



**EK BESLEMENİN ERKEK ARILARDA (*Apis mellifera*
L.) SPERM VERİMİ VE BAZI MORFOLOJİK
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN
BELİRLENMESİ**

Uğur TÜRKELİ

Danışman: Doç. Dr. Mahir Murat CENGİZ

Yüksek Lisans Tezi

Zootekni Ana Bilim Dalı

2026

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ZOOTEKNİ ANA BİLİM DALI

**EK BESLEMENİN ERKEK ARILARDA (*Apis mellifera* L.) SPERM VERİMİ VE BAZI
MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

(Determination of the Effect of Supplementary Feeding on Sperm Production and Some
Morphological Characteristics of Drones (*Apis mellifera* L.)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Uğur TÜRKELİ

Danışman: Doç. Dr. Mahir Murat CENGİZ

Erzurum
Ocak, 2026

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Uğur TÜRKEİ tarafından hazırlanan “Ek Beslemenin Erkek Arılarda (*Apis mellifera* L.) Sperm Verimi ve Bazı Morfolojik Özellikleri Üzerine Etkisinin Belirlenmesi” başlıklı çalışması 08 / 01 / 2026 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Zootečni Ana Bilim Dalı, Zootečni Bilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof.Dr.Bahri BAYRAM <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Danışman:	Doç.Dr.Mahir Murat CENGİZ <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Doç.Dr. Yaşar ERDOĞAN <i>Bayburt Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Aslı ıslak imzalıdır

Prof.Dr. Alper NUHOĞLU
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: FYL-2024-14418

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak Doç. Dr. Mahir Murat CENGİZ danışmanlığında sunulan “Ek Beslemenin Erkek Arılarda (*Apis mellifera* L.) Sperm Verimi ve Bazı Morfolojik Özellikleri Üzerine Etkisinin Belirlenmesi” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	1	30
Kuramsal Temeller ve İlgili Araştırmalar	7	30
Materyal ve Metot	6	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	11	20
Sonuçlar	0	20
Tezin Geneli	9	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Uğur TÜRKELİ	Doç. Dr. Mahir Murat CENGİZ
8.1.2026	8.1.2026
İmza: Aslı ıslak imzalıdır	İmza: Aslı ıslak imzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Araştırmanın planlanıp yürütülmesinde yardımlarını esirgemeyen çalışma süresince bilgilerinden faydalandığım ve desteğini gördüğüm danışman hocam Sayın Doç. Dr. Mahir Murat CENGİZ'e, yüksek lisans ders aşamasında mesleki bilgisini ve danışmanlığını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Ferat UZUN'a, erkek arıların sağım ve ana arıların suni tohumlamalarında desteğini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Aziz GÜL'e, FYL-2024-14418 nolu Ek Beslemenin Erkek Arılarda (*Apis mellifera* L.) Sperm Verimi ve Bazı Morfolojik Özellikleri Üzerine Etkisinin Belirlenmesi adlı proje kapsamında finansal desteklerinden dolayı Atatürk Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimine, desteklerini esirgemeyen eşim, ailem ve mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Uğur TÜRKELİ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EK BESLEMENİN ERKEK ARILARDA (*Apis mellifera* L.) SPERM VERİMİ VE BAZI MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Uğur TÜRKELİ

Danışman: Doç. Dr. Mahir Murat CENGİZ

Amaç: Bu araştırmanın amacı, bal arısı (*Apis mellifera* L.) kolonilerinde uygulanan farklı ek besleme diyetlerinin erkek arıların sperm üretim kapasitesi ve bazı morfolojik özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemektir. Çalışma, farklı protein ve karbonhidrat içeriklerine sahip besleme gruplarının erkek arıların gelişim, canlılık ve üreme performansını nasıl etkilediğini ortaya konulması amacıyla tasarlanmıştır.

Yöntem: Araştırma Atatürk Üniversitesi Gıda ve Hayvancılık Uygulama ve Araştırma Merkezine bağlı arılıklarda gerçekleştirilmiştir. Çalışmada birbirine kardeş ana arılardan oluşturulan toplam 25 koloni beş gruba ayrılmıştır: üç ek besleme grubu (Diyet 1, Diyet 2, Diyet 3), bir kontrol grubu ve bir polen kısıtlı grup. Deneme süresince kolonilere belirli aralıklarla polen, polen ikame yemi, bal, vitamin-mineral kompleksi ve şeker şurubu verilmiştir. Her gruptaki erkek arılarda larva ağırlığı, larva protein oranı, canlı ağırlık, sperm verimi ve toplam on bir farklı morfolojik özellik (baş, thoraks, abdomen, kanat ve bacak ölçüleri) değerlendirilmiştir. Veriler istatistiksel olarak varyans analizi (ANOVA) yöntemiyle değerlendirilmiş ve gruplar arası farklılıklar önem düzeyine göre ($P<0,005$) belirlenmiştir.

Bulgular: Araştırma sonuçlarına göre ek besleme, erkek arıların gelişim performansını ve sperm verimini önemli ölçüde etkilemiştir. Diyet uygulamaları, kontrol ve polen kısıtlı beslemeye kıyasla larva ağırlığı (329,8 -333,8 mg aralığı), canlı ağırlık (279,8–284,0 mg aralığı) ve sperm hacmini (1,14–1,15 μ L) anlamlı düzeyde artırmıştır ($P<0,05$). Morfolojik değerlendirmeler sonucunda baş uzunluğu, baş genişliği, thoraks uzunluğu, thoraks genişliği, kanat genişliği ve boy uzunluğu gibi karakterlerde de diyet grupları arasında yüksek düzeyde farklılıklar saptanmıştır ($P<0,001$). Endophallus ve arka bacak uzunluğunda görülen değişimler ise istatistiksel olarak önemsizdir.

Sonuç: Elde edilen bulgular, erkek arılarda ek beslemenin hem vücut gelişimi hem de sperm üretim kapasitesi açısından olumlu etkiler oluşturduğunu ortaya koymuştur. Uygun protein ve enerji düzeyine sahip diyetlerle yapılan besleme, erkek arıların fizyolojik ve üreme yeteneklerini geliştirmekte, dolayısıyla koloni üretkenliğini ve ana arı çiftleşme başarısını artırmıştır. Bu nedenle, özellikle damızlık yetiştiriciliğinde ve kontrollü tohumlama çalışmalarında koloni besleme stratejilerinin dikkatle planlanması ve bilimsel verilere dayandırılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Erkek Arı, Sperm Verimi, Morfolojik Özellikler, Ek Besleme.

Ocak 2025, 55 sayfa

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

DETERMINATION OF THE EFFECT OF SUPPLEMENTARY FEEDING ON SPERM PRODUCTION AND SOME MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF DRONES (*Apis mellifera* L.)

Uğur TÜRKELİ

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mahir Murat CENGİZ

Purpose: The aim of this study is to determine the effects of different supplementary feeding diets applied to honey bee (*Apis mellifera* L.) colonies on the sperm production capacity and some morphological characteristics of male bees. The study was designed to reveal how feeding groups with different protein and carbohydrate contents affect the development, viability, and reproductive performance of male bees.

Method: The study was conducted at the Beekeeping Unit of Atatürk University's Food and Livestock Application and Research Center. A total of 25 colonies established from sister queens were divided into five groups: three supplementary feeding groups (Diet 1, Diet 2, Diet 3), one control group, and one pollen-restricted group. During the experimental period, colonies were fed at regular intervals with pollen, pollen substitute patties, honey, vitamin-mineral complexes, and sugar syrup.

In each group, larval weight, larval protein ratio, live weight, sperm yield, and eleven different morphological traits (head, thorax, abdomen, wing, and leg measurements) were evaluated. Data were analyzed statistically using analysis of variance (ANOVA), and differences among groups were determined according to significance levels ($P < 0.005$).

Findings: The results indicated that supplementary feeding significantly affected the developmental performance and sperm yield of drones. Compared with the control and pollen-restricted groups, the diet applications significantly increased larval weight (333.8–329.8 mg), live weight (279.8–284.0 mg), and sperm volume (1.14–1.15 μL) ($P < 0.05$). Morphological evaluations also revealed significant differences among the diet groups in terms of head length, head width, thorax length, thorax width, wing width, and body length ($P < 0.001$). However, variations in endophallus length and hind leg length were not statistically significant.

Results: The findings showed that supplementary feeding positively influences both body development and sperm production capacity in drones. Diets with appropriate protein and energy levels enhance the physiological and reproductive abilities of drones, thereby improving colony productivity and increasing queen mating success. Therefore, feeding strategies for honey bee colonies should be carefully planned and based on scientific data, particularly in breeding programs and controlled insemination practices.

Keywords: Drone, Male Bee, Sperm Yield, Morphological Characteristics, Supplementary Feeding.

January 2025, 55 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER VE İLGİLİ ARAŞTIRMALAR	4
MATERYAL VE METOT	13
Materyal	13
Arı materyali	13
Yem materyali.....	13
Diğer materyaller	14
Metot	14
Kolonilerin hazırlanması.....	14
Erkek arı ve ana arı yetiştirme	14
Larva toplama işlemi.....	14
Ham protein (HP) analizi	16
Semen toplama işlemi	17
Morfolojik ölçümler.....	18
İstatistiksel analiz.....	19
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	21
Fizyolojik Özellikler	21
Larva ağırlığı (LA).....	21
Larva protein oranı (LPO).....	21
Canlı ağırlık (CA)	22
Sperm verimi (SV).....	23
Morfolojik Özellikler	23

Baş uzunluğu (BU) ve baş genişliği (BG)	23
Sağ ön kanat uzunluğu (SÖU) ve sağ ön kanat genişliği (SÖG)	26
Thoraks uzunluğu (TU) ve thoraks genişliği (TG)	27
Endophallus uzunluğu (EU) ve arka bacak uzunluğu (ABU).....	29
Abdomen uzunluğu (AU) ve abdomen genişliği (AG).....	30
Boy uzunluğu (BYU).....	32
SONUÇ VE ÖNERİLER	35
KAYNAKÇA	37
ÖZGEÇMİŞ.....	42



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Erkek Arıların Diyet Grubuna Göre Fizyolojik Özelliklerine Ait Değerler.....	21
Tablo 2. Grupların Larva Ağırlığına İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi	
Sonuçları.....	21
Tablo 3. Grupların Larva Protein Oranına İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi	
Sonuçları.....	22
Tablo 4. Grupların Ergin Canlı Ağırlığına İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi	
Sonuçları.....	22
Tablo 5. Grupların Sperm Verimine İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi	
Sonuçları.....	23
Tablo 6. Erkek Arıların Diyet Grubuna Göre Morfolojik Özelliklerine Ait Değerler.....	25
Tablo 7. Grupların Baş Uzunluğuna İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi	
Sonuçları.....	25
Tablo 8. Grupların Baş Genişliğine İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi	
Sonuçları.....	25
Tablo 9. Grupların Sağ Ön Kanat Uzunluğuna İlişkin Verilere Uygulanan Varyans	
Analizi Sonuçları	26
Tablo 10. Grupların Sağ Ön Kanat Genişliğine İlişkin Verilere Uygulanan Varyans	
Analizi Sonuçları.....	27
Tablo 11. Grupların Thoraks Uzunluğuna İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi	
Sonuçları	27
Tablo 12. Grupların Thoraks Genişliğine İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi	
Sonuçları	28
Tablo 13. Grupların Endophallus Uzunluğuna İlişkin Verilere Uygulanan Varyans	
Analizi Sonuçları.....	29
Tablo 14. Grupların Arkabacak Uzunluğuna İlişkin Verilere Uygulanan Varyans	
Analizi Sonuçları.....	30
Tablo 15. Grupların Abdomen Uzunluğuna İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi	
Sonuçları	31
Tablo 16. Grupların Abdomen Genişliğine İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi	
Sonuçları	32

Tablo 17. Grupların Boy Uzunluğuna İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi

Sonuçları	33
-----------------	----



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Erkek arı larvaları.....	15
Şekil 2. Erkek arı gözlerinin kapanmış hali	15
Şekil 3. Örneklerde azot tayini için yaş yakma, destilasyon ve titrasyon işlemleri	16
Şekil 4. Erkek arının sperm almak için hazır hale getirilmesi	17
Şekil 5. Sperm alma işlemi.....	18
Şekil 6. Baş.....	18
Şekil 7. Thoraks.....	18
Şekil 8. Arka bacak	19
Şekil 9. Abdomen.....	19
Şekil 10. Sağ ön kanat	19
Şekil 11. Endophallus.....	19

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABU	: Arka bacak uzunluğu
AG	: Abdomen genişliği
AU	: Abdomen uzunluğu
BG	: Baş genişliği
BU	: Baş uzunluğu
BYU	: Boy uzunluğu
CA	: Canlı ağırlık
EU	: Endophallus uzunluğu
GHUAM	: Atatürk Üniversitesi Gıda ve Hayvancılık Uygulama ve Araştırma Merkez Müdürlüğü Arıcılık Birimi
LA	: Larva ağırlığı
LPO	: Larva protein oranı
SM	: Sperm miktarı
SÖG	: Sağ ön kanat genişliği
SÖU	: Sağ ön kanat uzunluğu
TG	: Thoraks genişliği
TU	: Thoraks uzunluğu

GİRİŞ

Bal arıları, arı ailesi ya da koloni adı verilen topluluklar olarak yaşayan sosyal böceklerdir (Richards vd., 2023). Yakından incelendiğinde, bir arı kolonisi içinde morfolojik, fizyolojik ve davranış özellikleri açısından üç farklı birey tespit edilir. Ana arı, işçi arılar ve erkek arılardır (Halvaci vd., 2023). Ana arı ve işçi arılar dişi bireylerdir ve döllü yumurtalardan gelişirlerken, erkek arılar partenogenesis yoluyla dölsüz yumurtalardan çıkarlar (Khan ve Ghramh, 2024). Bir arı kolonisinde genellikle bir ana arı, mevsime bağlı olarak değişen birkaç yüz erkek arı ve binlerce işçi arı bulunur. Bu koloni veya arı ailesi içinde, farklı gruplar ve bu gruplar arasında dikkate değer bir iş bölümü görülmektedir. Bal arıları, içgüdülerine göre davranan canlılardır, bu nedenle benzer çevresel koşullar altında benzer davranışlar sergilerler. Kış aylarında genellikle arı kolonilerinde sadece dişi bireyler bulunurken, erkek arılar ilkbaharda yeni sezonla birlikte ortaya çıkmaya başlarlar (Genç ve Dodoloğlu, 2011; Porrino vd., 2025).

Erkek arılar, döllenmemiş yumurtalardan partenogenesis yoluyla gelişirler (Palmer ve Oldroyd, 2000; Giovenazzo vd., 2025). Koloninin en iri bireyleri olup; ırklara göre değişmekle birlikte vücut ağırlıkları 180-200 mg ve boyları ise 15-17 mm kadardır (Winston, 1987). Tombul yapılı olan erkek arıların boyu ana arınıninkine kadar uzun değildir. Fakat işçi arılardan ve ana arıdan daha geniş ve iridirler. Başları hemen hemen tamamen kapatan büyük bileşik gözlere sahiptirler. Kanatları ve koku algılama yetenekleri çok iyi gelişmiştir. Kanatları abdomenin sonuna kadar uzanır. Erkek arıların polen sepetçikleri, zehir bezleri, iğneleri, Nasanov bezi, bal mumu salgı bezleri, hipofaringeal bezleri, Koschevnikov ve Dufour bezleri yoktur. Erkek arılar çok kısa bir dile sahip olduklarından çiçeklerden nektar alamazlar. Fakat işçi arılardan veya petek gözlerinden gıda alabilirler (Genç ve Dodoloğlu, 2011).

Nisan-mayıs aylarından itibaren, çevre koşullarına ve arı mevcuduna bağlı olarak, kolonilerde erkek arıları görmek mümkündür. Kolonideki erkek arı miktarı sezona ve kovan içi şartlarla ilgili olup, üreme mevsiminde sayıları 500-3.000 arasındadır. Koloniler ilkbaharda veya yaz başlarında erkek arı yetiştirmeye başlarlar. Normal koşullarda kolonilerde geç sonbahar ve kış aylarında erkek arı bulunmaz (Rangel *et al.* 2013; Bryła vd., 2025).

