

Kırmızı Orman Karıncalarında (*Formica rufa*) ısı düzenleme mekanizmaları ve besin arama davranışlarının koloni hacmine bağlı değişimi

Meriç Çakır^{a,*} 

Öz: Bu çalışma, kırmızı orman karıncalarının (*Formica rufa*) farklı yuva hacimlerine göre ısı düzenleme stratejileri ile besin arama davranışlarındaki değişimleri incelemektedir. Isıl düzenleme ve besin arama davranışlarının yuva mikrokliması ve koloni organizasyonu üzerindeki etkileri, yarı kurak bir ormanlık alanda karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışma, Çankırı Karatekin Üniversitesi Orman Fakültesi Araştırma Ormanı'nda yer alan dört farklı hacimdeki karınca yuvasında yürütülmüştür. Her yuvaya yerleştirilen sıcaklık sensörleri ile yuva üstü, içi ve çevre toprak sıcaklıkları bir yıl boyunca saatlik olarak kaydedilmiştir. İlkbahar döneminde termal kamera ile yüzey sıcaklıkları görüntülenmiş, besin arama yolları haritalanmıştır. Veriler varyans analizi (ANOVA) ve Tukey HSD testi ile değerlendirilmiştir. Bulgular, büyük hacimli yuvalarda iç sıcaklığın daha stabil olduğunu, güneşlenme davranışlarının yuva yüzey sıcaklığını artırarak termoregülasyona katkı sağladığını göstermiştir. Ayrıca, yuva hacmi ile besin arama alanı ve yol uzunluğu arasında pozitif ilişki bulunmuştur. Karıncaların yalnızca belirli ağaçlara yönelerek stratejik kaynak kullanımında bulunduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, *F. rufa* türü çevresel streslere karşı hem fizyolojik hem davranışsal uyum stratejileri geliştirmekte ve yuva hacmi bu süreçlerde belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu adaptasyonlar, koloninin hayatta kalma başarısını ve orman ekosistemine katkı düzeyini artırmaktadır.

Anahtar kelimeler: Besin arama, Güneşlenme davranışı, Kırmızı orman karıncası, Mikroklima, Termoregülasyon, Yuva hacmi

Thermoregulation mechanisms and nest size-dependent foraging behavior in the Red Wood Ant (*Formica rufa*)

Abstract: This study investigates how thermoregulation strategies and foraging behavior in red wood ants (*Formica rufa*) vary according to nest volume. The effects of these behavioral and physiological adaptations on nest microclimate and colony organization were comparatively assessed in a semi-arid forest ecosystem. The research was conducted on four nests of varying volumes located in the Research Forest of Çankırı Karatekin University. Temperature sensors were installed in each nest to monitor surface, interior, and surrounding soil temperatures hourly over one year. In spring, thermal imaging was used to analyze surface temperatures, while foraging trails were mapped using a grid system. Data were analyzed using ANOVA and Tukey HSD post-hoc tests. Results showed that larger nests maintained more stable internal temperatures. Sun basking behavior increased surface temperatures and contributed to thermoregulation. A positive correlation was found between nest volume and both foraging area and trail length. Ants were observed to selectively forage from specific trees, indicating strategic resource use. In conclusion, *F. rufa* exhibits both physiological and behavioral adaptations to environmental stress, with nest volume playing a key role in thermal regulation and foraging dynamics. These adaptations enhance colony survival and contribute significantly to forest ecosystem processes.

Keywords: Foraging, Sun basking, Red wood ant, Microclimate, Thermoregulation, Nest volume

1. Giriş

Kırmızı orman karıncaları (*Formica rufa* grubu), Kuzey Avrupa ormanlarında yaygın olarak bulunan, yüksek organizasyon yapısına sahip sosyal böceklerdir (Hölldobler ve Wilson, 1990; Stockan ve Robinson, 2016). Bu türler, kolonilerinde binlerce işçi karınca barındırmakta ve genellikle höyük biçiminde yuvalar inşa etmektedir. Hem simbiyotik hem de avcı beslenme davranışları ile *Formica rufa* türü, boreal ve ılıman orman ekosistemlerinde enerji akışı, madde döngüsü ve biyoçeşitlilik üzerinde belirleyici bir role sahiptir (Burns vd., 2020; Çakır, 2021; Çakır ve Tunç, 2019; Domisch vd., 2009). Yaprak bitlerinden elde ettikleri balözü ve çeşitli omurgasızları avlama yoluyla elde ettikleri

besinler hem bireysel metabolizmalarını hem de koloni düzeyinde enerji gereksinimlerini karşılamaktadır (Carroll ve Janzen, 1973; Çakır, 2019; Ellis ve Robinson, 2015).

Bu karıncalar yalnızca birer besin toplayıcı değil, aynı zamanda aktif olarak ortam koşullarını düzenleyebilen ekosistem mühendisleridir (Lenoir, 2001). Özellikle yuvalarındaki ısı düzenleme davranışları, bu türlerin çevresel değişkenliklere karşı geliştirdiği önemli adaptasyonlardan biridir. Yuva içi sıcaklıklar, dış çevre koşullarından büyük ölçüde farklılaşabilmekte; karıncalar yuva mimarisi, güneşlenme (sun basking), metabolik ısı üretimi ve yalıtım özellikleri sayesinde bu mikroklimatik dengeyi sürdürebilmektedir (Frouz, 2000; Kadochová ve Frouz, 2014). Yuva sıcaklığının korunması, larva gelişim oranı,

^a Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Toprak İlimi ve Ekoloji Anabilim Dalı, Çankırı, Türkiye

^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): mericcakir@karatekin.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 16.07.2025, **Accepted** (Kabul tarihi): 01.09.2025



Citation (Atıf): Çakır, M., 2025. Kırmızı Orman Karıncalarında (*Formica rufa*) ısı düzenleme mekanizmaları ve besin arama davranışlarının koloni hacmine bağlı değişimi. Turkish Journal of Forestry, 26(3): 358-365.
DOI: [10.18182/tjf.1744306](https://doi.org/10.18182/tjf.1744306)

yumurta döngüsü ve koloni içi görev dağılımı açısından belirleyici olduğundan, bu türler için hayatta kalma başarısının temel bileşenlerinden biridir (Rosengren vd., 1987; Stukalyuk vd., 2020).

Yuva mikrokliması; yuva hacmi, yönelimi, güneşlenmeye maruz kalma derecesi ve yuva materyalinin ısı iletkenlik özellikleri gibi çok sayıda faktöre bağlı olarak şekillenmektedir. Özellikle büyük hacimli yuvaların, daha dengeli bir sıcaklık rejimi sağlayarak dış ortamın ani sıcaklık değişimlerine karşı tampon görevi gördüğü gösterilmiştir (Kadochová vd., 2017). Ek olarak, ilkbahar aylarında gözlenen güneşlenme davranışları, bireysel ısınmanın yanı sıra yuvanın iç sıcaklığının artırılmasına da katkı sağlar (Frouz vd., 2016). Güneşlenen bireylerin taşıdığı ısı enerjisi, yuva içindeki larvaların gelişimini hızlandırmakta ve koloni aktivitesinin erken başlamasını mümkün kılmaktadır (Kadochová ve Frouz, 2014).

