

پرورش نیمه‌صنعتی زنبور مخملی (*Bombus terrestris*):

مدیریت کلنی، تولید ملکه و تجاری‌سازی مسئولانه

نویسندگان:

فاطمه قلی‌پور فرامرزی^۱؛ سیدعلی مدرس‌حسنی^۲؛ ساجده سرلک^۱ و احمد عاشوری^{۱*}

^۱گروه گیاهپزشکی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۲عضو شورای اجرایی آزمایشگاه آمسال، دانشگاه ایالتی پنسیلوانیا، پارک دانشگاهی، پنسیلوانیا ۱۶۸۰۲، ایالات متحده آمریکا

چکیده

زنبور مخملی *Bombus terrestris* به دلیل قابلیت پرورش در شرایط کنترل‌شده، تشکیل کلنی‌های قابل‌مدیریت، کارایی بالا در گرده‌افشانی و کاربرد گسترده در مطالعات رفتاری، فیزیولوژیک و سم‌شناسی، یکی از مهم‌ترین گونه‌ها برای پژوهش‌های حشره‌شناسی و تولید نیمه‌صنعتی کلنی‌های گرده‌افشان به‌شمار می‌رود. با این حال، پرورش موفق این گونه فرایندی ساده یا صرفاً تجربی نیست، بلکه به مدیریت مرحله‌مند و قابل‌تکرار مجموعه‌ای از عوامل زیستی و فنی وابسته است؛ از انتخاب منبع جمعیت و جمع‌آوری ملکه‌های زمستان‌گذران تا استقرار، تنظیم شرایط محیطی، تغذیه، تحریک تخم‌گذاری، رشد کلنی، تولید ملکه، جفت‌گیری، مدیریت دیابوز و خروج از آن.

این مقاله با رویکردی مروری-کاربردی، مهم‌ترین اصول پرورش نیمه‌صنعتی *B. terrestris* را با تمرکز بر نیازهای پژوهشگران، حشره‌شناسان و واحدهای تولیدی کوچک تا متوسط بررسی می‌کند. در این چارچوب، ویژگی‌های زیستی مؤثر در پرورش، مدیریت شرایط محیطی و تغذیه، ثبت داده‌های کلنی، کنترل بیماری‌ها، حفظ تنوع ژنتیکی و الزامات قرنطینه‌ای بررسی می‌شود. توجه ویژه به تولید ملکه‌های سالم، جفت‌گیری موفق و مدیریت دیابوز از آن رو اهمیت دارد که تداوم چرخه پرورش و کاهش وابستگی به جمع‌آوری مداوم ملکه‌های وحشی به این مراحل وابسته است. همچنین، وضعیت توسعه این فناوری در ایران، چالش‌های تولید داخلی و ضرورت تجاری‌سازی مسئولانه مورد بحث قرار می‌گیرد. جمع‌بندی مقاله آن است که تولید پایدار کلنی‌های *B. terrestris* تنها با مدیریت پیوسته مراحل پرورش، کنترل کیفیت، ثبت داده‌ها و رعایت ملاحظات بهداشتی و زیست‌محیطی امکان‌پذیر است.

کلیدواژه‌ها

Bombus terrestris، پرورش نیمه‌صنعتی، تولید ملکه، مدیریت کلنی، ایران

Semi-Industrial Rearing of the Bumblebee *Bombus terrestris*: Colony Management, Queen Production, and Responsible Commercialization

Fatemeh Gholipour F.¹, Seyed Ali Modarres Hasani², Sajedah Sarlak and Ahmad Ashouri^{1*}

¹Department of Plant Protection, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

²The Amsalem Lab Executive Council Member. The Pennsylvania State University, University Park, PA 16802, USA

*Corresponding author: ashouri@ut.ac.ir

Abstract

The bumblebee *Bombus terrestris* is considered one of the most important species for entomological research and the commercial production of pollinator colonies, due to its suitability for rearing under controlled conditions, ability to form manageable colonies, high pollination efficiency, and wide use in behavioral, physiological, and toxicological studies. However, successful rearing of this species is not a simple or merely empirical process; rather, it depends on the stepwise management of a set of biological and technical factors, from the selection of a population source and collection of overwintered queens to establishment, regulation of environmental conditions, feeding, stimulation of oviposition, colony growth, queen production, mating, diapause management, and post-diapause emergence.

Using an applied review approach, this article examines the main principles of semi-industrial rearing of *B. terrestris*, with a focus on the needs of researchers, entomologists, and small- to medium-scale production units. Within this framework, the biological traits affecting rearing, management of environmental conditions and nutrition, colony data recording, disease control, maintenance of genetic diversity, and quarantine requirements are reviewed. The development status of this technology in Iran, the challenges of domestic production, and the need for responsible commercialization are also discussed. The article concludes that sustainable production of *B. terrestris* colonies is possible only through continuous management of the rearing stages, quality control, data recording, and compliance with sanitary and environmental considerations.

Keywords: *Bombus terrestris*, colony management, queen production, semi-industrial rearing, Iran

مقاله پذیرفته شده در مجله انتشار

افزایش نیاز به گردهافشان‌های کارآمد در سامانه‌های کشاورزی کنترل‌شده، به‌ویژه گلخانه‌ها، توجه پژوهشگران و تولیدکنندگان را به زنبورهای مخملي جلب کرده‌است (Ollerton, 2006; Potts *et al.*, 2010; Vanbergen & Initiative, 2013). در میان گونه‌های جنس *Bombus*، گونه *B. terrestris* به دلیل سازگاری بالا با شرایط کنترل‌شده، توانایی حفظ فعالیت پروازی و گردهافشانی مؤثر در دامنه نسبتاً وسیعی از دما، از جمله دماهای پایین، قابلیت انجام گردهافشانی لرزشی؛ ظرفیت تشکیل کلنی‌های قابل‌مدیریت و عملکرد بالای گردهافشانی، به یکی از مهمترین گونه‌ها برای پژوهش‌های رفتارشناسی، فیزیولوژی، بوم‌شناسی و سم‌شناسی، همچنین پرورش آزمایشگاهی و تولید تجاری کلنی‌های گردهافشان تبدیل شده‌است (Heinrich, 2004; Mayer, 2004; Velthuis & van Doorn, 2006; Vallejo-Marín, 2022).

با وجود این اهمیت، پرورش *B. terrestris* فرایندی ساده یا صرفاً تجربی نیست. موفقیت در تولید کلنی سالم و قابل‌استفاده، به زنجیره‌ای از تصمیم‌های مدیریتی وابسته‌است؛ انتخاب ملکه مناسب، زمان و روش جمع‌آوری، کاهش تنش در انتقال، تغذیه آغازین، کنترل شرایط محیطی، تحریک تخم‌گذاری، مراقبت از گروه نخست کارگران، تولید ملکه‌های نسل جدید، جفت‌گیری، مدیریت دیاپوز و کنترل بیماری‌ها. ضعف در هر یک از این مراحل می‌تواند به توقف تخم‌گذاری، رشد ناقص کلنی، پایین بودن میزان تولید ملکه‌های جدید یا شکست در تداوم چرخه پرورش منجر شود.

اهمیت این موضوع زمانی بیش‌تر می‌شود که هدف پرورش، صرفاً نگهداری چند کلنی زنده نباشد، بلکه تولید کلنی‌های استاندارد برای پژوهش یا تولید نیمه‌صنعتی باشد. در پژوهش‌های رفتاری، فیزیولوژیک، سم‌شناسی، تغذیه‌ای یا اکولوژیک، کلنی مورد استفاده باید پیشینه مشخص داشته باشد؛ از جمله منشأ ملکه، شرایط نگهداری، تغذیه، مرحله رشد، وضعیت سلامت و سابقه دیاپوز. بدون این اطلاعات، تفسیر و مقایسه نتایج پژوهشی دشوار خواهد بود. بنابراین، در پرورش پژوهشی، کلنی فقط یک واحد زنده نیست؛ یک واحد زیستی ثبت‌شده و قابل ارزیابی است.

در تولید نیمه‌صنعتی نیز معیار موفقیت تنها افزایش تعداد کلنی‌ها نیست. کلنی‌های تولیدشده باید از نظر سلامت، قدرت جمعیت، توان گردهافشانی، وضعیت ملکه، تنوع ژنتیکی و خطر انتقال بیماری قابل ارزیابی باشند. تولید بدون کنترل ژنتیکی، بهداشت، قرنطینه و پایش دقیق می‌تواند به کاهش کیفیت کلنی‌ها، افزایش هم‌خونی و گسترش عوامل بیماری‌زا منجر شود. از این رو، تجاری‌سازی *B. terrestris* باید هم‌زمان با استانداردسازی فنی و رعایت ملاحظات زیست‌محیطی پیش برود.

در ایران نیز نیاز به گردهافشان‌های کارآمد در گلخانه‌ها و پژوهش‌های مرتبط با پرورش زنبورهای مخملي، توجه به *B. terrestris* را افزایش داده‌است. با این حال، توسعه تولید پایدار این گونه با چالش‌هایی مانند زیرساخت تخصصی،

دانش فنی، پایش سلامت و ارتباط مؤثر میان پژوهش و تولید روبه‌رو است. بنابراین، بررسی اصول پرورش آزمایشگاهی و نیمه‌صنعتی این گونه می‌تواند به تدوین مسیرهای عملی‌تر برای پژوهش و تولید داخلی کمک کند.

هدف این مقاله، ارائه مروری کاربردی درباره اصول پرورش کنترل‌شده و نیمه‌صنعتی *B. terrestris* است. برخلاف مرورهای عمومی درباره اهمیت گرده‌افشان‌ها، تمرکز این مقاله بر مراحل است که برای ساختن کلنی سالم، قابل‌تکرار و قابل‌استفاده در پژوهش یا تولید ضروری‌اند. بر این اساس، ویژگی‌های زیستی مؤثر در پرورش، انتخاب جمعیت، جمع‌آوری و استقرار ملکه، تغذیه، رشد کلنی، تولید ملکه، جفت‌گیری، دیاپوز، بهداشت، کاربرد پژوهشی، تجاری‌سازی و مخاطرات زیست‌محیطی بررسی می‌شود.

۲. ویژگی‌های زیستی و رفتاری مؤثر در پرورش

در پرورش آزمایشگاهی و نیمه‌صنعتی *B. terrestris*، شناخت زیست‌شناسی گونه، زمانی ارزش کاربردی دارد که به تصمیم‌های مدیریتی در انتخاب ملکه، استقرار، تغذیه، رشد کلنی، جفت‌گیری و مدیریت دیاپوز منجر شود. هدف این بخش معرفی عمومی زنبورهای مخملی نیست، بلکه مرور ویژگی‌هایی است که مستقیماً بر موفقیت تشکیل کلنی، تولید ملکه و تداوم چرخه پرورش اثر می‌گذارند.

۱،۲. ساختار اجتماعی کلنی و نقش آن در مدیریت پرورش

کلنی *B. terrestris* از سه کاست اصلی ملکه، کارگران و نرها تشکیل می‌شود (Bourke, 2011). ملکه بنیان‌گذار کلنی و منبع اصلی تخم‌گذاری است؛ بنابراین سلامت، وزن، وضعیت جفت‌گیری و توانایی او در آغاز تخم‌گذاری، نخستین شاخص‌های اثرگذار در پرورش موفق محسوب می‌شوند (Bogo et al., 2017). در مراحل آغازین، پیش از ظهور نخستین گروه کارگران، ملکه باید هم‌زمان چند نقش را ایفا کند؛ آغاز تخم‌گذاری، گرم‌کردن توده تخم یا لارو، مراقبت از نوزادان و تغذیه آن‌ها. به همین دلیل، این مرحله نسبت به استرس، تغذیه ناکافی، خشکی محیط، دستکاری زیاد و تغییرات دمایی بسیار حساس است (Baron et al., 2017).

با ظهور نخستین گروه کارگران، فشار رفتاری و فیزیولوژیک بر ملکه کاهش می‌یابد. کارگران جوان درون کلنی باقی می‌مانند و در تغذیه لاروها، تنظیم محیط داخلی و نگهداری از توده نوزادان نقش دارند؛ در حالی که کارگران مسن‌تر به‌تدریج وظایف خارج از کلنی، از جمله جمع‌آوری غذا را بر عهده می‌گیرند (Free, 1987). از نگاه پرورشی، خروج نخستین گروه کارگران نقطه عطفی بنیادین به‌شمار می‌رود، زیرا پس از آن، کلنی از مرحله وابستگی شدید به ملکه وارد مرحله رشد جمعیتی می‌شود.

در پایان چرخه رشد، کلنی وارد مرحله تولید افراد جنسی می‌شود. تولید نرها و ملکه‌های جوان نشان‌دهنده تغییر جهت کلنی از رشد کارگری به تولیدمثلی است (Zhao et al, 2024). تشخیص به‌موقع این مرحله برای پرورش‌دهنده اهمیت دارد، زیرا مدیریت تغذیه، جداسازی ملکه‌های تازه متولدشده، انتخاب نرها و آماده‌سازی برای جفت‌گیری باید بر اساس همین تغییر زیستی تنظیم شود.

۲.۲. چرخه فصلی و ماهیت سالانه کلنی

برخلاف زنبور عسل که کلنی‌های چندساله و پایدار تشکیل می‌دهد، کلنی زنبور مخملی ماهیتی عمدتاً سالانه دارد (Duchateau & Velthuis, 1988; Goulson, 2010). توسعه کلنی این زنبورها طی سه مرحله متمایز صورت می‌گیرد؛ نخست، مرحله راه‌اندازی کلنی که به شکل انفرادی آغاز می‌شود؛ دوم، مرحله تشکیل کلنی، که هم‌زمان با تولید کارگران، رشد جمعیتی کلنی را در پی دارد؛ و سوم، مرحله تولیدمثلی که با تولید ملکه‌های جدید و زنبوران نر مشخص می‌گردد (Duchateau & Velthuis, 1988; Velthuis & Van Doorn, 2006). چرخه طبیعی با خروج ملکه‌های زمستان‌گذران از دیپوز در بهار آغاز می‌شود. ملکه پس از تغذیه و یافتن محل مناسب، تخم‌گذاری را شروع می‌کند و نخستین گروه کارگران را پرورش می‌دهد. با افزایش تعداد کارگران، کلنی گسترش می‌یابد و در اواخر چرخه، نرها و ملکه‌های جوان تولید می‌شوند. پس از جفت‌گیری، ملکه‌های جوان وارد دیپوز می‌شوند و کلنی مادری به‌تدریج از بین می‌رود (Keller & Genoud, 1997).

این چرخه برای پرورش کنترل‌شده اهمیت اساسی دارد، زیرا هر مرحله نیاز مدیریتی متفاوتی دارد. ملکه تازه خارج‌شده از دیپوز به شرایط مناسب برای آغاز تخم‌گذاری نیاز دارد؛ کلنی در حال رشد باید به‌تدریج از مرحله وابستگی به ملکه به مرحله رشد کارگری برسد و در مرحله تولید افراد جنسی، تمرکز مدیریت از رشد جمعیت به تولید ملکه‌های سالم، انتخاب نرها و آماده‌سازی برای جفت‌گیری تغییر می‌کند. بنابراین، مدیریت موفق *B. terrestris* به معنای بازسازی کنترل‌شده چرخه طبیعی آن در شرایط آزمایشگاهی است.

۳.۲. ترموژنز و حساسیت به شرایط محیطی

یکی از ویژگی‌های مهم زنبورهای مخملی، توانایی تولید گرما از طریق فعالیت عضلات قفسه سینه (ترموژنز) است. این ویژگی به آن‌ها امکان می‌دهد در دماهایی پایین‌تر از بسیاری از حشرات فعال بمانند و در شرایط سردتر نیز به جست‌وجوی غذا و گرده‌افشانی بپردازند (Heinrich, 1979; Maebe et al., 2021). با این حال، ترموژنز به معنای

بی‌نیازی کلنی از کنترل دما در محیط پرورش نیست. این توانایی یک سازوکار زیستی برای تحمل شرایط متغیر است، نه جایگزین مدیریت محیطی.

در آغاز تشکیل کلنی، ملکه تنها است و باید بخشی از انرژی خود را صرف تخم‌گذاری، مراقبت از نوزادان و تنظیم دمای توده تخم کند. اگر دمای محیط نامناسب یا ناپایدار باشد، انرژی بیشتری صرف تنظیم حرارتی می‌شود و آغاز تخم‌گذاری یا رشد نخستین لاروها تضعیف می‌گردد (Klein et al., 2017). از نظر پرورشی، پیام این ویژگی روشن است؛ دمای محیط باید پایدار باشد و نوسان‌های شدید، به‌ویژه در مرحله استقرار ملکه و رشد نسل اول کارگران، به حداقل برسد.

۴,۲. رفتار جست‌وجوی غذا و اهمیت گرده و شهد

رشد کلنی *B. terrestris* به دو منبع غذایی اصلی متکی است؛ کربوهیدرات‌ها که عمدتاً از شهد یا محلول‌های قندی تأمین می‌شوند، پروتئین‌ها و لیپیدها که منبع اصلی آن‌ها گرده است. کربوهیدرات‌ها انرژی فعالیت روزانه، پرواز، تنظیم حرارتی و فعالیت‌های عمومی کلنی را تأمین می‌کنند؛ در حالی که گرده برای رشد لاروها، تولید کارگران سالم و شکل‌گیری نسل‌های تولیدمثلی ضروری است. بر این اساس، کیفیت تغذیه یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده موفقیت کلنی به شمار می‌رود (Mark, 2014; Furse et al., 2023; Lau et al., 2023).

رفتار جست‌وجوی غذا در زنبورهای مخملی با حافظه فضایی و توانایی یادگیری همراه است (Chittka & Thomson, 2001). در طبیعت، این ویژگی به زنبور کمک می‌کند تا منابع غذایی مناسب را شناسایی و دوباره پیدا کند. در شرایط آزمایشگاهی، پیام مدیریتی آن این است که تغییرات ناگهانی در محل، نوع یا دسترسی به غذا می‌تواند رفتار تغذیه‌ای و آرامش کلنی را مختل کند.

از نظر پرورشی، کیفیت گرده اهمیت مستقیم دارد؛ زیرا گرده نامناسب یا کم‌ارزش می‌تواند سرعت رشد لاروها را با تأخیر مواجه می‌کند، اندازه کارگران را کاهش دهد و تولید ملکه‌های نسل بعد را تضعیف نماید. بنابراین، نقش تغذیه در *B. terrestris* فقط تأمین انرژی نیست، بلکه مستقیماً با رشد کلنی و ظرفیت تولیدمثلی آن پیوند دارد.

۵,۲. ویژگی‌های مؤثر بر قابلیت پرورش *B. terrestris*

مناسب‌بودن *B. terrestris* برای پرورش آزمایشگاهی و نیمه‌صنعتی حاصل ترکیب چند ویژگی است؛ توان تشکیل کلنی در شرایط کنترل‌شده، تولید جمعیت کارگری قابل‌مدیریت، پاسخ به تنظیمات محیطی، امکان تولید ملکه‌های نسل جدید،

قابلیت ورود و خروج مدیریت شده از دیاپوز و کاربرد بالا در گرده افشانی و پژوهش. همین ویژگی ها سبب شده اند این گونه در بسیاری از برنامه های پژوهشی و تولیدی مورد توجه قرار گیرد.

با این حال، قابلیت پرورش این گونه نباید به ساده سازی فرایند منجر شود. *B. terrestris* نسبت به استرس، کیفیت تغذیه، تغییرات دمایی، آلودگی، همخونی و مدیریت نادرست دیاپوز آسیب پذیر است. بنابراین، مزیت پرورشی این گونه فقط زمانی بالفعل می شود که زیست شناسی آن به تصمیم های عملی در انتخاب ملکه، استقرار، رشد کلنی، تولید افراد جنسی و مدیریت دیاپوز تبدیل شود.

۳. انتخاب گونه و منبع اولیه جمعیت

انتخاب گونه و منبع اولیه جمعیت، یکی از نخستین تصمیم های تعیین کننده در پرورش آزمایشگاهی و نیمه صنعتی زنبور های مخملی است. در این مقاله تمرکز بر *B. terrestris* است، زیرا این گونه در مقایسه با بسیاری از گونه های جنس *Bombus*، سابقه بیشتری در پرورش کنترل شده، پژوهش های آزمایشگاهی و تولید کلنی های تجاری دارد (Velthuis & Van Doorn, 2006). قابلیت تشکیل کلنی در شرایط مصنوعی، تولید جمعیت کارگری قابل مدیریت، پاسخ به تنظیمات محیطی و امکان مدیریت چرخه دیاپوز، *B. terrestris* را به گزینه ای مناسب برای پژوهش و تولید نیمه صنعتی تبدیل کرده است.

با این حال، انتخاب گونه به تنهایی کافی نیست و منشأ جمعیت مورد استفاده باید از ابتدا مشخص باشد. منبع اولیه می تواند شامل ملکه های جمع آوری شده از طبیعت، کلنی های وارداتی یا جمعیت های پرورشی موجود در مراکز تحقیقاتی و تولیدی باشد. استفاده از ملکه های جمع آوری شده از طبیعت می تواند به حفظ سازگاری محلی و تنوع ژنتیکی کمک کند، اما با خطر ورود انگل ها، کنه ها، پاتوژن ها و تفاوت های رفتاری پیش بینی نشده همراه است. در مقابل، کلنی های پرورشی یا وارداتی ممکن است از نظر دسترسی و یکنواختی اولیه ساده تر باشند، اما می توانند خطر کاهش تنوع ژنتیکی، همخونی، وابستگی به منابع خارجی و پیامدهای ناشی از جابجایی جمعیت ها را افزایش دهند.

در شرایط ایران، توجه به منشأ جمعیت اهمیت ویژه ای دارد (Monfared et al., 2007). اگر جمعیت های بومی یا سازگار شده *B. terrestris* برای پرورش استفاده شوند، باید از نظر شناسایی گونه، سلامت، تنوع ژنتیکی و قابلیت تولید مثلی ارزیابی شوند. در مقابل، استفاده از جمعیت های وارداتی یا پرورشی نیز باید با شناخت منشأ، وضعیت بهداشتی و هدف برنامه همراه باشد. بنابراین، تصمیم درباره منبع جمعیت نباید فقط بر اساس سهولت دسترسی یا هزینه انجام شود، بلکه باید با هدف پرورش، قابلیت ردیابی، سلامت و ملاحظات ژنتیکی هماهنگ باشد.