Bir desimetrekare peteğin iki yüzünde 600 kadar erkek arı gözü varken; aynı alana 790-800 adet işçi arı gözü sığmaktadır. Bir kolonideki erkek arı sayısı 1.000'den fazla olmamalıdır. Bin erkek arı yaşamı boyunca yaklaşık bal tüketmektedir. Son derece tembel ve obur olan erkek

arılarının başlıca görevi çiftleşme uçuşuna çıkan dölsüz ana arılarla çiftleşmektir (Winston, 1987). Ana arının dölsüz yumurtalarından meydana geldiklerinden onun kalıtsal temsilcisidirler.

Bal arıları erkek arı gözlü petek yapım miktarını sınırlamak, erkek yavru üretimini düzenlemek ve ergin erkek arıları dışarı atmak suretiyle kolonilerdeki erkek arı sayısını ayarlarlar. Kovanda erkek arı gözlü peteklerin varlığı erkek arı üretimini teşvik eder. Fakat arıların bu durumda bile erkek arı üretimini sınırlamaları mümkündür. Koloni içerisinde erkek arı yumurtaları, larvaları ve bazı durumlarda da pupaların bir kısmı işçi arılar tarafından tahrip edilir. Gelişmesine fırsat verilen erkek arı yumurtaların ortalama %50-56'sı ergin hale dönüşmektedir (Woyke, 1965). Böylece erkek arı sayısının belirli bir sınırı aşması önlenir. Ana arının yaşı, verimliliği ve anatomik bir kusurunun olup olmaması da erkek yavru üretimini etkilemektedir.

İşçi arılar; oğul döneminde, anasız kaldıklarında ve dölsüz bir ana arının bulunduğu kolonilerde daha fazla erkek arı yetiştirir ve mevcut erkek arıları daha uzun süre muhafaza ederek beslerler. Yaşlı ve sakat ana arıya sahip kolonilerde de erkek arı sayısı artar. Fakat işçi arılar, sonbaharda ve nektarın kıt geldiği dönemlerde erkek arıları kovan dışına atarak ölüme terk eder ve böylece sayılarını sınırlarlar (Morse *et al.* 1967). Bir koloniden bir günde kovulan erkek arı sayısı 10-15'ten fazla değildir (Free and Williams, 1975). Sonbaharda anasız kolonilerdeki erkek arıların kovandan atılmaları geciktirilir.

Erkek arıların esas görevi çiftleşme uçuşuna çıkmış dölsüz ana arılarla çiftleşmektir. Dölsüz ana arıyı havada yakalar ve onunla çiftleşirler. Çiftleşme uçuşu 20-30 dakika kadar sürer. Ana arıyla çiftleşen erkek arılar çiftleşme organını kaybederek ölürlür. Erkek arılar 4 günlük olduklarında uçuş faaliyetlerine başlar. Fakat ilk uçuşlarını genellikle 5-7 günlük iken yaparlar (Taber, 1964; Witherell, 1972). Erkek arıların çoğu öğleden sonra günün aynı saatlerinde toplanma bölgesi denilen belirli bir yere uçuş yaparlar (Koeniger & Koeniger, 2007). Erkek arılarda en yoğun uçuş aktivitesi saat 14-16 arasındadır (Ruttner, 1966). Uçuş zamanı diğer çevre koşullarından, günün saatinden ve kovan giriş yönünden etkilenir. Ek olarak erkek arı uçuşu günlük sıcaklıktan, bağıl nemden, koloninin güneş yönündeki konumundan ve günün uzunluğundan etkilenir. Son olarak, erkek arıların uçuş süresi, arının yaşına bağlı olarak değişir (Reyes *et al.* 2019).

Erkek arılar genellikle sıcaklık 18-20 °C'nin üzerine çıkmadıkça uçmazlar. Uçuş amacı çevreyi tanıma, dışkılama veya çiftleşme olabilir. Çiftleşme uçuşu sırasında, ana arı genellikle 6-17 erkek arıyla çiftleşir (Santomauro *et al.* 2004), ve erkek arıların çiftleşme sonrası ölümü kaçınılmazdır (Witherell, 1956). Erkek arıların ömrü koloni içi ve dış şartlara bağlı olarak

değişir. Örneğin, erkek arılarda yaşam süresi 13-14 gün ile 21-24 gün arasında değişmektedir (Fukuda ve Ohtani, 1977; Herrmann *et al.* 2005). Ayrıca, erkek arıların ömrünü etkileyen diğer faktörler arasında uçuş faaliyeti veya coğrafi bölge yer almaktadır. Örneğin, sert yaz koşullarının getirdiği kısıtlamalar nedeniyle bir erkek arının ömrü yazın sonbahara göre nispeten daha kısadır (Fukuda ve Ohtani, 1977).



KURAMSAL TEMELLER VE İLGİLİ ARAŞTIRMALAR

İklim, beslenme ve diğer çevresel faktörler de erkek arının cinsel olgunlaşmasının zamanlamasını etkilemektedir (Rhodes *et al.* 2011). Erkek arıların cinsel olgunluğa eriştiği yaşla ilgili önceki tahminler, 6 ila 8 gün gibi düşük bir süre ile 10 ila 12 gün ve hatta çıkıştan sonraki 16 gün gibi daha yüksek tahminler arasında değişmektedir (Mackensen and Roberts 1948; Woyke and Ruttner, 1958; Nguyen, 1995). Sonraki ilk birkaç gün, genç erkek arılar beslenmek ve tımarlanmak için kuluçka alanının yakınındaki işçilerle etkileşime girerler (Goins and Schneider 2013).

Erkek arıların yerel yer işaretlerini ve yuvanın kesin konumunu öğrenmesine yardımcı olan oryantasyon uçuşları petek gözünden çıktıktan yaklaşık 5 ila 8 gün sonra başlar (Galindo-Cardona *et al.* 2015). Bir erkek arının yaşam döngüsü, kovanın yerini öğrendikten sonra, 11.000 kadar erkek arının yerden 10 ila 40 metre yükseklikte havada toplandığı, çapı 30 ila 200 m olan bir erkek arı toplama alanına katıldığında doruğa ulaşır (Koeniger *et al.* 2005a).

Bakire ana arılar bir toplanma bölgesine girdiklerinde, özellikle 9-okso-2-desenoik asit gibi feromonlarla erkek arıları çekerler ve kısa mesafeden görsel ipuçları sağlayarak erkek arıların ana arıları bulmasına ve çiftleşmesine yardımcı olurlar (Goins and Schneider 2013; Brandstaetter *et al.* 2014). Bakire ana arılar genellikle erkek arı toplanma bölgelerini bir veya birkaç gün içinde gerçekleştirecek bir veya birkaç çiftleşme uçuşunda ziyaret ederler (Tarpay and Page 2000).

Bakire ana arıların çoğunun eş aramak için kolonilerinden birkaç kilometre uzağa uçuşu göz önüne alındığında, erkek arılar akraba ana arılarla çiftleşmekten kaçınmak için kendi kovanlarının yakınında da toplanabilir; bu stratejinin genetik akraba çiftleşmesini önlemeye yardımcı olduğu varsayılmaktadır (Winston 1987). Erkek arıların belirli bir toplanma bölgesinde toplanmaya karar vermesini sağlayan kriterler ve çevresel ipuçları tam olarak anlaşılmamıştır (Koeniger *et al.* 2005b).

Bitki örtüsünün yapısı, yönsellik ve yoğunluk gibi faktörlerin erkek arı uçuş navigasyonunu etkilediğine dair göstergeler bulunmaktadır (Galindo-Cardona *et al.* 2012, 2015). Bir çalışmada, erkek arılar ana yön ve mesafeye bağlı olarak ya gelişmiş ya da sınırlı navigasyon yetenekleri gösterdi; bazıları kuzeyden veya güneyden dönerken daha uzak mesafelerden kolonilerine daha yüksek dönüş oranları sergiledi, ancak doğu yönünden

dönerken 4 km veya daha fazla daha uzak mesafelerden geri dönme kabiliyetine sahip değildi (Galindo-Cardona *et al.* 2015).

Çiftleşmenin ardından endofallusun ("çiftleşme işareti") ince ucu kırılır ve ana arının üreme kanalındaki iğne odasına itilir (Koeniger 1990; Woyke 2008). Başarılı çiftleşme, erkek arılar için ölümcüldür; çiftleşmeden kısa bir süre sonra, ana arının genital kanalında endofallusun bırakılmasıyla spermanın büyük bir güç altında boşalması nedeniyle erkek arılar ölürler (Goins and Schneider 2013).

Çiftleşme işareti taşıyan ana arılar, bu işarete sahip olmayan ana arılara kıyasla sonraki erkek arı eşlerinden daha fazla ilgi çekerler. Bu, erkek arıların hâlâ çiftleşmeye açık olan ziyaret eden bir ana arının varlığını gösterir (Koeniger 1990). Çiftleşmemiş erkek arılar genellikle gözden çıktıktan sonra 20 ila 40 gün arasında yaşarlar (Metz ve Tarpy 2019) ve sonunda işçiler tarafından kovandan dışarı atılırlar (Rhodes 2002). Erkek arıları tahliye etme ve üretimlerini durdurma kararlılığı; sıcaklık değişiklikleri, yılın zamanı ve başta polen olmak üzere gıda kaynaklarının azalması gibi çeşitli çevresel faktörlerden etkilenirler (Rhodes 2002). Tahliye, üretken sezonun sonunda, erkek arılara artık ihtiyaç duyulmadığı sonbaharda gerçekleşir (Winston 1987). Erkek arılar, işçilerin yiyecek arama davranışlarına katılmalarını sağlayacak yapısal modifikasyonlara (örneğin, uzun hortumlar ve korbikulalar) sahip değildir (Hrassnigg ve Crailsheim 2005).

Yaş, mevsim ve genetik gibi çevresel ve biyotik faktörler erkek arı üreme kalitesini etkileyebilir. Bu alanda yapılan birçok çalışma, erkek arı yaşlanmasının sperm viskozitesini, hacmini ve canlılığını olumsuz etkilediğini bildirilmiştir (Cobey 2007; Czekońska *et al.* 2013a; Stürup *et al.* 2013). Bununla birlikte, birkaç çalışma durumun böyle olduğunu göstermemiş, bunun yerine cinsel açıdan olgun erkek arılarda ya sabit (MetzandTarpy 2019) ya da zamanla sperm canlılığının azaldığını (Czekońska ve ark. 2013a) göstermiştir.

İlginçtir ki erkek arılar yaşlandıkça spermanın rengi koyulaşır ve daha kıvamlı hale gelir (Woyke ve Jasiński 1978; Czekońska ve ark. 2013a). 21 günden daha eski erkek arılardan alınan sperm çok viskozdur, bu da ana arıların fazla spermin yumurta kanallarından atılmasını zorlaştırarak bunların tıkanmasına neden olur (Woyke ve Jasiński 1978; Czekońska ve ark. 2013a). Ayrıca, yaşlanmanın erkek arı sperm canlılığını etkilediği, bunun 14 günlük erkek arılarda %86'ya, 20 günlük erkek arılarda ise %81'e düştüğü bildirilmiştir (Locke and Peng, 1993). Benzer şekilde, doğundan sonra 20 günden fazla hayatta kalan erkek arıların, 20 günden az hayatta kalanlara göre %50 daha düşük sperm canlılığı sergiledikleri bulunmuştur (Stürup *et al.* 2013). Ancak yaşın erkek arı üreme kalitesi üzerindeki etkisi oldukça değişken görünmektedir ve bu her zaman olumsuz değildir. Örneğin, yakın zamanda yapılan bir

çalışmada erkek arıların gözden çıkmasından sonra her gün örnek alınmış ve erkek arılar yaşlandıkça sperm sayımları düzeltilirken sperm canlılığının yaşam boyunca sabit kaldığı bildirilmiştir (Metzand ve Tarpy, 2019).

Diğer taraftan, Czekońska ve ark. (2013a), erkek arıların ortaya çıkışından sonraki 15 ila 30 gün arasında yaşlandıkça semen hacminin azaldığını, sperm canlılığının arttığını bulmuşlardır.

Mazeed ve Mohanny (2010), yaptıkları bir çalışmada yaş arttıkça erkek arı testislerindeki spermatozoa sayısı azalırken, seminal veziküllerde giderek arttığını, erkek arıların ağırlığının ve testis uzunluğunun azaldığını, ancak mukus bezinin uzunluğunun yaşla birlikte önemli farklılık göstermediğini, üreme organlarının tüm kısımlarındaki toplam sperm sayısı yaşlı erkek arılarda gençlere göre daha düşük olduğu bildirilmiştir.

Mashal ve ark. (2023) iki yıl boyunca 7 farklı polen ikame yeminin erkek arıların yavrularının yetiştirilmesi, larva ve ergin ağırlıkları, doğurganlık parametreleri (sperm sayısı ve hacmi) üzerine yaptıkları araştırmada, gliserol eklenen polen ikame yemi ile beslenen kolonilerde tüm doğurganlık parametrelerinin en iyi durumda olduğu, tüm polen ikame yemlerinin sadece şeker şurubu ile beslenen kolonilere göre daha iyi durumda olduğunu bildirmişlerdir.

Farklı sürelerde yapılan ek beslemenin kolonilerin aktivitesine etkileri ve bunların erkek arı üretimi ile ilişkileri üzerine yapılan bir araştırmada (Khodairy ve ark., 2008), ek besleme ile arı popülasyonunun büyüklüğü, işçiler ve erkek arıların yavru yetiştirme aktivitesi, depolanan polen ve hem erkek arı gövdesinin hem de mukus bezinin ağırlığı arasında pozitif korelasyonlar bulunmuştur. 10 haftalık süre ile ek besleme yapılan kolonilerde, kontrol grubuna göre erkek vücudu ve mukus bezinin ağırlığında sırasıyla %12,3 ve %19,6 artış tespit edilmiştir.

Oskay ve Oğuz (2022), bal arısı kolonilerinde beslemenin erkek arı larvası üretim preformansı üzerine etkilerini tespit etmek için yaptıkları araştırmada, kontrol grubuna ek besleme yapmamış, birinci gruba 1:1 şeker şurubu vermiş, ikinci gruba ise polen ikame yemi vermiştir. Gruplara göre kolonilerden elde edilen bireysel erkek arı larvaları ağırlık ortalamaları arasında istatistiki olarak fark bulunamamıştır. Elde edilen toplam erkek arı larvası ağırlık ortalamalarında gruplar arası fark istatistiki olarak önemli çıkmıştır ($p < 0.05$). Kolonilerin ürettiği toplam erkek arı larvalarının ortalama ağırlığı kontrol grubunda 23.80 g, şeker şurubu grubunda 34.70 g ve polen ikame grubunda 44.42 g olarak belirlenmiştir. Bu çalışma uygun ikame yemleri kullanımının erkek arı kuluçka üretimini teşvik ettiğini göstermiştir.

Rhodes ve ark. (2011) sadece yaşın etkilerini araştırmakla kalmamış aynı zamanda mevsimin erkek sperm hacmi ve sperm sayısı üzerindeki etkilerini de incelemiştir. Gözden çıktıktan 14 ve 21 gün sonra incelenen erkek arılar, 35 günlük erkek arılara göre daha yüksek semen hacmi elde ederken, 21 günlük erkek arılar, 14 ve 35 günlük erkek arılara göre daha yüksek sperm sayısı üretmiştir. Sezon açısından Rhodes ve ark. (2011), ilkbahardan sonbahara geçişte sperm sayısında ölçülebilir bir mevsimsel artış gözlemledi, ancak sperm hacminde kademeli bir azalma gözlemledi.

Başka bir çalışmada, Rousseau ve ark. 2015 yılında, sperma hacminin 21 günlük erkek arılar ile ilkbahar ve yaz aylarında toplanan 14 veya 35 günlük erkek arılar arasında ölçülebilir derecede farklı olduğu göz önüne alındığında, erkek arılarda mevsim ve yaş arasında bir interaksiyon olduğu gözlemlendi. Benzer şekilde Zaitoun ve ark. (2009), İtalyan arısı *Apis mellifera ligustica*'nın erkek arılarının, mayıs ayında Suriye arısı *Apis mellifera syriaca*'nın erkek arılarından daha fazla sperm ürettiğini (sırasıyla 12,2×106 ve 10,6×106 milyon) ve ağırlık olarak daha ağır olduğunu buldu.

Bir koloninin genetik yapısı da erkek arı kalitesini etkiler. Örneğin, ana arısız kolonilerde yumurtlayan işçiler tarafından üretilen erkek arılar, ana arı kolonilerinde ana arı tarafından üretilen erkek arılara kıyasla tipik olarak çok daha küçüktür ve daha fazla anormalliğe sahip daha az sperm üretir (Gençer ve Firatlı 2005; Zaitoun ve ark. 2009). Farklı genetik soylar aynı zamanda vct ağırlığı, kanat morfolojisi ve sperm sayısı bakımından da farklılık gösteren erkek arılar üretir.