Bununla birlikte, *Formica rufa* kolonilerinin besin arama stratejileri de yuva yapısı ve çevresel faktörlerle yakından ilişkilidir. Polidom yapıları koloniler, birbirinden bağımsız gibi görünen yuvalar arasında yoğun bir iletişim ve kaynak paylaşımı kurarak geniş alanlara yayılmış ağlar oluştururlar. Karıncalar genellikle sabit patikalar üzerinden hareket eder; bu yolların yoğunluğu, uzunluğu ve yönelimi çevresel sıcaklık, kaynak bolluğu ve koloni büyüklüğü gibi faktörlerden etkilenir (Barrie vd., 2024; Burns vd., 2020; Cosens ve Toussaint, 1985). Koloni hacminin artması, daha fazla işçi karıncanın görevlendirilmesini mümkün kılar ve böylece hem besin arama alanı hem de kaynak taşıma kapasitesi genişletilir (Ellis vd., 2014).

Her ne kadar kırmızı orman karıncalarının termoregülasyon stratejileri ve besin arama davranışları ayrı ayrı birçok çalışmaya konu olmuş olsa da bu iki adaptif davranışın aynı ekolojik çerçevede, karşılaştırmalı olarak ve yuva hacmine bağlı biçimde ele alındığı araştırma sayısı oldukça sınırlıdır (Rosengren vd., 1987; Stukalyuk vd., 2020). Ayrıca, yarı kurak bir ormanlık alanda mikroklimatik regülasyon ve besin arama stratejilerinin bir arada değerlendirilmesi, bu çalışmanın özgünlüğünü artırmaktadır.

Bu bağlamda bu çalışma aşağıdaki temel araştırma sorusuna odaklanmaktadır:

“Yuva hacmi ve çevresel sıcaklık koşulları, kırmızı orman karıncalarının yuva içi ısı düzenlemeyi ve besin arama davranışlarını nasıl etkilemektedir?”

Çalışmanın temel hipotezleri şunlardır:

- Daha büyük hacimli yuvalar, daha kararlı bir iç sıcaklık rejimi sağlar ve dış çevresel dalgalanmalara karşı daha dirençlidir.
- Koloni hacmi arttıkça besin arama alanı genişler ve karıncaların izlediği yollar daha kompleks bir yapı kazanır.
- Güneşlenme davranışları, yuva yüzey sıcaklığını artırarak koloni metabolizmasını uyarır ve erken bahar döneminde koloni içi faaliyetlerin hızlanmasına katkı sağlar.

Bu hipotezler çerçevesinde, Çankırı yarı kurak orman ekosisteminde farklı hacimlere sahip *Formica rufa* yuvalarında yıl boyunca sıcaklık verileri izlenmiş, termal kameralarla yuva yüzeyi sıcaklıkları analiz edilmiş ve karıncaların besin arama yolları haritalanmıştır. Araştırma hem ısı düzenleme hem de kaynak kullanımı açısından kolonilerin çevresel koşullara nasıl tepki verdiğini anlamaya yönelik bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Çalışma alanı

Araştırma, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Çankırı ili, Eldivan ilçesi sınırları içerisindeki Çankırı Karatekin Üniversitesi Orman Fakültesi Araştırma ve Uygulama Ormanı'nda yürütülmüştür (40°30'11" - 40°29'35" K; 33°25'45" - 33°27'10" D). Yarı kurak iklim kuşağında bulunan bu bölgenin yıllık ortalama sıcaklığı 6-12 °C, yıllık ortalama yağıışı ise 450-500 mm'dir (Ediş ve Pehlivan, 2025). Anakaya yapısı Miyosen-Pliyosen dönemine ait serpantin formasyonlarından oluşmaktadır. Arazi, karaçam (*Pinus nigra*) baskınlığında iğne yapraklı ağaçlarla kaplıdır. Çalışma alanındaki kırmızı orman karıncası (*Formica rufa*) yuvalarının yoğunluğu hektar başına 5–10 adet arasında değişmekte, yuva hacimleri ise yaklaşık 0,2–1,5 m³ aralığındadır (Çakır, 2019).

2.2. Verilerin toplanması

Çalışmada dört farklı büyüklükte *Formica rufa* yuvası seçilmiş ve bu yuvaların hacimleri yarım elipsoid hacim formülüne göre hesaplanmıştır:

$$V = \frac{2}{3} \pi r_1 r_2 h \quad (1)$$

Burada r_1 ve r_2 kuzey-güney ve doğu-batı çaplarını, h yuvanın yüksekliğini, π (3,145) göstermektedir (Sorvari vd., 2016; Yılmaz vd., 2023). Yuvalar arasında hacim karşılaştırması yapılabilmesi amacıyla iki grup oluşturulmuştur: küçük yuvalar (<0,9 m³) ve büyük yuvalar (≥0,9 m³).

Yuva sıcaklıklarının zamansal değişimini izlemek amacıyla her yuvaya üç adet sıcaklık sensörü (Decagon Em5b) yerleştirilmiştir: i) Tepe noktasından 15 cm derinliğe (Yuva Üstü), ii) Yuvanın merkezine (Yuva İçi) ve iii) Yuvanın çevresindeki 10 cm derinlikteki toprak katmanına (Toprak). Tüm sensörler yıl boyunca sürekli çalışacak şekilde programlanmış ve saatlik sıcaklık verileri veri kayıt cihazı aracılığıyla depolanmıştır. Elde edilen veriler hem günlük hem mevsimsel ölçeklerde analiz edilmiştir.

Ayrıca, yuvaların aktif olmaya başladığı ilkbahar döneminde (Mart ayı), Fluke TiS20+ kızılötesi termal kamera ile yuvaların yüzey sıcaklıkları görsel olarak kaydedilmiş ve güneşli-gölgeli alanlar arasındaki sıcaklık farklılıkları analiz edilmiştir.

Karıncaların besin arama davranışlarını gözlemlemek amacıyla, her yuva çevresine 1 metre yüksekliğinde çubuklarla oluşturulmuş, 1 m²'lik karelerden oluşan 40 m²'lik bir izgara sistemi kurulmuştur. Bu sistem dört yöne (kuzey, güney, doğu, batı) yayılacak şekilde yerleştirilmiş ve karıncaların izledikleri yollar, aynı gün içerisinde yapılan doğrudan ve kapsamlı gözlemlerle kayıt altına alınmıştır. Bu uygulama, belirli bir örnekleme protokolüne dayanmaktan ziyade, mevcut aktivite alanının anlık olarak haritalandırılmasına yönelik bütüncül bir gözlem yaklaşımına dayanmaktadır. Karıncaların tırmandığı ağaçlar (karaçam, meşe, ardıç) ayrı ayrı işaretlenmiş; patika uzunlukları ölçülmüş ve yönere göre haritalandırılmıştır. Gözlemler en aktif dönemi kapsayan Nisan-Haziran aylarında yapılmıştır.