شناسایی صحیح گونه پیش از آغاز پرورش ضروری است. در بسیاری از مناطق، گونه های مختلف *Bombus* ممکن است از نظر رنگ، اندازه و الگوی ظاهری تا حدی مشابه باشند. خطا در شناسایی می تواند باعث ورود گونه نامناسب به برنامه پرورش، کاهش موفقیت تشکیل کلنی یا ایجاد مشکلات زیست محیطی شود. در برنامه های پژوهشی، شناسایی اولیه

باید بر پایه ویژگی‌های ریخت‌شناختی معتبر انجام گیرد و در صورت امکان، با روش‌های مولکولی یا تأیید متخصصان رده‌بندی تکمیل شود (Williams, 1998; Cameron *et al.*, 2007; Michener, 2007). این موضوع به‌ویژه در شرایطی اهمیت می‌یابد که ملکه‌ها از طبیعت جمع‌آوری شده باشند یا هدف، ایجاد جمعیت پایه برای تولید چندنسلی باشد.

از دیدگاه پرورشی، جمعیت پایه باید از نظر سلامت، تنوع ژنتیکی و قابلیت تولیدمثلی ارزیابی شود. استفاده مکرر از تعداد محدود ملکه یا نر در نسل‌های متوالی می‌تواند خطر هم‌خونی را افزایش دهد و به کاهش زنده‌مانی، افت توان تخم‌گذاری، ضعف رشد کلنی و کاهش کیفیت ملکه‌های نسل بعد منجر شود. بنابراین، در برنامه‌های نیمه‌صنعتی باید منشأ ملکه‌ها و نرها ثبت شود و از اتکای طولانی مدت به تعداد محدودی والد جلوگیری گردد.

در نهایت، انتخاب منبع اولیه جمعیت باید متناسب با هدف برنامه انجام گیرد. برای پژوهش‌های کوتاه‌مدت، سلامت، یکنواختی و ثبت دقیق پیشینه کلنی اهمیت اصلی دارد. برای تولید نیمه‌صنعتی، علاوه بر این موارد، حفظ تنوع ژنتیکی، قابلیت تولید ملکه‌های نسل جدید و سازگاری با شرایط پرورش اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. بنابراین، انتخاب گونه و جمعیت پایه تصمیمی مقدماتی اما تعیین‌کننده در موفقیت کل زنجیره پرورش است.

۴. جمع‌آوری، انتقال و استقرار ملکه‌های زمستان‌گذران

جمع‌آوری و استقرار ملکه‌های زمستان‌گذران، نقطه آغاز بسیاری از برنامه‌های پرورش آزمایشگاهی و نیمه‌صنعتی *B. terrestris* است. کیفیت تصمیم‌ها در این مرحله، مستقیماً بر احتمال تخم‌گذاری، تشکیل کلنی، سلامت نسل نخست کارگران و تداوم چرخه پرورش اثر می‌گذارد. ملکه‌ای که در زمان نامناسب جمع‌آوری شود، در هنگام انتقال دچار تنش شدید گردد، آلودگی ظاهری یا پنهان داشته باشد، یا در محیط نامناسب مستقر شود، حتی در صورت زنده‌ماندن نیز ممکن است تخم‌گذاری را آغاز نکند یا کلنی ضعیفی تشکیل دهد. بنابراین، این مرحله باید به‌عنوان نخستین گام در ایجاد یک جمعیت پرورشی سالم، قابل‌ردیابی و قابل‌استفاده در پژوهش یا تولید مدیریت شود.

۱,۴. زمان مناسب جمع‌آوری

در چرخه طبیعی *B. terrestris*، ملکه‌های جفت‌گیری‌کرده پس از گذراندن دوره دیابوز و در آغاز فصل فعالیت، از پناهگاه زمستانی خارج می‌شوند و پیش از آغاز قطعی لانه‌سازی، برای تغذیه و یافتن محل مناسب فعالیت می‌کنند (Velthuis & Van Doorn, 2006; Goulson, 2010). این بازه زمانی، مناسب‌ترین فرصت برای جمع‌آوری ملکه‌های پایه است، زیرا ملکه هنوز وابستگی مستقیم به لانه فعال و نوزادان ندارد و انتقال آن به شرایط کنترل‌شده، احتمال آسیب به یک کلنی در حال شکل‌گیری را کاهش می‌دهد.

جمع‌آوری بسیار زودهنگام، زمانی که ملکه هنوز از نظر فیزیولوژیکی برای فعالیت پسادیپوز آماده نشده‌است، می‌تواند به افزایش تلفات یا تأخیر در تخم‌گذاری منجر شود. در مقابل، جمع‌آوری دیرهنگام، زمانی که ملکه لانه‌سازی را آغاز کرده یا در حال تأمین غذا برای نوزادان است، هم از نظر حفاظتی مسئله‌ساز است و هم از نظر پرورشی ریسک بیشتری دارد. از این رو، گزینه مناسب معمولاً ملکه‌هایی هستند که پس از خروج از دیپوز در حال تغذیه از گل‌ها مشاهده می‌شوند، اما نشانه‌ای از حمل منظم‌گرفته یا بازگشت مکرر به محل لانه در آن‌ها دیده نمی‌شود.

در برنامه‌های پژوهشی، زمان جمع‌آوری ملکه باید با دقت ثبت شود؛ زیرا تاریخ خروج تقریبی از دیپوز، شرایط آب‌وهوایی، نوع زیستگاه و وضعیت تغذیه‌ای ملکه می‌تواند بر زمان شروع تخم‌گذاری و کیفیت کلنی بعدی اثر بگذارد.

۲,۴. معیارهای انتخاب ملکه مناسب

همه ملکه‌های مشاهده‌شده در طبیعت برای ورود به برنامه پرورش مناسب نیستند. ملکه مناسب باید از نظر ظاهری سالم، فعال، بدون آسیب آشکار در بال، پا، شاخک یا قطعات دهانی، و فاقد آلودگی شدید به کنه‌ها یا سایر عوامل قابل مشاهده باشد. اندازه بدن، وضعیت حرکتی، توان پرواز، پاسخ طبیعی به تحریک و رفتار تغذیه‌ای می‌تواند به عنوان شاخص‌های اولیه سلامت در نظر گرفته شود. این شاخص‌ها جایگزین بررسی‌های آزمایشگاهی نیستند، اما در مرحله میدانی به کاهش ورود نمونه‌های ضعیف یا پرخطر کمک می‌کنند.

یکی از نکات مهم در انتخاب ملکه، توجه به رفتار او در هنگام تغذیه است. ملکه‌ای که مقدار قابل‌توجهی گرده روی پاهای عقبی حمل می‌کند، ممکن است از قبل لانه‌سازی را آغاز کرده باشد و حذف آن از طبیعت می‌تواند به از بین رفتن یک کلنی در حال شکل‌گیری منجر شود (Goulson, 2003). همچنین، چنین ملکه‌ای ممکن است پس از انتقال، به دلیل قطع ارتباط با لانه اولیه و نوزادان، تخم‌گذاری مجدد را با تأخیر آغاز کند. بنابراین، در بسیاری از برنامه‌ها ترجیح داده می‌شود ملکه‌هایی جمع‌آوری شوند که در حال تغذیه از شهد یا جست‌وجوی منابع غذایی هستند، اما نشانه مشخصی از وابستگی به لانه فعال ندارند.

در برنامه‌های نیمه‌صنعتی، دقت در گزینش ملکه از اهمیت بالاتری برخوردار است. ورود ملکه‌های ضعیف، آلوده یا دارای منشأ نامشخص می‌تواند هزینه نگهداری را افزایش دهد و نرخ موفقیت تشکیل کلنی را کاهش دهد. حذف ملکه‌های مشکوک در مراحل ابتدایی، بهتر از نگهداری آن‌ها تا مرحله شکست تخم‌گذاری یا آلودگی کلنی است.

۳,۴. روش‌های جمع‌آوری و انتقال کوتاه‌مدت

جمع‌آوری ملکه باید با کمترین تنش فیزیکی و حرارتی انجام شود. استفاده از تور حشره‌گیری سبک، ظرف شیشه‌ای یا محفظه پلاستیکی دارای تهویه، از روش‌های رایج برای انتقال اولیه ملکه‌ها است (Goulson, 2003; 2010). نکته اصلی در همه این روش‌ها، جلوگیری از آسیب مکانیکی، گرمای بیش از حد، خفگی و فرار ملکه است. محفظه انتقال باید مجهز به روزنه‌های کافی جهت تأمین تهویه مناسب باشد، در عین حال طراحی آن نباید احتمال فرار یا آسیب در حین جابه‌جایی را افزایش دهد.

ملکه‌های تازه خارج‌شده از دیابوز، به دلیل مصرف بخش قابل‌توجهی از ذخایر چربی و انرژی طی زمستان‌گذرانی، در وضعیت فیزیولوژیک حساسی قرار دارند (Votavová et al., 2015). در این مرحله، علاوه بر تنش حرارتی، خطر کم‌آبی بدن و کاهش بیش‌تر ذخایر انرژی نیز وجود دارد. بنابراین، در صورت اجتناب‌ناپذیر بودن انتقال یا نگهداری کوتاه‌مدت، فراهم کردن دسترسی به یک منبع کربوهیدراتی مناسب، مانند محلول قندی، می‌تواند به حفظ تعادل انرژی و افزایش احتمال استقرار موفق ملکه کمک کند. همچنین، در صورت نیاز به نگهداری موقت، کاهش دما در محدوده ایمن و قرار دادن محفظه در شرایط تاریک می‌تواند سطح فعالیت ملکه را کاهش داده و فرایند انتقال را با تنش کمتری همراه سازد (Mader et al., 2010; Ashouri et al., 2011; Christman et al., 2023). با این حال، نگهداری در دمای پایین نباید جایگزین انتقال به موقع و استقرار ملکه در شرایط مناسب پرورش شود.

هر ملکه باید به صورت جداگانه نگهداری شود. قرار دادن چند ملکه در یک محفظه، به‌ویژه در شرایط محدود و پراسترس، می‌تواند موجب درگیری، آسیب فیزیکی یا مرگ برخی از نمونه‌ها شود. همچنین، نگهداری انفرادی امکان ثبت دقیق اطلاعات هر ملکه و ردیابی عملکرد بعدی آن را فراهم می‌کند.

۴.۴. بررسی سلامت و آلودگی‌های ظاهری

پیش از استقرار ملکه در کندوی آغازین، باید وضعیت ظاهری و آلودگی‌های قابل مشاهده باید مورد بررسی قرار گیرد. یکی از آلودگی‌های شایع در ملکه‌های جمع‌آوری‌شده از طبیعت، حضور کنه روی سطح بدن است. وجود تعداد محدودی کنه، الزاماً به معنای حذف قطعی ملکه نیست، اما آلودگی شدید می‌تواند نشان‌دهنده ضعف فیزیولوژیکی، تماس با منابع آلوده یا خطر انتقال عوامل بیماری‌زا به محیط پرورش باشد (Schmid-Hempel, 1998; 2011; Modarres). در چنین مواردی، حذف ملکه آلوده از برنامه پرورش، تصمیمی محافظه‌کارانه و منطقی است (Hasani, 2024).

در موارد آلودگی خفیف، می‌توان با دقت و حداقل دستکاری، کنه‌های قابل مشاهده را با ابزار مناسب از بدن ملکه جدا کرد. این کار باید به‌گونه‌ای انجام شود که به بال‌ها، پاها، قطعات دهانی یا پوشش بدن آسیب وارد نشود.

بررسی سلامت نباید فقط به کنه‌ها محدود شود. ملکه‌هایی با نشانه‌های بی‌حالی، ناتوانی در پرواز، بال‌های فرسوده یا شکسته، آسیب به اندام‌های حرکتی، یا رفتار غیرطبیعی، شایستگی لازم برای ورود به برنامه پرورش را ندارند. چنین

نمونه‌هایی ممکن است در ظاهر زنده بمانند، اما احتمال تشکیل کلنی موفق در آن‌ها کمتر است و در سیستم‌های نیمه‌صنعتی باعث مصرف فضا، غذا و زمان می‌شوند.

۵,۴. ثبت اطلاعات اولیه

ثبت اطلاعات ملکه از لحظه جمع‌آوری باید بخشی از برنامه پرورش باشد. حداقل داده‌های لازم شامل تاریخ و ساعت جمع‌آوری، محل جغرافیایی، نوع زیستگاه، شرایط آب‌وهوایی، رفتار ملکه هنگام مشاهده، وضعیت ظاهری، وجود یا عدم وجود آلودگی، روش انتقال و تاریخ استقرار در کندوی آغازین است. هر ملکه باید از ابتدا یک کد اختصاصی دریافت کند تا مراحل بعدی، از شروع تخم‌گذاری تا تولید نسل جدید، با همان کد دنبال شود.

در برنامه‌های تولیدی نیز این داده‌ها ارزش مدیریتی دارند؛ زیرا می‌توانند نشان دهند کدام منطقه جمع‌آوری، بازه زمانی، شرایط انتقال یا روش استقرار بیش‌ترین نرخ موفقیت را داشته‌است. در غیاب چنین مستنداتی، پرورش‌دهنده ناگزیر از اتکا به تجربیات پراکنده و حافظه فردی خواهد بود.

۶,۴. استقرار در کندوی آغازین و کاهش استرس اولیه

پس از انتقال به محل پرورش، ملکه باید در کوتاه‌ترین زمان ممکن در کندوی آغازین یا جعبه پرورش مناسب مستقر شود. این فضا باید کوچک، تاریک، دارای تهویه کافی، قابل کنترل از نظر دما و رطوبت، و مجهز به منابع غذایی اولیه باشد. هدف از کندوی آغازین، ایجاد محیطی است که تا حد امکان حس امنیت لانه طبیعی را بازسازی کند و ملکه را به آغاز تخم‌گذاری تشویق نماید.

در روزهای نخست استقرار، کاهش دستکاری اهمیت زیادی دارد. بازدیدهای مکرر، نور شدید، لرزش، تغییر مکان ظرف غذا یا جابه‌جایی ناگهانی کلنی می‌تواند رفتار ملکه را مختل کند و آغاز تخم‌گذاری را به تأخیر بیندازد. در این مرحله، ملکه هنوز کارگری برای کمک ندارد و هر اختلال محیطی مستقیماً بر مصرف انرژی و رفتار تولیدمثلی او اثر می‌گذارد. بنابراین، مدیریت صحیح در روزهای نخست یعنی فراهم کردن شرایط پایدار، نه مداخله پی‌درپی.

منابع غذایی اولیه باید از همان ابتدا در دسترس و ایمن باشد، اما جزئیات نوع، مقدار و زمان‌بندی تغذیه باید در چارچوب شرایط محیطی و الزامات تغذیه‌ای مرحله آغازین کلنی تنظیم گردد. در این مرحله، هدف تأمین دسترسی ملکه به منابع غذایی، بدون قرار گرفتن در معرض خطر آلودگی، غرق‌شدن یا دستکاری بیش از حد است.

نشانه‌های موفقیت در استقرار اولیه شامل کاهش رفتارهای فرار، استفاده منظم از غذا، پذیرش یا ساخت توده اولیه گرده، آغاز تخم‌گذاری و مراقبت از تخم‌ها است. در مقابل، بی‌قراری مداوم، تلاش برای خروج، بی‌توجهی به غذا، تخریب توده گرده یا عدم تخم‌گذاری طولانی‌مدت می‌تواند نشانه نامناسب بودن شرایط یا ضعف ملکه باشد. تشخیص زودهنگام این نشانه‌ها به پرورش‌دهنده اجازه می‌دهد بدون دستکاری افراطی، شرایط محیطی، کیفیت غذا یا وضعیت سلامت ملکه را بازبینی کند.

در مجموع، جمع‌آوری و استقرار ملکه‌های زمستان‌گذران مرحله‌ای است که موفقیت یا شکست آن اغلب چند هفته بعد آشکار می‌شود، اما علت شکست معمولاً در همان روزهای نخست شکل می‌گیرد. انتخاب زمان مناسب، جمع‌آوری کم‌تنش، بررسی سلامت و استقرار در محیط پایدار، پایه تشکیل کلنی سالم و قابل استفاده در پژوهش یا تولید نیمه‌صنعتی است.

۵. شرایط محیطی و تغذیه در آغاز تشکیل کلنی

پس از استقرار ملکه در کندوی آغازین، موفقیت پرورش تا حد زیادی به ثبات شرایط محیطی و کیفیت تغذیه وابسته است. در این مرحله، ملکه هنوز فاقد کارگران کمکی است و باید هم‌زمان انرژی لازم برای بقا، تخم‌گذاری، گرم‌کردن توده تخم، مراقبت از نوزادان و آغاز سازمان‌دهی کلنی را تأمین کند. بنابراین، دما، رطوبت، تاریکی، نوع نور هنگام بازدید، کیفیت محلول قندی، کیفیت گرده و زمان‌بندی رسیدگی، مستقیماً بر شروع تخم‌گذاری و رشد نخستین گروه کارگران اثر می‌گذارد. ضعف در این مرحله معمولاً به شکل تأخیر در تخم‌گذاری، رهاکردن توده تخم، مصرف ناکافی غذا، رشد کند لاروها یا مرگ ملکه ظاهر می‌شود.

۱,۵. دما و پایداری حرارتی

دما یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی در آغاز تشکیل کلنی است. اگرچه *B. terrestris* توانایی تولید گرما از طریق فعالیت عضلات قفسه سینه را دارد، ملکه تنها در آغاز کلنی نمی‌تواند فشار تنظیم حرارتی را بدون هزینه فیزیولوژیک تحمل کند. در بسیاری از پروتکل‌های پرورش، دمای حدود ۲۷ تا ۲۹ درجه سلسیوس برای نگهداری کلنی‌های آغازین مناسب گزارش شده است (Velthuis & Van Doorn, 2006; Ashouri et al., 2011). در طول این دوره، ملکه دمای توده لاروی را از طریق توانایی درون‌گرمایی، حتی زمانی که دمای محیط به زیر ۱۰ درجه سانتیگراد می‌رسد، در حدود ۳۰-۳۲ درجه سانتیگراد حفظ می‌کند (Wynants et al., 2021). هدف از این محدوده، کاهش هزینه انرژی ملکه برای گرم‌کردن توده تخم و فراهم‌کردن شرایط مناسب برای رشد جنینی و لاروی است.

نکته مهم فقط مقدار دما نیست، بلکه ثبات آن است. نوسان‌های شدید دمایی می‌تواند رفتار ملکه را مختل کند، آغاز تخم‌گذاری را به تأخیر بیندازد یا باعث ره‌اشدن توده تخم شود. از سوی دیگر، دمای بیش از حد نیز می‌تواند موجب بی‌قراری، مصرف سریع ذخایر انرژی و خشک‌شدن منابع غذایی شود. بنابراین، دما باید به‌صورت منظم پایش شود و کندوها از منابع مستقیم گرما، جریان هوای سرد و تغییرات ناگهانی دور باشند.

۲,۵. رطوبت نسبی و جلوگیری از خشکی یا رشد قارچ

رطوبت نسبی در مرحله آغاز کلنی، بر وضعیت گرده، محلول‌قندی، تخم‌ها و لاروهای اولیه اثر می‌گذارد. رطوبت بسیار پایین می‌تواند باعث خشک‌شدن گرده و کاهش پذیرش آن توسط ملکه شود. در مقابل، رطوبت بیش از حد، به‌ویژه در محیط بسته و تاریک، خطر رشد قارچ، فساد گرده و آلودگی بستر را افزایش می‌دهد. در منابع پرورشی، رطوبت نسبی حدود ۵۰ تا ۶۵ درصد برای مراحل آغازین و رشد کلنی توصیه شده‌است، هرچند مقدار بهینه می‌تواند با نوع جعبه، تهویه، تراکم کلنی و کیفیت غذا تغییر کند (Mader et al., 2010).

مدیریت رطوبت باید همراه با تهویه انجام شود. محفظه بسیار بسته، رطوبت را حفظ می‌کند اما خطر تجمع بخار، رشد قارچ و افت کیفیت غذا را افزایش می‌دهد. در مقابل، تهویه بیش از حد می‌تواند محیط را خشک کند. بنابراین، هدف ایجاد تعادل میان رطوبت کافی و تهویه مناسب است؛ تعادلی که باید با وضعیت گرده، بستر، دیواره‌های محفظه و رفتار ملکه ارزیابی شود، نه فقط با عدد رطوبت‌سنج.

۳,۵. تاریکی و استفاده از نور قرمز هنگام بازدید

زنبورهای مخملی در طبیعت معمولاً لانه‌هایی تاریک و محافظت‌شده را انتخاب می‌کنند. بازسازی این شرایط در کندوی آغازین، به کاهش تحریک و افزایش احتمال پذیرش محیط کمک می‌کند. تاریکی به‌ویژه در روزهای نخست استقرار اهمیت دارد، زیرا ملکه هنوز لانه مصنوعی را به‌عنوان محل امن تثبیت نکرده‌است. نور شدید یا باز دیدهای طولانی می‌تواند باعث بی‌قراری، تلاش برای خروج و اختلال در رفتار مراقبت از تخم‌ها شود.

برای رسیدگی ضروری، استفاده از نور قرمز یا نور کم‌شدت توصیه می‌شود، زیرا زنبورهای مخملی نسبت به نور قرمز حساسیت کمتری دارند و در چنین شرایطی فعالیت پروازی و واکنش‌های دفاعی کاهش می‌یابد (Mader et al., 2010). با این حال، استفاده از نور قرمز نباید توجیهی برای افزایش تعداد بازدیدها باشد؛ بازدیدها باید کوتاه، هدفمند و کم‌اختلال طراحی شوند.

۴,۵. محلول قندی و مدیریت منبع انرژی

منبع قندی، انرژی لازم برای فعالیت عمومی ملکه، تنظیم حرارتی و آغاز تخم‌گذاری را تأمین می‌کند. در پرورش آزمایشگاهی *B. terrestris*، محلول ساکاروز معمولاً به عنوان منبع اصلی کربوهیدرات استفاده می‌شود و در بسیاری از پروتکل‌ها غلظت حدود ۵۰ درصد گزارش شده است (Mousavi, 2021). این محلول باید تازه، عاری از آلودگی و در ظرفی ارائه شود که ملکه بتواند بدون افزایش خطر غرق شدن یا آلودگی، به آسانی از آن تغذیه نماید.