Karniyol arısı *Apis mellifera carnica*'nın erkek arılarının, Yemen arısı *Apis mellifera jemenitica*'nın erkek arılarına göre daha ağır olduğunu ve daha fazla sperm ürettiği bulunmuştur (Taha ve Alqarni, 2013). Yemen erkek arılarının ayrıca Karniyol erkek arılarına kıyasla sırasıyla %47, %56 ve %35 daha küçük testisler, seminal veziküller ve mukus bezleri vardı.

Rhodes ve ark. (2011), sperm sayısının ve hacminin koloninin genetik çizgisine bağlı olduğunu bildirmiştir. Ayrıca Fisher ve ark. (2018) kısa bir süre önce, arka arkaya iki yıl boyunca Teksas'ın merkezi çevresindeki sınırlı bir coğrafi bölgede yaz aylarında farklı arı kovanlarından gelen erkek arıları inceledi. Bazı arı kolonilerinin sperm canlılığının aynı bölgedeki diğerlerine göre önemli ölçüde daha yüksek veya daha düşük olduğu, bölgeler arasında sperm canlılığı açısından önemli farklılıklar bulunmuştur. Bununla birlikte, bu modeller yıllar boyunca tutarlı değildi; bu da her koloninin genetik yapısının erkek arı kalitesini yalnızca kısmen etkilediğini ve beslenme ve yılın zamanı gibi çevresel faktörlerin (Kumar and Kaur 2003) arı kovanları arasında ve yıllar arasında sperm canlılığındaki çeşitliliği genetikten daha gl bir şekilde etkilediğini gösteriyor. Bu alışmalar, bir koloninin genetik yapısının,

erkek arı kalitesinin birçok yönünü etkilediğini göstermektedir; bunlar arasında semen hacmi, sperm sayısı ve ana arıların uygun şekilde tohumlanması için yeterli sperm üreten erkek arıların oranı da bulunmaktadır.

Yaşın erkek arı sperm canlılığı üzerinde genel olarak olumsuz bir etkisi olduğu görülmektedir (Cobey 2007; Rhodes *et al.* 2011). Bununla birlikte, genetiğin etkisine rağmen çevresel faktörler, benzer genetik kökene ve coğrafi dağılıma sahip erkek arılar arasında bile sperm canlılığı üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olabilir (Kumar ve Kaur 2003; Fisher *et al.* 2018).

Normal koşullar altında, erkek arılar, işçilerin termoregülatör yetenekleri sayesinde, 33 ila 35°C arasında sabit bir sıcaklıkta tutulan bir kuluçka sahasında yetiştirilmektedir. Sıcaklık, gelişim sırasında veya gözden çıktıktan sonra sıkı bir şekilde düzenlenen bu aralıktan saptığında erkek arı üreme kalitesinin ciddi şekilde tehlikeye girmesi şaşırtıcı değildir (Winston 1987). Örneğin Jaycox (1961), erkek arılarda cinsel olgunlaşmanın, optimal 33 ila 35 °C aralığı yerine 31,1 °C'de yetiştirildiklerinde engellendiğini gözlemledi. Ayrıca, 28,33 °C'de yetiştirilen erkek arılar cinsel olgunlaşmada tam bir eksiklik yaşadı (Jaycox 1961) ve 28,33 °C'de tamamen durduruldu.

Erkek arılar ayrıca, muhtemelen genç erkek arıların olgun erkek arılara göre daha düşük bir metabolizma hızı sergilemesinden dolayı, gözden çıktıktan hemen sonra ısıyı düzenleme konusunda tam olarak gelişmiş bir kapasiteye sahip değildir (Abou-Shaara ve ark. 2017). Sıcaklıktaki ani değişikliklerin yalnızca erkek arı gelişimini değil aynı zamanda üreme kalitesini de etkilemesi şaşırtıcı değildir. Bieńkowska ve ark. (2011), çiftleşme sonrasında ana arıya aktarılan sperm hücrelerinin sayısının ve canlılığının, optimum sıcaklık aralığının altında veya üstünde tutulan erkek arılarda daha düşük olduğunu bildirmiştir.

Diğer taraftan, sperm canlılığının artması için optimum sıcaklığın 35 °C olması gerektiğini bildirmiştir. Başka bir çalışmada, sıcaklık stresini (39 °C'de 4 saat), erkek arıların 24 saat boyunca kendi kovanlarına geri gönderilmesi izlendi. Sturup ve ark. (2013), yeni ortaya çıkan erkek arıları, aldıkları sıcaklık derecesine göre iki deneme grubuna ayırdı. 10 günlük yaştaki erkek arılar bir hafta boyunca her gün toplandı ve 4 saat boyunca ya 39 °C'lik yüksek sıcaklığa ya da 25 °C'lik ortam sıcaklığına maruz bırakıldı. Tüm erkek arılar, semen toplanması için yeniden yakalanmadan önce yaklaşık 24 saat boyunca konakçı kolonilerine iade edildi. Her iki gruptan toplanan semen daha sonra yüksek sıcaklığa (39 °C) veya ortam sıcaklığına (25 °C) maruz bırakıldı ve bunun üzerine sperm canlılığı ölçüldü. Şaşırtıcı olmayan bir şekilde, yüksek sıcaklık tedavisine maruz kalma, hem ısıl işlem görmüş erkek arılar hem de ısıl işlem görmüş semen için sperm canlılığını önemli ölçüde azaltmıştır.

Yaşları 15 ile 16 gün arasında değişen eski erkekler, 10 günlük erkeklere kıyasla ısı işlemlere karşı daha fazla direnç gösterdi. Benzer şekilde Czekońska ve ark. (2013b), pupa yavrularının çerçevelerini 32 veya 35 °C'de tutulan kuluçka makinelerine yerleştirerek kuluçka sıcaklığının erkek arı kalitesi üzerindeki etkisini test etti. Araştırmacılar, 32°C'de gelişen erkek arıların, 35°C'de gelişen erkek arılara kıyasla daha büyük testislere, daha büyük seminal keseciklere ve daha büyük mukoza bezlerine sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Erkek arıların sıcaklık dalgalanmalarına karşı duyarlılığının, yalnızca sıcaklık değişiminin ciddiyetine ve süresine bağlı olarak değil, aynı zamanda erkek arıların sıcaklık tedavisine tabi tutulduğunda içinde bulunduğu gelişim aşamasına da bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, erkek arılar sıcaklık değişimlerine karşı oldukça hassastır, çünkü cinsel olgunlaşma, optimal olmayan yetiştirme sıcaklıkları nedeniyle tamamen engellenebilmektedir (Jaycox 1961). Kısa süreler için bile olsa optimum aralığın dışındaki sıcaklıklara maruz kalmak, erkek arılar tarafından üretilen spermilerin (Stürup ve ark. 2013) ve ana arıların spermatekalarında depolanan spermilerin (Bieńkowska ve ark. 2011) canlılığını ve bolluğunu önemli ölçüde etkiler. Optimumun üzerinde bir sıcaklık aralığına maruz kalmak aynı zamanda üreme organlarının boyutu üzerinde de olumsuz bir etki yaratır (Czekońska ve ark. 2013b).

Bal arısı kolonilerinin yeterli şekilde beslenmesi, bakire ana arılarla yeterli çiftleşmeyi sağlayan ve dolayısıyla güçlü bal arısı kolonileri üreten, cinsel açıdan olgun erkek arıların yüksek miktar ve kalitede üretilmesi için önemli ve temel bir faktördür (Fathy ve ark. 2018). Organizmaların gelişimi sırasında, maruz kalabilecekleri ve optimal büyümelerini veya bazı fizyolojik fonksiyonlarını zayıflatabilecekleri birçok olumsuz koşul bulunmaktadır (Møller ve Thornhill 1998; Field ve Yuval 1999; Schmid-Hempel 2003). Buna göre, belirli özelliklerin ideal ifadesinden sapmalar beklenmektedir; bu, organizmaların çevresel veya genetik kısıtlamaların aracılık ettiği optimumun altındaki kaynaklara maruz kaldığını gösteren bir gösterge olarak kullanılabilecektir (Schmid-Hempel, 2003). Beslenmenin erkek arı üreme kalitesi üzerindeki etkilerini araştıran çalışmalar karışık sonuçlar vermiştir. Czekońska ve ark. (2015), gelişim sırasında farklı miktarlarda polene erişimin erkek arı üreme kalitesini etkileyip etkilemediğini test etmiştir. Kolonilerin deney süresince yalnızca ortalama 932 g polene erişmesini kısıtlamak için polen tuzakları kullandılar; kontrol kolonileri ise 2 aylık bir süre boyunca polene sınırsız erişime sahipti. Polen kaynağı sınırlı olan kolonilerde yetiştirilen erkek arılar, polene sınırsız erişimi olanlarla karşılaştırıldığında, daha düşük vücut ağırlığına, daha düşük sperm hacmine sahip olduğu görüldü. Ancak erkek arıların polene erişiminin sınırlı veya

sınırsız olmasına bakılmaksızın sperm sayısı, canlılığı ve konsantrasyonu açısından önemli bir farklılık gözlenmedi.

Benzer bir çalışmada Stürup ve ark. (2013), üç koloniden ortaya çıkan yüzlerce erkek arıyı toplayıp bunları iki deneme grubuna ayırarak polen yoksunluğunun erkek arı kalitesi üzerindeki etkilerini test etti. Her iki erkek grubu da 50:50 su:şeker çözeltisine sınırsız erişime sahip küçük test kolonilerinde tutuldu. Koloniler daha sonra işçilerin nektar toplamasına izin veren ancak kovana polen getirmelerini engelleyen uçuş kafeslerine yerleştirildi. Bir tedavi grubuna sadece şekerli su verilirken, diğer gruba şekerli su ve sınırsız miktarda polen verildi. Erkek arı toplama, erkekler 12 günlük yaşa ulaştığında başladı ve erkekler 22 günlük olana kadar 5 günlük aralıklarla devam etti; bu noktada araştırmacılar sperm canlılığını ölçtüler. Bunu yapmak için, erkek arı pupalarının bulunduğu çerçeveler, erginlerin ortaya çıkmasından önce 2 gün süreyle bir kuluçka makinesine yerleştirildi ve ortaya çıkan erkek arılar, kafeslere konularak olgunlaşana kadar konukçu kolonilerine geri konuldu. Sınırsız polen kaynağıyla veya sınırsız polen kaynağı olmadan yetiştirilen erkek arılar arasında sperm canlılığı açısından önemli bir fark bulunmadı.

Benzer şekilde Szentgyörgyi ve ark. (2017), erkek arı larvalarını ikinci veya beşinci dönemde 10 saat süreyle bakıcı işçi arılar tarafından beslenmekten mahrum bırakmıştır. Gelişme sırasında düzenli olarak beslenen larvalara kıyasla ikinci veya beşinci dönemde aç bırakılan larvaların, ortaya çıkan yetişkinlerin ağırlıklarının daha hafif olduğunu tespit etmişlerdir. Ancak semen hacmi polen açlığından etkilenmedi.

Nguyen (1995), besin takviyelerinin erkek arı sağlığı üzerindeki etkilerini inceledi. Yazar, polen takviyesinin, erkek arıların gözden çıktıktan 2 gün önce (10 günde) cinsel olarak olgunlaştığını, ek polenle beslenmeyen erkek arıların ise ortalama olarak ortaya çıktıktan 12 gün sonra cinsel olgunluğa ulaştığını buldu. Ancak polen takviyesi semen hacmini veya sperm sayısını etkilemedi.

Rousseau ve Giovenazzo (2016), ilkbaharda kolonilere şurup ve polen takviyesi yapılmasının erkek arı kalitesi üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu bildirmiştir. Şeker şurubu ve protein katkılarıyla desteklenmiş bir diyetle yetiştirilen erkek arılar, hiçbir ek besleme olmadan yetiştirilen erkek arılara kıyasla, gözden çıktıklarında önemli ölçüde daha büyüktü ve daha yüksek semen hacmine ve daha yüksek sperm canlılığına sahipti; bu, erkek arı yetiştiren kolonilere ilkbaharda protein ve şeker takviyeleri verilmesinin gerekli olduğunu gösteriyor.

Kısıtlı polen erişimine sahip erkek arıların yetiştirildiği kolonilerde, daha düşük semen hacmi ve ejakülasyon kapasitesinin azalması nedeniyle üreme potansiyelinin tehlikeye girmesi ile üreme kalitesi, yeterli polen kaynağına erişimden etkilenebilir (Czekońska ve ark. 2015).

Bununla birlikte, sperm canlılığı, sayısı ve konsantrasyonu da dahil olmak üzere üreme kalitesine ilişkin diğer parametreler, görünüşe göre polen yoksunluğundan etkilenmemiştir (Czekońska et al. 2015).

Benzer şekilde, erkek arılar yarı arazi koşullarında tutulduğunda polen yoksunluğu sperm canlılığını olumsuz yönde etkilememiştir (Stürup ve ark.). Ancak, semen hacminin de benzer şekilde protein yoksunluğundan olumsuz etkilendiği gözlenmiştir (Szentgyörgyi et al. 2017). Nguyen (1995), polen yoksunluğunun cinsel olgunlaşmayı geciktirmeye katkıda bulunabileceğini bulmuş ancak bunun sperm canlılığı veya semen hacmini etkilediğini bulmamıştır, ancak bu son ölçüm diğer çalışmalarla tutarsızdır. Özellikle ilkbaharda polenle desteklenen kolonilerin sperm canlılığı daha yüksek olan erkek arılar ürettiği gözlemlendi (Rousseau ve Giovenazzo 2015; Vasquez-Valencia et al. 2024).

Castellanos-Zacarías ve ark. (2024), Yucatán Yarımadası'nda erkek bal arılarının (*Apis mellifera* L.) üreme özelliklerinin, çiçeklenme dönemlerine bağlı olarak nasıl değiştiğini incelemiştir. Çalışmada, çiçeklenme kütliği döneminde yetişen erkek arıların, çiçeklenme başlangıcı döneminde yetişenlere göre endofallus eversiyonu, ejakülasyon oranı ve sperm kalitesi açısından belirgin şekilde daha düşük değerlere sahip olduğu rapor edilmiştir. Sperm hacmi, konsantrasyonu, canlılığı, mitokondriyal aktivitesi ve akrozom bütünlüğü gibi parametrelerin, polen ve nektar kaynaklarının bol olduğu dönemde anlamlı biçimde arttığı görülmüştür. Araştırma, larva dönemindeki besin kalitesi ve çeşitliliğinin, erkek arıların üreme başarısı üzerinde kritik bir rol oynadığını vurgulamaktadır (Castellanos-Zacarías et al. 2024).

Diğer çalışmalar polen mevcudiyetinin sperm canlılığı üzerinde bir etkisi bulunmamıştır (Nguyen 1995; Stürup ve ark. 2013; Czekońska ve ark. 2015), bu da erkek arı üreme kalitesi üzerinde mevsim ve protein mevcudiyeti arasında önemli bir etkileşimin var gibi görüldüğünü göstermektedir.

Erkek arılar esas olarak arılar için bol miktarda besin kaynağının, özellikle de proteinlerin mevcut olduğu durumlarda yetiştirilir. Erkek arı yetiştirmek için gereken protein miktarı, işçi yetiştirmek için gerekenin iki katıdır (Brodschneider ve Crailsheim, 2010). Bu nedenle protein eksikliği erkek arıların ve spermanın kalitesini etkileyebilir. Proteine sınırlı erişimi olan kolonilerde yetiştirilen erkek arılar, protein kaynaklarına sınırsız erişimi olan kolonilerde yetiştirilen erkek arılara göre boyut ve ağırlık olarak daha küçük ortaya çıkabilir ve ayrıca daha az miktarda ejaküle edilmiş meni üretebilir (Czekonska et al. 2015; Szentgyörgyi et al. 2017). Bu nedenle, protein takviyesi yapılan kolonilerde yetiştirilen erkek arılar, protein takviyesi yapılmayan kolonilerde yetiştirilen erkek arılara göre avantajlara sahip olabilir.