2.3. İstatistiksel Analiz

Veri seti üzerinde sıcaklık karşılaştırmaları için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Yuva hacmi grupları (küçük ve büyük) ve farklı ölçüm noktaları (yuva üstü, içi, toprak) arasındaki sıcaklık farkları test edilmiştir. Anlamlı farklılıklar tespit edilen durumlarda Tukey HSD post-hoc testi kullanılmıştır. Ayrıca mevsimsel ortalamalar grafiklerle görselleştirilmiş ve istatistiksel anlamlılık $P<0,05$ düzeyinde değerlendirilmiştir. Veri analizleri IBM SPSS Statistics 25 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular

3.1. Yuva ve toprak sıcaklıklarının zamansal değişimi

Kırmızı Orman Karıncası yuvalarının ve orman zeminindeki toprak sıcaklığının zamansal değişimi bir yıl boyunca saatlik ölçülmüş ve sıcaklık profilleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen verilere göre, ölçüm noktaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmiştir (ANOVA, $P<0,001$).

Yuva üst sıcaklığı, çevresel koşullara daha duyarlı ve sıcaklıktaki dalgalanmalar daha belirginken yuva iç sıcaklığı, yuva üst sıcaklığına kıyasla daha dengeli ve çevresel değişimlerden daha az etkilenmektedir. Toprak sıcaklığı, genel olarak daha stabil bir seviyelerde değişim göstermektedir. Ayrıca sıcaklıkların mevsimsel döngülere paralel olarak değişim gösterdiği açıkça görülmektedir (Şekil 1).

Yuva üst noktası, yuva içi ve toprak sıcaklıkları arasındaki farklar, özellikle ekstrem sıcaklık olaylarında belirgin hale gelmektedir. Yaz aylarında yuva üst noktasındaki sıcaklık ($35-40^{\circ}\text{C}$), güneş radyasyonuna doğrudan maruz kalmanın etkisiyle yüksek değerlere ulaşırken, yuva içi sıcaklık ($22-26^{\circ}\text{C}$) daha stabil seyretmektedir. Bu durum, yuva yapısının ısı yalıtım kapasitesi ile doğrudan ilişkilidir.

Kış aylarında ise, toprak sıcaklığının daha az dalgalanma göstermesi, toprak yapısının sıcaklık koruma fonksiyonunu yansıtmaktadır. Bu durum karınca kolonilerinin hayatta kalma stratejileri açısından oldukça önemlidir. Toprağın nem içeriği ve ısı kapasitesi, yuvanın iç kısmını çevresel stres faktörlerinden koruyarak mikroklimatik bir denge oluşturur (Şekil 1).

Yıllık ortalama sıcaklıklar incelendiğinde, üç farklı noktadaki sıcaklık değerlerinin (Yuvanın üst ve iç kısmı ile

toprak) ortalama ve medyan değerleri net bir şekilde gözlemlenmektedir. Yuva üst noktasının ortalama sıcaklığının daha yüksek olması, yüzeyin doğrudan güneş ışığına maruz kalmasıyla tutarlıdır (Şekil 2).

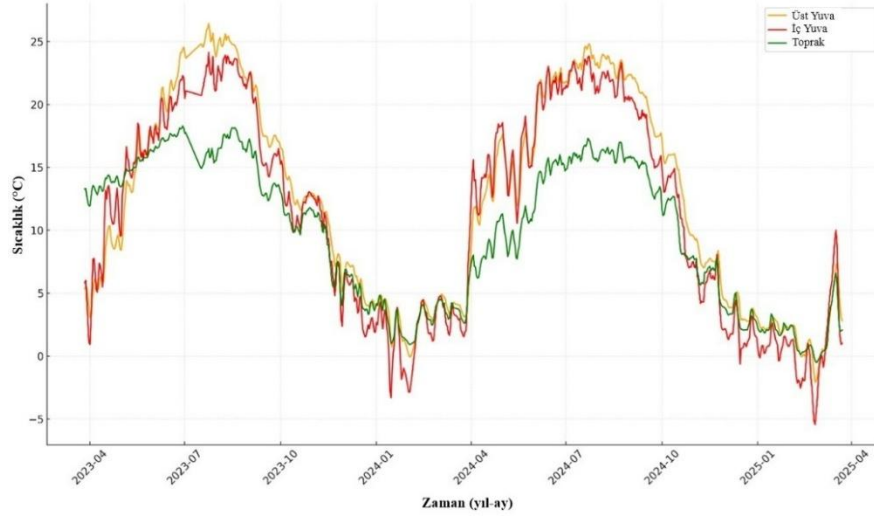
Yuva içi sıcaklık ise daha dar bir aralıkta yoğunlaşmış olup, bu durum mikroklimatik dengenin göstergesidir. Toprak sıcaklığı ise hem yuva üst noktasından hem de yuva içi sıcaklığından daha düşük bir medyana sahiptir. Bu bulgu, toprak yapısının çevresel ısı değişimlerine karşı tampon görevi gördüğünü göstermektedir.

3.2. Mevsimsel ortalama sıcaklık dağılımlarının incelenmesi

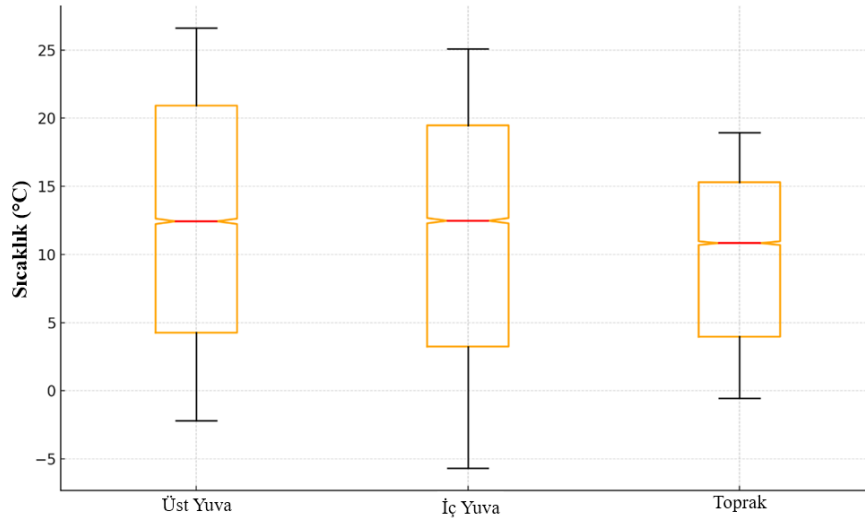
Dört mevsime ait ortalama sıcaklıklar değerlendirildiğinde, ölçüm noktaları arasında anlamlı farklılıklar olduğu saptanmıştır ($P<0,001$). İlkbaharda toprağın ısınması karınca yuvasına göre daha hızlı olduğu fakat yaz ve sonbaharda yuvanın topraktan daha sıcak olduğu görülmektedir. Kış ayında ise iç yuva sıcaklığı daha düşükken üst yuva ve toprak sıcaklığının daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 3).