کیفیت و بهداشت محلول قندی اهمیت زیادی دارد. محلول مانده یا آلوده می‌تواند به رشد میکروارگانیسم‌ها منجر شود و سلامت ملکه یا کلنی نوپا را تهدید کند. از سوی دیگر، تغییر مداوم نوع محلول، غلظت یا محل قرارگیری آن می‌تواند رفتار تغذیه‌ای ملکه را مختل کند. بنابراین، محلول قندی باید با غلظت ثابت، در ظرف مناسب و با برنامه مشخص تعویض شود.

۵,۵. گرده و مدیریت منبع پروتئین

گرده منبع اصلی پروتئین، لیپید، ویتامین‌ها و ریزمغذی‌های مورد نیاز برای رشد لاروها و تولید کارگران سالم است. برخلاف محلول قندی که بیش‌تر نیاز انرژی را تأمین می‌کند، گرده از نظر تغذیه‌ای نقشی مستقیم در رشد نوزادان، اندازه کارگران، سرعت توسعه کلنی و در مراحل بعدی، کیفیت ملکه‌های نسل جدید دارد؛ از این رو، کیفیت گرده در میان گونه‌های گیاهی به‌طور قابل توجهی متفاوت است و بر توسعه کلنی و خروجی تولیدمثلی اثر می‌گذارد (Tasei & Zhou et al., 2024; Vaudo et al., 2018; Moerman et al., 2017; Apinel, 2008). بنابراین، گرده باید از نظر منبع گیاهی، تازگی، رطوبت، آلودگی و قابلیت پذیرش توسط ملکه ارزیابی شود.

در بسیاری از برنامه‌های پرورش، استفاده از گرده تازه یا گرده منجمد با کیفیت توصیه می‌شود (Hosseini, 2024). گرده خشک، کهنه یا فاقد ارزش تغذیه‌ای می‌تواند رشد لاروها را مختل سازد. مطالعاتی که رژیم‌های غذایی گرده تک‌گیاه و چندگیاه را مقایسه کرده‌اند، نشان داده‌اند که منابع مخلوط گرده در مقایسه با رژیم‌های تک‌گونه، از توسعه کلنی به شکل برتری حمایت می‌کنند (Baloglu & Gürel, 2015; Zhou et al., 2024). به‌طوری که کلنی‌هایی که با گرده چندگیاه تغذیه می‌شوند، کارگرها و ملکه‌های جدید بیش‌تری نسبت به کلنی‌های محدود به یک منبع گرده تولید می‌کنند (Moerman et al., 2017).

همچنین محتوای کم پروتئین گرده (کمتر از ۱۵ درصد) به‌طور قابل توجهی توسعه کلنی را مختل کرده، ساخت لانه را به تأخیر می‌اندازد و می‌تواند منجر به عدم رسیدن کلنی به آستانه اندازه بحرانی لازم برای تولید ملکه جدید شود و

ارزش تجاری آن را به شدت کاهش دهد (Ryder et al., 2021). همچنین، باقی ماندن طولانی گرده در کندوی آغازین، در محیط گرم و نسبتاً مرطوب، خطر فساد و رشد قارچ را افزایش می دهد. بر این اساس، مقدار گرده باید متناسب با مرحله رشد کلنی تنظیم گردد؛ در مراحل ابتدایی، تأمین مقادیر اندک و قابل مصرف کافی است و با پیشرفت رشد لاروی، مقدار دفعات تعویض باید به تدریج افزایش یابد.

گرده مخلوط ممکن است نسبت به گرده تک منبعی ترکیب غذایی متعادل تری فراهم کند، اما این موضوع به کیفیت منابع گیاهی و نحوه نگهداری گرده وابسته است (Ryder et al., 2021; Zhou et al., 2024). در برنامه های پژوهشی، نوع و منبع گرده باید ثبت شود.

۶.۵. زمان بندی بازدید و تعویض غذا

بازدید از کندوی آغازین باید با هدف مشخص انجام شود؛ بررسی مصرف غذا، وضعیت ملکه، وجود تخم یا لارو، کیفیت گرده و نشانه های آلودگی. بازدیدهای بدون هدف، طولانی یا همراه با جابه جایی مکرر اجزای داخل کندو، خطر اختلال در رفتار ملکه را افزایش می دهد. در روزهای نخست، فاصله بازدید باید به گونه ای تنظیم شود که هم امکان پایش وضعیت فراهم باشد و هم ملکه در معرض مزاحمت دائمی قرار نگیرد.

تعویض محلول قندی و گرده باید بر اساس کیفیت غذا و مرحله رشد کلنی انجام شود. محلول قندی آلوده یا مانده باید جایگزین شود، اما تعویض بیش از حد و جابه جایی مکرر ظرف غذا نیز می تواند محیط را بی ثبات کند. گرده نیز باید پیش از خشک شدن، کپک زدن یا فساد تعویض گردد. پس از آغاز رشد لاروها، نیاز غذایی، به ویژه نیاز به گرده، افزایش می یابد. در نتیجه، تنظیم فواصل بازدید و تأمین به موقع غذا باید متناسب با مرحله رشد کلنی انجام شود.

در برنامه های پژوهشی و تولید نیمه صنعتی، به هنگام سرکشی، مصرف تقریبی غذا، تاریخ تعویض گرده و محلول قندی و رفتارهای غیر عادی کلنی به ویژه ملکه باید ثبت شود.

۷.۶. شاخص های آغاز موفق تخم گذاری

شروع تخم گذاری، نخستین نشانه جدی پذیرش محیط پرورش توسط ملکه است، اما به تنهایی برای ارزیابی موفقیت کافی نیست. ملکه ممکن است تخم گذاری را آغاز کند، اما در صورت نامناسب بودن شرایط، تخم ها را رها کند یا لاروهای اولیه رشد مطلوبی نداشته باشند. بنابراین، شاخص های موفقیت در مرحله آغاز کلنی باید شامل چند نشانه هم زمان باشد؛ مصرف منظم محلول قندی، استفاده از گرده، تشکیل یا پذیرش توده گرده، تخم گذاری، مراقبت از تخم ها و ظهور لاروها.

تأخیر در تخم‌گذاری می‌تواند ناشی از ضعف فیزیولوژیک ملکه، خروج ناقص از دیاپوز، تنش انتقال، دمای نامناسب، کیفیت پایین گرده یا دستکاری بیش از حد باشد. واکنش پرورش‌دهنده نباید افزایش بازدید یا دستکاری بیش‌تر باشد؛ بلکه ابتدا باید پایداری دما، وضعیت رطوبت، تازگی گرده، کیفیت محلول قندی و رفتار تغذیه‌ای ملکه مورد بررسی قرار گیرد.

در نهایت، آغاز موفق تخم‌گذاری زمانی واجد ارزش پرورشی است که به تداوم مراقبت ملکه، تکامل لاروی و خروج نخستین دسته کارگران منجر گردد.

۶. تشکیل، رشد و ارزیابی کلنی

پس از آغاز تخم‌گذاری، مرحله حساس دیگری در پرورش *B. terrestris* آغاز می‌شود؛ تبدیل فعالیت اولیه ملکه به یک کلنی در حال رشد. در این مرحله، معیار موفقیت فقط مشاهده تخم نیست، بلکه تداوم رشد تخم‌ها، ظهور لاروها، تشکیل شفیره‌ها، خروج نخستین گروه کارگران و سپس افزایش تدریجی جمعیت کارگری اهمیت دارد. بسیاری از شکست‌های پرورشی در فاصله بین تخم‌گذاری اولیه و خروج نخستین گروه کارگران رخ می‌دهد؛ یعنی زمانی که کلنی هنوز کاملاً به توان فیزیولوژیک و رفتار ملکه وابسته است. بنابراین، ارزیابی دقیق این مرحله برای تشخیص زودهنگام ضعف کلنی و مقایسه عملکرد ملکه‌ها ضروری می‌باشد.

۱,۶. مراحل اولیه رشد؛ از تخم تا خروج نخستین کارگران

چرخه رشد کلنی پس از تخم‌گذاری با مرحله تخم، سپس رشد لاروی، شفیرگی و در نهایت خروج کارگران آغاز می‌شود. طول هر یک از این مراحل می‌تواند تحت تأثیر وضعیت ملکه، کیفیت تغذیه، شرایط محیطی و سلامت کلنی قرار گیرد (Ashouri et al., 2011).

ملکه بنیان‌گذار از طریق مجموعه‌ای از مراحل رفتاری، پایه‌گذاری کلنی را آغاز می‌کند. او یک فنجان مومی برای ذخیره شهد و یک توده زادآوری می‌سازد و اولین دسته تخم‌ها (معمولاً ۸ تا ۱۶ تخم) را در آن‌جا می‌گذارد (Duchateau & Velthuis, 1988). اولین کارگرها بسته به شرایط دمایی، تقریباً ۳ تا ۴ هفته پس از تخم‌گذاری ظاهر می‌شوند. این کارگرهای اولیه معمولاً کوچک‌تر از کارگرهایی هستند که در مراحل بعدی چرخه کلنی تولید می‌شوند؛ آن‌ها بلافاصله مسئولیت جست‌وجوی غذا و مراقبت از لاروها را بر عهده می‌گیرند و به ملکه اجازه می‌دهند تا فقط بر تولید تخم تمرکز

کند (Cnaani *et al.*, 2002). در حالت مطلوب، ملکه پس از تخم‌گذاری، توده تخم را می‌پذیرد، از آن مراقبت می‌کند و پس از خروج لاروها، رفتار تغذیه و نگهداری از نوزادان را ادامه می‌دهد.

مشاهده تخم‌ها به‌تنهایی نشانه قطعی موفقیت نیست. در برخی موارد، ملکه تخم‌گذاری را آغاز می‌کند، اما سپس تخم‌ها را ترک می‌کند، آن‌ها را تخریب می‌نماید یا لاروهای حاصل، رشد مطلوبی از خود نشان نمی‌دهند. بنابراین، ارزیابی باید مرحله‌مند باشد؛ تشکیل توده تخم، تداوم مراقبت، ظهور لاروها، افزایش اندازه لاروها، تشکیل شفیره‌ها و خروج نخستین کارگران. هر توقف در این زنجیره می‌تواند نشانه ضعف ملکه، اختلال محیطی، کیفیت نامناسب غذا یا وجود آلودگی باشد.

خروج نخستین گروه کارگران نقطه عطف تشکیل کلنی است. تا پیش از این مرحله، تمام بار مراقبت، تغذیه و تنظیم وضعیت داخلی لانه بر عهده ملکه است؛ اما پس از ظهور کارگران، بخشی از این بار به نسل نخست منتقل می‌شود. از این مرحله به بعد، احتمال تثبیت کلنی افزایش می‌یابد، هرچند کیفیت و تعداد کارگران نخستین همچنان برای ادامه رشد تعیین‌کننده است.

۲،۶. نقش نخستین گروه کارگران در تثبیت کلنی

نخستین گروه کارگران معمولاً از نظر اندازه و توانایی رفتاری با کارگران نسل‌های بعدی تفاوت دارند. در بسیاری از کلنی‌ها، کارگران اولیه کوچک‌ترند، اما نقش آن‌ها در تثبیت کلنی بسیار مهم است (Duchateau & Velthuis, 1988; Cnaani *et al.*, 2002; Modarres Hasani, 2024). این کارگران به مراقبت از لاروهای بعدی، تنظیم فعالیت‌های داخل لانه، مصرف و جابه‌جایی غذا و کاهش فشار رفتاری بر ملکه کمک می‌کنند. از این رو، کیفیت نسل اول کارگران می‌تواند مسیر رشد بعدی کلنی را تعیین کند.

اگر تعداد نخستین دسته کارگران کم باشد، یا اگر کارگران ضعیف، بی‌تحرک یا ناهماهنگ باشند، کلنی ممکن است وارد مرحله رشد پایدار نشود. در چنین شرایطی، ملکه همچنان ناچار است بخشی از وظایف اولیه را حفظ کند و انرژی کافی برای ادامه تخم‌گذاری یا مراقبت از نسل‌های بعدی نداشته باشد. برعکس، خروج تعداد مناسب کارگران فعال، نشانه عبور کلنی از مرحله بحرانی آغازین است.

از نظر پرورش، پس از ظهور نخستین گروه کارگران، نحوه ارزیابی کلنی باید تغییر کند. در این مرحله، تنها وضعیت ملکه مهم نیست بلکه تعداد کارگران، رفتار آن‌ها، وضعیت لاروهای جدید، مصرف غذا و روند افزایش جمعیت نیز باید ثبت شود. کلنی‌ای که علی‌رغم تولید نخستین گروه کارگران، رشد جمعیتی آن متوقف می‌گردد، از منظر پرورشی موفق تلقی نمی‌شود.

۳,۶. شاخص‌های رشد کلنی

برای ارزیابی رشد کلنی، باید از مجموعه‌ای از شاخص‌ها استفاده شود، نه فقط از یک معیار منفرد. مهم‌ترین شاخص‌ها شامل زمان شروع تخم‌گذاری، زمان مشاهده نخستین لاروها، زمان تشکیل شفیره‌ها، تاریخ خروج نخستین دسته کارگران، تعداد کارگران در فواصل زمانی مشخص، وضعیت توده‌های لاروی، مقدار مصرف غذا و زمان آغاز تولید نرها یا ملکه‌های جدید است. این شاخص‌ها امکان مقایسه کلنی‌ها و تشخیص تفاوت میان ملکه‌های موفق و ناموفق را فراهم می‌کند. پس از ظهور نخستین کارگرها، کلنی به مرحله‌ای از رشد سریع وارد می‌شود که با افزایش نمایی در تعداد کارگرها همراه است. در شرایط بهینه، کلنی‌های موفق می‌توانند تا حداکثر ۴۰۰ کارگر در اوج رشد خود داشته باشند، هرچند اندازه متوسط کلنی‌ها به مراتب کمتر از این تعداد است (Velthuis & van Doorn, 2006). زمان‌بندی و میزان رشد کلنی تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله باروری ملکه، کارایی کارگران در جمع‌آوری غذا، دسترسی به مواد مغذی و شرایط محیطی قرار می‌گیرد.

در برنامه‌های پژوهشی، ثبت این شاخص‌ها باید با نظم مشخص انجام شود. فاصله زمانی بین استقرار ملکه تا تخم‌گذاری و فاصله بین تخم‌گذاری تا خروج نخستین گروه کارگران، می‌تواند کیفیت استقرار، وضعیت فیزیولوژیک ملکه و مناسب‌بودن شرایط پرورش را نشان دهد. تعداد کارگران تولیدشده در نسل‌های اولیه، شاخصی معتبر برای ارزیابی قدرت بنیادین کلنی و ظرفیت رشدی آن در مراحل بعدی به‌شمار می‌رود.

در تولید نیمه‌صنعتی، شاخص‌های رشد علاوه بر ارزش پژوهشی، ارزش مدیریتی دارند. کلنی‌هایی که رشد کند، مصرف غذایی نامنظم، تلفات بالا یا تأخیر طولانی در تولید کارگران نشان می‌دهند، باید از کلنی‌های قوی‌تر تفکیک شوند. ارزیابی رشد باید به تصمیم عملی منجر شود؛ ادامه نگهداری، اصلاح شرایط، جداسازی یا حذف کلنی.

۴,۶. خطاهای رایج در ارزیابی رشد کلنی

یکی از خطاهای رایج، برابر دانستن «تخم‌گذاری» با «تشکیل موفق کلنی» است. تخم‌گذاری صرفاً آغاز فرایند است؛ تا پیش از تکمیل رشد لاروی و خروج نخستین گروه کارگران، کلنی همچنان در مرحله‌ای با ریسک بالا قرار دارد. خطای دیگر، ارزیابی کلنی فقط بر اساس بقای ملکه است. بقای ملکه بدون رشد نوزادان، از نظر پرورشی موفقیت محسوب نمی‌شود.

خطای دیگر، مقایسه کلنی‌ها بدون توجه به سن و تاریخچه آن‌هاست. کلنی‌ای که زودتر مستقر شده یا ملکه‌ای که زودتر از دیابوز خارج شده‌است، نباید مستقیماً با کلنی جوان‌تر مقایسه شود. برای مقایسه معتبر، باید سن کلنی، تاریخ

تخم‌گذاری، مرحله رشد و شرایط اولیه در نظر گرفته شود. در غیر این صورت، تصمیم‌گیری درباره کیفیت ملکه یا موفقیت روش پرورش گمراه‌کننده خواهد بود.

همچنین، نباید هر تأخیر در رشد را فوراً با مداخله شدید پاسخ داد. افزایش دفعات بازدید یا دستکاری توده لاروی می‌تواند مشکل را تشدید کند. در ارزیابی رشد، هدف تشخیص علل احتمالی و اصلاح حداقلی است، نه آنکه مداخلات مکرر صورت پذیرد.

۵, ۶. ثبت داده‌ها و ردیابی عملکرد کلنی

ثبت داده‌ها در مرحله رشد، باید بر رویدادهای زیستی کلنی متمرکز باشد. هر کلنی باید با کد ملکه پایه شناخته شود و داده‌های اصلی رشد در همان پرونده ثبت گردد؛ تاریخ استقرار، تاریخ آغاز تخم‌گذاری، تاریخ مشاهده نخستین لاروها، تاریخ تشکیل شفیره، تاریخ خروج نخستین دسته کارگران، تعداد تقریبی کارگران در بازدهای منظم، وضعیت ملکه، وضعیت توده‌های لاروی، میزان تلفات و هرگونه نشانه غیرطبیعی.

این داده‌ها امکان مقایسه عملکرد ملکه‌ها، شناسایی کلنی‌های ضعیف و ارزیابی روش‌های پرورش را فراهم می‌کند. در برنامه‌های چندنسلی، ردیابی منشأ ملکه و عملکرد نسل‌های بعدی برای جلوگیری از هم‌خونی و حفظ کیفیت تولید ضروری است (Beekman *et al.*, 1999). فرم ثبت داده باید از سادگی، یکنواختی و قابلیت اجرای عملی برخوردار باشد؛ تعدد شاخص‌ها بدون تکمیل منظم، ارزش مدیریتی اندکی به همراه خواهد داشت.

۶, ۶. معیار عبور از مرحله آغازین به مرحله رشد فعال

کلنی زمانی از مرحله آغازین عبور می‌کند که چند نشانه هم‌زمان دیده شود؛ ملکه به تخم‌گذاری ادامه دهد، لاروها رشد فعال داشته باشند، نخستین گروه کارگران خارج شده باشند، کارگران در مراقبت از نوزادان مشارکت کنند، مصرف غذا افزایش یابد و توده‌های جدید تخم یا لارو مشاهده شوند. در این وضعیت، کلنی دیگر فقط به توان ملکه وابسته نیست و وارد مرحله رشد جمعیتی شده‌است.

از این مرحله به بعد، نیازهای مدیریتی تغییر می‌کند. کلنی در حال رشد به فضای بیش‌تر، پایش دقیق‌تر جمعیت و در ادامه برنامه‌ریزی برای تولید افراد جنسی نیاز خواهد داشت. بنابراین، تشخیص به‌موقع عبور از مرحله آغازین اهمیت دارد، زیرا ادامه مدیریت کلنی مانند روزهای نخست می‌تواند رشد آن را محدود کند.

در مجموع، تشکیل کلنی در *B. terrestris* فرایندی تدریجی است و نباید با یک مشاهده منفرد ارزیابی شود. موفقیت واقعی زمانی رخ می‌دهد که تخم‌گذاری به رشد لارو، خروج کارگران و افزایش پایدار جمعیت منجر شود. از این رو، ارزیابی رشد کلنی باید نظام‌مند، دوره‌ای و کم‌دخالص صورت گیرد.

۷. تولید ملکه‌های نسل جدید و مدیریت کلنی‌های مادری

تولید ملکه‌های نسل جدید، نقطه اتصال میان یک کلنی موفق و تداوم برنامه پرورش است. در پرورش آزمایشگاهی و نیمه‌صنعتی *B. terrestris*، هدف فقط تشکیل یک کلنی فعال نیست، بلکه تولید ملکه‌هایی است که بتوانند جفت‌گیری کنند، وارد دیپوز شوند، پس از خروج از دیپوز تخم‌گذاری را آغاز کنند و نسل بعدی کلنی‌ها را شکل دهند. بنابراین، مدیریت کلنی‌های مادری باید از مرحله رشد کارگری فراتر برود و بر کیفیت تولیدمثل، سلامت ملکه‌های جوان، انتخاب نرها، حفظ تنوع ژنتیکی و حذف نمونه‌های ضعیف متمرکز شود.

۱،۷. انتخاب کلنی مادری

همه کلنی‌های موفق برای استفاده به عنوان کلنی مادری مناسب نیستند. کلنی مادری باید از نظر رشد، سلامت، رفتار، توان تولیدمثل و سابقه مدیریتی ارزیابی شود. کلنی‌ای که رشد سریع داشته، اما با سابقه تلفات بالا، رفتار ناآرام، آلودگی مشکوک یا الگوی تغذیه‌ای غیرطبیعی همراه است، گزینه مطمئنی برای تأمین نسل بعدی محسوب نمی‌شود. در مقابل، کلنی‌ای که رشد یکنواخت، ملکه فعال، کارگران سالم، تلفات پایین و ساختار جمعیتی پایدار دارد، از ارزش بیشتری برای برنامه تولید ملکه برخوردار است.

معیارهای انتخاب کلنی مادری باید پیش از ورود کلنی به مرحله تولید افراد جنسی مشخص باشد. این معیارها می‌تواند شامل زمان شروع تخم‌گذاری، سرعت رشد اولیه، تعداد کارگران، کیفیت توده‌های لاروی، میزان تلفات، نبود نشانه‌های بیماری، رفتار آرام هنگام بازدید و توانایی تولید افراد جنسی باشد. در منابع پرورشی، سلامت عمومی کلنی، مقاومت نسبی به بیماری‌ها و توان تولیدمثل ملکه از جمله معیارهای کلیدی در انتخاب کلنی‌های مادری محسوب می‌شود (Schmid-Hempel, 1998; Ashouri *et al.*, 2011).