Metz ve Tarpy'nin (2021) ticari kolonilerde erkek arı kalitesini incelediği çalışma, beslenme ve genel koloni koşullarının dolaylı olarak erkek arı morfolojisini şekillendirebileceğine işaret etmektedir. Araştırma kontrollü bir beslenme deneyi olarak kurgulanmasa da bazı ticari kolonilerin sistematik olarak yüksek vücut ağırlığına sahip erkek arı üretmesini beslenmenin de dahil olduğu koloni koşullarına bağlamaktadır. Araştırmada, işçi gözlerinde (daha küçük hücreler) yetiştirilen erkek arıların, erkek gözlerinde geliştirilenlere kıyasla daha düşük vücut kütlelerine, daha dar baş ve toraks genişliğine ve daha küçük aksesuar üreme organlarına sahip olduğu; buna karşın sperm parametrelerinin de genel olarak daha düşük bir üreme kapasitesiyle ilişkili olduğu gösterilmiştir. Aynı popülasyon içinde, hücre tipi kontrol edilse bile koloniler arasında belirgin boyut ve üreme kapasitesi farklılıklarının sürmesi, koloni düzeyinde değişen besin arzı, tarımsal kimyasallara maruziyet ve paraziter yük gibi çevresel faktörlerin larval gelişim sürecine farklı biçimlerde yansiyabildiğini düşündürmektedir. Bu bulgular, literatürde “daha büyük erkek arı = daha yüksek üreme başarısı” ilişkisini desteklerken, erkek arı morfolojisinin yalnızca genetik ve hücre boyutundan ibaret olmadığını, larval dönemdeki beslenme ortamı ve koloni kaynaklı stresörlerin de vücut büyüklüğü ve doku gelişimini etkileyen temel bileşenler arasında yer aldığını göstermekte; dolayısıyla beslenme koşullarının erkek arılardaki morfolojik varyasyonun açıklanmasında kuramsal bir çerçeve olarak dikkate alınması gerektiğine işaret etmektedir.

Liu ve ark. (2021), erkek bal arılarının larval dönemde maruz kaldıkları beslenme rejimi ve hücre tipinin, baş yatay alanı, sağ ön kanat uzunluğu, sağ ön kanat genişliği ve thoraks genişliği gibi temel morfolojik özellikler üzerinde belirgin etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmada genç erkek arı larvaları, işçi gözlerine ve ana gözlerine transfer edilerek sırasıyla işçi jölesi ve belirli süre arı sütü ile beslenmiş, kontrol grubundaki larvalar ise doğal erkek gözlerinde erkek arı jölesiyle gelişimini sürdürmüştür. Yeni çıkan erginlerde yapılan ölçümler, doğal erkek gözlerindeki erkek arıların baş yatay alanı, sağ ön kanat uzunluğu ve genişliği ile thoraks genişliği bakımından en yüksek değerlere sahip olduğunu; ana gözlerindeki erkek arıların bu özellikler bakımından işçi gözlerindeki erkek arılardan anlamlı biçimde büyük, ancak doğal erkek gözlerindeki erkek arılardan daha küçük kaldığını göstermiştir. Başka bir ifadeyle, larva döneminde tercih edilen besin tipi (arı sütü/işçi jölesi/erkek arı jölesi) ve hücre hacmi birlikte ele alındığında, beslemenin erkek arıların kafa kapsülü boyutu, kanat morfolojisi ve thoraks genişliği gibi uçuş ve üreme başarısıyla ilişkilendirilen morfolojik parametreleri önemli ölçüde şekillendirdiği görülmektedir. Bu bulgular, söz konusu özelliklerin yalnızca genetik yapı ve cinsiyete değil, larval beslenme ortamına da duyarlı olduğunu vurgulamaktadır.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Arı materyali

Araştırmanın hayvan materyalini Atatürk Üniversitesi Gıda ve Hayvancılık Uygulama ve Araştırma Merkez Müdürlüğü Arıcılık Biriminde (GHUAM) kızkardeş ana arılarla oluşturulan 25 adet erkek arı yetiştirme kolonisi kullanılmıştır. Koloniler, iki kontrol ve üç muamele grubu olmak üzere, beş gruba ayrılmıştır. Her bir grupta 5 adet olmak üzere toplam 25 adet bal arısı (*Apis mellifera L.*) kolonisi kullanılmıştır.

Yem materyali

Muamele grubundaki koloniler eşit miktarda polen ve polen ikame yemleri ile beslenmiştir. Polen ve polen ikame ürünleri arı kekine eklenerek kolonilere verilmiştir. Bu karışımlara ilave olarak besleme gruplarının tümüne aminoasit, vitamin ve mineral kompleksi eklenmiştir. Kekle besleme haftada bir kez yapılmış ve haftalık tüketilen yem miktarı belirlenmiştir. Besleme ve kontrol grupları dahil olmak üzere tüm gruplar için günlük 1 litre şeker şurubu (1:1) ile ek besleme yapılmıştır.

Denemede kolonilere verilen diyetler

Diyet 1 (50 g taze polen+ 300 g pudra şekeri +150 g bal + 20 g vitamin-mineral kompleksi)

Diyet 2 (50 g maya proteini (%40 protein içeren) + 300 g pudra şekeri + 150 g bal + vitamin-mineral kompleksi)

Diyet 3 (25 g taze polen +23 g yumurta sarısı + 2 g spirulina + 300 g pudra şekeri+150 g invert şurup (Ticari arı yemi)

Kontrol Diyeti (Bu gruptaki bal arısı kolonilerinin çevreden polen ve nektar almasına izin verilmiştir. Bu gruba başka herhangi bir besin takviyesi yapılmamıştır.)

Negatif Kontrol Diyeti (Bu gruptaki kolonilerin polen tuzağı vasıtasıyla polen almaları engellenmiştir.)

Diğer materyaller

Bu çalışmada, 0,001 g ölçer hassas terazi, suni tohumlama seti sterio mikroskop, numune kabı, etil alkol, petri kabı, fırça, pens, cam slayt, bistüri, kâğıt peçete, selobant, düz lam, permanent kalem, körük, arıcı maskesi gibi arı yetiştiriciliğinde kullanılan birçok malzeme kullanılmıştır.

Metot

Kolonilerin hazırlanması

Arı kolonileri kuluçka ve arılı çerçeve (6 adet) bakımından eşitlenmiş olarak kullanılmıştır. Çalışma, deneme grubu 15 adet ve 10 adet kontrol grubu kolonisi olmak üzere toplam 25 adet arılı koloni kullanılmıştır. Ana arılar aynı yaşta, aynı arılıkta doğal olarak çiftleşmiş kız kardeş ana arılardan oluşturulmuştur.

Erkek arı ve ana arı yetiştirme

Kardeş ana arılar (*Apis mellifera L.*), ana arısız kolonilerde yetiştirilmiştir. Döllmelerinin ardından benzer genetik kökene sahip 25 adet erkek arı yetiştirme kolonileri oluşturulmuştur. Kontrol grubu hariç, tüm erkek arılar (*Apis mellifera*), düzenli olarak kendi grubundaki diyetle beslenen güçlü kolonilerde yetiştirilmiştir. Erkek arıların çıkış tarihleri takip edilerek 15. güne kadar dahil beslemeye devam edilmiş ve 16. gün çıkış tarihleri belirlenen erkek arılar farklı renklerde boyanarak sperm alınması için laboratuvar ortamına erkek arı kafesleriyle nakledilmiştir. Her gruptan 40 adet erkek arı sperm alma işleminde kullanılmıştır. Erkek arılar 16 gün ve daha yaşlı bireyler olacak şekilde, tek bir arılıkta bulunan 25 *Apis mellifera* kolonisinden toplanmıştır. Onaltı günlük olgunlaşan erkek arıların uçuş kafesinde tutularak dışkılarını attıktan sonra şansa bağlı olarak her gruptan 40 adet erkek arı sperm toplama işi için laboratuvara nakledilmiştir. Erkek arılardan sperm aynı günde toplanmıştır.

Larva toplama işlemi

Dört gün sonra kolonilerden larva aşamasına ulaşan erkek arı larvalarından her tekerrür için 5x5=25 adet olmak üzere dört grup için toplam 100 adet larva toplanmıştır. Hasat tarihleri, ana arının erkek arı peteklerine yumurtasını bırakmasından sonraki yedinci günde uygulanmıştır. Tüm guruplardan alınan larvalar protein analizine tabi tutulmuştur.



Şekil 1. Erkek arı larvaları



Şekil 2. Erkek arı gözlerinin kapanmış hali

Ham protein (HP) analizi

Kuruduktan sonra öğütülen larva örneklerinden yaklaşık 0,2 g alınarak Kjeldahl tüplerine tartılmıştır. Tüplere bir adet katalizör tableti (3,5 g K₂SO₄ ve 0,0035 g Se içeren) ile 10 mL %95–97 derişik H₂SO₄ eklenmiş ve örnekler, çözelti tamamen berrak bir görünüm kazanıncaya kadar yaş yakma ünitesinde devam edilmiştir. Daha sonra tüpler oda sıcaklığında soğutulurak destilasyon cihazına aktarılmıştır. Cihazın diğer bölümüne ise her bir örnek için 5 mL %4'lük borik asit çözeltisi içeren erlenmayerler yerleştirilmiştir. Ardından her tüpe saf su ve %40'lık NaOH çözeltisi ilave edilerek damıtma işlemi yürütölmüş, böylece açığa çıkan azot borik asit içerisinde amonyum borat formuna dönüştürölmüştür. Ham protein analizinin son basamağı olan titrasyonda, erlenmayerde toplanan distilat 0,1 N HCl çözeltisi ile titre edilerek harcanan asit miktarı belirlenmiş ve AOAC (1990) tarafından verilen formöl kullanılarak % ham protein değeri hesaplanmıştır (Kutlu, 2008).

$$\% \text{ Protein} = (G) * (H) * (N) * (eHCL) * (100) / (M) * (1000) * (ep)$$

G: 14.007 (Azotun atom ağırlığı)

H: kjeldahl tüp için harcanan HCl (ml)

N: HCl' nin normalitesi (0,1)

f: 0.1 N HCl'nin etkeni

ep: Proteine dönüştürme etkeni (6.25)

M: Tartılan örnek miktarı.



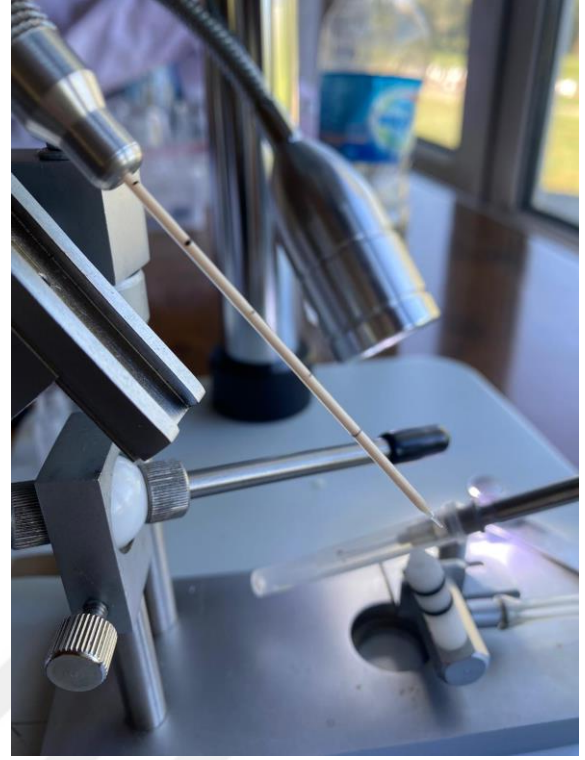
Şekil 3. Örneklerde azot tayini için yaş yakma, destilasyon ve titrasyon işlemleri

Semen toplama işlemi

Kafeslenen arılar laboratuvar ortamına alınarak Cobey vd, (2013) çalışmasında belirttiği şekilde Schley suni tohumlama seti yardımıyla mikroskop altında semen toplanmıştır (Resim 4). Semen toplama öncesi laboratuvar ortamı %70'lik etil alkol ile temizlenerek semen toplama için uygun koşullar sağlanmıştır. Yapay tohumlama enjektörünün hazırlanmasında serum fizyolojik (NaCl: 0,85 gr; damıtık su: 100 ml.) kullanılmıştır. Steril olarak eczanelerden temin edilen serum fizyolojik içerisine %0,25 oranında antibiyotik (streptomycin) katılarak bakterilerin çoğalmaları önlenmiştir (Gül ve ark., 2017). Her yerel genotip gruptan alınacak ve eşeysel olgunluğa erişmiş erkek arıların thoraks ve baş kısmı sağ elin işaret ve baş parmakları ile tutularak baskı yapılmış ve ejakülasyon sağlanmıştır. Başarılı bir ejakülasyondan sonra krem renkli semen ve beyaz renkli mukus sıvısı penis boynu üzerinde görülmüştür. Semen mukus üzerine ince bir tabaka halinde yayıldığından zaman geçmeden enjektör kanülüne çekilmiştir. Mukus sıvısı sahip olduğu kıvam sebebi ile kanül uçlarını tıkadığından semen toplanırken kanül ucunun mukus sıvısına değmemesine ve mukus çekilmemesine (Laidlaw, 1997) dikkat edilerek yapılmıştır.



Şekil 4. Erkek arının sperm almak için hazır hale getirilmesi



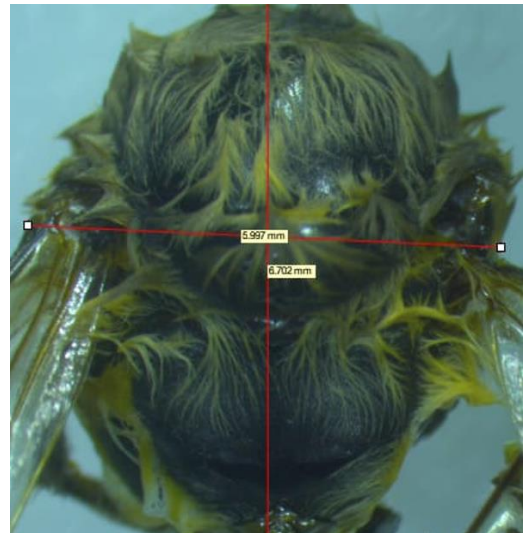
Şekil 5. Sperm alma işlemi

Morfolojik ölçümler

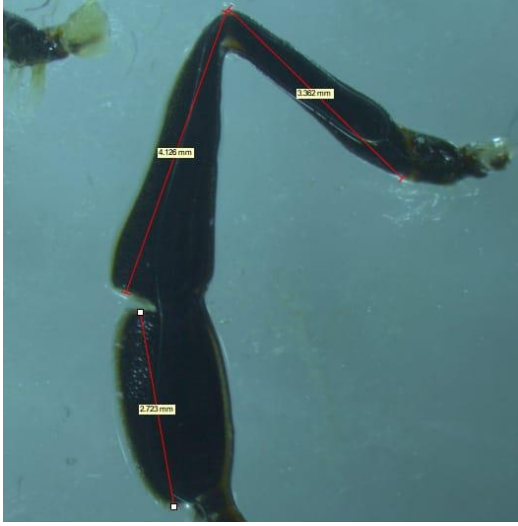
Erkek arılarda kafa genişliği ve uzunluğu, thoraks genişliği ve uzunluğu, ön kanat uzunluk ve genişliği, arka bacak uzunluğu ölçümleri yapılmıştır. Her bir grupta şansa bağlı olarak seçilmiş 15'er adet erkek arıda 7 adet morfolojik karakterin biyometrik ölçümleri için stereo mikroskop (LEICA –DFC- 290 HD) cihazından yararlanılmıştır.



Şekil 6. Baş



Şekil 7. Thoraks



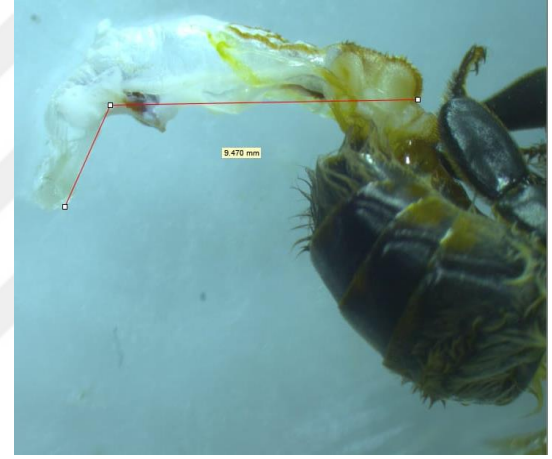
Şekil 8. Arka bacak



Şekil 9. Abdomen



Şekil 10. Sağ ön kanat



Şekil 11. Endophallus

İstatistiksel analiz

Bu çalışmada istatistiksel değerlendirmelerde deneysel birim olarak erkek arı bireyleri kabul edilmiştir. Tüm ölçümler, her bir gruptan rastgele seçilen erkek arılar üzerinde bireysel olarak gerçekleştirilmiştir.