Elde edilen verilere göre, yuva ve toprak sıcaklıkları arasında belirgin bir ilişki gözlemlenmektedir. Yuva sıcaklığı, genel olarak toprak sıcaklığına göre daha yüksek seyretmektedir ve bu durum, yuva içinde karıncaların ısı düzenleme yeteneklerine işaret etmektedir. Özellikle yaz aylarında yuva sıcaklıklarının toprak sıcaklıklarına göre daha belirgin bir farkla arttığı görülmektedir. Bu, yuva içindeki biyolojik aktivitelerin yoğunlaşmasıyla ilişkili olabilmektedir. Kış aylarında ise yuva sıcaklıklarının daha stabil olduğu ve toprak sıcaklığına yakın seyrettiği fark edilmektedir. Bu durum, kış aylarında karınca kolonilerinin metabolik aktivitelerini düşürerek enerji tasarrufu yaptığını ve yuvayı dış koşullara karşı yalıtıldığını göstermektedir.

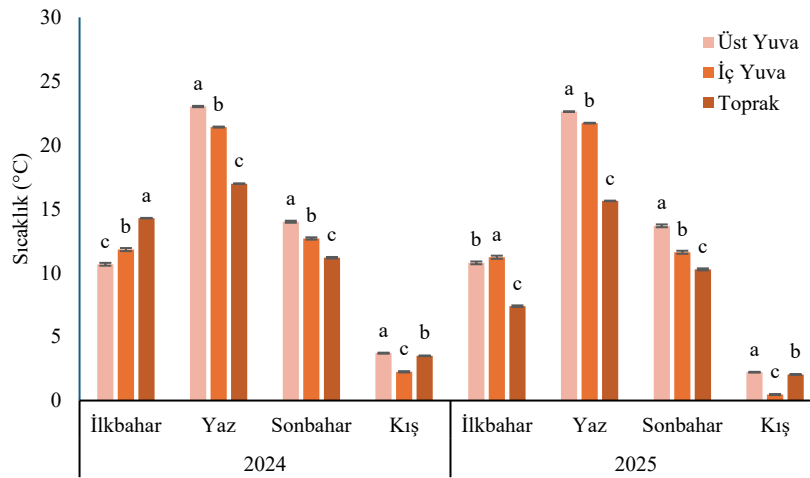
Mevsimsel dalgalanmalar, yuva sıcaklığının çevresel koşullara duyarlılığını ortaya koyarken, yuva sıcaklığının karıncaların yaşam döngüsünü optimize etmek için stratejik olarak kontrol edildiğini düşündürmektedir. Bu sıcaklık farkları, yuva içindeki mikroklimanın korunması ve koloninin hayatta kalmasını sağlamak için önemli bir adaptasyon mekanizmasını yansıtmaktadır. Bu bulgular, karıncaların yuva mimarisi ve davranışları sayesinde kışın enerji kaybını azaltabildiğini ve yazın aşırı sıcaklardan korunabildiğini göstermektedir.



Şekil 1. Orman karıncası yuvasının ve toprak sıcaklıklarının yıl içerisindeki saatlik değişimi
Figure 1. Hourly changes in wood ant nest and soil temperatures across the year



Şekil 2. Karınca yuvasının üst ve iç sıcaklığı ile toprak sıcaklığına ait kutu (boxplot) grafiği
Figure 2. Boxplot of the top and center temperature of the ant nest and the soil temperature



Şekil 3. Karınca yuvasına ve toprağa ait mevsimsel ortalama sıcaklıklar
(Harfler istatistiksel olarak farklılığı ifade etmektedir $p < 0,05$)

Figure 3. Seasonal average temperatures of the ant nest and soil (Letters indicate statistical difference $p < 0.05$)

3.3. Yuva hacmi ile sıcaklık profilleri arasındaki farklılıklar

Farklı hacimlerdeki ($>0,9 \text{ m}^3$ ve $<0,9 \text{ m}^3$) *Formica rufa* yuvalarının yüzeyin güneşli ve gölgeli yüzeyleri ile yuvanın iç kısmının iki farklı derinliğindeki sıcaklık değerleri ve toprak sıcaklıkları karşılaştırılmıştır. Farklı hacimlerdeki yuvalar arasında yapılan karşılaştırmalarda yuva büyüklüğünün sıcaklık stabilitesi üzerinde etkili olduğu bulunmuştur.

Elde edilen bulgulara göre, güneşe maruz kalan yuva yüzey sıcaklığı büyük hacimli yuvalarda ($31,92^\circ\text{C}$) küçük yuvalara kıyasla ($23,54^\circ\text{C}$) anlamlı düzeyde daha yüksek ölçülmüştür ($F=317,91$; $P=0,000$). Buna karşın, gölgede kalan yüzey sıcaklığı büyük hacimli yuvalarda ($6,60^\circ\text{C}$), küçük hacimli yuvalara ($8,37^\circ\text{C}$) göre anlamlı şekilde daha düşük ölçülmüştür ($F=73,92$; $P=0,000$). Yuva içi sıcaklıklarına bakıldığında, üst katmandaki sıcaklık küçük yuvalarda ($12,39^\circ\text{C}$), büyük yuvalara göre ($9,10^\circ\text{C}$) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur ($F=169,03$; $P=0,000$). Yuva içinin orta kısmındaki sıcaklık farkı ise istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($P=0,131$). Toprak sıcaklığı her iki yuva hacmi için benzer düzeyde ölçülmüş ($P=0,356$) ve anlamlı bir fark saptanmamıştır. Bu bulgular, yuva hacminin hem yuva yüzeyi hem de iç ortam sıcaklığını etkilediğini, özellikle güneşlenme ve termal yalıtım açısından büyük yuvaların daha dengeli bir mikroiklim sağladığını göstermektedir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Büyük ve küçük yuvalarda yuva yüzeyinin güneşli ve gölgeli kısımları ile yuva içi ve toprak sıcaklık farkı
Table 1. Temperature differences between sunny and shady parts of the nest surface and inside the nest and soil in large and small nests