در برنامه‌های پژوهشی، انتخاب کلنی مادری باید با هدف مطالعه هماهنگ باشد. برای مثال، کلنی‌هایی با الگوهای رفتاری غیرعادی یا سابقه تنش شدید نباید به عنوان پایه نسل بعدی مورد استفاده قرار گیرند. در تولید نیمه‌صنعتی نیز معیار اصلی، تعداد ملکه‌ها نیست بلکه سلامت، وزن، توان جفت‌گیری و قابلیت تأسیس کلنی بعدی است.

ورود کلنی به مرحله تولید ملکه‌های جوان، بیان‌گر تغییر جهت زیستی کلنی از رشد کارگری به تولیدمثلی است. نقطه انتقال حیاتی در توسعه کلنی هنگامی رخ می‌دهد که کلنی به آستانه‌ای مشخص، موسوم به نقطه تغییر یا چرخش 'برسد؛ این نقطه، انتقال از تولید کارگر به تولید ملکه جدید را تحریک می‌کند (Duchateau & Velthuis, 1988; Alaux *et al.*, 2005). با عبور اندازه کلنی از این آستانه بحرانی، کارگرها از طریق بکرزایی هاپلوئیدی به تولید نوزادان نر آغاز می‌کنند، درحالی‌که تخم‌های دیپلوئید ملکه به سمت تولید ملکه جدید جهت می‌یابند.

با این حال، مشاهده ملکه‌های جوان به معنای موفقیت کامل نیست؛ ملکه‌زایی موفق تنها زمانی محقق می‌شود که ملکه‌های تولیدشده از نظر اندازه، وزن، سلامت ظاهری، توان حرکتی، تغذیه پس از خروج و آمادگی برای جفت‌گیری وضعیت مطلوبی داشته باشند. مرحله تولیدمثلی، مرحله پایانی توسعه کلنی به‌شمار می‌رود و از نظر انرژی هزینه بسیار بالایی دارد، زیرا ملکه‌های جدید به‌طور قابل‌توجهی بزرگ‌تر از کارگرها هستند و به سرمایه‌گذاری تغذیه‌ای بسیار بیش‌تری نیاز دارند (Barie, 2022). برخی شواهد نشان می‌دهند که میزان تولید ملکه در زنبورهای مخملی، تحت‌تأثیر عواملی مانند دمای محیط و میزان نوزاد قرار می‌گیرد (Holland & Bourke, 2015; Amsalem *et al.*, 2025). با این حال، پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهند که سیگنال‌های فرمونی تولیدشده در مراحل لاروی خاص نیز در تعیین کاست نقش دارند و بر رفتار کارگران نسبت به پرورش ملکه جدید اثرگذارند (Amsalem *et al.*, 2025).

تمایز کاست در *B. terrestris* مستقیماً در مرحله لاروی تعیین می‌شود و ملکه‌ها و کارگرها کاست‌های متمایزی با تفاوت‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک آشکار تشکیل می‌دهند؛ تغییر مسیر تکاملی میان تعیین کارگر یا ملکه‌شدن در ۳/۵ روز نخست رشد لاروی رخ می‌دهد (Röseler, 1970). لاروهایی که به وزنی بیش از حدود ۰/۲۵ گرم می‌رسند، عموماً به ملکه تبدیل می‌شوند؛ درحالی‌که لاروهایی که با نرخ‌های تغذیه کمتر پرورش می‌یابند و به وزنی کمتر از حدود ۰/۱۵ گرم می‌رسند، عموماً به کارگر تبدیل می‌شوند و این امر به شکل‌گیری دوشکلی کاستی متمایزی می‌انجامد (Duchateau & Velthuis, 1988). لاروهایی که در بازه حساس رشد سطح هورمون جوانی (JH) بالاتری دارند، دوره لاروی طولانی‌تری را سپری می‌کنند و غذای بیش‌تری دریافت می‌نمایند که در نتیجه آن، اندازه بدن حشره بالغ بزرگ‌تر شده و تخمدان‌ها به‌طور کامل رشد می‌کند (Röseler, 1970; Modarres Hasani *et al.*, 2024).

زمان تولید ملکه‌ها نیز باید در ارزیابی لحاظ شود؛ تولید بسیار زود هنگام افراد جنسی می‌تواند نشان‌دهنده فشار تغذیه‌ای، محدودیت رشد یا تغییر نامطلوب در تعادل کلنی باشد، درحالی‌که تأخیر بیش‌ازحد در تولید ملکه ممکن است کارایی برنامه پرورش را کاهش دهد. بنابراین، زمان ظهور ملکه‌های جوان باید هم‌راستا با وضعیت عمومی کلنی تفسیر گردد.

کیفیت ملکه‌های جوان برای نسل بعد تعیین‌کننده است. ملکه‌های کوچک، ضعیف، دارای نقص ظاهری، ناتوان از تغذیه فعال یا دارای رفتار غیرطبیعی، حتی در صورت بقا، ممکن است در جفت‌گیری، ورود به دیپوز یا تأسیس کلنی آینده موفق نباشند. از این‌رو، ارزیابی ملکه‌های تولیدشده باید از همان زمان خروج آغاز شود و تنها به شمارش تعداد ملکه‌ها محدود نماند.

۳,۷. جداسازی ملکه‌های تازه متولدشده

جداسازی به‌موقع ملکه‌های تازه متولدشده، یکی از مراحل حساس در تولید نسل بعد است. ملکه‌های جوان پس از خروج از سفیره، نیازمند دوره‌ای برای سخت‌شدن کوتیکول، تکمیل رنگ‌گیری، تغذیه و رسیدن به آمادگی فیزیولوژیک هستند (Gurel & BA, 2013). در عین حال، ماندن طولانی مدت آن‌ها در کلنی مادری می‌تواند خطر درگیری، آسیب، جفت‌گیری ناخواسته و اختلالات هم‌خونی را افزایش دهد.

در برنامه‌های کنترل‌شده، ملکه‌های جدید باید در زمان مناسب شناسایی و از کلنی مادری جدا شوند. جداسازی خیلی زود، پیش از تکمیل وضعیت ظاهری و حرکتی، ممکن است تلفات را افزایش دهد؛ جداسازی دیر هنگام نیز کنترل سن، تغذیه، جفت‌گیری و منشأ ملکه را دشوار می‌کند. در برخی منابع، جداسازی ملکه‌های جوان در فاصله کوتاهی پس از خروج، پیش از امکان جفت‌گیری ناخواسته، توصیه شده است (Duchateau & Velthuis, 1988; Modarres, 2024). (Hasani et al., 2024)

پس از جداسازی، هر ملکه باید با کد مشخص به کلنی مادری خود پیوند داده شود. تاریخ خروج، کلنی مادر، وضعیت ظاهری، وزن در صورت امکان، تغذیه، انتقال به واحد جفت‌گیری و سرنوشت بعدی ملکه باید ثبت شود تا کیفیت تولیدی کلنی‌های مادری قابل مقایسه باشد.

۴,۷. انتخاب و نگهداری نرها

تولید ملکه‌های سالم بدون مدیریت نرها کامل نمی‌شود. نرها فقط عامل جفت‌گیری نیستند بلکه نیمی از ترکیب ژنتیکی نسل بعد را تأمین می‌کنند (Belsky et al., 2020). بنابراین، انتخاب نرها باید بر اساس منشأ، سلامت، سن، توان حرکتی و عدم نزدیکی ژنتیکی با ملکه‌های مورد نظر انجام شود. استفاده بی‌برنامه از نرهای محدود یا خویشاوند می‌تواند خطر هم‌خونی را در نسل‌های بعد افزایش دهد و به کاهش کیفیت کلنی‌ها منجر شود (Ashouri et al., 2011; Gosterit, 2016).

نرها باید از کلنی‌هایی انتخاب شوند که از نظر سلامت، رشد و عملکرد عمومی وضعیت مطلوبی داشته‌اند. تشخیص نرها از کارگران می‌تواند بر پایه ویژگی‌های ظاهری مانند تفاوت در شاخک‌ها و نبود سبد گرده در پاهای عقبی انجام شود (Cappellari et al., 2018). با این حال، در برنامه‌های جدی پرورش، تشخیص ظاهری کافی نیست و منشأ هر نر نیز باید ثبت شود تا از جفت‌گیری‌های خویشاوندی جلوگیری شود.

نرها باید تا زمان جفت‌گیری در شرایطی نگهداری شوند که سلامت، تحرک و تغذیه آن‌ها حفظ شود. در برنامه‌های کنترل‌شده، سن و منشأ نرها باید ثبت شود، اما جزئیات زمان‌بندی جفت‌گیری در بخش بعدی بررسی می‌شود.

۵,۷. تغذیه پیش از جفت‌گیری

دوره میان خروج ملکه جوان و جفت‌گیری، مرحله‌ای کوتاه اما از نظر تولیدمثلی تعیین‌کننده به‌شمار می‌رود. در این دوره، ملکه باید ذخایر انرژی و مواد غذایی خود را تقویت کند تا برای جفت‌گیری، ورود به دیاپوز و آغاز کلنی در نسل بعد آمادگی داشته باشد. تغذیه ناکافی می‌تواند بر وزن ملکه، بقای دیاپوز و توانایی تأسیس کلنی بعدی اثر منفی بگذارد (Woodard et al., 2019; Hosseini, 2024).

ملکه‌های جوان پس از جداسازی باید به محلول قندی سالم و منبع پروتئینی مناسب دسترسی داشته باشند. هدف، تغذیه بی‌رویه نیست بلکه فراهم‌کردن شرایطی است که ملکه بدون تنش، ذخایر بدنی کافی کسب کند. در برنامه‌های پژوهشی و تولیدی، نوع تغذیه پیش از جفت‌گیری باید تا حد امکان یکنواخت و قابل ثبت باشد.

۶,۷. حفظ تنوع ژنتیکی و کاهش هم‌خونی

در پرورش چندنسلی *B. terrestris*، حفظ تنوع ژنتیکی یکی از چالش‌های اصلی است. اگر برنامه پرورش بر تعداد محدودی ملکه و نر متکی باشد، احتمال جفت‌گیری‌های نزدیک افزایش می‌یابد. پیامدهای احتمالی هم‌خونی می‌تواند شامل کاهش زنده‌مانی، افت توان تخم‌گذاری، کاهش کیفیت ملکه‌ها، ضعف رشد کلنی و کاهش کارایی تولید باشد (Beekman et al., 1999; Whitehorn et al., 2009; Ashouri et al., 2011; Gosterit, 2016; Leung et al., 2025).

برای کاهش این خطر، باید منشأ ملکه‌ها و نرها ثبت شود و از جفت‌گیری افراد نزدیک‌خویشاوند تا حد امکان جلوگیری گردد. نگهداری چند خط پرورشی، چرخش کنترل‌شده نرها، ورود محدود و بررسی‌شده جمعیت‌های جدید و حذف خطوط ضعیف می‌تواند به حفظ کیفیت جمعیت کمک کند (Leung et al., 2025). البته ورود جمعیت جدید باید همراه با بررسی سلامت و ملاحظات قرنطینه‌ای باشد.

در برنامه‌های نیمه‌صنعتی، مدیریت ژنتیکی نباید تا بروز بحران به تأخیر افتد. زمانی که کاهش کیفیت کلنی‌ها آشکار می‌گردد، ممکن است چندین نسل از انباشت خطاهای مدیریتی سپری شده باشد. بنابراین، ثبت سجره، پایش عملکرد نسل‌ها و برنامه‌ریزی جفت‌گیری باید از همان نسل‌های اولیه در طراحی پرورش لحاظ شود.

۷,۷. معیارهای حذف یا نگهداری ملکه‌ها

همه ملکه‌های تولیدشده نباید وارد چرخه جفت‌گیری و دیاپوز شوند. حذف انتخابی ملکه‌های ضعیف، ناقص یا مشکوک، بخشی از مدیریت کیفی برنامه پرورش است. معیارهای حذف می‌تواند شامل نقص ظاهری، وزن بسیار پایین، بی‌حرکی، ناتوانی در تغذیه، آسیب در بال یا پا، رفتار غیرطبیعی، آلودگی قابل مشاهده یا منشأ نامناسب باشد.

در مقابل، ملکه‌هایی که از کلنی‌های مادری سالم و پربازده آمده‌اند، وزن و رفتار مناسب دارند، بدون نقص ظاهری هستند و تغذیه طبیعی نشان می‌دهند، برای ادامه برنامه ارزش بیش‌تری دارند. ذخایر بدنی می‌توانند با بقای دیاپوز و موفقیت تأسیس کلنی بعدی ارتباط داشته باشند. در صورت امکان، وزن ملکه پیش از جفت‌گیری و پیش از ورود به دیاپوز ثبت گردد، زیرا وزن و ذخایر بدنی با بقای دوره دیاپوز و موفقیت در تأسیس کلنی در مرحله بعدی همبستگی دارد (Zabihi, 2021; Hosseini, 2024; Modarres Hasani et al., 2024).

تصمیم حذف یا نگهداری نباید بر پایه احساس کمبود ملکه گرفته شود. نگهداشتن ملکه‌های ضعیف فقط برای افزایش عددی ذخیره پرورشی، معمولاً در مراحل بعدی هزینه بیش‌تری ایجاد می‌کند؛ شکست در جفت‌گیری، مرگ در حین دوره دیاپوز، تخم‌گذاری ضعیف یا تولید کلنی‌های کم‌کیفیت. بنابراین، کیفیت باید بر تعداد مقدم باشد.

در مجموع، تولید ملکه‌های نسل جدید زمانی ارزش پرورشی دارد که به ایجاد ملکه‌های سالم، قابل‌ردیابی، دارای منشأ مشخص و آماده برای جفت‌گیری و دیاپوز منجر شود. اگر این مرحله فقط به شمارش تعداد ملکه‌ها تقلیل یابد، برنامه پرورش در نسل‌های بعد با افت کیفیت، کاهش باروری و افزایش شکست کلنی‌ها روبه‌رو خواهد شد.

۸. جفت‌گیری ملکه‌ها و آماده‌سازی برای دیاپوز

جفت‌گیری موفق ملکه‌های جوان، یکی از نقاط تعیین‌کننده در تداوم چرخه پرورش *B. terrestris* است. ملکه‌ای که از نظر ظاهری سالم و تغذیه‌شده باشد، اما جفت‌گیری موفق نداشته باشد، نمی‌تواند پس از دیاپوز کلنی کامل و پایدار ایجاد کند. بنابراین، مدیریت این مرحله باید بر سه محور استوار باشد؛ انتخاب زمان مناسب جفت‌گیری، فراهم‌کردن شرایط

محیطی کم‌تنش و ارزیابی دقیق وضعیت ملکه پس از جفت‌گیری. شکست در این مرحله معمولاً دیر آشکار می‌شود، یعنی زمانی که ملکه پس از خروج از دیابوز تخم‌گذاری نمی‌کند یا فقط نر تولید می‌کند.

۱,۸. سن مناسب ملکه و نر برای جفت‌گیری

سن ملکه و نر، یکی از عوامل مؤثر بر موفقیت جفت‌گیری است. ملکه‌های بسیار جوان ممکن است هنوز از نظر فیزیولوژیکی و رفتاری به آمادگی کامل نرسیده باشند، در حالی که تأخیر بیش از حد نیز می‌تواند کیفیت جفت‌گیری یا مدیریت برنامه پرورش را دشوار کند. در برخی پروتکل‌های پرورش *B. terrestris*، سن حدود ۳ تا ۵ روزگی برای ملکه‌های جوان و حداقل حدود ۷ روزگی برای نرها به‌عنوان بازه مناسب جفت‌گیری گزارش شده‌است (Kwon et al., 2006; Ashouri et al., 2011; Zabihi, 2021; Hosseini, 2024; Modarres Hasani et al., 2024).

تعیین سن دقیق افراد فقط زمانی ممکن است که تاریخ خروج ملکه‌ها و نرها ثبت شده باشد. اگر این تاریخ مشخص نباشد، پرورش‌دهنده ناچار است بر پایه ظاهر یا رفتار تصمیم بگیرد که این عمل با دقت کمی همراه است. پیش از ورود به محفظه جفت‌گیری نیز باید سلامت ظاهری، تحرک و نبود آسیب آشکار بررسی شود اما معیارهای انتخاب نر و ملکه در مرحله پیشین تعیین شده‌اند.

۲,۸. شرایط محیطی مناسب برای جفت‌گیری

جفت‌گیری در *B. terrestris* تحت تأثیر شرایط محیطی و میزان تنش قرار دارد. نور، دما، رطوبت، جریان هوا، فضای حرکت و آرامش محیط، همگی می‌توانند بر رفتار جفت‌گیری اثر بگذارد. در برخی مطالعات و تجربه‌های پرورشی، جفت‌گیری در شرایط نیمه‌طبیعی یا محیط‌های کنترل‌شده با نور مناسب، دمای معتدل، رطوبت قابل قبول و جریان هوای ملایم، موفق‌تر از شرایط بسته و پراسترس گزارش شده‌است (Hosseini, 2024).

فضای جفت‌گیری باید امکان حرکت طبیعی، تماس رفتاری و جفت‌گیری کامل را فراهم کند. محیط بسیار کوچک، تاریک، بیش از حد گرم، بیش از حد سرد یا همراه با لرزش و رفت‌وآمد مکرر، می‌تواند رفتار جفت‌گیری را مختل کند. در مقابل، محیط بسیار باز یا کنترل‌نشده نیز خطر فرار، آسیب یا عدم امکان ثبت دقیق جفت‌گیری را افزایش می‌دهد. بنابراین، هدف، ایجاد تعادل میان آزادی رفتاری و کنترل پرورشی است.

نسبت ملکه به نر نیز باید مدیریت شود. در بسیاری از برنامه‌ها، قرار دادن هر ملکه با تعداد محدودی نر، برای مثال یک یا دو نر، امکان کنترل منشأ پدري، کاهش رقابت و درگیری بین نرها و ثبت دقیق‌تر جفت‌گیری را فراهم می‌کند.

(Hosseini, 2024). استفاده بی‌ضابطه از تعداد زیاد نر، کنترل شجره را دشوار می‌کند و در برنامه‌های چندنسلی ارزش داده‌های ژنتیکی و پرورشی را کاهش می‌دهد.

۳,۸. مدیریت فرایند جفت‌گیری

پیش از ورود افراد به محفظه جفت‌گیری، باید کد ملکه، کد نر یا نرها، سن، منشأ و وضعیت ظاهری آن‌ها ثبت شود. این ثبت برای تفسیر عملکرد ملکه پس از دیاپوز ضروری است. اگر ملکه‌ای در نسل بعد تخم‌گذاری ضعیف داشته باشد یا کلنی ناموفق تشکیل دهد، بدون ثبت اطلاعات جفت‌گیری نمی‌توان علت احتمالی را بررسی کرد.

در طول جفت‌گیری، مداخله باید حداقل باشد. مشاهده باید به‌گونه‌ای انجام شود که رفتار طبیعی افراد مختل نشود. دستکاری مکرر، جابه‌جایی محفظه یا تلاش برای تحریک فیزیکی افراد، معمولاً مشکل را حل نمی‌کند و ممکن است باعث توقف رفتار جفت‌گیری یا آسیب به ملکه و نرها شود. در صورتی که جفت‌گیری در بازه زمانی مورد انتظار محقق نگردد، بررسی عواملی نظیر سن، وضعیت سلامت، شرایط محیطی و سازگاری منشأ افراد اولویت دارد، نه افزایش مداخله که خود می‌تواند احتمال موفقیت را کاهش دهد.

مدت و نشانه‌های جفت‌گیری باید تا حد امکان ثبت شود. مشاهده اتصال موفق، مدت اتصال، رفتار ملکه پس از جفت‌گیری و وضعیت نر پس از آن می‌تواند برای ارزیابی اولیه مفید باشد. با این حال، مشاهده ظاهری جفت‌گیری همیشه تضمین‌کننده باروری کامل نیست. در نتیجه، موفقیت نهایی باید در مراحل بعد، به‌ویژه پس از خروج ملکه از دیاپوز و آغاز تخم‌گذاری، ارزیابی شود.

۴,۸. شاخص‌های جفت‌گیری موفق

شاخص‌های جفت‌گیری موفق را می‌توان در دو سطح بررسی کرد؛ شاخص‌های فوری و شاخص‌های تأخیری. شاخص‌های فوری شامل مشاهده رفتار جفت‌گیری، اتصال کامل، پایان طبیعی جفت‌گیری، زنده‌مانی و رفتار طبیعی ملکه پس از جداسازی است. این شاخص‌ها برای تصمیم‌گیری اولیه مفیدند، اما کافی نیستند.

شاخص‌های تأخیری اهمیت بیشتری دارند. ملکه جفت‌گیری کرده باید پس از یک دوره تغذیه و آماده‌سازی، وارد دیاپوز شود، در دوره دیاپوز زنده بماند، پس از خروج از دیاپوز تخم‌گذاری کند و در نهایت کلنی‌ای با کارگران ماده تشکیل دهد (Baer & Schmid-Hempel, 2001; Goulson, 2010). اگر ملکه پس از خروج از دیاپوز فقط نر تولید

کند یا تخم‌گذاری مؤثر نداشته باشد، احتمال جفت‌گیری ناموفق، ذخیره ناکافی اسپرم یا ضعف فیزیولوژیک مطرح می‌شود (Beekman *et al.*, 1999; Hosseini, 2024).

از نظر پرورشی، مشاهده ظاهری جفت‌گیری نباید به‌تنهایی موفقیت تلقی شود. موفقیت واقعی زمانی قابل ارزیابی است که ملکه پس از دیابوز تخم‌گذاری کند و کلنی دارای کارگران ماده تشکیل دهد.

۵,۸. مراقبت و تغذیه پس از جفت‌گیری

پس از جفت‌گیری، ملکه نباید بلافاصله وارد شرایط دیابوز شود. معمولاً یک دوره کوتاه نگهداری و تغذیه پس از جفت‌گیری لازم است تا وضعیت فیزیولوژیک ملکه تثبیت شود و ذخایر انرژی کافی برای تحمل دیابوز فراهم گردد (Hosseini, 2024; Modarres Hasani *et al.*, 2024). در این دوره، ملکه باید به محلول قندی سالم و منبع غذایی مناسب دسترسی داشته باشد، اما شرایط نگهداری باید آرام، پایدار و کم‌تنش باقی بماند.