Farklı ek besleme gruplarının erkek arıların fizyolojik ve morfolojik özellikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde tek yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Her bir fizyolojik ve morfolojik özellik ayrı ayrı analiz edilmiştir. Analiz öncesinde verilerin normalliği Shapiro–Wilk testi, varyans homojenliği ise Levene testi ile kontrol edilmiştir.

Gruplar arasındaki farklılıkların belirlenmesinde Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Tüm istatistiksel analizler SPSS Statistics (Version 20.0, IBM Corp., Armonk, NY, USA) (SPSS, 2013) paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, sonuçlar ortalama

± standart hata (SE) olarak sunulmuştur. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $P < 0.05$ olarak kabul edilmiştir.



ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Fizyolojik Özellikler

Larva ağırlığı (LA)

Erkek arılarda larva ağırlığı, onların daha sonraki yaşam dönemlerinde gelişim, sağlık ve üreme başarısı açısından oldukça önemlidir. Çizelge 1 incelendiğinde diyet 1, diyet 2 diyet 3, kontrol ve sınırlı polen gruplarında ortalama larva ağırlığı sırasıyla 333,8±1,5, 331,6±1,4, 329,8±1,5, 315,8±1,5 ve 306,7±1,5 mg olarak tespit edilmiştir.

Tablo 1. Erkek Arıların Diyet Grubuna Göre Fizyolojik Özelliklerine Ait Değerler

Grup Özellik	N	Diyet 1 $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Diyet 2 $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Diyet 3 $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Kontrol $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Sınırlı Polen $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Ortalama $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
LA (mg)	15	333,8±1,5 ^a	331,6±1,4 ^a	329,8±1,5 ^a	315,8±1,5 ^b	306,7±1,5 ^c	323,5±1,3 ^{**}
LPO (%)	3	57,87±0,4 ^a	57,53±0,7 ^a	56,20±0,7 ^a	49,02±1,1 ^b	41,47±0,6 ^c	52,42±1,7 ^{**}
CA (mg)	15	284,0±1,5 ^a	281,6±1,4 ^a	279,8±1,5 ^a	265,8±1,5 ^b	256,7±1,5	273,6±1,3 ^{**}
SV (µL)	40	1,15±0,02 ^a	1,14±0,03 ^a	1,15±0,03 ^a	1,01±0,05 ^b	0,88±0,03 ^c	1,06±0,02 ^{**}

LA: Larva ağırlığı, LPO: Larva protein oranı, CA: Canlı ağırlık, SM: Sperm verimi

^{a, b, c} : Farklı harf taşıyan ortalamalar birbirinden farklıdır, (p<0,05), Duncan, ^{**}: p<0,01

Tüm gruplar birlikte değerlendirildiğinde ortalama larva ağırlığı 323,5±1,3 mg olarak bulunmuştur. Diyet grupları arasında fark bulunmazken, tüm gruplar dikkate alındığında farklılık istatistiki açıdan çok önemli (P<0,01) bulunmuştur. Başka bir değişle, ek besleme larva ağırlığını pozitif yönde artırmıştır. Ek beslemenin larva ağırlığını olumlu yönde etkilediği yönündeki çalışmalar araştırma bulgularıyla uyumaktadır (Mahbobi vd., 2021; Oskay ve Oğuz, 2022).

Tablo 2. Grupların Larva Ağırlığına İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	P
Gruplar arası	4	2078,387	60,751 ^{**}	0,000
Grup içi	70	34,211		
Toplam	74			

^{**}: p<0,01, Çok önemli.

Larva protein oranı (LPO)

Erkek arı larvalarındaki protein oranı, larvaların büyümesi, gelişimi ve ileride erişkin arıların fizyolojik kalitesi açısından son derece kritik bir parametredir. Yüksek proteinli besin

alan larvalar, daha hızlı büyür, daha yüksek canlı ağırlığa ulaşır ve sağlam bir kutikula (dış iskelet) geliştirir. Yürütülen çalışmada diyet 1, diyet 2 diyet 3, kontrol ve sınırlı polen gruplarından elde edilen ortalama erkek arı larva protein oranları sırasıyla % 57,87±0,4, % 57,53±0,7, % 56,20±0,7, % 49,02±1,1, % 41,47±0,6 olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmada ek beslemeyle elde edilen larva protein oranı kontrol gruplardan yüksek olarak tespit edilmiş ve farklılık istatistiki olarak önemlidir (P<0,01) bulunmuştur. Yapılan diğer çalışmalarda da, yüksek proteinli gıdalarla beslemede yavru yetiştirme aktivitesi ve larvaların fizyolojik özelliklerine ait parametrelerde artışa yol açtığı bildirilmiştir (De Jong vd., 2009; Amro vd., 2016; Begum vd., 2023).

Tablo 3. Grupların Larva Protein Oranına İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	P
Gruplar arası	4	151,275	83,028**	0,000
Grup içi	10	1,822		
Toplam	14			

** : p<0,01, Çok önemli.

Canlı ağırlık (CA)

Erkek arılarda canlı ağırlık, onların fizyolojik kapasiteleri, üreme başarısı ve koloniye katkıları açısından kritik bir biyolojik göstergedir. Çünkü larva döneminde oluşan vücut büyüklüğü ve erişkin dönemdeki canlı ağırlık, hem morfolojik hem de üreme özelliklerini doğrudan etkiler. Yapılan çalışmada, diyet 1, diyet 2 diyet 3, kontrol ve sınırlı polen gruplarında ortalama erkek arı ağırlığı sırasıyla 284,0±1,5, 281,6±1,4, 279,8±1,5, 265,8±1,5 ve 256,7±1,5 mg olarak tespit edilmiştir. Ek besleme erkek arılarda canlı ağırlığı artırdığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 4. Grupların Ergin Canlı Ağırlığına İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	P
Gruplar arası	4	2088,733	60.242**	0,000
Grup içi	70	34,672		
Toplam	74			

** : p<0,01, Çok önemli.

Diyet grupları arasında fark bulunmazken, tüm gruplar dikkate alındığında farklılık istatistiki açıdan önemli (P<0,05) bulunmuştur. Yapılan çalışmalarda (Rousseau and Giovenazzo, 2016; Vasquez-Valencia *et al.* 2024; Güneşdoğdu ve ark., 2025), ek beslemenin

canlı ağırlık ve abdomen hacmini anlamlı bir şekilde artırdığı bildirilmiş olup, bu sonuç araştırma bulgularıyla da örtüşmektedir.

Sperm verimi (SV)

Erkek arılarda semen miktarı ve kalitesi özellikle arı ıslahı ve ana arılarda yapay tohumlama açısından büyük önem taşımaktadır. Araştırma sonuçlarına göre; diyet 1, diyet 2 diyet 3, kontrol ve sınırlı polen gruplarında ortalama semen miktarı sırasıyla $1,15 \pm 0,02$, $1,14 \pm 0,03$, $1,15 \pm 0,03$, $1,01 \pm 0,05$ ve $0,88 \pm 0,03 \mu\text{L}$ olarak belirlenmiştir. Sperm verimi bakımında besleme grupları arasında bir fark görülmezken, tüm gruplar dikkate alındığında farklılık istatistiki açıdan önemli ($P < 0,05$) bulunmuştur. Yapılan çalışmada ek beslemenin semen miktarını önemli derecede artırdığı görülmüştür. Araştırma sonucunda elde edilen bulgular diğer araştırmacıların sonuçları ile uyumludur (Czekońska *et al.* 2015; Rousseau and Giovenazzo, 2016; Vasquez-Valencia *et al.* 2024).

Tablo 5. Grupların Sperm Verimine İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	P
Aylar itibarıyla arılı çerçeve sayıları				
Gruplar arası	4	,073	9,945**	0,000
Grup içi	20	,007		
Toplam	24			

** : $p < 0,01$, Çok önemli.

Morfolojik Özellikler

Baş uzunluğu (BU) ve baş genişliği (BG)

Erkek arılarda baş uzunluğu ve genişliği önemlidir çünkü bunlar vücut boyutunu, üreme yeteneğini, genetik geçmişi ve larva beslenmesini yansıtır; bu özelliklerin her biri çiftleşme başarısını ve genel koloni sağlığını etkiler. Tablo 6'dan da görüldüğü gibi diyet 1, diyet 2 diyet 3, kontrol ve sınırlı polen gruplarında ortalama baş uzunluğu sırasıyla $4,52 \pm 0,03$, $4,50 \pm 0,03$, $4,49 \pm 0,04$, $4,31 \pm 0,04$ ve $4,12 \pm 0,04$ mm olarak tespit edilmiştir. Aynı sırayla baş genişlikleri ise $4,64 \pm 0,03$, $4,62 \pm 0,03$, $4,61 \pm 0,03$, $4,43 \pm 0,03$ ve $4,24 \pm 0,03$ mm olarak bulunmuştur. Genel olarak besleme grupları arasında fark görülmemiş, ancak tüm gruplar karşılaştırıldığında farklılık anlamlı bulunmuştur. Başka bir deyişle ek besleme baş uzunluğu ve genişliği üzerinde olumlu bir etkiye sebep olmuştur. Yapılan bir çalışmada daha küçük baş uzunluğu ve genişliğine sahip olan erkek arıların daha düşük genel kütleye sahip olma eğiliminde olduklarını ve bunun daha düşük üreme potansiyeliyle ilişkili olduğu bildirilmiştir (Metz ve Tarpy, 2019). Başka bir çalışmada ise erkek arılarda kafa uzunluk ve genişlik ölçülerinin genel vücut ölçülerini

etkilediği ve daha büyük erkek arıların ise üreme kapasitesi bakımından daha verimli olduklarını bildirilmiştir (Metz ve Tarpy, 2022). Araştırmada besleme ile morfolojik ölçümler üzerinden edilen veriler literatür bildirişleriyle de uyumaktadır (Schlüns vd., 2003; Metz ve Tarpy, 2019; Metz ve Tarpy, 2022).

Erkek arılarda baş uzunluğu (BU) ve baş genişliği (BG), yalnızca kafatası boyutlarını değil, bireyin genel vücut büyüklüğünü, larval dönemdeki beslenme koşullarını ve dolaylı olarak üreme kapasitesini yansıtan temel morfolojik göstergelerdir. Beyin, bileşik gözler ve anten soketleri gibi görsel ve kemosensoyruyel (koku ve tat gibi kimyasal duyularla ilgili) organların bu bölgede yer alması, BU ve BG'yi aynı zamanda çevresel uyarıları algılama ve çiftleşme uçuşlarında ana arıyı tespit etme yeteneğiyle ilişkilendirilmektedir (Halvaci ve ark., 2023; Hrasnigg ve Crailsheim, 2005). Böylece BU ve BG, hem bireysel üreme başarısı hem de koloni düzeyinde genetik çeşitlilik ve genel sağlık açısından dolaylı önem taşımaktadır (Baer, 2005; Winston, 1987).

Çalışmada diyet 1, diyet 2, diyet 3, kontrol ve sınırlı polen gruplarında baş uzunlukları sırasıyla $4,52\pm0,03$, $4,50\pm0,03$, $4,49\pm0,04$, $4,31\pm0,04$ ve $4,12\pm0,04$ mm; baş genişlikleri ise $4,64\pm0,03$, $4,62\pm0,03$, $4,61\pm0,03$, $4,43\pm0,03$ ve $4,24\pm0,03$ mm olarak bulunmuştur. Ek besleme yapılan üç diyet grubunun aynı harf grubunda yer alması, kontrol grubunda değerlerin azalması ve sınırlı polen grubunda her iki ölçütün de en düşük seviyeye gerilemesi, beslemenin BU ve BG üzerinde belirgin etkisini göstermektedir. Tüm gruplar birlikte değerlendirildiğinde BU ve BG farkları istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur ($P<0,001$). Bu sonuç, polen/protein içeriği yüksek ek beslemenin kafa kapsülü boyutlarını artırdığını, polen kısıtlamasının ise kafatası büyümesini sınırlayan bir stres faktörü gibi işlediğini düşündürmektedir.

Literatürde de protein/polen içeriği zengin diyetlerin erkek arı morfolojisi ve üreme kalitesini artırdığı bildirilmiştir (Czekońska ve ark., 2015; Rousseau ve Giovenazzo, 2016; Vasquez Valencia ve ark., 2024; Mashal ve ark., 2023; Amro ve ark., 2016). Ayrıca Metz ve Tarpy (2019, 2022) kafa ve vücut ölçülerinin uçuş yaşı ve üreme kalitesi ile, Schlüns ve ark. (2003) ise vücut büyüklüğünün sperm sayısı ile pozitif ilişkili olduğunu ortaya koymuştur.

Erkek arıların farklı diyet gruplarında yetiştirilmeleri sonucu elde edilen morfolojik özellikler Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Erkek Arıların Diyet Grubuna Göre Morfolojik Özelliklerine Ait Değerler

Grup Özellik	N	Diyet 1 $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Diyet 2 $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Diyet 3 $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Kontrol $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Sınırlı Polen $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Ortalama $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
BU (mm)	15	4,52±0,03 ^a	4,50±0,03 ^a	4,49±0,04 ^a	4,31±0,04 ^b	4,12±0,04 ^c	4,38±0,02 ^{**}
BG (mm)	15	4,64±0,03 ^a	4,62±0,03 ^a	4,61±0,03 ^a	4,43±0,03 ^b	4,24±0,03 ^c	4,50±0,02 ^{**}
SÖU (mm)	15	12,51±0,07 ^a	12,47±0,07 ^a	12,45±0,08 ^a	12,16±0,09 ^b	12,04±0,09 ^c	12,33±0,04 ^{**}
SÖG (mm)	15	4,34±0,04 ^a	4,33±0,04 ^a	4,32±0,04 ^a	4,14±0,04 ^b	4,03±0,04 ^c	4,24±0,02 ^{**}
TU (mm)	15	6,67±0,06 ^a	6,65±0,06 ^a	6,65±0,06 ^a	6,47±0,06 ^b	6,29±0,06 ^c	6,55±0,03 ^{**}
TG (mm)	15	5,95±0,03 ^a	5,94±0,03 ^a	5,93±0,03 ^a	5,82±0,03 ^b	5,69±0,03 ^c	5,86±0,02 ^{**}
EU (mm)	15	8,34±0,17	8,32±0,18	8,32±0,18	8,22±0,18	8,10±0,18	8,26±0,07 ^{ös}
ABU (mm)	15	10,16±0,07	10,15±0,07	10,14±0,07	10,07±0,07	9,99±0,07	10,11±0,03 ^{ös}
AU (mm)	15	8,15±0,14	8,13±0,14	8,11±0,14	7,91±0,14	7,71±0,14	8,00±0,06 ^{ös}
AG (mm)	15	5,94±0,05 ^a	5,92±0,05 ^a	5,90±0,05 ^a	5,74±0,05 ^b	5,56±0,05 ^c	5,81±0,02 ^{**}
BYU (mm)	15	19,35±0,18	19,28±0,17 ^a	19,26±0,18 ^a	18,70±0,18 ^b	18,13±0,18 ^c	18,94±0,09 ^{**}

BU: Baş uzunluğu, BG: Baş genişliği, SÖU: Sağ ön kanat uzunluğu, SÖG: Sağ ön kanat genişliği, TU: Thoraks uzunluğu, TG: Thoraks genişliği, EU: Endophallus uzunluğu, ABU: Arka bacak uzunluğu, AU: Abdomen uzunluğu, AG: Abdomen genişliği, BYU: Boy uzunluğu

^{a, b, c} : Farklı harf taşıyan ortalamalar birbirinden farklıdır, (p<0,05), Duncan

^{**}: p<0,01, Çok önemli, ^{ns}: Önemsiz

Çalışmada, ek besleme gruplarında daha uzun ve geniş başlı erkek arıların yoğunlaşması, bu “yüksek kaliteli erkek arı” profiliyle uyumludur. Sonuç olarak BU ve BG, larval beslenme rejimi ve vücut boyutunu birlikte yansıtan, çiftleşme başarısı ve koloni sağlığı açısından kritik, beslemeye duyarlı morfolojik göstergeler olarak değerlendirilebilir.

Tablo 7. Grupların Baş Uzunluğuna İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	P
Gruplar arası	4	,444	17,362 ^{**}	0,000
Grup içi	70	,026		
Toplam	74			

^{**}: p<0,01, Çok önemli.