Sıcaklık noktaları	Büyük Yuva ($>0,9 \text{ m}^3$)	Küçük Yuva ($<0,9 \text{ m}^3$)	F	P
Güneşli yüzey ($^\circ\text{C}$)	$31,92 \pm 2,02$	$23,54 \pm 1,56$	317,91	0,000
Gölgeli yüzey ($^\circ\text{C}$)	$6,60 \pm 0,99$	$8,37 \pm 0,51$	73,92	0,000
Yuva üst ($^\circ\text{C}$)	$9,10 \pm 2,48$	$12,39 \pm 2,07$	169,03	0,000
Yuva iç ($^\circ\text{C}$)	$7,31 \pm 2,11$	$7,52 \pm 3,02$	2,287	0,131
Toprak ($^\circ\text{C}$)	$13,57 \pm 0,58$	$13,61 \pm 0,58$	1,186	0,356

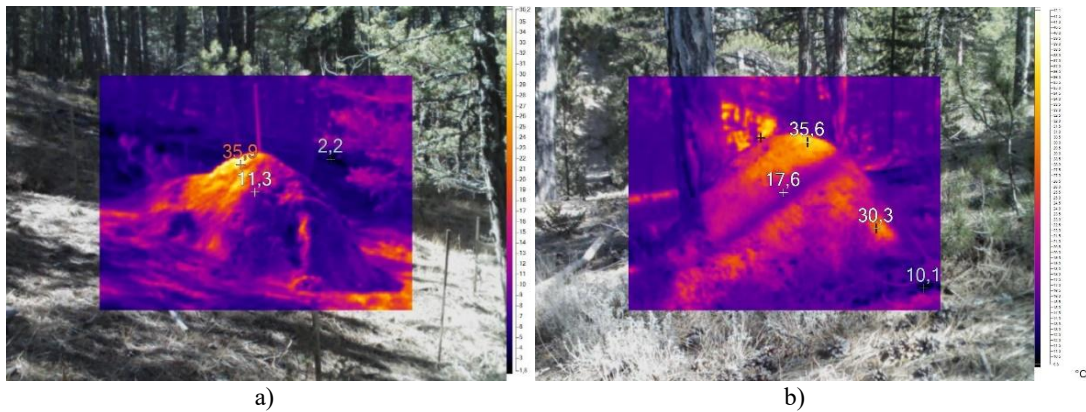
3.4. Güneşlenme davranışları ve termal görüntüleme sonuçları

Termal kamera analizleri, mart ayında güneşlenmenin (sun basking) etkilerini görsel olarak ortaya koymuştur. Güneşe maruz kalan yüzeylerde sıcaklık $35,9^\circ\text{C}$ 'ye ulaşmış, karıncalar bu bölgelerde yoğunlaşmıştır. Gölgeli bölgelere kıyasla güneşli alanlarda karınca aktivitesi artmıştır. Ayrıca, karıncaların vücut sıcaklığını artırmak amacıyla özellikle sabah saatlerinde güneşlenme alanlarında toplandıkları gözlemlenmiştir.

Karıncalar, yuvalarının sıcaklık kontrolünü düzenlemek için biyolojik ve fiziksel mekanizmalara sahiptir. Yüzey sıcaklığı ile çevre hava sıcaklığı arasındaki fark bazı bölgelerde 30°C 'ye kadar ulaşmış (örn. dış hava $2,2^\circ\text{C}$ iken yuva üstü $35,6^\circ\text{C}$), bu da karıncaların yuva üzerindeki mikro alan farklılıklarını aktif olarak kullandıklarını göstermektedir. Yüksek sıcaklık bölgeleri, karıncaların yavrularını ve simbiyotik organizmaları yetiştirdiği odaları işaret edebilir. $11,3^\circ\text{C}$ gibi daha orta seviyedeki sıcaklık alanları, yuvanın alt kısımlarında hava akışı ve nemin etkisiyle daha dengeli bir ortam olduğunu göstermektedir. Bu sıcaklık farkları, yuvanın çevresel koşullara karşı iyi izole olduğunu ve karıncaların habitatlarını optimize etme becerisini ortaya koymaktadır (Şekil 4a). Yuva üzerine dal ile gölgeleme yapıldığında karıncaların gölgenin üst tarafında ($35,6^\circ\text{C}$) ve alt tarafında ($30,3^\circ\text{C}$) güneşlendikleri ve gölgeden kaçındıkları görülmüştür. Bu olaya karıncalarda güneşlenme (sun basking) olarak adlandırılmaktadır.

3.5. Yuva hacmi ile besin arama alanı arasındaki ilişki

Dört farklı büyüklükteki *Formica rufa* yuvası için besin arama alanları izgara sistemleriyle haritalandırılmış, ağaç kullanımı ve toplam patika uzunlukları ölçülmüştür. Veriler, yuva hacmi arttıkça hem kullanılan ağaç sayısının hem de karınca patikalarının uzunluğunun anlamlı biçimde arttığını göstermektedir (Çizelge 2).



Şekil 4. *Formica rufa* yuvasının kızılötesi fotoğrafları a) En yüksek sıcaklığın ($35,9^\circ\text{C}$) olduğu bölge karıncaların güneşlenme aktivitesini yaptıkları alan b) Güneşlenme aktivitesinde karıncaların gölgeden kaçarak ısınabildikleri en uygun yerlerin olduğu alanlar

Figure 4. Infrared images of a *Formica rufa* nest (a) The zone with the highest temperature ($35,9^\circ\text{C}$) corresponds to where ants engage in sun-basking (b) Areas offering the most suitable micro-sites for ants to warm up by moving out of the shade during sun-basking

Çizelge 2. Yuva hacimleri, besin arama alanlarındaki ağaç sayısı ve yol uzunlukları
Table 2. Nest volumes, number of trees in foraging areas, and path lengths

Karınca yuvası	Hacim (m ³)	Ağaç sayısı (Toplam)	Tırmanılan ağaç sayısı (adet)	Besin arama patika uzunluğu (m)
1.	0,260	12	6	114,9
2.	0,813	16	7	132,3
3.	1,183	21	5	141,7
4.	1,710	24	3	149,5

Not: Tırmanılan ağaç sayısı kullanılan ağaçların toplamı değil; karıncaların fiilen ulaşım sağladığı ağaçları göstermektedir.

Birinci yuvanın hacmi yaklaşık 0,260 m³ olarak belirlenmiştir. Yuvanın besin arama bölgesi içerisinde toplam 12 tane karaçam ağacı bulunmaktadır. Karıncalar yuva etrafında yaklaşık 10m çapındaki bir alanda yoğun hareket etmektedirler. Bu 10 m çaptaki alan içerisindeki ağaçlardan 6 tanesine karıncalar çıkmaktadır. Dört farklı yöne bölünen yuva etrafındaki karıncaların yapmış oldukları yol miktarı toplam 114,9 m'dir (Şekil 5a).