هدف این دوره، افزایش بی‌رویه وزن یا تحریک زودهنگام تخم‌گذاری نیست بلکه آماده‌سازی ملکه برای ورود موفق به دیابوز است. وضعیت تغذیه، تحرک، سلامت ظاهری و وزن در صورت امکان باید پیش از انتقال به شرایط دیابوز ثبت شود. در برنامه‌های پژوهشی، مدت و شرایط دوره پساجفت‌گیری نیز باید تا حد امکان یکنواخت باشد.

۶,۸. آماده‌سازی مستقیم برای ورود به دیابوز

ورود به دیابوز، مرحله‌ای طبیعی اما حساس در چرخه زندگی *B. terrestris* است. پیش از انتقال ملکه‌های جفت‌گیری‌کرده به شرایط دیابوز، باید فقط ملکه‌هایی انتخاب شوند که از نظر سلامت ظاهری، رفتار تغذیه‌ای، منشأ و اطلاعات جفت‌گیری وضعیت قابل قبول دارند. ملکه‌های ضعیف، آسیب‌دیده، آلوده یا دارای رفتار غیرطبیعی، احتمالاً در دیابوز تلفات بالاتری خواهند داشت یا پس از خروج از دیابوز کلنی موفق تشکیل نخواهند داد.

آماده‌سازی برای دیابوز باید شامل جداسازی ملکه‌های پذیرفته‌شده، ثبت اطلاعات جفت‌گیری، تأمین دوره کوتاه تغذیه پساجفت‌گیری و انتقال تدریجی به شرایط مناسب دیابوز باشد (Woodard *et al.*, 2019). جزئیات دما، رطوبت، بستر، مدت نگهداری و خروج از دیابوز در بخش بعدی بررسی می‌شود.

در مجموع، جفت‌گیری مرحله‌ای نیست که فقط با مشاهده اتصال ملکه و نر پایان یابد. ارزش واقعی آن زمانی مشخص می‌شود که ملکه جفت‌گیری‌کرده بتواند دیابوز را پشت سر بگذارد و پس از خروج، کلنی جدیدی را با موفقیت آغاز کند.

۹. دیاپوز، خروج از دیاپوز و تداوم چرخه پرورش

دیاپوز در چرخه زندگی *B. terrestris*، مرحله‌ای کلیدی برای بقای ملکه‌های جفت‌گیری‌کرده و آغاز نسل بعدی کلنی‌ها است. در طبیعت، ملکه‌های جوان پس از جفت‌گیری و ذخیره‌سازی انرژی، وارد دوره‌ای از کاهش فعالیت متابولیک می‌شوند و پس از گذراندن شرایط مناسب، در فصل بعد از دیاپوز خارج شده و کلنی جدیدی را بنیان‌گذاری می‌کنند (Goulson, 2010). در پرورش آزمایشگاهی و نیمه‌صنعتی، مدیریت دیاپوز اهمیت مضاعف دارد زیرا موفقیت تولید نسل بعد، به زنده‌مانی ملکه‌ها در این دوره و توانایی آن‌ها برای تخم‌گذاری پس از خروج وابسته است.

دیاپوز نباید به عنوان یک وقفه منفعل در برنامه پرورش دیده شود. بستر، دما، رطوبت، تاریکی، مدت نگهداری، روش خروج و ارزیابی پسادیاپوز، همگی بر کیفیت ملکه و موفقیت تأسیس کلنی بعدی اثر می‌گذارند (Zabihi, 2021). خطا در این مرحله معمولاً با تأخیر آشکار می‌گردد؛ به این صورت که ملکه پس از خروج از دیاپوز زنده می‌ماند، اما قادر به تخم‌گذاری نیست، یا تخم‌گذاری ضعیفی دارد و یا کلنی‌ای ناپایدار تأسیس می‌کند.

۹، ۱. نقش دیاپوز در چرخه پرورش

دیاپوز بخشی طبیعی از چرخه سالانه *B. terrestris* است و در سیستم پرورشی باید به صورت کنترل‌شده بازسازی شود. هدف از مدیریت دیاپوز، فقط زنده نگه‌داشتن ملکه نیست بلکه حفظ توان تولیدمثلی او برای شروع کلنی پس از خروج است. در برنامه‌های نیمه‌صنعتی، موفقیت دیاپوز تعیین می‌کند که تولید کلنی به چرخه چندنسلی پایدار تبدیل شود یا در هر نسل دوباره به جمع‌آوری یا تأمین ملکه‌های جدید وابسته بماند (Beekman et al., 1998; Denlinger, 2022).

۹، ۲. بستر و شرایط ورود به دیاپوز

پیش از ورود به دیاپوز، ملکه‌های جفت‌گیری‌کرده باید در بستر و محفظه‌ای قرار گیرند که امکان کاهش فعالیت، حفظ رطوبت مناسب و جلوگیری از آسیب فیزیکی را فراهم کند. در منابع پرورشی، استفاده از بسترهایی مانند خاک نرم، کمپوست مرطوب یا مواد مشابه برای شبیه‌سازی پناهگاه طبیعی زمستان‌گذرانی گزارش شده است (Zabihi, 2021). انتخاب بستر باید بر اساس چند معیار انجام شود؛ حفظ رطوبت، نبود آلودگی، عدم فشردگی بیش از حد، امکان جداسازی آسان ملکه و کاهش خطر رشد قارچ.

بستر نامناسب می‌تواند باعث خشکی بدن، آسیب مکانیکی، آلودگی قارچی یا افزایش تلفات شود. بستر بسیار خشک، ملکه را در معرض کم‌آبی قرار می‌دهد؛ بستر بسیار مرطوب نیز خطر کپک‌زدگی و آلودگی را افزایش می‌دهد. از این رو، کیفیت بستر باید پیش از ورود ملکه‌ها کنترل شود و در طول دوره دیاپوز نیز وضعیت رطوبت و آلودگی آن پایش گردد.

ورود ملکه به دیاپوز باید با حداقل تنش انجام شود و فقط ملکه‌هایی وارد این مرحله شوند که از نظر سلامت ظاهری، تغذیه پساجفت‌گیری، رفتار طبیعی و منشأ ثبت‌شده قابل قبول باشند.

۳,۹. دما، رطوبت و تاریکی در طول دیاپوز

دما، مهم‌ترین عامل محیطی در نگهداری ملکه‌ها طی دیاپوز است. در منابع مختلف، نگهداری ملکه‌های *B. terrestris* در دمای پایین و نزدیک به محدوده یخچالی، برای شبیه‌سازی زمستان‌گزانی و کاهش فعالیت متابولیک توصیه شده‌است. برای مثال، محدوده‌هایی در حدود ۱- تا ۴ درجه سلسیوس یا نزدیک به آن گزارش شده‌اند (Mader et al., 2010; Nasir et al., 2019; Zabihi, 2021). دمای پایین باید به اندازه‌ای باشد که فعالیت ملکه کاهش یابد، اما موجب یخ‌زدگی، شوک شدید یا مرگ نشود.

ثبات دما در این مرحله به اندازه مقدار آن اهمیت دارد. نوسان‌های مکرر دمایی می‌تواند باعث بیداری ناقص، مصرف ذخایر انرژی و کاهش کیفیت پسادیپوز شود. در مقابل، سرمای بیش از حد یا نگهداری طولانی در شرایط نامناسب می‌تواند تلفات را افزایش دهد (Amsalem & Grozinger, 2017). بنابراین، محفظه‌های دیاپوز باید در دستگاہی با دمای پایدار نگهداری شود و تغییرات ناگهانی ناشی از باز و بسته‌شدن مکرر، جابه‌جایی یا قطع برق کنترل گردد.

رطوبت نیز باید در محدوده‌ای حفظ شود که از خشکیدگی بیش از حد بدن ملکه پیشگیری نماید، بدون آنکه شرایط مناسب برای رشد قارچی فراهم سازد. در برخی منابع، رطوبت نسبی حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد برای نگهداری ملکه‌ها در دیاپوز گزارش شده‌است (Zabihi, 2021). تاریکی نیز باید حفظ شود، زیرا نور می‌تواند فعالیت ملکه‌ها را تحریک کند و با هدف کاهش متابولیسم در دوره دیاپوز ناسازگار باشد.

۴,۹. مدت دیاپوز و پایش زنده‌مانی

مدت دیاپوز در *B. terrestris* می‌تواند بسته به منشأ جمعیت، وضعیت فیزیولوژیک ملکه، شرایط پیش از ورود، دما و هدف برنامه پرورش متفاوت باشد (Zabihi, 2021). در پرورش کنترل‌شده می‌توان مدت آن را بر اساس نیاز برنامه

تنظیم کرد، مشروط بر این‌که زنده‌مانی و کیفیت پسادیپوز قربانی کوتاه‌سازی یا طولانی‌سازی غیرمنطقی نشود. دیپوز بسیار کوتاه ممکن است برای تکمیل آمادگی فیزیولوژیک کافی نباشد. در حالی که دیپوز بیش از حد طولانی می‌تواند ذخایر انرژی را کاهش دهد و تلفات یا ضعف پسادیپوز را افزایش دهد (Beekman *et al.*, 1998; Denlinger, 2022).

پایش زنده‌مانی در طول دیپوز باید با حداقل دستکاری انجام شود. بازدیدهای زیاد، تغییر دما و جابه‌جایی مکرر محفظه‌ها می‌تواند شرایط پایدار دیپوز را مختل کند. در عین حال، بی‌توجهی کامل نیز خطرناک است زیرا آلودگی بستر، رطوبت نامناسب یا مرگ تعدادی از ملکه‌ها ممکن است تا پایان دوره آشکار نشود. بنابراین، بازدیدهای محدود و برنامه‌ریزی شده بهترین گزینه به‌شمار می‌رود.

۵،۹. تغذیه حین دیپوز

در برخی برنامه‌های پرورش، تغذیه یا دسترسی محدود به محلول قندی در دوره دیپوز یا در فواصل مشخص آن بررسی شده‌است و گزارش‌هایی از اثر آن بر زنده‌مانی ملکه‌ها وجود دارد (Hosseini, 2024). با این حال، تغذیه حین دیپوز نباید به‌عنوان توصیه عمومی و ثابت در همه شرایط معرفی شود زیرا هدف اصلی این دوره کاهش فعالیت متابولیک است و هرگونه تغذیه می‌تواند بر سطح فعالیت، رطوبت محیط، خطر آلودگی و زمان‌بندی بیداری اثر بگذارد.

نیاز به تغذیه حین دیپوز ممکن است به وزن اولیه ملکه، کیفیت تغذیه پیش از دیپوز، مدت نگهداری و شرایط دمایی بستگی داشته باشد. بنابراین، اگر تغذیه حین دیپوز استفاده می‌شود، باید روش، زمان، مقدار و اثر آن بر زنده‌مانی و موفقیت پسادیپوز ثبت گردد. در برنامه‌های پژوهشی، استفاده یا عدم استفاده از این روش باید به‌عنوان یک متغیر مهم گزارش شود.

۶،۹. خروج تدریجی از دیپوز

خروج از دیپوز مرحله‌ای حساس است و نباید به‌صورت تغییر ناگهانی از شرایط سرد و تاریک به شرایط فعال پرورشی انجام شود. افزایش تدریجی دما، فراهم‌کردن دسترسی به منبع انرژی و انتقال آرام به شرایط آغاز کلنی می‌تواند به کاهش شوک فیزیولوژیک کمک کند (Zabihi, 2021). هدف این مرحله، بازگرداندن تدریجی ملکه به فعالیت طبیعی، بدون ایجاد تنش شدید یا تحریک نامناسب است.

پس از خروج از شرایط سرد، ملکه‌ها باید از نظر زنده‌مانی، توان حرکت، پاسخ به تحریک، تغذیه و سلامت ظاهری بررسی شوند. ملکه‌هایی که بی‌حال، ناتوان از حرکت، دارای آسیب ظاهری یا فاقد تمایل به تغذیه هستند، احتمالاً در تأسیس کلنی موفق نخواهند بود. با این حال، ارزیابی نباید فقط بر اساس چند دقیقه نخست پس از خروج انجام شود زیرا برخی از ملکه‌ها ممکن است برای بازگشت به فعالیت طبیعی به زمان بیشتری نیاز داشته باشند.

در این مرحله، تاریخ خروج، مدت دیاپوز، شرایط نگهداری، وضعیت بستر، زنده‌مانی و رفتار اولیه ملکه باید ثبت شود تا ارتباط روش دیاپوز با تخم‌گذاری پسادیپوز قابل بررسی باشد.

۷,۹. بکارگیری گاز CO₂ برای تحریک خروج از دیاپوز

در برخی پروتکل‌های پرورش زنبورهای مخملی، استفاده از گاز دی‌اکسیدکربن (CO₂) برای تحریک خروج از دیاپوز یا القای تخم‌گذاری پسادیپوز گزارش شده است (Röseler, 1985). این روش می‌تواند در شرایطی که ملکه‌ها پس از خروج از دیاپوز تخم‌گذاری را آغاز نمی‌کنند، به عنوان ابزار مدیریتی مورد توجه قرار گیرد. با این حال، گاز CO₂ نباید راحل عمومی برای همه شکست‌های پسادیپوز تلقی شود.

اثر گاز CO₂ می‌تواند به زمان استفاده، مدت تماس، تعداد دفعات اعمال، وضعیت فیزیولوژیک ملکه و شرایط نگهداری پیش و پس از آن وابسته باشد (Mader *et al.*, 2010). استفاده نادرست یا بی‌ضابطه ممکن است باعث افزایش تلفات، اختلال رفتاری یا تضعیف کیفیت کلنی بعدی شود (Gholipour *et al.*, 2023). بنابراین، اگر این روش در برنامه پرورش استفاده می‌شود، باید زمان اعمال، مدت تماس، تعداد دفعات، وضعیت ملکه پیش از تیمار و نتیجه پس از آن ثبت گردد.

در مقاله حاضر، بکارگیری گاز CO₂ به عنوان ابزار کمکی معرفی می‌شود، نه جایگزین مدیریت صحیح دیاپوز. اگر ملکه پیش از دیاپوز ضعیف بوده، شرایط نگهداری نامناسب بوده، بستر آلوده بوده یا خروج از دیاپوز به‌درستی انجام نشده باشد، استفاده از گاز CO₂ ممکن است نشانه شکست را پنهان کند، نه علت آن را برطرف کند.

۸,۹. ارزیابی موفقیت پسادیپوز

موفقیت دیاپوز فقط با زنده‌ماندن ملکه اندازه‌گیری نمی‌شود. ملکه‌ای که پس از دیاپوز زنده است اما تغذیه نمی‌کند، تخم‌گذاری را آغاز نمی‌کند، فقط نر تولید می‌کند یا کلنی ضعیفی تشکیل می‌دهد، از نظر پرورشی موفق محسوب نمی‌شود.

بنابراین، شاخص‌های پسادیپوز باید شامل زنده‌مانی، رفتار تغذیه‌ای، آغاز تخم‌گذاری، رشد لاروها، خروج نخستین گروه کارگران و کیفیت رشد کلنی باشد.

یکی از شاخص‌های مهم، فاصله زمانی بین خروج از دیپوز و شروع تخم‌گذاری است. تأخیر طولانی می‌تواند نشانه ضعف فیزیولوژیک، ذخایر انرژی ناکافی، جفت‌گیری ناموفق، شرایط نامناسب خروج یا مشکل در استقرار باشد. همچنین، اگر ملکه تخم‌گذاری کند اما کلنی به مرحله تولید کارگران نرسد، باید وضعیت تغذیه، سلامت ملکه، احتمال جفت‌گیری ناموفق و شرایط پسادیپوز بررسی شود.

در برنامه‌های چندنسلی، کیفیت پسادیپوز باید به منشأ ملکه، کلنی مادری، شرایط جفت‌گیری، وزن پیش از دیپوز، مدت دیپوز و شرایط خروج مرتبط شود. تنها از طریق این ارتباط می‌توان تشخیص داد کدام بخش از زنجیره پرورش نیازمند اصلاح است.

۹,۹. خطاهای رایج در مدیریت دیپوز

یکی از خطاهای رایج، ورود ملکه‌های ضعیف یا مشکوک به دیپوز فقط برای افزایش تعداد ذخیره پرورشی است. این کار معمولاً باعث افزایش تلفات یا تولید ملکه‌هایی می‌شود که پس از خروج، توان تأسیس کلنی ندارند. خطای دیگر، تمرکز بر زنده‌مانی کوتاه‌مدت و بی‌توجهی به کیفیت پسادیپوز است. زنده‌ماندن ملکه در پایان دیپوز مهم است، اما کافی نیست.

خطای دیگر، تغییر ناگهانی شرایط است؛ چه در ورود به دیپوز و چه در خروج از آن. انتقال ناگهانی، نوسان دما، رطوبت نامناسب، بستر آلوده و بازدیدهای زیاد می‌توانند کیفیت دیپوز را کاهش دهد (Beekman et al., 1998). همچنین، استفاده بی‌برنامه از گاز CO₂ یا کوتاه‌کردن بیش از حد دوره دیپوز ممکن است در ظاهر چرخه تولید را سریع‌تر کند، اما در نسل بعد باعث افت کیفیت کلنی شود (Gholipour et al., 2023).

در نهایت، مدیریت دیپوز زمانی موفق است که ملکه جفت‌گیری کرده بتواند پس از خروج، تخم‌گذاری مؤثر داشته باشد و کلنی جدیدی با کارگران سالم تشکیل دهد. بنابراین، دیپوز باید به‌عنوان بخشی فعال از زنجیره تولید دیده شود، نه صرفاً دوره‌ای برای زنده نگه‌داشتن ملکه‌ها.

۱۰. بیماری‌ها، آفات و بهداشت در سیستم پرورش

در پرورش آزمایشگاهی و نیمه‌صنعتی *B. terrestris*، بهداشت کلنی بخشی از مدیریت کیفیت و پایداری تولید است. کلنی‌های پرورشی معمولاً در فضای محدود، با تراکم جمعیتی بالاتر از شرایط طبیعی، تغذیه مصنوعی یا نیمه‌مصنوعی و پایش‌های منظم نگهداری می‌شوند. همین شرایط، اگر به درستی مدیریت نشود، می‌تواند گسترش کنه‌ها، پاتوژن‌ها، قارچ‌ها و آلودگی‌های ثانویه را تسهیل نماید. بنابراین، هدف از مدیریت بهداشت، فقط درمان کلنی بیمار نیست بلکه پیشگیری از ورود، گسترش و تثبیت عوامل بیماری‌زا در کل سیستم پرورش است (Strange et al., 2023).

۱.۱۰. کنه‌ها و آلودگی‌های همراه ملکه‌های وحشی

یکی از مسیرهای مهم ورود آلودگی به سیستم پرورش، ملکه‌هایی هستند که از طبیعت جمع‌آوری می‌شوند. این ملکه‌ها ممکن است حامل کنه‌ها، اسپورهای قارچی، عوامل بیماری‌زا یا آلودگی‌های سطحی باشند. حضور تعداد محدود کنه روی بدن ملکه همیشه به معنای حذف قطعی نیست، اما آلودگی شدید باید جدی گرفته شود زیرا می‌تواند نشانه تماس با محیط آلوده یا ضعف عمومی ملکه باشد (Modarres Hasani, 2024).

در زمان ورود ملکه به اتاق پرورش، بدن، زیر شکم، محل اتصال پاها، قفسه سینه، بال‌ها و نواحی پوشیده از مو باید از نظر حضور کنه یا آلودگی قابل مشاهده بررسی شوند. در آلودگی‌های خفیف، حذف مکانیکی کنه‌ها با ابزار مناسب و حداقل دستکاری ممکن است اما ملکه‌های دارای آلودگی شدید، رفتار غیرطبیعی یا ضعف آشکار نباید وارد جمعیت پایه شوند.

۲.۱۰. پاتوژن‌های مهم در کلنی‌های پرورشی

در میان عوامل بیماری‌زای گزارش شده در زنبورهای مخملی، پاتوژن‌هایی مانند *Nosema* و *Crithidia* اهمیت ویژه‌ای دارند، زیرا می‌توانند بر زنده‌مانی، توان تغذیه، رشد کلنی، تولیدمثل و کارایی گرده‌افشانی اثر بگذارند (Schmid-Hempel, 1998; Figueroa et al., 2023). این عوامل ممکن است از طریق ملکه‌های آلوده، کارگران، غذا، مواد بستر، تجهیزات یا تماس غیرمستقیم میان کلنی‌ها وارد سیستم پرورش شوند.

در مقاله حاضر هدف، مرور تفصیلی همه بیماری‌های زنبورهای مخملی نیست بلکه تأکید بر این نکته است که پاتوژن‌ها می‌توانند نرخ موفقیت پرورش را به شدت کاهش دهند و در برنامه‌های نیمه‌صنعتی به سرعت میان کلنی‌ها گسترش یابند (Figueroa et al., 2023; Strange et al., 2023). کلنی‌ای که رشد کند، تلفات غیرعادی، رفتار تغذیه‌ای ضعیف، کاهش فعالیت کارگران یا تولیدمثل نامطلوب نشان می‌دهد، باید از نظر احتمال آلودگی نیز بررسی شود، نه اینکه صرفاً به عنوان کلنی ضعیف کنار گذاشته شود.

در برنامه‌های پژوهشی، وجود پاتوژن‌ها می‌تواند نتایج آزمایش‌ها را مخدوش کند زیرا کلنی آلوده ممکن است در آزمایش‌های رفتاری، تغذیه‌ای یا سم‌شناسی پاسخی متفاوت از کلنی سالم نشان دهد. بنابراین، وضعیت سلامت کلنی‌ها باید تا حد امکان مشخص و در گزارش‌های پژوهشی ثبت شود.

