.) damage on litter quality and decomposition rates of Oriental Spruce (*Picea orientalis* (L.) Link.) in Hatila Valley National Park, Turkey. *European Journal of Forest Research*, 127(5): 429-440.
- Schade GW, Goldstein AH. 2003. Increase of monoterpene emissions from a pine plantation as a result of mechanical disturbances. *Geophysical Research Letters*, 30(7). doi:10.1029/2002GL016138.
- Seybold SJ, Bohlmann J, Raffa KF. 2000. Biosynthesis of coniferophagous bark beetle pheromones and conifer isoprenoids: evolutionary perspective and synthesis. *The Canadian Entomologist*, 132(6): 697-753. doi: 10.4039/Ent132697-6.

- Seybold SJ, Huber DPW, Lee JC, Graves AD, Bohlmann J. 2006. Pine monoterpenes and pine bark beetles: a marriage of convenience for defense and chemical communication. *Phytochemistry Reviews*, 5: 143-178. DOI: 10.1007/s11101-006-9002-8.
- Smith RH. 1965. Effect of monoterpene vapors on the western pine beetle. *Journal of Economic Entomology*, 58: 509-511. doi: 10.1093/jee/58.3.509.
- Spellerberg Ian F. 1998. *Ecological Effects of Roads and Traffic: A Literature Review*, Blackwell Science Ltd., Global Ecology and Biogeography Letters (7): 317-333.
- Staffan Lindgren B, Miller DR. 2002. Effect of verbenone on attraction of predatory and woodboring beetles (Coleoptera) to kairomones in lodgepole pine forests. *Environmental Entomology*, 31(5): 766-773. doi: 10.1603/0046-225X-31.5.766.
- Sun J, Miao Z, Zhang Z, Zhang Z, Gillette NE 2004. Red turpentine beetle, *Dendroctonus valens* LeConte (Coleoptera: Scolytidae), response to host semiochemicals in China. *Environmental Entomology*, 33(2): 206-212. doi: 10.1603/0046-225X-33.2.206.
- Wallin KF, Raffa KF. 2000. Influences of host chemicals and internal physiology on the multiple steps of postlanding host acceptance behavior of *Ips pini* (Coleoptera: Scolytidae). *Environmental Entomology*, 29(3): 442-453. doi: 10.1603/0046-225X-29.3.442.
- Werner RA. 1995. Toxicity and repellency of 4-allylanisole and monoterpenes from white spruce and tamarack to the spruce beetle and eastern larch beetle (Coleoptera: Scolytidae). *Environmental Entomology*, 24: 372-379. doi: 10.1093/ee/24.2.372.
- Wood SL. 1982. The bark and ambrosia beetles of Nor and Central America (Coleoptera: Scolytidae), a taxonomic monograph. *Great Basin Nat Memoirs*, 6: 1-1359.