İkinci yuvanın hacmi 0,813 m³ olarak belirlenmiştir. Yuvanın besin arama bölgesi içerisinde toplam 16 tane ağaç bulunmaktadır. Bunların 14 tanesi karaçam, 2 tanesi meşe türündedir. Karıncalar, yuva etrafında 10 m çapındaki bir alanda yoğun hareket etmekte, ayrıca 14 m uzaktaki bir ağaca da tırmandıkları gözlemlenmiştir. Besin arama bölgesi içerisindeki ağaçlardan 7 tanesine karıncalar çıkmaktadır. Yuva etrafında dört farklı yöne bölünmüş karınca yollarının toplam uzunluğu 132,3 m'dir.

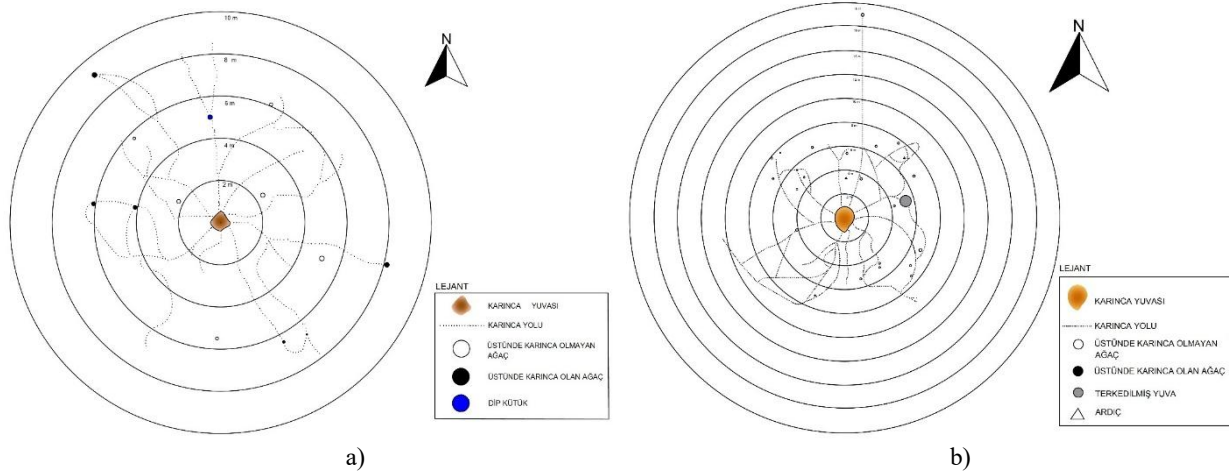
Üçüncü yuvanın hacmi 1,183 m³ olarak belirlenmiştir. Yuvanın besin arama bölgesi içerisinde 21 tane ağaç bulunmaktadır. Bunların 19 tanesi karaçam, 2 tanesi meşe türündedir. Karıncalar yuva etrafında 10 m çapındaki bir alanda yoğun hareket etmekte, ayrıca 20 m uzaktaki bir ağaca da tırmandıkları tespit edilmiştir. Bu ağaçlardan 5 tanesine karıncalar çıkmaktadır. Yuva çevresinde terk edilmiş bir yuva da bulunmaktadır. Dört farklı yönde hareket eden karıncaların oluşturduğu yolların toplam uzunluğu 141,7 m'dir.

Dördüncü yuvanın hacmi 1,710 m³ olarak belirlenmiştir. Yuvanın besin arama bölgesi içerisinde 24 tane ağaç bulunmaktadır. 2 tanesi ardıç, 22 tanesi karaçam ağacıdır. Karıncalar yuva etrafında yaklaşık 10 m çapındaki bir alanda yoğun hareket etmelerine rağmen 18 m uzaktaki bir ağaca da

tırmandıkları belirlenmiştir. Ayrıca besin arama bölgesi içerisindeki üç karaçam ağacına karıncalar çıktığı belirlenmiştir. Yuvanın olduğu alanda bir tane de terk edilmiş yuva bulunmuştur. Yuva etrafında karıncaların yapmış oldukları yol miktarı toplam 149,5 m dir (Şekil 5b).

Ağaçlara tırmanma davranışı tüm yuvalarda gözlemlenmiş, ancak karıncalar yalnızca bazı ağaçları kullanmıştır. Bu durum, kaynak kullanımında stratejik seçiciliği ortaya koymaktadır. Yuva 2 ve Yuva 3, yakın mesafedeki ağaçlara ek olarak daha uzak mesafelerdeki ağaçlara da erişim sağlamıştır (14 m ve 20 m). Ancak tırmanılan ağaç sayısı yuva büyüklüğüyle doğrudan orantılı artmamıştır. Bu da enerji/maliyet dengesine dayalı bir seçim mekanizmasının olduğunu düşündürmektedir. Gözlem yapılan yuvalardan ikisinin yakınında terk edilmiş yuvalar tespit edilmiştir; bu durum, geçmiş koloni rekabeti veya habitat kullanım dinamikleri açısından dikkate değerdir.

En küçük (0,260 m³) ve en büyük (1,710 m³) hacimdeki kırmızı orman karıncası yuvalarının besin arama bölgeleri, yuva büyüklüğünün ve çevresel faktörlerin aktivite üzerindeki etkisini açıkça göstermektedir. Daha büyük hacimli yuva, çevresinde 18 metreye kadar geniş bir besin arama alanı oluşturmuş ve yoğun bir karınca yolu ağı geliştirmiştir. Bu durum, büyük yuvanın daha fazla işçi karınca barındırmasıyla ilişkili olup, enerji ihtiyacını karşılamak için daha geniş bir alanda kaynak arayışına girdiğini göstermektedir. Ayrıca, kullanılan ve kullanılmayan ağaçlar arasındaki fark, karıncaların stratejik olarak kaynak bakımından zengin bölgelere yöneldiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, terk edilmiş bir yuvanın varlığı, bölgede geçmişte başka kolonilerin bulunduğunu ve potansiyel rekabetin etkili olabileceğini düşündürmektedir.



Şekil 5. Kırmızı orman karıncalarının küçük (a) ve büyük (b) hacimli yuvalarının besin arama iz yolları. Besin arama alanı içindeki ağaçlar (o) ve besin arama için tırmandıkları ağaçlar (●). Yuva etrafındaki daireler 2 m aralıktır

Figure 5. Red wood ant foraging trails from small (a) and large (b) mounds. Trees inside the foraging area are marked (o); trees ascended during foraging are marked (●). Circles around the nest are 2 m apart

Küçük hacimli yuvada ise besin arama alanı daha sınırlı olup, yaklaşık 10 metreye kadar yayılmaktadır. Bu yuvada karınca yolları daha az sayıda ve daha kısadır, bu da küçük kolonilerin enerji kullanımını optimize ederek daha dar bir alanda kaynak arayışını sürdürdüğünü göstermektedir. Genel olarak, yuva hacmindeki farklılıkların besin arama alanı ve aktivite yoğunluğu üzerinde belirgin bir etkisi olduğu, çevresel kaynakların dağılımının ise karınca aktivitelerinde yönlendirici bir rol oynadığı söylenebilir.