۳،۱۰. قارچ، فساد غذا و آلودگی بستر

یکی از رایج‌ترین مشکلات در محیط‌های پرورشی، رشد قارچ و فساد مواد غذایی یا بستر است. ترکیب دمای نسبتاً بالا، رطوبت، تاریکی، بقایای گرده، محلول قندی و مواد آلی بستر می‌تواند محیط مناسبی برای رشد قارچ‌ها و آلودگی‌های ثانویه ایجاد کند. این مشکل به‌ویژه در کندوهای آغازین و کلنی‌های ضعیف، که مصرف غذا پایین‌تر است، بیش‌تر دیده می‌شود.

گرده مانده، محلول قندی آلوده، بستر مرطوب و تهویه نامناسب می‌توانند سلامت ملکه و لاروها را تهدید کنند (Treanore et al., 2021). بنابراین، کیفیت غذا و بستر باید به‌صورت منظم بررسی شود. هدف، تعویض افراطی و دستکاری مداوم نیست بلکه حذف به‌موقع منابع آشکار فساد است. اگر گرده کپک‌زده، بستر آلوده یا بوی غیرطبیعی در کندو مشاهده شود باید وضعیت کلنی، رطوبت، تهویه و برنامه تغذیه بازبینی شود.

در سیستم‌های نیمه‌صنعتی، آلودگی بستر فقط مشکل یک کلنی نیست. اگر ابزار، دستکش، ظروف غذا یا مواد بستر بین کلنی‌ها بدون ضدعفونی جابه‌جا شوند، آلودگی می‌تواند گسترش یابد. بنابراین، مدیریت بستر و غذا باید در سطح کل سیستم پرورش دیده شود، نه فقط در سطح یک کندو.

۴،۱۰. ضدعفونی تجهیزات و مدیریت تماس میان کلنی‌ها

تجهیزات پرورش، از جمله جعبه‌ها، ظروف تغذیه، ابزار جداسازی، برس‌ها، پنس‌ها، دستکش‌ها، محفظه‌های انتقال و سطوح کاری، می‌توانند مسیر انتقال آلودگی باشند. در واحدهای کوچک، این خطر گاهی نادیده گرفته می‌شود اما در تولید نیمه‌صنعتی، استفاده مشترک از ابزار بدون ضدعفونی می‌تواند آلودگی را میان تعداد زیادی کلنی پخش کند.

برنامه ضدعفونی باید ساده، قابل اجرا و منظم باشد. تجهیزات قابل شست‌وشو باید پس از استفاده تمیز و ضدعفونی شوند، ظروف غذا باید به‌صورت منظم تعویض یا استریل شوند و ابزارهایی که با کلنی مشکوک تماس داشته‌اند، نباید بدون پاک‌سازی وارد کلنی سالم شوند. نوع ماده ضدعفونی‌کننده، مدت تماس، شست‌وشوی نهایی و خشک‌کردن تجهیزات باید با ایمنی زنبورها و کارکنان سازگار باشد (Strange et al., 2023).

همچنین مسیر کار در اتاق پرورش باید مشخص باشد. رسیدگی به کلنی‌های سالم بهتر است پیش از کلنی‌های ضعیف یا مشکوک انجام شود و کلنی‌های دارای نشانه‌های آلودگی باید از مسیر کار کلنی‌های سالم جدا شوند.

۵,۱۰. قرنطینه کلنی‌ها و ملکه‌های مشکوک

قرنطینه یکی از ابزارهای اصلی جلوگیری از ورود و گسترش بیماری در سیستم پرورش است. ملکه‌های تازه جمع‌آوری شده از طبیعت، کلنی‌های وارداتی یا کلنی‌هایی که از واحدهای دیگر منتقل شده‌اند، نباید بلافاصله در کنار جمعیت اصلی قرار گیرند. یک دوره مشاهده و ارزیابی اولیه می‌تواند خطر ورود عوامل بیماری‌زا به سیستم را کاهش دهد (Mader et al., 2010; Ashouri et al., 2011).

قرنطینه فقط جداکردن فیزیکی نیست بلکه شامل استفاده از ابزار جداگانه، ثبت وضعیت سلامت، محدودکردن تماس با سایر کلنی‌ها، بررسی رفتار تغذیه‌ای، تلفات، آلودگی ظاهری و رشد اولیه است. اگر کلنی یا ملکه در دوره قرنطینه علائم غیرطبیعی نشان دهد، نباید وارد خط اصلی پرورش شود.

در برنامه‌های تولیدی، فشار برای حفظ تعداد کلنی‌ها نباید باعث نگهداری نمونه‌های مشکوک شود. حذف به‌موقع یک نمونه مشکوک معمولاً کم‌هزینه‌تر از گسترش آلودگی در چندین کلنی است.

۶,۱۰. حذف کلنی‌های آلوده یا کم‌کیفیت

همه مشکلات بهداشتی قابل اصلاح نیستند. اگر کلنی نشانه‌های پایدار بیماری، تلفات غیرعادی، آلودگی گسترده، رشد قارچ کنترل‌نشده، ضعف شدید جمعیت یا رفتار غیرطبیعی مداوم نشان دهد، باید از چرخه تولید خارج شود. تداوم نگهداری چنین کلنی‌هایی، به‌ویژه در فضای مشترک پرورش، می‌تواند به منبعی برای آلودگی و خطای مدیریتی تبدیل شود.

حذف کلنی باید بر اساس معیارهای مشخص و عینی صورت گیرد، نه بر مبنای حدس یا تعلل طولانی. این معیارها می‌تواند شامل تلفات پی‌درپی، نبود رشد با وجود شرایط مناسب، آلودگی ظاهری شدید، بوی غیرطبیعی، فساد گسترده بستر، کاهش شدید فعالیت کارگران یا احتمال انتقال بیماری به کلنی‌های سالم باشد. کلنی حذف‌شده نباید منبع نر، ملکه یا مواد غذایی برای کلنی‌های دیگر قرار گیرد.

پس از حذف کلنی، تجهیزات و محل نگهداری باید پاک‌سازی و ضدعفونی شوند. داده‌های مربوط به آن کلنی نیز باید حفظ شود، زیرا بررسی الگوی شکست‌ها می‌تواند منشأ مشکل را در منبع ملکه، تغذیه، بستر، تراکم، تهویه یا مدیریت بهداشتی نشان دهد.

۷، ۱۰. خطر انتقال بیماری به جمعیت‌های پرورشی و وحشی

پرورش *B. terrestris* فقط مسئله داخلی اتاق پرورش نیست. کلنی‌های پرورشی ممکن است برای گرده‌افشانی گلخانه‌ای، پژوهش‌های نیمه‌میدانی یا تولید انبوه استفاده شوند. بنابراین، خطر انتقال عوامل بیماری‌زا از کلنی‌های پرورشی به جمعیت‌های دیگر، یا ورود آلودگی از محیط بیرونی به واحد پرورش، باید جدی گرفته شود (Goulson et al., 2015).

کلنی‌هایی که برای استفاده در گلخانه یا محیط نیمه‌باز به کار می‌روند، باید پیش از انتقال از نظر سلامت عمومی بررسی شوند. همچنین، بازگرداندن کلنی‌های استفاده‌شده به واحد پرورش، بدون قرنطینه و بررسی، می‌تواند عوامل آلوده‌کننده جدید را وارد سیستم کند. بنابراین، بهداشت در پرورش *B. terrestris* فقط برای افزایش نرخ موفقیت تولید نیست؛ بخشی از مسئولیت زیستی و مدیریتی برنامه پرورش است.

در مجموع، مدیریت بیماری‌ها و آلودگی‌ها در پرورش *B. terrestris* باید بر پیشگیری، تشخیص زودهنگام و حذف به‌موقع استوار باشد. کنه‌ها، *Crithidia*، *Nosema*، قارچ‌های بستر، فساد غذا و آلودگی تجهیزات می‌توانند به‌تنهایی یا در ترکیب با تنش‌های محیطی، کیفیت کلنی‌ها را کاهش دهند. سیستم پرورشی موفق باید سلامت، منشأ و وضعیت بهداشتی کلنی‌ها را بشناسد و اجازه ندهد یک آلودگی محدود به شکست گسترده تبدیل شود (Figuerola et al., 2023).

۱۱. کاربرد پژوهشی و تولید انبوه

پرورش *B. terrestris* در دو مسیر اصلی معنا پیدا می‌کند؛ استفاده پژوهشی و تولید نیمه‌صنعتی یا انبوه. این دو مسیر به هم نزدیک‌اند، اما هدف و معیار موفقیت آن‌ها یکسان نیست. در پژوهش، کلنی باید استاندارد، قابل‌ردیابی و مناسب برای پاسخ‌دادن به پرسش علمی باشد. در تولید، کلنی باید سالم، قوی، یکنواخت، قابل‌حمل و از نظر عملکرد گرده‌افشانی یا تولید نسل بعد قابل اعتماد باشد. بنابراین، برنامه پرورش باید از ابتدا هدف کاربردی خود را مشخص کند.

۱۱، ۱. تفاوت هدف پژوهشی و هدف تولیدی

در کاربرد پژوهشی، کلنی *B. terrestris* معمولاً برای مطالعات رفتاری، فیزیولوژیکی، تغذیه‌ای، سم‌شناسی، ژنتیکی، اکولوژیکی یا گرده‌افشانی استفاده می‌شود. در چنین مطالعاتی، ارزش کلنی فقط به زنده‌بودن یا جمعیت بالا نیست بلکه به

مشخص بودن پیشینه، شرایط پرورش، سن کلنی، وضعیت ملکه، تغذیه، مرحله رشد و سلامت عمومی آن بستگی دارد. اگر این متغیرها کنترل یا ثبت نشوند، نتایج آزمایش ممکن است قابل تفسیر یا قابل مقایسه نباشد.

در مقابل، در تولید نیمه صنعتی، تمرکز اصلی بر تولید تعداد کافی کلنی های سالم و قابل استفاده است. در اینجا معیارهایی مانند سرعت رشد، جمعیت کارگران، سلامت کلنی، توان گرده افشانی، ماندگاری در حمل و نقل، سازگاری با گلخانه و قابلیت تولید پیوسته اهمیت بیشتری پیدا می کند (Ashouri et al., 2011). با این حال، تولید پایدار زمانی شکل می گیرد که شاخص های پژوهشی و داده های عملکردی وارد مدیریت تولید شوند.

۱.۲.۱۱. استاندارد سازی کلنی برای پژوهش

در پژوهش های آزمایشگاهی، استفاده از کلنی های ناهمگن یکی از منابع اصلی خطا است. کلنی هایی که از نظر سن، اندازه، تغذیه، منشأ، مرحله رشد یا وضعیت بیماری متفاوت اند، ممکن است در برابر یک تیمار مشابه پاسخ های متفاوتی نشان دهند. بنابراین، پیش از استفاده از کلنی در آزمایش، باید سن کلنی و نسبت خویشاوندی کنترل شود (Treanore et al., 2021).

برای بسیاری از مطالعات، لازم است کلنی ها بر اساس مرحله رشد همسان سازی شوند، نه فقط بر اساس تاریخ تقویمی. دو کلنی که همزمان مستقر شده اند، ممکن است از نظر تعداد کارگران یا وضعیت لاروها در مراحل متفاوتی باشند. در چنین مواردی، مقایسه آن ها بدون توجه به مرحله واقعی رشد می تواند نتیجه را مخدوش کند. بنابراین، شاخص هایی مانند زمان خروج نخستین دسته کارگران، تعداد کارگران فعال، وجود لاروهای در حال رشد و وضعیت تخم گذاری ملکه باید در طراحی آزمایش لحاظ شوند.

در گزارش های علمی نیز باید اطلاعات اصلی کلنی ها ذکر شود؛ منشأ کلنی، شرایط نگهداری، نوع تغذیه، مرحله رشد، تعداد تقریبی کارگران، وضعیت ملکه، سابقه دیابوز و هرگونه تیمار پیشین. نبود این اطلاعات، تکرارپذیری پژوهش و مقایسه نتایج میان مطالعات را دشوار می کند.

۱.۳.۱۱. افزایش مقیاس تولید بدون افت کیفیت

افزایش تعداد کلنی ها در تولید نیمه صنعتی فقط با زیاد کردن تعداد ملکه ها یا جعبه های پرورش انجام نمی شود. با افزایش مقیاس، خطاهای کوچک مدیریتی می توانند به مشکلات گسترده تبدیل شوند؛ ناهماهنگی در تغذیه، تفاوت در زمان بندی

بازدید، ضعف ثبت داده‌ها، آلودگی متقاطع، کمبود نیروی آموزش‌دیده یا کاهش دقت در انتخاب ملکه‌ها و کلنی‌های مادری. بنابراین، مقیاس‌پذیری باید بر پایه روش‌های یکنواخت و قابل اجرا باشد، نه تجربه فردی چند نفر.

در تولید نیمه‌صنعتی، هر مرحله باید روش مشخص داشته باشد؛ دریافت یا جمع‌آوری ملکه، استقرار، تغذیه، پایش رشد، تولید ملکه، جفت‌گیری، دیاپوز، خروج از دیاپوز و آماده‌سازی کلنی برای استفاده. اگر هر کاربر یا هر شیفت کاری روش متفاوتی داشته باشد، کیفیت کلنی‌ها یکنواخت نخواهد بود. همچنین، کلنی‌هایی که رشد کند، تلفات بالا، ضعف ملکه، علائم آلودگی یا تولیدمثل نامطلوب دارند باید بر اساس معیارهای روشن از خط تولید خارج شوند. کیفیت یکنواخت برای تولید پایدار مهم‌تر از افزایش عددی کوتاه‌مدت است.

۴.۱۱. مدیریت داده‌ها و ردیابی نسل‌ها

در هر دو مسیر پژوهشی و تولیدی، داده‌ها ابزار کنترل کیفیت‌اند. هر کلنی باید شناسه مشخص داشته باشد و این شناسه باید به ملکه پایه، کلنی مادری، نر یا خط‌پدری، جفت‌گیری، دیاپوز، رشد کلنی و وضعیت سلامت متصل شود. این ردیابی به‌ویژه در برنامه‌های چندنسلی اهمیت دارد، زیرا بدون آن نمی‌توان اثر منشأ، جفت‌گیری، دیاپوز یا تغذیه را بر عملکرد نسل‌های بعدی بررسی کرد.

در تولید انبوه، داده‌ها باید هم کاربردی باشند و هم قابل ثبت در عمل. فرم‌های طولانی و پیچیده که تکمیل نمی‌شوند، ارزش مدیریتی ندارند. بهتر است شاخص‌های کلیدی انتخاب شوند؛ منشأ ملکه، تاریخ‌های اصلی رشد، وضعیت سلامت، تعداد تقریبی کارگران، تولید ملکه و نر، تلفات، وضعیت دیاپوز و نتیجه پسادیاپوز. ثبت یکنواخت همین شاخص‌ها برای شناسایی خطوط موفق، حذف خطوط ضعیف و اصلاح روش‌های پرورش کافی است.

ردیابی نسل‌ها همچنین برای مدیریت هم‌خونی ضروری است. اگر منشأ ملکه‌ها و نرها مشخص نباشد، در نسل‌های بعد احتمال جفت‌گیری‌های نزدیک افزایش می‌یابد و کیفیت کلنی‌ها کاهش می‌یابد (Ashouri et al., 2011). از این رو، سیستم ثبت داده باید به مثابه ابزاری برای تصمیم‌گیری ژنتیکی و مدیریتی عمل کند، نه اینکه صرفاً گزارشی از عملکرد کلنی باشد.

۵.۱۱. معیارهای کلنی قابل استفاده یا قابل عرضه

در پایان فرایند پرورش، باید روشن باشد که چه کلنی‌ای برای پژوهش، گرده‌افشانی یا ادامه تولید مناسب است. کلنی قابل استفاده، کلنی‌ای نیست که صرفاً زنده باشد. برای کاربرد پژوهشی، کلنی باید مرحله رشد مشخص، پیشینه ثبت‌شده، شرایط

تغذیه معلوم، وضعیت سلامت قابل قبول و جمعیت متناسب با طرح آزمایش داشته باشد. برای کاربرد تولیدی یا گرده افشانی، علاوه بر این موارد، قدرت جمعیت، فعالیت کارگران، پایداری ملکه، مصرف منظم غذا و نبود نشانه‌های آلودگی اهمیت دارد.

در تولید کلنی برای استفاده گلخانه‌ای، معیارهایی مانند تعداد کارگران فعال، وجود نسل‌های در حال رشد، توان خروج و بازگشت کارگران، سلامت ظاهری، نبود آلودگی آشکار و قابلیت حمل باید بررسی شود (Zabihi, 2021; Gholipour et al., 2023; Hosseini, 2024; Modarres Hasani et al., 2024). کلنی‌هایی که جمعیت بسیار ضعیف، رفتار غیرطبیعی، تلفات بالا یا آلودگی مشکوک دارند، نباید برای استفاده کاربردی عرضه شوند، زیرا شکست آن‌ها اعتماد مصرف‌کننده و کیفیت برنامه تولید را تضعیف می‌کند.

در برنامه‌های پژوهشی نیز باید از استفاده بی‌ضابطه از کلنی‌های نامناسب پرهیز شود. کلنی ضعیف یا آلوده ممکن است پاسخ‌های غیرواقعی ایجاد کند و نتیجه آزمایش را مخدوش سازد. بنابراین، پیش از ورود کلنی به آزمایش، باید معیارهای پذیرش تعریف شود و کلنی‌هایی که این معیارها را ندارند حذف یا جداگانه تحلیل شوند.

۶.۱۱. پیوند پژوهش و تولید

پرورش موفق *B. terrestris* در بلندمدت زمانی شکل می‌گیرد که پژوهش و تولید از هم جدا نمانند. پژوهش می‌تواند عوامل مؤثر بر رشد، تغذیه، جفت‌گیری، دیاپوز، سلامت و عملکرد گرده افشانی را روشن کند؛ تولید نیز داده‌های واقعی درباره نرخ موفقیت، تلفات، ضعف‌های اجرایی و نیازهای کاربردی فراهم می‌کند. اگر این دو مسیر از هم جدا شوند، پژوهش ممکن است از مسائل عملی دور شود و تولید بر تجربه‌های محدود و آزمون و خطا تکیه کند.

در توسعه پرورش نیمه‌صنعتی، ارتباط میان آزمایشگاه و واحد تولیدی باید دوطرفه باشد. آزمایشگاه فقط تولیدکننده مقاله نیست و واحد تولیدی فقط مصرف‌کننده دستورالعمل نیست. داده‌های تولیدی می‌توانند پرسش‌های پژوهشی دقیق‌تری ایجاد کنند و نتایج پژوهش می‌توانند به اصلاح پروتکل‌های پرورش، کاهش تلفات و افزایش کیفیت کلنی‌ها کمک کنند.

در مجموع، کاربرد پژوهشی و تولید انبوه *B. terrestris* زمانی موفق است که کلنی‌ها به‌عنوان واحدهای زیستی قابل ارزیابی مدیریت شوند. استانداردسازی شرایط، کنترل کیفیت، مدیریت نسل‌ها و تعریف معیارهای عرضه یا استفاده، پایه تبدیل پرورش آزمایشگاهی به تولید قابل اعتماد است. بدون این چارچوب، افزایش تعداد کلنی‌ها لزوماً به معنای افزایش کیفیت یا پایداری تولید نخواهد بود.

۱۲. تجاری‌سازی، وضعیت ایران و ملاحظات اقتصادی

تجاری‌سازی *B. terrestris* در جهان، نتیجه پیوند میان نیاز کشاورزی کنترل‌شده، کارایی گرده‌افشانی این گونه و امکان پرورش آن در شرایط آزمایشگاهی و نیمه‌صنعتی است. استفاده از کلنی‌های تجاری زنبور مخملی، به‌ویژه در گلخانه‌هایی مانند گوجه‌فرنگی و برخی محصولات باغی، سبزی و صیفی، توانسته‌است بخشی از وابستگی به گرده‌افشانی دستی یا روش‌های کم‌کارآمدتر را کاهش دهد (Ashouri et al., 2011; Cooley & Vallejo-Marín, 2021). با این حال، تجاری‌سازی این گونه فقط به تولید تعداد زیادی کلنی محدود نیست بلکه به دانش فنی، کنترل کیفیت، مدیریت بیماری، حمل‌ونقل، پشتیبانی مصرف‌کننده و رعایت الزامات زیست‌محیطی وابسته‌است.

۱،۱۲. روند جهانی تجاری‌سازی *B. terrestris*

در چند دهه گذشته، *B. terrestris* به یکی از مهمترین گونه‌های مورد استفاده در گرده‌افشانی تجاری تبدیل شده‌است (Velthuis & Van Doorn, 2006). دلیل این جایگاه، ترکیبی از چند ویژگی است؛ قابلیت پرورش در شرایط کنترل‌شده، تشکیل کلنی‌های قابل‌مدیریت، فعالیت در شرایط نوری و دمایی متنوع، و کارایی بالا در گرده‌افشانی برخی محصولات گلخانه‌ای. همین ویژگی‌ها سبب شده‌اند تولید و عرضه کلنی‌های زنبور مخملی به بخشی از نهاده‌های زیستی کشاورزی تبدیل شود.

با این وجود، تجربه جهانی نشان می‌دهد که تجاری‌سازی موفق باید با استانداردهای بهداشتی، کنترل منشأ جمعیت، مدیریت ژنتیکی و دستورالعمل‌های مصرف همراه باشد (Quinlan et al., 2022; Strange et al., 2023). کلنی تجاری ضعیف یا آلوده فقط یک محصول ناموفق نیست؛ می‌تواند اعتماد مصرف‌کننده را کاهش دهد و خطر انتقال بیماری یا آسیب به جمعیت‌های محلی گرده‌افشان را افزایش دهد.

۲،۱۲. وضعیت ایران و وابستگی به واردات کلنی

در ایران، گسترش گلخانه‌ها و نیاز به گرده‌افشان‌های کارآمد، زمینه توجه به زنبورهای مخملی را فراهم کرده‌است (Morandin & Winston, 2005; Ashouri et al., 2011). با این حال، تولید پایدار و گسترده کلنی‌های *B. terrestris* همچنان با محدودیت‌هایی روبه‌رو است و در برخی موارد، استفاده کاربردی از این زنبورها به واردات کلنی یا اتکا به منابع خارجی وابسته بوده‌است (Ashouri et al., 2011). این وابستگی از نظر اقتصادی، فنی و زیست‌محیطی اهمیت دارد، زیرا قیمت، زمان تأمین، سلامت کلنی و منشأ جمعیت همیشه در اختیار کامل مصرف‌کننده یا پژوهشگر داخلی نیست.