Tablo 8. Grupların Baş Genişliğine İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	P
Gruplar arası	4	,444	21,922 ^{**}	0,000
Grup içi	70	,026		
Toplam	74			

^{**}: p<0,01, Çok önemli.

Sağ ön kanat uzunluğu (SÖU) ve sağ ön kanat genişliği (SÖG)

Erkek arılarda sağ ön kanat uzunluğu ve genişliği önemlidir çünkü uçuş yeteneği, üreme başarısı, genetik tanımlama ve larva beslenmesiyle doğrudan ilişkili olan temel biyolojik, işlevsel ve morfometrik göstergeler olarak hizmet ederler. Araştırmada diyet 1, diyet 2 diyet 3, kontrol ve sınırlı polen gruplarında ortalama sağ ön kanat uzunlukları sırasıyla $12,51\pm0,07$, $12,47\pm0,07$, $12,45\pm0,08$, $12,16\pm0,09$, $12,04\pm0,09$ mm olarak belirlenmiş ve aynı sırayla sağ ön kanat genişlikleri ise $4,34\pm0,04$, $4,33\pm0,04$, $4,32\pm0,04$, $4,14\pm0,04$, $4,03\pm0,04$ mm olarak tespit edilmiştir. Diyet uygulamaları sağ ön kanat uzunluğu ve genişliği üzerinde pozitif yönde etkili olmuştur. Besleme ve kontrol grupları arasında anlamlı farklılıklar bulunmuştur.

SÖU ve SÖG, erkek arıların çiftleşme uçuşuna çıkabilmesi, erkek arı toplanma alanlarına ulaşabilmesi ve ana arıyı takip edebilmesi için gerekli uçuş performansının önemli belirteçleridir. Kanatların boyutu ve yapısal bütünlüğü, uçuş verimliliği ve dolaylı olarak üreme başarısıyla ilişkilendirilmekte; erkek arı kalitesini tanımlarken vücut boyutları ve kanat ölçümleri birlikte ele alınmaktadır (Hrassnigg ve Crailsheim, 2005; Halvacı ve ark., 2023).

Tablo 9. Grupların Sağ Ön Kanat Uzunluğuna İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	P
Gruplar arası	4	,665	6,265**	0,000
Grup içi	70	,106		
Toplam	74			

** : $p<0,01$, Çok önemli.

Çalışmada diyet 1, diyet 2, diyet 3, kontrol ve sınırlı polen gruplarında ortalama SÖU değerleri $12,51\pm0,07$, $12,47\pm0,07$, $12,45\pm0,08$, $12,16\pm0,09$ ve $12,04\pm0,09$ mm; SÖG değerleri ise $4,34\pm0,04$, $4,33\pm0,04$, $4,32\pm0,04$, $4,14\pm0,04$ ve $4,03\pm0,04$ mm olarak belirlenmiştir. Harf grupları, ek besleme uygulanan üç diyet grubunun her iki özellik için de aynı harf grubunda (a), kontrol grubunun ikinci (b), sınırlı polen grubunun ise en düşük (c) sırada yer aldığını göstermektedir. Tek yönlü varyans analizinde SÖU için $F=6,265$; $P<0,001$, SÖG için $F=8,333$; $P<0,001$ bulunmuş; böylece diyet grupları arasındaki farklar “çok önemli” düzeyde saptanmıştır. Bu bulgular, ek beslemenin sağ ön kanat uzunluğu ve genişliğini artırdığını, polen kısıtının ise kanat boyutlarını anlamlı ölçüde küçülttüğünü ortaya koymaktadır.

Tablo 10. Grupların Sağ Ön Kanat Genişliğine İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	P
Gruplar arası	4	,309	8,333**	0,000
Grup içi	70	,037		
Toplam	74			

** : p<0,01, Çok önemli.

Kanat morfolojisinin beslenme ile ilişkisi, özellikle simetri, boyut ve uçuş performansı üzerinden daha önce de vurgulanmıştır. Szentgyörgyi ve ark. (2017), larval açlık durumunda kanat asimetrisinin arttığını ve üreme kalitesinin düştüğünü; Fathy ve ark. (2018) ise yapay beslemenin kanat simetrisi ve yapısını etkileyerek biyolojik kaliteyi değiştirebildiğini bildirmiştir. Czekońska ve ark. (2015), polene serbest erişimi olan kolonilerde daha iri vücut ve kanat ölçüleri ile daha iyi üreme parametreleri rapor etmiştir. Brodschneider ve Crailsheim (2010) ve De Jong ve ark. (2009) polen/protein durumunun genel vücut kondisyonu ve gelişim üzerindeki etkisini ortaya koymuştur. Çalışmamızda ek besleme gruplarında yüksek, sınırlı polen grubunda düşük belirlenen SÖU ve SÖG değerleri, bu literatürle uyumlu olarak kanat morfolojisinin beslenme koşullarına duyarlı, esneklik gösteren ve çiftleşme potansiyeliyle doğrudan ilişkili bir karakter olduğunu göstermektedir.

Thoraks uzunluğu (TU) ve thoraks genişliği (TG)

Bal arısı erkek arılarında thoraks uzunluğu (TU) ve thoraks genişliği (TG) en önemli morfolojik özellikler arasındadır, çünkü göğüs, üreme başarısı için kritik öneme sahip uçuş kaslarını barındırmaktadır. Çalışmada diyet 1, diyet 2 diyet 3, kontrol ve sınırlı polen gruplarında ortalama thoraks uzunlukları sırasıyla $6,67 \pm 0,06$, $6,65 \pm 0,06$, $6,65 \pm 0,06$, $6,47 \pm 0,06$, $6,29 \pm 0,06$ mm olarak belirlenmiştir ve aynı sırayla thoraks genişlikleri ise; $5,95 \pm 0,03$, $5,94 \pm 0,03$, $5,93 \pm 0,03$, $5,82 \pm 0,03$, $5,69 \pm 0,03$ mm olarak ölçülmüştür.

Tablo 11. Grupların Thoraks Uzunluğuna İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	P
Gruplar arası	4	,404	7,020**	0,000
Grup içi	70	,057		
Toplam	74			

** : p<0,01, Çok önemli.

TU ve TG, uçuş kaslarının yer aldığı segmentin boyutlarını yansıttığı için erkek arıların uçuş kapasitesi ve dolaylı olarak üreme başarısı açısından başlıca morfolojik göstergelerdendir. Thoraks, kanat ve bacakların bağlandığı ana segment olup, erkek arı toplanma alanlarına

ulaşmak ve ana arıyı takip etmek için gerekli mekanik enerjinin üretildiği bölgedir (Winston, 1987; Hrassnigg ve Crailsheim, 2005; Halvacı ve ark., 2023). Bu nedenle TU ve TG, hem genel vücut büyüklüğünü hem de uçuşa yönelik kas kütlelerini temsil eder (Gençer ve Kahya, 2020; Schlüns ve ark., 2003).

Çalışmada diyet 1, diyet 2, diyet 3, kontrol ve sınırlı polen gruplarında TU ortalamaları $6,67 \pm 0,06$, $6,65 \pm 0,06$, $6,65 \pm 0,06$, $6,47 \pm 0,06$ ve $6,29 \pm 0,06$ mm; TG ortalamaları ise $5,95 \pm 0,03$, $5,94 \pm 0,03$, $5,93 \pm 0,03$, $5,82 \pm 0,03$ ve $5,69 \pm 0,03$ mm olarak ölçülmüştür. Ek besleme uygulanan üç diyet grubunun her iki özellik için de aynı harf grubunda (a), kontrol grubunun (b), sınırlı polen grubunun ise (c) harf grubunda yer alması, thoraks boyutlarının beslenme ile belirgin biçimde değiştiğini göstermektedir. Tek yönlü varyans analizinde TU için $F=7,020$; $P<0,001$ ve TG için $F=8,339$; $P<0,001$ değerlerinin bulunması, gruplar arasındaki farkların istatistiksel açıdan “çok önemli” olduğunu göstermektedir.

Tablo 12. Grupların Thoraks Genişliğine İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	P
Gruplar arası	4	,186	8,339**	0,000
Grup içi	70	,022		
Toplam	74			

** : $p<0,01$, Çok önemli.

Literatürde daha iri thorakslı erkek arıların genellikle daha yüksek sperm üretim kapasitesine ve daha iyi üreme parametrelerine sahip olduğu bildirilmiştir (Gençer ve Fıratlı, 2005; Schlüns ve ark., 2003), thoraks kaslarının çiftleşme uçuşlarına uyum sağlayacak şekilde geliştiği (Hrassnigg ve Crailsheim, 2005) bildirilmiştir. Beslenme ile thoraks gelişimi arasındaki bu ilişki, beslenme-sağlık bağlantısını vurgulayan Brodschneider ve Crailsheim (2010), polen/protein takviyesinin hemolenf protein düzeylerini ve vücut kondisyonunu artırdığını gösteren De Jong ve ark. (2009) ile polene sınırsız erişimli kolonilerde daha iri erkek arılar rapor eden Czekońska ve ark. (2015) tarafından da dolaylı olarak desteklenmektedir. Çalışmamızda ek besleme gruplarında yüksek, sınırlı polen grubunda belirgin şekilde düşük bulunan TU ve TG değerleri, larval dönemde yeterli protein/polen alımının thoraks gelişimini güçlü biçimde desteklediğini, besleme kısıtının ise thoraks morfolojisini sınırlayarak uçuş ve üreme kapasitesini olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir. Sonuçlar, thoraks ölçülerinin erkek arılarda vücut kondisyonu, uçuş yeteneği ve üreme başarısının yorumlanmasında kullanılabilecek önemli morfolojik göstergeler olduğunu teyit etmektedir.

Endophallus uzunluğu (EU) ve arka bacak uzunluğu (ABU)

Bal arısı erkek arılarında bulunan endofallus, çiftleşme sırasında spermi kraliçeye aktarmak için kullanılan, çiftleşmeye hazır erkek üreme organıdır ve üreme başarısını doğrudan etkilediği için kritik öneme sahiptir. Erkek arılar işçiler gibi polen toplamaya da arka bacaklar yine de birçok işlevsel ve biyolojik rol oynar. Daha uzun arka bacaklar, uçuş sırasında aerodinamik denge ve stabiliteye katkıda bulunarak daha etkili ana arı takibi sağlar.

Bu özelliklerde, kontrol ve sınırlı polen gruplarındaki değerlerin diğer diyet gruplarına göre düşük olduğu görülmektedir. Endophallus uzunluğu, arka bacak uzunluğu gibi morfolojik özellikleri pozitif yönde etkilenmesine rağmen görülen farklılık istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur. Bununla birlikte genel ortalamalar incelendiğinde, diyetSEL takviyenin erkek arıların vücut ölçülerini sınırlı düzeyde artırdığı belirlenmiştir.

Bal arısı erkek arılarında endophallus, çiftleşme sırasında spermatozoayı ana arının üreme kanalına aktaran ve çiftleşme başarısını doğrudan belirleyen temel üreme organıdır. Endophallus'un yapısı, uzunluğu ve tam olarak dışarı çıkabilme (evert) kapasitesi, spermin etkin biçimde transferini ve spermatekaya ulaşan sperm sayısını etkileyen kritik faktörler arasındadır (Woyke ve Ruttner, 1958; Koeniger, 1990; Cobey ve ark., 2013). Arka bacak uzunluğu (ABU) ise polen taşımaya yönelik işlevlerden yoksun olmakla birlikte, vücut stabilitesi, koloni içi hareket ve çiftleşme uçuşları sırasında aerodinamik denge açısından önem taşıyan, vücut boyutunun bileşeni bir morfolojik özelliktir (Winston, 1987; Hrassnigg ve Crailsheim, 2005).

Tablo 13. Grupların Endophallus Uzunluğuna İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	P
Gruplar arası	4	,158	,324 ^{ns}	,861
Grup içi	70	,487		
Toplam	74			

^{ns}: Önemsiz.

Çalışmada diyet 1, diyet 2, diyet 3, kontrol ve sınırlı polen gruplarında EU değerleri sırasıyla 8,34±0,17, 8,32±0,18, 8,32±0,18, 8,22±0,18 ve 8,10±0,18 mm; ABU değerleri ise 10,16±0,07, 10,15±0,07, 10,14±0,07, 10,07±0,07 ve 9,99±0,07 mm olarak tespit edilmiştir. Ortalama düzeyde, kontrol ve özellikle sınırlı polen grubunda hem EU hem ABU'nun ek besleme gruplarına göre biraz daha düşük olduğu görülse de, tek yönlü varyans analizinde EU için F=0,324; P=0,861 ve ABU için F=0,906; P=0,465 bulunmuş, bu farklar istatistiksel açıdan önemsizdir. Dolayısıyla diyet takviyesi, bu iki özelliği mutlak değerde hafifçe artırsa da, diğer

morfolojik karakterlerde (örneğin thoraks genişliği, AG, BYU) görülen düzeyde güçlü bir yanıt oluşturmamıştır.

Tablo 14. Grupların Arkabacak Uzunluğuna İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	P
Gruplar arası	4	,086	,906 ^{ns}	,465
Grup içi	70	,095		
Toplam	74			

^{ns}: Önemsiz.

Literatürde endophallus boyutundan çok yapısal bütünlüğü ve semen kalitesi parametreleri (hacim, sperm sayısı, canlılık) öne çıkmakta, morfolojik küçük farkların çiftleşme başarısına etkisi daha sınırlı ele alınmaktadır (Woyke, 2008; Mackensen ve Roberts, 1948; Stürup ve ark., 2013; Abdelkader ve ark., 2014). Benzer şekilde, ABU da genel vücut büyüklüğünün bir parçası olarak, sperm sayısı ve semen hacmiyle dolaylı ilişkili kabul edilmektedir (Gençer ve Fıratlı, 2005; Schlüns ve ark., 2003; Taha ve Alqarni, 2013). Çalışmada beslemenin baş, thoraks, kanat ve abdomen genişliği gibi karakterlerde “çok önemli” farklar oluşturmaya karşın, EU ve ABU’da yalnızca hafif ve istatistiksel olarak önemsiz artışlara yol açması, bu iki özelliğin beslenmeye göre daha düşük plastisiteye sahip ya da genetik olarak daha sıkı kanalize edilmiş olabileceğini göstermektedir. Yine de kontrol ve sınırlı polen gruplarında ortalamaların düzenli biçimde daha düşük seyretmesi, uzun süreli polen kıtlığında yetişen erkek arıların vücut ölçüleri ve üreme organları açısından az da olsa dezavantajlı bir profile sahip olabileceğini göstermekte; EU ve ABU’yu, diğer morfolojik-fizyolojik parametrelerle birlikte ele alındığında, erkek arı kalitesinin değerlendirilmesinde tamamlayıcı göstergeler haline getirmektedir.

Abdomen uzunluğu (AU) ve abdomen genişliği (AG)

Abdomen uzunluğu ve genişliği, bir erkek arının üreme kapasitesini ve genel gelişim kalitesini doğrudan yansıtan önemli bir morfolojik özelliktir çünkü testisleri, seminal vezikülleri, mukus bezlerini ve endofallusu içerisinde barındırır. Daha uzun ve geniş bir abdomen saha büyük testisler, daha yüksek sperm üretimi, daha büyük semen hacminin bir göstergesi olarak kullanılabilir. Çalışmada diyet 1, diyet 2 diyet 3, kontrol ve sınırlı polen gruplarında ortalama abdomen uzunlukları sırasıyla, 10,16±0,07, 10,15±0,07, 10,14±0,07, 10,07±0,07, 9,99±0,07 mm ve abdomen genişlikleri ise aynı sırayla 5,94±0,05, 5,92±0,05, 5,90±0,05, 5,74±0,05, 5,56±0,05 mm olarak ölçülmüştür. Ek besleme abdomen uzunluğunda anlamlı bir değişikliğe sebep olmazken abdomen genişliği üzerindeki etkisi anlamlı olmuştur.

Castellanos-Zacarias vd. (2024)' tarafından yapılan çalışmada; elde ettikleri bulgular beslenme eksikliklerinin (düşük protein) abdomen hacmi gibi morfometrik özelliklerle ilişkili olabilecek üreme organı olgunlaşması da dahil olmak üzere erkek arı gelişimini olumsuz etkilediği fikrini desteklemektedir. Diğer taraftan, yapılan bir çalışmada ticari protein diyet takviyesi, erkek arıların ağırlığını ve boyutunu önemli ölçüde artırdığı bildirilmiştir (Vasquez-Valencia vd., 2024).