4. Tartışma ve sonuç

4.1. Yuva hacminin mikroklimatik stabilite üzerindeki rolü

Bu çalışmada farklı hacimlerdeki *Formica rufa* yuvalarında yıl boyunca izlenen sıcaklık verileri, yuva hacminin mikroklima kontrolünde kritik bir faktör olduğunu ortaya koymuştur. Büyük yuvalar hem daha düşük sıcaklık dalgalanmaları hem de dış ortam koşullarına karşı daha güçlü yalıtım göstermiştir.

Bu bulgular, Kadochová ve Frouz (2014) ile Rosengren vd. (1987) tarafından bildirilen aktif ısı düzenleme mekanizmalarını desteklemektedir. Yuva hacmi arttıkça, organik materyal kalınlığı ve yapısal karmaşıklığın artması ile ısıyı daha etkin yalıtma ve dengeleme kapasitesi gelişmektedir (Frouz ve Finer, 2007). Yaz döneminde yuvaların güneş ışığına maruz kalan bölgelerinde sıcaklığın 40°C'ye kadar çıkması ve yuva içi sıcaklığın 25 °C'de kalması, karıncaların yuva materyalini ısı yalıtımı amacıyla kullandığını ve güneşlenme davranışlarıyla aktif olarak yuva sıcaklığının düzenlediğini göstermektedir. Ayrıca, Stukalyuk vd. (2020) ve Kadochová vd. (2017) büyük yuvaların daha kararlı sıcaklık profili sunduğunu belirtmiş olup, bu çalışmada da benzer şekilde hacmi büyük yuvaların termal tampon etkisinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

4.2. Isıl düzenleme ve güneşlenme davranışının ekolojik işlevi

Mart ayında termal görüntülemeyle kaydedilen veriler, güneş ışıması ile yüzey sıcaklıkları arasında dramatik farklılıklar olduğunu göstermiştir. Güneş ışığı alan bölgelerde 35°C üzeri sıcaklıklar ölçülmüş ve bu alanlarda karıncaların yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Bu durum, bireysel güneşlenme davranışlarının (sun basking) koloninin iç ısısının artırılması yönünde stratejik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Bu davranışın koloni metabolizmasını erken ilkbaharda aktive etmesi ve larvaların gelişimi için gerekli sıcaklık aralığını sağlaması, Kadochová vd. (2017) ve Rosengren vd. (1987) çalışmalarıyla örtüşmektedir. Ayrıca, bireysel solunum hızlarının sıcaklıkla artması karıncaların taşıdığı ısıyı yuvanın iç katmanlarına iletmesini sağlayarak pasif bir izolasyon sistemine ek olarak aktif bir termal kontrol düzeneği oluşturur (Kadochová ve Frouz, 2014). Bu nedenle güneşlenme, kırmızı orman karıncalarının çevresel değişkenliklere karşı gösterdiği önemli bir adaptif yanıt ve ekolojik başarılarının temel unsurlarından biri olarak kabul edilmektedir.

Elde edilen bulgular, gözlemlenen yüzey sıcaklıklarının farklı mevsimlerde yuva içi sıcaklık ile arasında oluşan stabilite farkı, güneşlenmenin koloni düzeyinde ısı dengesini sağlama mekanizmasında önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Özellikle ilkbahar ve yaz aylarında yuva tepe

noktalarında ölçülen sıcaklık dalgalanmalarının yüksek olması, güneşlenme davranışlarının hem bireysel ısınma hem de yuva ısısının artırılması amacıyla kullanıldığını göstermektedir. Bu davranış aynı zamanda larvaların gelişimi için gerekli sıcaklık aralığının korunmasına da katkı sağlamaktadır (Rosengren vd., 1987).

Özetle, çalışma alanındaki güneşli koşullar altında gözlemlenen yüksek yuva yüzey sıcaklıkları, *Formica rufa* grubunun güneşlenme davranışını aktif olarak kullandığını ortaya koymakta ve bu davranışın koloni ısı düzenlemesine olan katkısını somutlaştırmaktadır. Güneşlenme, bireysel ısınmanın ötesinde bir koloni stratejisi olarak, yuva mikroklimasının stabilizasyonu ve yavru gelişimi için kritik öneme sahiptir.

4.3. Besin arama davranışları ve koloni hacmi arasındaki ilişki

Yuva hacmi ile besin arama alanı ve karınca patika uzunluğu arasında gözlemlenen pozitif ilişki, koloni büyüklüğü ile çevresel kaynak kullanım genişliği arasında doğrudan bir bağlantı olduğunu göstermektedir. Daha büyük koloniler, daha fazla işçi sayısı sayesinde enerji harcamasını tolere edebilecek kapasiteye sahiptir ve bu sayede daha uzak mesafedeki kaynaklara ulaşabilmektedir (Buhl vd., 2009).

Burns vd. (2020) ve Ellis vd. (2014) yapmış oldukları çalışmalarda da büyük kolonilerin daha geniş ve karmaşık ağ yapıları kurarak besin transferini optimize ettiği belirtilmiştir. Ayrıca, Domisch vd. (2009) karıncaların besin toplama etkinliğinin sıcaklık ve sezonla ilişkili olduğunu, yazın aktivitenin arttığını belirtmiş, Bu çalışmada da benzer şekilde, büyük hacimli yuvalarda besin arama yolları daha uzun, dallanmış ve hedefe yönelik biçimde organize edilmiştir.

4.4. Kaynak kullanım stratejileri ve habitat seçimi

Her ne kadar büyük yuvalar daha fazla alana yayılmış olsa da karıncaların tüm ağaçları eşit şekilde kullanmadığı gözlemlenmiştir. Kullanılan ağaç sayısı, toplam erişilebilir ağaç sayısından azdır ve bu durum seçici kaynak kullanımına işaret etmektedir.

Bu davranış, enerji-verimlilik dengesi açısından oldukça rasyoneldir ve Cosens ve Toussaint (1985) tarafından yapılan deneysel çalışmada karıncaların besin arama stratejilerini kaynakların uzamsal dağılımına göre dinamik olarak yeniden organize ettiği gösterilmiştir. Özellikle enerji ve iş gücü tasarrufu için kaynakça zengin bölgelere yönelim, bu stratejilerin temelini oluşturur (Gibb vd., 2016; Robinson vd., 2008). Ayrıca, bazı yuvaların yakınında terk edilmiş eski yuvaların bulunması, alanda koloni rekabeti ve geçmiş yer değiştirme davranışlarının da kaynak kullanım stratejilerine etki ettiğini göstermektedir (Ellis ve Robinson, 2015).