اتکا به کلنی‌های آماده می‌تواند توسعه دانش فنی بومی را نیز به تأخیر اندازد. اگر بخش عمده نیاز از طریق کلنی وارداتی تأمین شود، مهارت‌هایی مانند تولید ملکه، جفت‌گیری، مدیریت دیپوز، کنترل بیماری و حفظ خطوط پرورشی در داخل کشور به‌صورت محدود یا پراکنده شکل می‌گیرد. بنابراین، هدف توسعه داخلی نباید فقط جایگزینی واردات باشد بلکه باید ایجاد توان پرورش پایدار، قابل‌ردیابی و سازگار با نیازهای پژوهشی و تولیدی کشور باشد.

۳،۱۲. ظرفیت‌های پژوهشی و فنی داخلی

توسعه پرورش *B. terrestris* در ایران می‌تواند بر پایه ظرفیت‌های دانشگاهی، گروه‌های حشره‌شناسی و پژوهش‌های مرتبط با گرده‌افشان‌ها دنبال شود (Abdolghaderpour, 2020; Zabihi, 2021; Gholipour, 2021; Mousavi, 2021; Gholipour et al., 2023; Sarlak et al., 2023; Sarlak, 2023; Modarres Hasani et al., 2024; Modarres Hasani, 2024; Gholami, 2023; Hosseini, 2024; Bahraminejad, 2026). این ظرفیت‌ها در صورتی ارزش عملی پیدا می‌کند که به تدوین پروتکل‌های بومی، ارزیابی جمعیت‌های محلی، بهینه‌سازی تغذیه، مدیریت دیپوز و طراحی واحدهای نیمه‌صنعتی متصل شود.

با این حال، پژوهش زمانی به دانش کاربردی تبدیل می‌شود که میان آزمایشگاه، واحد پرورش، گلخانه و نظام نظارتی تعامل عملی برقرار باشد. پژوهش جدا از نیازهای تولید، معمولاً در حد انتشار مقاله باقی می‌ماند و تولید بی‌بهره از پژوهش نیز به آزمون و خطای پرهزینه محکوم خواهد بود.

۴،۱۲. موانع اصلی توسعه تولید داخلی

موانع توسعه تولید داخلی *B. terrestris* را می‌توان در چند گروه خلاصه کرد؛ کمبود زیرساخت تخصصی پرورش، محدودیت دسترسی به جمعیت‌های پایه سالم و شناسایی‌شده، ضعف استانداردهای قرنطینه و پایش بیماری، نبود دستورالعمل‌های یکنواخت برای تولید، و فاصله میان پژوهش دانشگاهی و تولید عملی. ترکیب این عوامل می‌تواند نرخ موفقیت تولید را کاهش دهد و تداوم چرخه پرورش را دشوار کند.

یکی از خطاهای رایج، ساده‌سازی بیش از حد فرایند تولید است. پرورش *B. terrestris* فقط تهیه جعبه، غذا و تعدادی ملکه نیست. اگر تولید ملکه، جفت‌گیری، دیپوز، سلامت کلنی، تنوع ژنتیکی و معیار عرضه کنترل نشود، تولید داخلی ممکن است در ظاهر آغاز شود اما در چند نسل با افت کیفیت، افزایش تلفات یا ناپایداری اقتصادی روبه‌رو گردد.

از نظر اقتصادی، تولید نیمه‌صنعتی *B. terrestris* زمانی قابل دفاع است که هزینه پرورش، نرخ موفقیت ملکه‌ها، درصد تشکیل کلنی، تلفات دیابوز، کیفیت کلنی نهایی و تقاضای بازار هم‌زمان ارزیابی شوند. افزایش تعداد ملکه‌های ورودی، بدون افزایش نرخ موفقیت در مراحل کلیدی، لزوماً به تولید اقتصادی منجر نمی‌شود. اگر درصد زیادی از ملکه‌ها تخم‌گذاری نکنند، در دیابوز تلف شوند یا کلنی‌های ضعیف تولید کنند، هزینه واقعی هر کلنی قابل عرضه بالا خواهد رفت.

بنابراین، تحلیل اقتصادی باید بر پایه شاخص‌های زیستی باشد، نه فقط برآورد تعداد کلنی. شاخص‌هایی مانند نرخ تخم‌گذاری، خروج نخستین گروه کارگران، بقای دیابوز و درصد کلنی‌های قابل عرضه تعیین می‌کنند که تولید واقعاً پایدار و اقتصادی می‌باشد یا خیر. بدون این داده‌ها، هر برآورد اقتصادی درباره تولید داخلی بیش از حد خوش‌بینانه خواهد بود.

۶, ۱۲. مسیر پیشنهادی برای توسعه مسئولانه در ایران

مسیر منطقی برای توسعه پرورش *B. terrestris* در ایران، حرکت مرحله‌ای از پژوهش کنترل‌شده به تولید نیمه‌صنعتی استاندارد است. در گام نخست، باید جمعیت‌های پایه سالم و شناسایی‌شده، شرایط استقرار و تغذیه، روش‌های جفت‌گیری، مدیریت دیابوز و معیارهای سلامت کلنی در شرایط داخلی بررسی شوند. در گام بعد، پروتکل‌های قابل تکرار برای واحدهای کوچک و متوسط تدوین و تولید نیمه‌صنعتی تحت نظام پایش بهداشتی، ثبت داده و ارزیابی عملکرد انجام شود.

توسعه مسئولانه یعنی تولید داخلی همراه با کنترل منشأ جمعیت، جلوگیری از هم‌خونی، پایش بیماری، رعایت قرنطینه و توجه به خطرات زیست‌محیطی. اگر این اصول از ابتدا رعایت نشوند، تولید داخلی ممکن است همان مشکلات واردات کنترل‌نشده را در مقیاس داخلی بازتولید کند.

در مجموع، تجاری‌سازی *B. terrestris* در ایران می‌تواند فرصتی برای کاهش وابستگی، توسعه دانش فنی و پشتیبانی از کشاورزی کنترل‌شده باشد اما این فرصت فقط زمانی به نتیجه می‌رسد که تولید بر پایه کنترل کیفیت، پایش سلامت، مدیریت ژنتیکی و ارتباط واقعی میان پژوهش و کاربرد شکل گیرد. تجاری‌سازی موفق در این حوزه، با ساختن نظامی قابل اعتماد برای تولید کلنی‌های سالم، یکنواخت و قابل‌ردیابی تعریف می‌شود.

۱۳. مخاطرات زیست‌محیطی و الزامات قرنطینه‌ای

پرورش و استفاده از *B. terrestris* در پژوهش، گلخانه و تولید نیمه‌صنعتی، در کنار مزایای پرورشی و گرده‌افشانی، با مخاطرات زیست‌محیطی مشخصی همراه است. این مخاطرات زمانی اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند که کلنی‌ها میان مناطق مختلف جابه‌جا شوند، از جمعیت‌های غیر بومی استفاده شود، یا تماس مستقیم یا غیرمستقیم میان زنبورهای پرورشی و گرده‌افشان‌های وحشی رخ دهد. بنابراین، استفاده مسئولانه از این گونه باید همراه با قرنطینه، پایش سلامت، کنترل منشأ جمعیت و جلوگیری از رهاسازی کنترل‌نشده باشد (Dafni et al., 2010; Goka, 2010; Ashouri et al., 2011).

۱.۱۳. فرار یا رهاسازی کنترل‌نشده کلنی‌ها

یکی از مهم‌ترین نگرانی‌ها در استفاده از کلنی‌های پرورشی، فرار کارگران، نرها یا ملکه‌ها از محیط پرورش یا گلخانه است. اگر منافذ خروج، تهویه، درها یا سامانه‌های توری به‌درستی مدیریت نشوند، زنبورها ممکن است از فضای کنترل‌شده خارج شوند و با جمعیت‌های محلی تماس پیدا کنند. این تماس می‌تواند خطر انتقال بیماری، رقابت غذایی یا آمیختگی ژنتیکی را افزایش دهد (Ashouri et al., 2011).

رهاسازی کنترل‌نشده، حتی به‌صورت غیر عمدی، از منظر زیست‌محیطی قابل چشم‌پوشی نیست. کارگران خارج‌شده ممکن است از منابع گل اطراف گلخانه استفاده کنند و نرها یا ملکه‌های خارج‌شده، در صورت زنده‌مانی و جفت‌گیری، پیامدهای ژنتیکی یا اکولوژیک بیشتری ایجاد کنند. بنابراین، هر واحد پرورش یا استفاده گلخانه‌ای باید برای جلوگیری از خروج زنبورها، پایش فرار احتمالی و حذف ایمن کلنی پس از پایان دوره استفاده، سازوکار مشخص داشته باشد.

در کاربردهای پژوهشی نیز آزمایش‌های نیمه‌میدانی یا گلخانه‌ای نباید بدون ارزیابی مسیرهای خروج، خطر تماس با گونه‌های محلی و روش جمع‌آوری یا حذف کلنی پس از پایان آزمایش اجرا شوند.

۲.۱۳. رقابت با گونه‌های بومی گرده‌افشان

B. terrestris گونه‌ای توانمند در بهره‌برداری از منابع گل و گرده است و در برخی شرایط می‌تواند با گرده‌افشان‌های بومی بر سر منابع غذایی رقابت کند (Dafni et al., 2010; Goka, 2010). این رقابت به‌ویژه زمانی اهمیت دارد که کلنی‌های پرورشی در تراکم بالا وارد یک محیط شوند یا در دوره‌هایی استفاده شوند که منابع گل محدود است. در چنین شرایطی، حضور کلنی‌های پرورشی ممکن است فشار بیشتری بر گونه‌های بومی وارد کند.

رقابت فقط به مصرف شهد و گرده محدود نیست. حضور تعداد زیادی زنبور پرورشی می‌تواند الگوی بازدید از گل‌ها، دسترسی گرده‌افشان‌های بومی به منابع و ترکیب گرده‌افشان‌های فعال در یک زیستگاه را تغییر دهد. در محیط‌های گلخانه‌ای بسته، این مسئله کمتر مطرح است اما در گلخانه‌های دارای نشت زیستی، محیط‌های نیمه‌باز یا استفاده مزرعه‌ای، باید جدی‌تر ارزیابی شود.

از نظر مدیریتی، کاهش این خطر نیازمند محدود کردن تماس کلنی‌های پرورشی با زیستگاه‌های طبیعی، استفاده از توری و موانع مناسب، پایش خروج زنبورها و پرهیز از رهاسازی کلنی‌های پایان‌دوره است. پیش از استفاده گسترده در هر منطقه نیز وضعیت گرده‌افشان‌های بومی و امکان رقابت با آن‌ها باید بررسی شود.

۳، ۱۳. انتقال بیماری به جمعیت‌های وحشی

یکی از جدی‌ترین مخاطرات زیست‌محیطی در تجاری‌سازی و جابه‌جایی زنبورهای مخملي، انتقال پاتوژن‌ها از کلنی‌های پرورشی به جمعیت‌های وحشی است. عواملی مانند *Nosema*، *Crithidia* و برخی پاتوژن‌های دیگر می‌توانند از طریق تماس مستقیم، استفاده مشترک از گل‌ها، آلودگی گرده یا تعاملات غیرمستقیم میان زنبورهای پرورشی و وحشی منتقل شوند (Ashouri et al., 2011; Burkle et al., 2013).

این خطر زمانی افزایش می‌یابد که کلنی‌های تجاری یا پژوهشی بدون پایش سلامت وارد گلخانه یا محیط نیمه‌باز شوند. حتی کلنی‌هایی که از نظر ظاهری سالم به نظر می‌رسند، ممکن است حامل آلودگی‌های پنهان باشند. بنابراین، سلامت ظاهری به‌تنهایی برای ارزیابی ایمنی زیستی کافی نیست و باید تا حد امکان از روش‌های پایش، قرنطینه و کنترل بهداشتی استفاده شود.

اگر کلنی‌های آلوده وارد چرخه تولید شوند یا پس از تماس با محیط بیرونی به واحد پرورش بازگردد، می‌تواند آلودگی را در جمعیت پرورشی نیز گسترش دهد. بنابراین، تفکیک کلنی‌های استفاده‌شده در محیط گلخانه‌ای یا نیمه‌باز از جمعیت مادری و رعایت قرنطینه بازگشتی ضروری است.

۴، ۱۳. آمیختگی ژنتیکی و جابه‌جایی جمعیت‌ها

جابه‌جایی *B. terrestris* میان مناطق مختلف، به‌ویژه زمانی که از جمعیت‌های غیربومی یا وارداتی استفاده می‌شود، می‌تواند خطر آمیختگی ژنتیکی با جمعیت‌های محلی را ایجاد کند (Goka, 2010; Ashouri et al., 2011; Goulson et al., 2015; Medina et al., 2021). اگر نرها یا ملکه‌های پرورشی از سیستم کنترل‌شده خارج شوند و با جمعیت‌های

محلی جفت‌گیری کنند، ساختار ژنتیکی جمعیت‌های بومی ممکن است تغییر کند. چنین تغییری می‌تواند سازگاری محلی، تنوع ژنتیکی و پایداری جمعیت‌های طبیعی را تحت تأثیر قرار دهد.

این مسئله در مناطقی که جمعیت‌های بومی یا سازگار شده *B. terrestris* وجود دارد، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. استفاده بی‌ضابطه از کلنی‌های وارداتی ممکن است در کوتاه‌مدت راحلی آسان برای تأمین نیاز گلخانه‌ها به نظر برسد، اما در بلندمدت پیامدهای اکولوژیک و ژنتیکی ایجاد کند. بنابراین، منشأ جمعیت مورد استفاده باید مشخص باشد و استفاده از جمعیت‌های غیربومی فقط در چارچوب ارزیابی خطر و مقررات قرنطینه‌ای انجام گیرد.

در برنامه‌های پرورشی داخلی نیز باید از جابه‌جایی بی‌قاعده خطوط پرورشی میان مناطق مختلف پرهیز شود. ثبت منشأ، محدود کردن جابه‌جایی و جلوگیری از فرار افراد جنسی، از اصول اساسی مدیریت زیست‌محیطی است.

۵.۱۳. الزامات قرنطینه در واردات و جابه‌جایی کلنی‌ها

واردات یا جابه‌جایی کلنی‌های *B. terrestris* باید با نظام قرنطینه‌ای مشخص همراه باشد. قرنطینه در این سطح باید شامل شناسایی منشأ جمعیت، بررسی اسناد سلامت، ارزیابی آلودگی‌های احتمالی، کنترل پاتوژن‌ها، جداسازی اولیه و محدودیت تماس با جمعیت‌های داخلی یا وحشی باشد (Ashouri et al., 2011). بدون چنین نظامی، واردات یا جابه‌جایی کلنی می‌تواند مسیر ورود بیماری‌ها، کنه‌ها یا خطوط ژنتیکی نامناسب به منطقه یا کشور باشد.

قرنطینه فقط به لحظه ورود محدود نمی‌شود. کلنی‌های وارداتی یا جابه‌جا شده باید در طول دوره استفاده نیز پایش شوند و پس از پایان دوره، به‌صورت کنترل‌شده حذف یا مدیریت گردند. بازگرداندن کلنی‌های استفاده‌شده به واحد تولید، رهاسازی آن‌ها در طبیعت یا استفاده مجدد بدون ارزیابی سلامت، خطر انتقال آلودگی را افزایش می‌دهد.

در سطح داخلی نیز جابه‌جایی کلنی‌ها میان استان‌ها، گلخانه‌ها یا واحدهای تولیدی باید مستند و قابل‌ردیابی باشد. هر کلنی باید منشأ، وضعیت سلامت، تاریخ انتقال، مقصد و وضعیت نهایی مشخص داشته باشد. نبود این اطلاعات، پیگیری منشأ آلودگی یا ارزیابی پیامدهای زیست‌محیطی را دشوار می‌کند.

۶.۱۳. اصول استفاده مسئولانه در گلخانه و محیط‌های کنترل‌شده

استفاده مسئولانه از *B. terrestris* در گلخانه به‌معنای استفاده از کلنی سالم، قابل‌ردیابی و مهار شده‌است. گلخانه باید از نظر امکان خروج زنبورها بررسی شود؛ منافذ و تهویه‌ها باید با توری مناسب پوشانده شوند و ورود و خروج کارکنان

به‌گونه‌ای مدیریت شود که زنبورها از محیط کنترل‌شده خارج نشوند. همچنین، کلنی باید در جایی قرار گیرد که هم عملکرد گرده‌افشانی مناسب داشته باشد و هم از گرما، رطوبت بیش از حد، آفت‌کش‌ها یا دستکاری نامناسب آسیب نبیند.

استفاده از کلنی‌های زنبور مخملی در گلخانه باید با مدیریت آفت‌کش‌ها هماهنگ باشد، زیرا برخی ترکیبات شیمیایی می‌توانند بر زنده‌مانی، رفتار تغذیه‌ای، جهت‌یابی و کارایی گرده‌افشانی زنبورها اثر منفی بگذارند (Gholipour et al., 2023; Raine & Rundlöf, 2024; Bahraminejad, 2026). بنابراین، زمان مصرف آفت‌کش، نوع ترکیب، دوره پرهیز و امکان محافظت از کلنی باید در برنامه مدیریت گلخانه لحاظ شود.

پس از پایان دوره استفاده، کلنی نباید بدون برنامه رها شود. بسته به مقررات و هدف استفاده، کلنی باید حذف ایمن، قرنطینه، یا به‌صورت کنترل‌شده از چرخه استفاده خارج شود تا خطر فرار افراد، انتقال بیماری یا تماس با جمعیت‌های وحشی کاهش یابد.

۷،۱۳. جمع‌بندی الزامات زیست‌محیطی

مخاطرات زیست‌محیطی *B. terrestris* به‌معنای نفی پرورش یا استفاده از این گونه نیست بلکه نشان می‌دهد که پرورش و تجاری‌سازی آن باید در چارچوب مدیریت مسئولانه انجام شود. فرار از گلخانه، رقابت با گونه‌های بومی، انتقال بیماری، آمیختگی ژنتیکی و جابه‌جایی بی‌ضابطه کلنی‌ها، مهم‌ترین خطراتی هستند که باید از ابتدا در طراحی برنامه پرورش و استفاده لحاظ شوند.

در عمل، کاهش این خطرات به چند اصل وابسته است؛ استفاده از جمعیت‌های دارای منشأ مشخص، پایش سلامت، قرنطینه، جلوگیری از خروج کنترل‌نشده، حذف ایمن کلنی‌های پایان‌دوره، ثبت جابه‌جایی‌ها و ارزیابی اثرات احتمالی بر گرده‌افشان‌های بومی. در صورت عدم رعایت این اصول، همان فناوری که برای ارتقای گرده‌افشانی به کار گرفته می‌شود، می‌تواند به عاملی در جهت تهدید جمعیت‌های گرده‌افشان بومی تبدیل گردد.

۱۴. جمع‌بندی و توصیه‌های کاربردی

پرورش آزمایشگاهی و نیمه‌صنعتی *B. terrestris* زمانی موفق است که به‌عنوان یک زنجیره کامل مدیریت شود، نه مجموعه‌ای از اقدامات جداگانه. انتخاب منبع جمعیت، جمع‌آوری ملکه، استقرار، تغذیه، رشد کلنی، تولید ملکه، جفت‌گیری، دیابوز، بهداشت و مدیریت زیست‌محیطی به هم وابسته‌اند. بنابراین، معیار موفقیت فقط زنده‌ماندن یا افزایش تعداد کلنی نیست بلکه تولید کلنی سالم، قابل‌ردیابی، قابل‌تکرار و ایمن از نظر زیستی است.

برای پژوهشگران، مهمترین توصیه آن است که کلنی *B. terrestris* را به عنوان یک واحد آزمایشی استاندارد تعریف کنند. منشأ ملکه، تاریخ جمع‌آوری یا خروج از دیپوز، شرایط استقرار، نوع تغذیه، زمان تخم‌گذاری، خروج نخستین دسته کارگران، وضعیت سلامت، سابقه جفت‌گیری و شرایط دیپوز باید ثبت شود. بدون این اطلاعات، نتایج پژوهش‌های رفتاری، تغذیه‌ای، فیزیولوژیک، سم‌شناسی یا گرده‌افشانی به‌سختی قابل تفسیر و مقایسه خواهد بود. همچنین، کلنی‌های ضعیف، آلوده یا دارای پیشینه نامشخص نباید بدون تفکیک وارد آزمایش شود.

برای متخصصان حشره‌شناسی و تولیدکنندگان، اولویت اصلی باید ارتقای کیفیت چرخه پرورش باشد، نه افزایش سریع تعداد کلنی‌ها. تولید پایدار زمانی شکل می‌گیرد که ملکه‌های پایه سالم انتخاب شوند، کلنی‌های مادری بر اساس معیارهای روشن گزینش گردند، نرها و ملکه‌ها با منشأ مشخص مدیریت شوند، جفت‌گیری کنترل شود، دیپوز به‌درستی انجام گیرد و کلنی‌های ضعیف یا مشکوک به‌موقع حذف شوند. افزایش مقیاس، بدون ثبت داده، پایش بیماری، کنترل هم‌خونی و استانداردسازی روش‌ها، به افت کیفیت و افزایش تلفات منجر خواهد شد.

برای دانشگاه‌ها، مراکز پژوهشی و سیاست‌گذاران، توسعه *B. terrestris* باید در قالب برنامه‌ای مسئولانه و مرحله‌مند دنبال شود. حمایت از واحدهای پرورش استاندارد، تدوین دستورالعمل‌های قرنطینه، پایش سلامت کلنی‌ها، شناسایی و حفاظت از جمعیت‌های بومی، جلوگیری از واردات یا جابه‌جایی بی‌ضابطه و ایجاد ارتباط واقعی میان آزمایشگاه، گلخانه و تولیدکننده ضروری است. پرورش این گونه می‌تواند به کاهش وابستگی، ارتقای پژوهش‌های حشره‌شناسی و بهبود گرده‌افشانی کنترل‌شده کمک کند اما فقط در صورتی که با مدیریت علمی، بهداشتی و زیست‌محیطی همراه باشد.