Tablo 15. Grupların Abdomen Uzunluğuna İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	P
Gruplar arası	4	,539	1,646 ^{ns}	,172
Grup içi	70	,327		
Toplam	74			

^{ns}: Önemsiz.

Erkek arılarda AU ve AG, testisler, seminal veziküller, mukus bezleri ve endophallus gibi temel erkek üreme organlarını barındıran segmentin dış boyutlarını yansıttığı için üreme kapasitesi ve gelişim kalitesinin başlıca morfolojik göstergeleri arasında yer almaktadır (Winston, 1987; Hrassnigg ve Crailsheim, 2005; Halvaci ve ark., 2023). Özellikle daha geniş abdomen, iç hacmin ve buna bağlı testis ile yardımcı bezlerin potansiyel hacminin artmasıyla, daha yüksek sperm üretimi ve semen hacmi için dolaylı bir gösterge olarak kabul edilmektedir (Gençer ve Fıratlı, 2005; Taha ve Alqarni, 2013; Baer, 2005).

Çalışmada diyet 1, diyet 2, diyet 3, kontrol ve sınırlı polen gruplarında AU ortalamaları $8,15 \pm 0,14$, $8,13 \pm 0,14$, $8,11 \pm 0,14$, $7,91 \pm 0,14$ ve $7,71 \pm 0,14$ mm; AG ortalamaları ise $5,94 \pm 0,05$, $5,92 \pm 0,05$, $5,90 \pm 0,05$, $5,74 \pm 0,05$ ve $5,56 \pm 0,05$ mm olarak ölçülmüştür. Varyans analizinde AG için $F=9,535$; $P<0,001$ ile gruplar arasında “çok önemli” fark saptanmış; diyet 1-2-3 grupları aynı harf grubunda (a), kontrol (b), sınırlı polen grubu ise (c) harf grubunda yer almıştır. Buna karşılık AU için $F=1,646$; $P=0,172$ bulunmuş ve AU’daki farklar istatistiksel açıdan önemsiz kalmıştır. Yani ek besleme AU’yu ortalama düzeyde hafifçe artırmakla birlikte, asıl belirgin ve anlamlı etki AG üzerinde ortaya çıkmıştır. Bu durum, abdomen genişliğinin iç organ hacmi ve yağ dokusu ile daha doğrudan ilişkili olması nedeniyle, beslenme koşullarına daha duyarlı ve yüksek esneklik görülen bir karakter olduğuna işaret etmektedir.

Tablo 16. Grupların Abdomen Genişliğine İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	P
Gruplar arası	4	,392	9,535**	0,000
Grup içi	70	,041		
Toplam	74			

** : $p < 0,01$, Çok önemli.

Literatürde vücut büyüklüğü ile sperm sayısı arasındaki pozitif ilişki (Schlüns ve ark., 2003) ve cinsel seçim bağlamında iri erkek arıların sperm rekabetindeki avantajı (Baer, 2005) abdomen segmentinin büyüklüğünü üreme fonksiyonuyla ilişkilendirmektedir. Beslenme yönünden, Brodschneider ve Crailsheim (2010) ile De Jong ve ark. (2009) protein/polen yetersizliğinin larva gelişimi ve vücut kondisyonu üzerindeki olumsuz etkilerini, Czekońska ve ark. (2015) ise polene sınırsız erişimli kolonilerde daha iri ve üreme açısından üstün erkek arı profillerini bildirmiştir. Daha güncel olarak Castellanos-Zacarias ve ark. (2024), düşük protein dönemlerinde erkek arı üreme organı olgunlaşmasının baskılandığını; Vasquez-Valencia ve ark. (2024) ise ticari protein diyetlerinin erkek arı ağırlığı ve boyutunu anlamlı şekilde artırdığını göstermiştir. Çalışmamızda diyet 1-2-3 gruplarında yüksek, sınırlı polen grubunda ise en düşük bulunan AG değerleri, bu literatürle uyumlu biçimde; protein/polen yönünden zengin diyetlerin abdomen hacmini artırarak potansiyel üreme organı kapasitesini desteklediğini, polen kısıtının ise abdomen gelişimini sınırlayarak erkek arıların üreme potansiyelini dolaylı olarak azaltılabileceğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, AU'dan ziyade AG'nin, erkek arı kalitesinin beslenme temelli değerlendirilmesinde daha duyarlı ve ayırt edici bir morfolojik gösterge olduğu söylenebilir.

Boy uzunluğu (BYU)

Vücut uzunluğu, erkek arıların kalitesini, kondisyonunu ve üreme başarısını değerlendirmek için kullanılan en önemli morfolojik özelliklerden biridir. Hem larva gelişimi sırasındaki beslenme durumunu hem de yetişkin erkeğin başarılı çiftleşme uçuşlarına katılma biyolojik kapasitesini yansıtır. Araştırmada; diyet 1, diyet 2 diyet 3, kontrol ve sınırlı polen gruplarında ortalama boy uzunlukları sırasıyla $19,35 \pm 0,18$, $19,28 \pm 0,17$, $19,26 \pm 0,18$, $18,70 \pm 0,18$, $18,13 \pm 0,18$ mm olarak belirlenmiştir. Ek beslemenin boy uzunluğu üzerindeki etkisi anlamlı bulunmuştur.

Erkek arılarda boy uzunluğu (BYU), baş, thoraks ve abdomen segmentlerinin birleşik boyutunu yansıtan ve erkek arı kalitesini, kondisyonunu ve üreme başarısını değerlendirmede en sık kullanılan toplam vücut büyüklüğü göstergelerinden biridir. Daha uzun vücutlu erkek

arılar, genellikle daha iri thoraks ve abdomen hacmine, dolayısıyla daha büyük uçuş kaslarına ve daha geniş üreme organlarına sahip olma eğilimindedir. Bu durum, hem erkek arı toplanma alanlarında rekabet ve ana arıyı takip performansını, hem de ana arıya aktarılabilecek toplam sperm miktarını doğrudan etkileyebilmektedir (Winston, 1987; Hrassnigg ve Crailsheim, 2005; Baer, 2005; Genç ve Kahya, 2020).

Tablo 17. Grupların Boy Uzunluğuna İlişkin Verilere Uygulanan Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F	P
Gruplar arası	4	4,141	8,077**	0,000
Grup içi	70	,513		
Toplam	74			

** : $p < 0,01$, Çok önemli.

Çalışmada diyet 1, diyet 2, diyet 3, kontrol ve sınırlı polen gruplarında ortalama boy uzunlukları sırasıyla $19,35 \pm 0,18$, $19,28 \pm 0,17$, $19,26 \pm 0,18$, $18,70 \pm 0,18$ ve $18,13 \pm 0,18$ mm olarak belirlenmiştir. Tek yönlü varyans analizinde $F=8,077$; $P < 0,001$ bulunmuş ve gruplar arasındaki farklar “çok önemli” düzeyde saptanmıştır. Harf gruplarında üç diyet grubunun aynı harf grubunda (a) yer alması, bu gruplarda yetişen erkek arıların boy uzunluğu bakımından benzer ve yüksek değerlere sahip olduğunu; kontrol grubunun (b) ve sınırlı polen grubunun (c) harf grubunda bulunması ise polen ve besin kısıtlamasının boy uzunluğunu anlamlı biçimde azalttığını göstermektedir. Bu sonuçlar, kaliteli ve protein açısından zengin diyetlerin toplam vücut uzunluğu üzerinde güçlü ve pozitif bir etki yarattığını ortaya koymaktadır.

Vücut büyüklüğü ile üreme kapasitesi arasındaki pozitif ilişki, Schlüns ve ark. (2003) ile Genç ve Fıratlı (2005) tarafından açıkça ortaya konmuş; iri erkek arıların daha yüksek sperm sayısı ve semen hacmine sahip olduğu bildirilmiştir. Baer (2005), iri erkek arıların sperm rekabetinde avantaj sağladığını vurgulamıştır. Beslenme açısından Brodschneider ve Crailsheim (2010), De Jong ve ark. (2009) ve Czekońska ve ark. (2015) protein/polen kısıtının gelişim ve üreme fonksiyonlarını olumsuz etkilediğini; yeterli polen veya ikamelerinin vücut kondisyonunu ve morfolojiyi iyileştirdiğini göstermiştir. Yakın tarihte yürüyülmüş olan bir çalışmada, Castellanos-Zacarias ve ark. (2024) düşük protein dönemlerinde erkek arı vücut kondisyonunun ve üreme organı gelişiminin zayıfladığını; Vasquez-Valencia ve ark. (2024) ise protein takviyesinin erkek arı ağırlığı ve boyutunu anlamlı düzeyde artırdığını rapor etmiştir. Bu bulgular, çalışmamızda ek besleme gruplarında belirgin şekilde daha uzun, sınırlı polen grubunda ise en kısa boy uzunluklarının saptanmasıyla uyumludur. Sonuç olarak, BYU; larval dönemdeki beslenme koşullarını, vücut kondisyonunu ve potansiyel üreme kapasitesini birlikte

yansıtan, erkek arı yetiştirme ve seleksiyon programlarında diğerk morfolojik ve fizyolojik parametrelerle birlikte mutlaka dikkate alınması gereken temel bir morfolojik göstergedir.



SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı protein içerikli diyetlerle uygulanan ek beslemenin erkek arıların fizyolojik ve morfolojik özellikleri üzerindeki etkileri kapsamlı bir biçimde ortaya konmuştur. Elde edilen bulguların ışığında larval dönemde sağlanan protein içeriği yüksek diyetlerin erkek arıların gelişimi, vücut ağırlığı ve potansiyel üreme kapasitesi üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğunu açıkça göstermektedir.

Fizyolojik parametreler incelendiğinde; larva ağırlığı, larva protein oranı, ergin canlı ağırlık ve semen miktarının ek besleme uygulanan gruplarda kontrol ve sınırlı polen gruplarına kıyasla anlamlı derecede yüksek olduğu belirlenmiştir. Özellikle larva ağırlığı ve larva protein oranındaki artış, larval dönemde yeterli protein alımının erkek arı gelişimini güçlü biçimde desteklediğini ortaya koymaktadır. Bu durum, larval dönemde kazanılan fizyolojik avantajların ergin döneme taşındığını ve canlı ağırlık ile semen miktarındaki artışlara doğrudan yansıdığını göstermektedir. Sınırlı polen grubunda gözlenen düşük değerler ise polen eksikliğinin erkek arı kalitesi üzerinde belirgin bir stres faktörü oluşturduğunu düşündürmektedir.

Morfolojik özellikler bakımından yapılan incelemede; baş uzunluğu ve genişliği, sağ ön kanat uzunluğu ve genişliği, thoraks uzunluğu ve genişliği, abdomen genişliği ve toplam boy uzunluğu bakımından besleme grupları ile kontrol ve sınırlı polen grupları arasında istatistiksel olarak önemli farklar saptanmıştır. Bu sonuçlar, erkek arıların vücut büyüklüğü ve uçuşa ilişkin morfolojik yapıların beslenme koşullarına oldukça duyarlı olduğunu göstermektedir. Özellikle thoraks ve kanat ölçülerindeki artış, uçuş kaslarının daha iyi geliştiğine ve dolayısıyla çiftleşme uçuş performansının artabileceğine işaret etmektedir.

Endophallus uzunluğu ve arka bacak uzunluğu gibi bazı morfolojik özelliklerde ise besleme grupları lehine sayısal artışlar görülmekle birlikte bu farkların istatistiksel açıdan anlamlı olmaması, söz konusu özelliklerin beslenmeye karşı daha düşük duyarlılığa sahip olabileceğini düşündürmektedir. Buna karşın, abdomen genişliğinin beslenmeye duyarlı bir karakter olarak öne çıkması, erkek arı üreme organlarının yer aldığı vücut segmenti hacminin protein alımıyla yakından ilişkili olduğunu göstermektedir.

Toplam boy uzunluğu bakımından elde edilen bulgular, erkek arı kalitesinin bütüncül bir göstergesi olarak vücut büyüklüğünün önemini teyit etmektedir. Ek besleme uygulanan gruplarda daha uzun boy uzunluklarının elde edilmesi, bu erkek arıların hem uçuş rekabetinde hem de potansiyel sperm aktarımı açısından avantajlı olabileceğini göstermektedir. Genel

olarak sonuçlar, kaliteli erkek arı yetiştiriciliğinin temelinde yeterli ve dengeli protein temelli beslemenin yer aldığını açık biçimde ortaya koymaktadır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar doğrultusunda, hem pratik arıcılık uygulamaları hem de bilimsel araştırmalar için aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

1. Erkek arı yetiştiriciliğinde amaca uygun besleme programları uygulanmalıdır. Ana arı üretimi ve ıslah programlarında kullanılacak erkek arıların yetiştirildiği kolonilerde, özellikle larval gelişim döneminde protein ve polen yönünden zengin ek besleme programları uygulanmalıdır. Bu yaklaşım, yüksek kaliteli ve üreme potansiyeli güçlü erkek arıların elde edilmesini sağlayacaktır.
2. Polen eksikliği görülen dönemlerde protein kaynaklı ek besleme ihmal edilmemelidir. Erken ilkbahar, geç sonbahar veya tarımsal monokültür alanlarında görülen doğal polen eksikliği koşullarında, sınırlı polen durumunun erkek arı kalitesini ciddi biçimde düşürdüğü göz önünde bulundurulmalıdır. Bu dönemlerde uygun protein ikameleriyle destekleyici besleme yapılması önerilir.
3. Islah ve yapay tohumlama çalışmalarında erkek arı kalitesi dikkate alınmalıdır. Ana arı performansını etkileyen en önemli unsurlardan biri erkek arı kalitesidir. Bu nedenle semen miktarı, canlı ağırlık ve morfolojik ölçüler gibi parametreler, ıslah programlarında seçim kriterleri arasına dâhil edilmelidir.
4. Erkek arıların gelişimi ve üreme kalitesinin, yalnızca genetik ve çevresel faktörlere değil; aynı zamanda koloni beslenme düzeyine de bağlı olduğunu göstermektedir. Uygun diyetlerle yapılan ek besleme, erkek arıların fizyolojik ve üreme performansını artırarak, ana arıların başarılı çiftleşme oranlarını yükseltebilir. Bu nedenle damızlık üretiminde ve yapay tohumlama programlarında, koloni besleme stratejilerinin bilimsel verilere dayalı olarak planlanması önerilmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma erkek arıların fizyolojik ve morfolojik kalitesinin büyük ölçüde larval dönemdeki beslenme koşullarına bağlı olduğunu ortaya koymakta; protein bakımından zengin ek beslemenin, erkek arı yetiştiriciliğinde vazgeçilmez bir uygulama olduğunu bilimsel verilerle desteklemektedir. Elde edilen bulguların, hem arı ıslahı hem de sürdürülebilir arıcılık uygulamalarına önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Abdelkader FB, Kairo G, Tchamitchian S, Cousin M, *et al.* (2014). Semen quality of honey bee drones maintained from emergence to sexual maturity under laboratory, semi-field and field conditions. *Apidologie*. 45: 215-223.
- Abou-Shaara, H.F., Owayss, A.A., Ibrahim, Y.Y., Basuny, N.K. (2017) A review of impacts of temperature and relative humidity on various activities of honey bees. *Insect. Soc.* 64, 445–463.
- Amro, A., Omar, M., & Al-Ghamdi, A. (2016). Influence of different proteinaceous diets on consumption, brood rearing, and honey bee quality parameters under isolation conditions. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 40(4), 468-475.
- Baer, B. (2005). Sexual selection in *Apis* bees. *Apidologie*, 36(2), 187-200.
- Begum, H. A., Idrees, A., Afzal, A., Iqbal, J., Qadir, Z. A., Shahzad, M. F., ... & Li, J. (2023). Impact of different pollen protein diets on the physiology of *Apis mellifera* L.(Hymenoptera: Apidae) workers from essential plant sources. *Journal of King Saud University-Science*, 35(2), 102511.
- Bieńkowska, M., Panasiuk, B., Węgryznowicz, P., Gerula, D. (2011) The effect of different thermal conditions on drone semen quality and number of spermatozoa entering the spermatheca of queen bee. *J. Apic. Sci.* 55,161–168.
- Brandstaetter, A.S., Bastin, F., Sandoz, J-C. (2014) Honeybee drones are attracted by groups of conspecifics in a walking simulator. *J. Exp. Biol.* 217, 1278–1285.
- Brodschneider R and Crailsheim K (2010). Nutrition and health in honey bees. *Apidologie*. 41: 278-294. <https://doi.org/10.1051/apido/2010012>.
- Bryła, M., Trzcińska, M., Samiec, M., & Kralka-Tabak, M. (2025). The Importance of In Situ and Ex Situ Protection of Honey Bee (*Apis mellifera*) in Poland with Emphasis on Drone Semen Cryopreservation—A Review. *Annals of Animal Science*, 25(4), 1439-1447.
- Castellanos-Zacarias, C., Domínguez-Rebolledo, Á., Loeza-Concha, H., Vivas-Rodríguez, J., Ramón-Ugalde, J., Baeza-Rodríguez, J., & Zamora-Bustillos, R. (2024). Effect of Flowering Period on Drone Reproductive Parameters (*Apis mellifera* L.). *Insects*, 15(9), 676. <https://doi.org/10.3390/insects15090676>
- Cobey, S. W., Tarpy, D. R., & Woyke, J. (2013). Standard methods for instrumental insemination of *Apis mellifera* queens. *Journal of Apicultural Research*, 52(4), 1-18.
- Cobey, S.W. (2007) Comparison studies of instrumentally inseminated and naturally mated honey bee queens and factors affecting their performance. *Apidologie* 38, 390–410.
- Czekońska, K., Chuda-Mickiewicz, B., Chorbiński, P. (2013b) The effect of brood incubation temperature on the reproductive value of honey bee (*Apis mellifera*) drones. *J. Apic. Res.* 52, 96–105.
- Czekońska, K., Chuda-Mickiewicz, B., Chorbiski, P. (2013a) The influence of age of honey bee (*Apis mellifera*) drones on volume of semen and viability of spermatozoa. *J. Apic. Sci.* 57, 61–66.
- Czekońska, K., Chuda-Mickiewicz, B., Samborski, J. (2015) Quality of honeybee drones reared in colonies with limited and unlimited access to pollen. *Apidologie* 46, 1–9.