Bu çalışma, yarı kurak orman ekosisteminde yaşayan *Formica rufa* yuvalarının hem mikroklimatik koşullara karşı geliştirdiği ısı düzenleme stratejilerini hem de kaynak kullanım davranışlarını farklı yuva hacimlerine göre analiz eden bütüncül bir yaklaşıma sahiptir. Elde edilen sonuçlara göre;

- Büyük hacimli yuvalar daha kararlı bir iç sıcaklık sunarak koloninin çevresel sıcaklık dalgalanmalarından korunmasını sağlamaktadır.

- Güneşlenme davranışları, bireysel ve koloni düzeyinde aktif ısı düzenleme stratejisi olarak işlev görmektedir.
- Besin arama davranışları koloni büyüklüğüne bağlı olarak mekânsal açıdan genişlemekte ve karıncalar kaynakça zengin alanlara yönelerek stratejik tercihler yapmaktadır.

Sonuç olarak, *Formica rufa* türü, çevresel değişkenliklere karşı hem davranışsal hem de yapısal düzeyde uyum yeteneği sergileyen, yüksek ekolojik esnekliğe sahip bir sosyal böcektir. Bu türün koloni düzeyinde termal ve trofik stratejileri hem türün kendi yaşam başarısı hem de orman ekosisteminin işleyişi açısından kilit bir öneme sahiptir.

Açıklama

Bu çalışma, Çankırı Karatekin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından OF240223B18 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Barrie, R., Haalck, L., Risse, B., Nowotny, T., Graham, P., Buehlmann, C., 2024. Trail using ants follow idiosyncratic routes in complex landscapes. *Learning & Behavior*, 52(1): 105-113.
- Buhl, J., Hicks, K., Miller, E.R., Persey, S., Alinvi, O., Sumpter, D.J., 2009. Shape and efficiency of wood ant foraging networks. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 63(3): 451-460.
- Burns, D., Franks, D.W., Parr, C., Hawke, C., Ellis, S., Robinson, E.J.H., 2020. A longitudinal study of nest occupancy, trail networks and foraging in a polydomous wood ant population. *Insectes Sociaux*, 67:419-427.
- Carroll, C.R., Janzen, D.H., 1973. Ecology of foraging by ants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4: 231-257.
- Cosens, D., Toussaint, N., 1985. An experimental study of the foraging strategy of the wood ant *Formica aquilonia*. *Animal Behaviour*, 33(2): 541-552.
- Çakır, M., 2019. The negative effect of wood ants (*Formica rufa*) on microarthropod density and soil biological quality in a semi-arid pine forest. *Pedobiologia*, 77: 150593.
- Çakır, M., 2021. Orman karıncalarının (*Formica rufa* grup) mikroeklembacaklı komünite yapısına etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23(3): 941-949.
- Çakır, M., Tunç, T., 2019. Ayrışma sürecinde orman karıncalarının (*Formica rufa* grup) rolü: ilk yıl sonuçları. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 21(2): 477-485.
- Domisch, T., Finer, L., Neuvonen, S., Niemelä, P., Risch, A.C., Kilpeläinen, J., Ohashi, M., Jurgensen, M.F., 2009. Foraging activity and dietary spectrum of wood ants (*Formica rufa* group) and their role in nutrient fluxes in boreal forests. *Ecological Entomology*, 34(3): 369-377.
- Ediş, S., Pehlivan, S., 2025. Çankırı Orman Fakültesi Araştırma Ormanında iklim sınıflandırma yöntemlerinin karşılaştırılması ve mekânsal dağılım analizi. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 11(1): 201-211.
- Ellis, S., Franks, D.W., Robinson, E.J., 2014. Resource redistribution in polydomous ant nest networks: local or global? *Behavioral Ecology*, 25(5): 1183-1191.
- Ellis, S., Robinson, E.J., 2015. The role of non-foraging nests in polydomous wood ant colonies. *PLoS One*, 10(10): e0138321.
- Frouz, J., 2000. The effect of nest moisture on daily temperature regime in the nests of *Formica polyctena* wood ants. *Insectes Sociaux*, 47(3): 229-235.
- Frouz, J., Finer, L., 2007. Diurnal and seasonal fluctuations in wood ant (*Formica polyctena*) nest temperature in two geographically distant populations along a south-north gradient. *Insectes Sociaux*, 54(3): 251-259.
- Frouz, J., Jílková, V., Sorvari, J., 2016. Contribution of wood ants to nutrient cycling and ecosystem function. In: *Wood Ant Ecology and Conservation* (Ed: Stockan, J.A., Robinson, E.J.H.), Cambridge University Press, U.K., pp.207-220.
- Gibb, H., Andersson, J., Johansson, T., 2016. Foraging loads of red wood ants: *Formica aquilonia* (Hymenoptera: Formicidae) in relation to tree characteristics and stand age. *PeerJ*, 4:e2049.
- Hölldobler, B., Wilson, E.O., 1990. *The Ants*. Harvard University Press, USA.
- Kadochová, Š., Frouz, J., 2014. Red wood ants *Formica polyctena* switch off active thermoregulation of the nest in autumn. *Insectes Sociaux*, 61(3): 297-306.
- Kadochová, Š., Frouz, J., Rocas, F., 2017. Sun basking in red wood ants *Formica polyctena* (Hymenoptera, Formicidae): Individual behaviour and temperature-dependent respiration rates. *PLoS One*, 12(1): e0170570.
- Lenoir, L., 2001. Wood ants (*Formica* spp.) as ecosystem engineers and their impact on the soil animal community. PhD Dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences, Sweden.
- Robinson, E.J., Tofilski, A., Ratnieks, F.L., 2008. The use of native and non-native tree species for foraging and nesting habitat by the wood-ant *Formica lugubris* (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News*, 11:1-7.
- Rosengren, R., Fortelius, W., Lindström, K., Luther, A., 1987. Phenology and causation of nest heating and thermoregulation in red wood ants of the *Formica rufa* group studied in coniferous forest habitats in southern Finland. *Annales Zoologici Fennici*, 24(2):147-155.
- Sorvari, J., Elo, R., Härkönen, S., 2016. Forest-built nest mounds of red wood ant *Formica aquilonia* are no good in clear fells. *Applied soil ecology*, 101:101-106.
- Stockan, J.A., Robinson, E.J., 2016. *Wood ant ecology and conservation*. Cambridge University Press, U.K.
- Stukalyuk, S., Radchenko, Y., Netsvetov, M., Gilev, A., 2020. Effect of mound size on intranest thermoregulation in the red wood ants *Formica rufa* and *F. polyctena* (Hymenoptera, Formicidae). *Turkish Journal of Zoology*, 44(3): 266-280.
- Yılmaz, M., Özcan, G.E., Sivrikaya, F., Enez, K., 2023. Investigation of some factors affecting habitat selection and nest size of *Formica rufa*. *Forest Ecology and Management*, 545:121244.