- De Jong, D., da Silva, E. J., Kevan, P. G., & Atkinson, J. L. (2009). Pollen substitutes increase honey bee haemolymph protein levels as much as or more than does pollen. *Journal of Apicultural Research*, 48(1), 34-37.
- Fathy, H. M., Mazeed, A. M., Nafae, E. A., & Abd El Dayem, M. R. (2018). Artificial Feeding and Wing Symmetry in Drone Honeybees. *Journal of Plant Protection and Pathology*, 9(10), 671-675.
- Field, S. A., & Yuval, B. (1999). Nutritional status affects copula duration in the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Insecta Tephritidae). *Ethology Ecology & Evolution*, 11(1), 61-70.
- Fisher II, A., Harrison, K., Love, C., Varner, D., Rangel, J. (2018) Spatio-temporal variation in viability of spermatozoa of honey bee, *Apis mellifera* , drones in central Texas apiaries. Southwest. Entomol. 43, 343–356.
- Free JB, Williams IH. Factors determining the rearing and rejection of drones by the honeybee colony. *Animal Behaviour*. 1975 Aug 1;23:650-75.
- Fukuda H, Ohtani T. Survival and life span of drone honeybees. *Researches on population ecology*. 1977 Sep;19(1):51-68.
- Galindo-Cardona A., Monmany, A.C., Moreno-Jackson, R., Rivera-Rivera, C., Huertas-Dones, C., Caicedo- Quiroga, L., Giray, T. (2012) Landscape analysis of drone congregation areas of the honey bee, *Apis mellifera* . *J. Insect Sci.* 12, 1–15.
- Galindo-Cardona, A., Monmany, A.C., Diaz, G., Giray, T. (2015) A landscape analysis to understand orientation of honey bee (*Hymenoptera: Apidae*) drones in Puerto Rico. *Environ. Entomol.* 44 , 1139–1148.
- Genç, F., Dodoloğlu, A., 2011. Arıcılığın Temel Esasları. Atatürk Üniversitesi Yayınları No: 931, Ziraat Fakültesi Yayınları No: 341, Ders Kitapları Serisi: 88, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi, Erzurum,-2011, 386s.
- Gençer HV and Kahya Y (2020). Sperm competition in honey bees (*Apis mellifera* L.): The role of body size dimorphism in drones. *Apidologie*. 51: 1-17.
- Gençer, H.V., Firatlı, Ç. (2005) Reproductive and morphological comparisons of drones reared in queenright and laying worker colonies. *J. Apic. Res.* 44, 163–167.
- Giovenazzo, P., Nedić, N., Kryger, P., Meixner, M., & Wilde, J. (2025). Drone Biology and Rearing. In *Sustainable Honey Bee Breeding: A Scientific Guide for Future Beekeeping* (pp. 117-125). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Goins, A., & Schneider, S. S. (2013). Drone “quality” and caste interactions in the honey bee, *Apis mellifera* L. *Insectes sociaux*, 60, 453-461.
- Gül, A., Şahinler, N., Onal, A. G., Hopkins, B. K., & Sheppard, W. S. (2017). Effects of diluents and plasma on honey bee (*Apis mellifera* L.) drone frozen-thawed semen fertility. *Theriogenology*, 101, 109-113.
- Güler, Ü., Pehlivan, S. 2006. “Pollen morphology of some species belonging to *Codonoprasum* and *Allium* sections of *Allium* (*Liliaceae-Alliaceae*) genus *Biologia*”, *Biologia*, Bratislava, 61/4: 449-455,.
- Güneşdoğdu, M., Şekeroğlu, A., & Abacı, S. H. 2025. Effects of Homemade Diets on *Apis mellifera caucasica*: Body Weight and Colony Productivity. *Bee Studies* 17(1), 9-17.
- Halvacı, E., Kozak, T., Mert, G. Ü. L., Hatice, K. A. R. S., & Fatih, Ş. E. N. (2023). Bee anatomy: a comprehensive overview of bee morphology and physiology. *Journal of Scientific Reports-B*, (008), 1-19.

- Herrmann, M., Trenzcek, T., Fahrenhorst, H. and Engels, W., 2005. Characters that differ between diploid and haploid honey bee (*Apis mellifera*) drones. *Genet. Mol. Res.*, 4(4), pp.624-641.
- Hrassnigg, N., Crailsheim, K. (2005) Differences in drone and worker physiology in honeybees (*Apis mellifera*). *Apidologie* 36, 255–277.
- Jaycox, E.R. (1961) The effects of various foods and temperatures on sexual maturity of the drone honey bee (*Apis mellifera*). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 54 , 519–523.
- Khan, K. A., & Ghramh, H. A. (2024). Honey Bee Social Structure. In *Honey Bees, Beekeeping and Bee Products* (pp. 10-22). CRC Press.
- Koeniger, G. (1990) The role of the mating sign in honey bees, *Apis mellifera* L.: does it hinder or promote multiple mating? *Anim. Behav.* 39, 444–449.
- Koeniger, N., & Koeniger, G. (2007). Mating flight duration of *Apis mellifera* queens: As short as possible, as long as necessary. *Apidologie*, 38(6), 606-611.
- Koeniger, N., Koeniger, G., Gries, M., Tingek, S. (2005a) Drone competition at drone congregation areas in four *Apis* species. *Apidologie* 36, 211–221.
- Koeniger, N., Koeniger, G., Pechhacker, H. (2005b) The nearer the better? Drones (*Apis mellifera*) prefer nearer drone congregation areas. *Insect. Soc.* 52, 31–35.
- Kumar S, Pandey AK, AbdulRazzaque WA and Dwivedi DK (2011). Importance of micro minerals in reproductive performance of livestock. *Vet. World.* 4: 230-233.
- Kutlu, H.R. (2008). Yemlerin kimyasal analizi. Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Ders Notları. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi.
- Laidlaw, H.H., Page, R.E. 1997. “Queen Rearing and Bee Breeding”, University of California, Davis
- Liu, Y. B., Yi, Y., Abdelmawla, A., Zheng, Y. L., Zeng, Z. J., & He, X. J. (2021). Female developmental environment delays development of male honeybee (*Apis mellifera*). *BMC Genomics*, 22, 699. <https://doi.org/10.1186/s12864-021-08014-1>
- Locke, S.J., Peng, Y.S. (1993) The effects of drone age, semen storage and contamination on semen quality in the honeybee (*Apis mellifera*). *Physiol. Entomol.* 18, 144–148.
- M Khodairy, M., A Abdalla, M., & M Moustafa, A. (2008). Effects of supplemental feeding for different periods on the productivity of honey bee drones. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 39(3), 105-123.
- Mackensen, O., & Roberts, W. C. (1948). A manual for the artificial insemination of queen bees. US Department of Agriculture, Agricultural Research Administration, Bureau of Entomology and Plant Quarantine.
- Mahbobi, A., Farshineh-Adl, M., Woyke, J., & Abbasi, S. (2012). Effects of the age of grafted larvae and the effects of supplemental feeding on some morphological characteristics of Iranian queen honey bees (*Apis mellifera meda* Skorikov, 1929). *Journal of Apicultural Science*, 56(1), 93.
- Mashal, F. T., Omar, R. E., Khattab, M. M., & Nowar, E. E. (2023). Determination of some Effects of Different Feeding Treatments on Honeybee Drones (*Apis Mellifera* l.). *Annals of Agricultural Science Moshtohor*, 61(2).
- Mazeed, A. M., & Mohanny, K. M. (2010). Some reproductive characteristics of honeybee drones in relation to their ages. *Entomological Research*, 40(5), 245-250.
- Metz, B. N., & Tarpy, D. R. (2022). Variation in the reproductive quality of honey bee males

- affects their age of flight attempt. *PeerJ*, 10, e13859.
- Metz, B.N., Tarpy, D.R. (2019) Reproductive senescence in drones of the honey bee (*Apis mellifera*). *Insects* 10, 11.
- Metz, B.N., Tarpy, D.R. (2021) Reproductive and Morphological Quality of Commercial Honey Bee (Hymenoptera: Apidae) Drones in the United States, *Journal of Insect Science*, Volume 21, Issue 6, November 2021, 2, <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieab048>
- Møller, A. P., & Thornhill, R. (1998). Bilateral symmetry and sexual selection: a meta-analysis. *The American Naturalist*, 151(2), 174-192.
- Morse, R.A., Strang, G.E., Nowakowski, J. 1967. Fall death rates of drone honeybees. *J Econ Entomol* 60 pp. 1198-1202.
- Nguyen, V.N. (1995) Effects of protein nutrition and pollen supplementation of honeybee (*Apis mellifera* L.) colonies on characteristics of drones with particular reference to sexual maturity. MSc (Honours) thesis, University of Western Sydney, Hawkesbury, NSW, Australia
- Oskay, D., & Oğuz, A. (2022). The Effect of Substitute Feeding On Drone Larvae Production Performance in Honey Bee Colonies. *Hayvansal Üretim*, 63(2), 84-89.
- Palmer, K.A., Oldroyd, B.P. (2000). Evolution of multiple mating in the genus *Apis*. *Apidologie* 31, 235–248. partly everted stage and significance of this. *Apidologie* 39, 627–636.
- Porrino, A. P., Masciocchi, M., & Martínez, A. S. (2025). Environmental influence and species occurrence of yellowjacket drones in an invaded area. *Scientific Reports*, 15(1), 2073.
- Rangel, J., Keller, J. J., & Tarpy, D. R. (2013). The effects of honey bee (*Apis mellifera* L.) queen reproductive potential on colony growth. *Insectes sociaux*, 60(1), 65-73.
- Reyes, M., Crauser, D., Prado, A., & Le Conte, Y. (2019). Flight activity of honey bee (*Apis mellifera*) drones. *Apidologie*, 50, 669-680.
- Rhodes, J. (2002). Drone honey bees: rearing and maintenance. *Agnote DAI*, 112, 1-2.
- Rhodes, J. (2002). Drone honey bees: rearing and maintenance. *Agnote DAI*, 112, 1-2.
- Rhodes, J.W., Harden, S., Spooner-Hart, R., Andersen, D.L., Wheen, G. (2011) Effects of age, season and genetics on semen and sperm production in *Apis mellifera* drones. *Apidologie* 42, 29–38.
- Richards, M. H., Evans, J. D., & Posada-Florez, F. J. (2023). Suzanne Wellington Tubby Batra: a life dedicated to pollen bees. *Journal of the Indian Institute of Science*, 1-8.
- Rousseau A, Fournier V and Giovenazzo P (2015). *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) drone sperm quality in relation to age, genetic line, and time of breeding. *Can. Entomol.* 147: 702-711.
- Rousseau, A., Giovenazzo, P. (2016) Optimizing drone fertility with spring nutritional supplements to honey bee (Hymenoptera: Apidae) colonies. *J. Econ. Entomol.* 109, 1009–1014.
- Ruttner, F. (1966). The life and flight activity of drones. *Bee World*, 47(3), 93-100.
- Santomauro, G., Oldham, N.J., Boland, W. and Engels, W., 2004. Cannibalism of diploid drone larvae in the honey bee (*Apis mellifera*) is released by an odd pattern of cuticular substances. *Journal of apicultural research*, 43(2), pp.69-74.
- Schlüns, H., Schlüns, E. A., Van Praagh, J., & Moritz, R. F. (2003). Sperm numbers in drone honeybees (*Apis mellifera*) depend on body size. *Apidologie*, 34(6), 577-584.
- Schmid-Hempel, P. (2003). Variation in immune defence as a question of evolutionary

- ecology. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 270(1513), 357-366.
- Stürup, M., Baer-Inhoof, B., Nash, D.R., Boomsma, J.J., Baer, B. (2013) When every sperm counts: factors affecting male fertility in the honey bee *Apis mellifera*. *Behav. Ecol.* 24, 1192–1198.
- Szentgyörgyi, H., Czekońska, K., Tofilski, A. (2017) The effects of starvation of honey bee larvae on reproductive quality and wing asymmetry of honey bee drones. *J. Apic. Sci.* 61, 233–243.
- Taber 3RD, S., 1964. Factors influencing the circadian flight rhythm of drone honey bees. *Annals of the Entomological Society of America*, 57(6), pp.769-775.
- Taha E.L.K.A., Alqarni A.S. (2013) Morphometric and reproductive organs characters of *Apis mellifera jemenitica* drones in comparison to *Apis mellifera carnica*. *Int. J. Sci. Eng. Res.* 4, 411–415.
- Vasquez-Valencia, I., Rosiles-Martínez, R., Juárez-Mosqueda, M. L., Correa-Benítez, A., Petukhova, T., & Guzman-Novoa, E. (2024). Protein supplementation of Africanized honey bee colonies improves drone and semen quality.
- Winston, M.L. (1987). *The Biology of the Honey Bee*. Harvard University Press, Cambridge.
- Witherell, P. C. (1965). Survival of drones following eversion. (1). *Les Annales de l'Abeille*, 8(4), 317-320.
- Witherell, P. C. 1972. Flight activity and natural monality of normal and mutant drone honeybees. *J Apic Res* 11pp. 65-75.
- Woyke J., Ruttner, F. (1958) An anatomical study of the mating process in honey bee. *Bee World* 39, 3–18.
- Woyke, J. (2008). Why the eversion of the endophallus of honey bee drone stops at the
- Woyke, J. 1965. Study on the comparative viability of diploid and haploid larval drone honeybees. *Journal of Apicultural Research*, 4 pp. 12-16.
- Woyke, J., & Jasinski, Z. (1978). Influence of age of drones on the results of instrumental insemination of honeybee queens. *Apidologie*, 9(3), 203-212.
- Zaitoun S., Al-Majeed Al-Ghzawi A., Kridli R. (2009) Monthly changes in various drone characteristics of *Apis mellifera ligustica* and *Apis mellifera syriaca*. *Entomol. Sci.* 12, 208–214.
- Zhao H., Mashilingi S.K., Liu Y. and An J. (2021). Factors influencing the reproductive ability of male bees: current knowledge and further directions. *Insects*. 12: 529.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Uğur TÜRKELİ
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	Mehmet Rauf Yabancı Dil Ağırlık Lisesi
Lisans:	Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Yüksek lisans:	
Doktora:	
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	
Almanca:	
Rusça:	
Diğer	
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
TMMOB Ziraat Mühendisler Odası	
Tezden Üretilmiş Yayınlar	
1. Effect of Supplementary Feeding on Sperm Yield and Some Morphological Characteristics in Drones, III. Uluslararası Arıcılık Araştırmaları ve Sürdürülebilir Kırsal Kalkınma Stratejileri Kongresi	