در نهایت، ظرفیت *B. terrestris* برای پژوهش و تولید نیمه‌صنعتی زمانی بالفعل می‌شود که پرورش آن بر پایه شناخت زیست‌شناسی گونه، ثبت دقیق داده‌ها، کنترل کیفیت، مدیریت بیماری، حفظ تنوع ژنتیکی و رعایت الزامات قرنطینه‌ای انجام گیرد. پرورش مسئولانه این زنبور، فقط تولید کلنی نیست؛ ساختن نظامی قابل اعتماد برای پژوهش، تولید و استفاده ایمن از یک گرده‌افشان ارزشمند است.

سپاس‌گزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از سرکار خانم‌ها معصومه غلامی و زهرا حسینی و آقایان معید عبدالقادرپور، آرمین ذبیحی و سیدکاظم موسوی، به‌سبب مشارکت علمی ارزشمند و سخاوتمندانه آنان در اختیار قرار دادن داده‌ها، یافته‌ها و اطلاعات حاصل از پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد خود، که بخشی از مبانی علمی و اطلاعات مورد استفاده در تدوین پژوهش حاضر را فراهم ساخته است، صمیمانه قدردانی و سپاس‌گزاری نمایند.

Semi-Industrial Rearing of the Bumblebee *Bombus terrestris*: Colony Management, Queen Production, and Responsible Commercialization

Extended Abstract

The bumblebee *Bombus terrestris* is one of the most widely used species in controlled pollination, entomological research, and the commercial production of bumblebee colonies for pollination services. The ability of *B. terrestris* to establish manageable colonies under controlled conditions, together with its high pollination efficiency and broad research applications, has made it an important species in both applied entomology and protected agriculture. However, successful rearing of this species is not a simple or merely empirical process. It requires the coordinated management of a sequence of biological, technical, sanitary, genetic, and environmental factors, from the selection of the population source and establishment of overwintered queens to colony growth, queen production, mating, diapause, disease control, and responsible commercial use.

This article provides an applied review of the main principles involved in semi-industrial rearing of *B. terrestris*, with attention to the needs of researchers, entomologists, and small- to medium-scale production units. Although laboratory-based procedures are discussed where relevant, the primary emphasis is on practical principles applicable to semi-industrial colony production and management. Unlike general reviews that focus mainly on pollination value or commercial use, this article integrates biological traits, colony management, queen production, diapause, sanitary control, genetic considerations, quarantine, commercialization, and the Iranian context into a single applied framework.

The review first discusses the biological and behavioral traits that directly affect rearing success, including the social organization of the colony, annual colony cycle, thermoregulation, feeding behavior, nutritional dependence on sugar sources and pollen, and the suitability of *B. terrestris* for controlled colony production. It then examines the importance of selecting an appropriate species and population source. Queen origin, correct species identification, health status, genetic diversity, and the risks associated with imported or poorly documented populations are emphasized as key factors in the establishment of a sustainable rearing program.

A major part of successful production depends on the proper collection, transfer, and establishment of overwintered queens. The timing of queen collection, reduction of transport

stress, initial health screening, individual coding, and establishment in a stable and low-disturbance starter nest can strongly affect oviposition and early colony development. During the initial stage of colony formation, environmental stability, appropriate nutrition, and careful management of inspection and food replacement are essential for successful oviposition, larval development, and emergence of the first workers.

The article also reviews the transition from colony initiation to active colony growth. Oviposition alone should not be considered sufficient evidence of successful colony establishment; rather, colony success should be evaluated through larval development, pupation, emergence of the first workers, worker activity, food consumption, and continued queen performance. For research purposes, colonies should be treated as standardized biological units whose origin, age, developmental stage, feeding history, health status, and diapause background are recorded. For production purposes, colony strength, queen stability, worker population, absence of visible disease, and suitability for transport or greenhouse use are central criteria.

Queen production, mating management, and diapause are critical for maintaining a continuous rearing cycle. Not all colonies are suitable as mother colonies, and not all newly emerged queens should enter the next generation. Queen quality, male origin, mating conditions, genetic diversity, and avoidance of inbreeding must be considered. Diapause management is another key step, because queen survival during diapause does not necessarily guarantee successful post-diapause colony founding. Substrate, temperature, humidity, darkness, diapause duration, gradual emergence, and the possible use of CO₂ treatments should be approached cautiously and documented systematically.

The review further emphasizes the importance of disease control, colony hygiene, quarantine, and responsible commercialization. Mites, fungal contamination, spoiled food, contaminated equipment, and pathogens such as *Nosema* and *Crithidia* can reduce colony performance and may spread within rearing systems or to wild pollinator populations. In Iran, the growing demand for pollination services in greenhouse production highlights the need for reliable technical knowledge and locally adapted rearing systems. Semi-industrial *B. terrestris* rearing may help reduce dependence on imported colonies, support applied entomological research, and improve controlled pollination; however, such development should be gradual, traceable, and accompanied by health monitoring, genetic management, quarantine measures, and environmental safeguards.

Sustainable *B. terrestris* production depends on the integration of biological knowledge, technical management, disease prevention, genetic stewardship, and environmental responsibility. Long-term success therefore requires a standardized and traceable rearing system rather than the isolated application of individual production techniques. Responsible rearing of this species is not merely the production of colonies, but the establishment of a reliable system for research, semi-industrial production, and safe use of an important pollinator.

Keywords

Bombus terrestris, colony health, colony management, diapause, Iran, mating, quarantine, queen production, responsible commercialization, semi-industrial rearing

مقاله پذیرفته شده در مجله انتشار

- Abdolghaderpour, M. (2020). *A study on the nesting strategies of bumblebees (Bombus spp.)* (Master's thesis, University of Tehran, Tehran, Iran). (In Persian).
- Alaux, C., Jaisson, P., & Hefetz, A. (2005). Reproductive decision-making in semelparous colonies of the bumblebee *Bombus terrestris*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 59(2), 298-305. <https://doi.org/10.1007/s00265-005-0035-6>
- Amsalem, E., & Grozinger, C. M. (2017). Evaluating the molecular, physiological and behavioral impacts of CO₂ narcosis in bumble bees (*Bombus impatiens*). *Journal of Insect Physiology*, 101, 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2017.06.014>
- Amsalem, E., Santos, P. K., Messner, E., & Murray, C. (2025). Gyne production is regulated by the brood in a social bee (*Bombus impatiens*). *Royal Society Open Science*, 12(8), 241906. <https://doi.org/10.1098/rsos.241906>
- Ashouri, A., Tabadkani, S. M., & Kishani Farahani, H. (2011). *Bumblebees: ecology, rearing, application*. Tehran University Jihad Organization, Tehran, Iran. (In Persian).
- Baer, B., & Schmid-Hempel, P. (2001). Unexpected consequences of polyandry for parasitism and fitness in the bumblebee, *Bombus terrestris*. *Evolution*, 55(8), 1639–1643. <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2001.tb00683.x>
- Bahraminejad, K. (2026). *Interactions of carbon dioxide and plastic pollution on biological characteristics of the bumblebee Bombus terrestris* (Master's thesis, University of Tehran, Tehran, Iran). (In Persian).
- Baloglu, G. H., & Gürel, F. (2015). The effects of pollen protein content on colony development of the bumblebee, *Bombus terrestris* L. *Journal of Apicultural Science*, 59(1), 93-102. <https://doi.org/10.1515/jas-2015-0009>

Barie, K. (2022). Environmental and social factors affecting gyne and brood physiology in the bumble bee *Bombus impatiens*.

Baron, G. L., Jansen, V. A., Brown, M. J., & Raine, N. E. (2017). Pesticide reduces bumblebee colony initiation and increases probability of population extinction. *Nature Ecology & Evolution*, 1(9), 1308-1316. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0260-1>

Beekman, M., Van Stratum, P., & Lingeman, R. (1998). Diapause survival and post-diapause performance in bumblebee queens (*Bombus terrestris*). *Entomologia experimentalis et applicata*, 89(3), 207-214. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.1998.00401.x>

Beekman, M., Van Stratum, P., & Veerman, A. (1999). Selection for non-diapause in the bumblebee *Bombus terrestris*, with notes on the effect of inbreeding. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 93(1), 69-75. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.1999.00563.x>

Belsky, J. E., Camp, A. A., & Lehmann, D. M. (2020). The importance of males to bumble bee (*Bombus* species) nest development and colony viability. *Insects*, 11(8), 506. <https://doi.org/10.3390/insects11080506>

Bogo, G., De Manincor, N., Fisogni, A., Galloni, M., & Bortolotti, L. (2017). Effects of queen mating status, pre-diapause weight and pupae's sex on colony initiation in small-scale rearing of *Bombus terrestris*. *Apidologie*, 48(6), 845-854. <https://doi.org/10.1007/s13592-017-0529-z>

Bourke, A. F. G. (2011). Principles of social evolution. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199231157.001.0001>

Burkle, L. A., Marlin, J. C., & Knight, T. M. (2013). Plant-pollinator interactions over 120 years: loss of species, co-occurrence, and function. *Science*, 339(6127), 1611-1615. <https://doi.org/10.1126/science.1232728>

Cameron, S. A., Hines, H. M., & Williams, P. H. (2007). A comprehensive phylogeny of the bumble bees (*Bombus*). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 48(2), 344-358. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2008.04.018>

Cappellari, A., Mei, M., Lopresti, M., & Cerretti, P. (2018). BumbleKey: an interactive key for the identification of bumblebees of Italy and Corsica (Hymenoptera, Apidae). *ZooKeys*, (784), 127. <https://doi.org/10.3897/zookeys.784.25765>

Chittka, L., & Thomson, J. D. (2001). Cognitive ecology of pollination: animal behavior and floral evolution. Cambridge University Press.

Christman, M. E., Barkan, N. P., Campion, C., Heraghty, S. D., Keaveny, E. C., Verble, K. M., ... & Strange, J. P. (2023). It is buzziness time: rearing, mating, and overwintering *Bombus vosnesenskii* (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Insect Science*, 23(5), 18. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iead089>

Cnaani, J., Schmid-Hempel, R., & Schmidt, J. O. (2002). Colony development, larval development and worker reproduction in *Bombus impatiens* Cresson. *Insectes Sociaux*, 49, 164–170. <https://doi.org/10.1007/s00040-002-8297-8>

Cooley, H., & Vallejo-Marín, M. (2021). Buzz-pollinated crops: a global review and meta-analysis of the effects of supplemental bee pollination in tomato. *Journal of economic entomology*, 114(2), 505-519. <https://doi.org/10.1093/jee/toab009>

Dafni, A., Kevan, P., Gross, C. L., & Goka, K. (2010). *Bombus terrestris*, pollinator, invasive and pest: An assessment of problems associated with its widespread introductions for commercial purposes. *Applied Entomology and Zoology*, 45(1), 101-113. <https://doi.org/10.1303/aez.2010.101>

Denlinger, D. L. (2022). Exploiting tools for manipulating insect diapause. *Bulletin of Entomological Research*, 112(6), 715-723. <https://doi.org/10.1017/S000748532100016X>

Duchateau, M. J., & Velthuis, H. H. W. (1988). Development and reproductive strategies in *Bombus terrestris* colonies. In A. Matheson (Ed.), *Bumblebees for pollination* (pp. 43–57). Academic Press. <https://doi.org/10.1163/156853988X00340>

Figueroa, L. L., Sadd, B. M., Tripodi, A. D., Strange, J. P., Colla, S. R., Adams, L. D., ... & Inouye, D. W. (2023). Endosymbionts that threaten commercially

raised and wild bumble bees (*Bombus* spp.). *Journal of Pollination Ecology* , 33 ,14. [https://doi.org/10.26786/1920-7603\(2023\)713](https://doi.org/10.26786/1920-7603(2023)713)

Free ,J. B. (1987). *Pheromones of social bees*. Cornell University Press.

Furse ,S. ,Koch ,H. ,Wright ,G. A. ,& Stevenson ,P. C. (2023). Sterol and lipid metabolism in bees. *Metabolomics* ,19(9) ,78. <https://doi.org/10.1007/s11306-023-02039-1>

Gholami, M. (2023). *Investigation of the relative increase of oxygen on Bombus terrestris* (Master's thesis, University of Tehran, Tehran, Iran). (In Persian).

Gholipour Faramarzi, F. (2021). *The impact of CO₂ on learning and memory duration of Bombus terrestris* (Master's thesis, University of Tehran, Tehran, Iran). (In Persian).

Gholipour, F. F., Goldansaz, S. H., Bandani, A. R., & Ashouri, A. (2023, September 18–20). *The negative impact of CO₂ on pollination performance of Bombus terrestris* [Poster presentation]. 4th Iranian International Congress of Entomology, Razi University, Kermanshah, Iran. [Abstract ID: 1218-IICE4]

Goka ,K. (2010). Introduction to the special feature for ecological risk assessment of introduced bumblebees: Status of introduced and native bumblebees ,and associated parasites in Japan. *Applied Entomology and Zoology* ,45 ,1–7. <https://doi.org/10.1303/aez.2010.1>

Gosterit, A. (2016). Adverse effects of inbreeding on colony foundation success in bumblebees, *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae). *Applied Entomology and Zoology*, 51(4), 521-526. <https://doi.org/10.1007/s13355-016-0427-2>

Goulson ,D. (2003). *Bumblebees: Their behaviour and ecology*. Oxford University Press.

Goulson ,D. (2010). *Bumblebees: Behaviour ,ecology ,and conservation* (2nd ed.). Oxford University Press.

Goulson ,D. ,Nicholls ,E. ,Botías ,C. ,& Rotheray ,E. L. (2015). Bee declines driven by combined stress from parasites ,pesticides ,and lack of flowers. *Science* , 347(6229) ,1255957. <https://doi.org/10.1126/science.1255957>

Gurel ,F. ,& BA ,K. (2013). Techniques to increase queen production in *Bombus terrestris* L. colonies. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* ,19(2). <http://doi.org/10.9775/kvfd.2012.7613>

Gurel ,F. ,& Gosterit ,A. (2008). Effects of different stimulation methods on colony initiation and development of *Bombus terrestris* L. queens. *Applied Entomology and Zoology* ,43(1) ,113–117. <https://doi.org/10.1303/aez.2008.113>.

Heinrich, B. (1979). *Bumblebee economics* Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts.

Heinrich ,B. (2004). *Bumblebee economics*. Harvard University Press.

Holland, J. G., & Bourke, A. F. (2015). Colony and individual life-history responses to temperature in a social insect pollinator. *Functional Ecology*, 29(9), 1209–1217. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12480>

Hosseini, Z. (2024). *The role of nest materials in Bombus terrestris (Hymenoptera: Apidae) diapause process* (Master's thesis, University of Tehran, Tehran, Iran). (In Persian).

Keller ,L. ,& Genoud ,M. (1997). Extraordinary lifespans in ants: A test of evolutionary theories of ageing. *Nature* ,389(6654) ,958–960. <https://doi.org/10.1038/40130>

Klein ,S. ,Cabirol ,A. ,Devaud ,J. M. ,Barron ,A. B. ,& Lihoreau ,M. (2017). Why bees are so vulnerable to environmental stressors. *Trends in Ecology & Evolution* ,32(4) ,268–278. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2016.12.009>

Kwon ,Y. J. ,Amin ,M. R. ,& Suh ,S. J. (2006). Mating propensity of *Bombus terrestris* reared in different photoperiodic regimes. *Apidologie* ,37(6) ,679–686. <https://doi.org/10.1051/apido:2006047>

- Lau ,P. W. ,Esquivel ,I. L. ,Parys ,K. A. ,Hung ,K. L. J. ,& Chakrabarti ,P. (2023). The nutritional landscape in agroecosystems: a review on how resources and management practices can shape pollinator health in agricultural environments. *Annals of the Entomological Society of America* ,116(5) ,261-275. <https://doi.org/10.1093/aesa/saad023>
- Leung ,K. ,Beukeboom ,L. W. ,& Zwaan ,B. J. (2025). Inbreeding and outbreeding depression in wild and captive insect populations. *Annual review of entomology* ,70(1) ,271-292. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-022924-020221>
- Mader ,E. ,Spivak ,M. ,& Evans ,E. (2010). Managing alternative pollinators. NRAES ,Ithaca ,NY.
- Maebe, K., Hart, A. F., Marshall, L., Vandamme, P., Vereecken, N. J., Michez, D., & Smagghe, G. (2021). Bumblebee resilience to climate change, through plastic and adaptive responses. *Global change biology*, 27(18), 4223-4237. <https://doi.org/10.1111/gcb.15751>
- Mark ,S. (2014). Buzz pollination and its ecological significance. *Annual Review of Ecology & Evolution & Systematics* ,45 ,123–143. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-120213-091831>
- Mayer ,C. (2004). Pollination services under different grazing intensities. *International Journal of Tropical Insect Science* ,24(1) ,95–103. <https://doi.org/10.1079/IJT20047>
- Medina, L., Brown, M. J. F., & Plischuk, S. (2021). Long-term field exposure to glyphosate affects bumblebee gut microbiota and survival. *Science of the Total Environment*, 774, 145837. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145837>
- Michener ,C. D. (2007). The bees of the world (2nd ed.). Johns Hopkins University Press.
- Modarres Hasani, S. A. (2024). *Queen-worker interaction in caste determination of bumblebees* (Doctoral dissertation, University of Tehran, Tehran, Iran). (In Persian).

Modarres Hasani, S. A., Ashouri, A., & Bandani, A. (2024). Increasing queen production of the bumblebee *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae) using pyriproxyfen. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 54(2), 285–299. <https://doi.org/10.22059/ijpps.2023.361360.1007034>. (In Persian).

Moerman, R., Vanderplanck, M., Fournier, D., Jacquemart, A.-L., Glogowski, F., Rasmont, P., De Jonghe, R., & Michez, D. (2017). Pollen nutrients better explain bumblebee colony development than pollen diversity. *Insect Conservation and Diversity*, 10(2), 116–128. <https://doi.org/10.1111/icad.12213>

Monfared, A., Talebi, A., Tahmasebi, A., Ebrahimi, A., & Williams, P. (2007). Abundance and species diversity of bumblebees (Hymenoptera: Apidae: *Bombus* spp.) in mountainous regions of two provinces of Iran. In *Proceedings of the First National Beekeeping Seminar*, November 21–22, 2007, Tehran, Iran, p. 25. (In Persian).

Morandin, L. A., & Winston, M. L. (2005). Wild bee abundance and seed production in conventional, organic, and genetically modified canola. *Ecological Applications*, 15(3), 871–881. <https://doi.org/10.1890/03-5271>

Mousavi, S. K. (2021). *Optimization of sugar source in laboratory rearing of bumblebees Bombus terrestris (Hymenoptera: Apidae)* (Master's thesis, University of Tehran, Tehran, Iran). (In Persian).

Nasir, M., Saeed, S., Ahmad, M., & Aziz, M. A. (2019). Effect of different diapause conditions on *Bombus terrestris* colony characteristics. *Pakistan Journal of Zoology*, 51(4), 1273. <http://doi.org/10.17582/journal.pjz/2019.51.4.1273.1280>

Ollerton, J. (2006). Plant-pollinator interactions.

Otterstatter, M. C., & Thomson, J. D. (2008). Does pathogen spillover from commercially reared bumble bees threaten wild pollinators?. *PloS one*, 3(7), e2771. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002771>

Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6), 345–353.

Quinlan, M. M., Mumford, J. D., Messori, S., Enkerlin, W. R., Shimura, J., Smith, L., ... & Torres, G. (2022). Issues and gaps in international guidance and national regulatory systems affecting international live insect trade. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)*, 41(1), 198-210. <https://doi.org/10.20506/rst.41.1.3317>

Raine, N. E., & Rundlöf, M. (2024). Pesticide exposure and effects on non-Apis bees. *Annual review of entomology*, 69(1), 551-576. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-040323-020625>

Röseler, P.-F. (1970). Unterschiede in der Kastendetermination zwischen den Hummelarten *Bombus hypnorum* und *Bombus terrestris*. *Zeitschrift für Naturforschung B*, 25(5), 543-548. <https://doi.org/10.1515/znb-1970-0521>

Röseler, P. F. (1985). A technique for year-round rearing of *Bombus terrestris* (Apidae, Bombini) colonies in captivity. *Apidologie*, 16(2), 165-170. <https://doi.org/10.1051/apido:19850206>

Ryder, J. T., Cherrill, A., Thompson, H. M., & Walters, K. F. (2021). Lower pollen nutritional quality delays nest building and egg laying in *Bombus terrestris audax* micro-colonies leading to reduced biomass gain. *Apidologie*, 52(6), 1033-1047. <https://doi.org/10.1007/s13592-021-00885-3>

Sarlak, S. (2024). *Responses of social bees to noxious stimuli and stress* (Doctoral dissertation, University of Tehran, Tehran, Iran). (In Persian).

Sarlak, S., Ashouri, A., & Goldansaz, S. H. (2023). Avoidance learning in *Bombus terrestris audax* (Hymenoptera: Apidae): response to electric shock in a simulated environment. *Journal of Entomological Society of Iran*, 43(4), 323–335. <https://doi.org/10.61186/jesi.43.4.1>. (In Persian).

Schmid-Hempel, P. (1998). *Parasites in social insects*. Princeton University Press.

Schmid-Hempel ,P. (2011). Evolutionary parasitology: The integrated study of infections ,immunology ,ecology ,and genetics. Oxford University Press.

Strange ,J. P. ,Colla ,S. R. ,Adams ,L. D. ,Duennes ,M. A. ,Evans ,E. C. ,Figuerola ,L. L. ,... & Inouye ,D. W. (2023). An evidence-based rationale for a North American commercial bumble bee clean stock certification program. *Journal of pollination ecology* ,33 ,1. [https://doi.org/10.26786/1920-7603\(2023\)721](https://doi.org/10.26786/1920-7603(2023)721)

Tasei, J.-N., & Aupinel, P. (2008). Nutritive value of 15 single pollens and pollen mixes tested on larvae produced by bumblebee workers (*Bombus terrestris*, Hymenoptera: Apidae). *Apidologie*, 39(4), 397-409. <http://dx.doi.org/10.1051/apido:2008017>

Treanore, E., Barie, K., Derstine, N., Gadebusch, K., Orlova, M., Porter, M., ... & Amsalem, E. (2021). Optimizing laboratory rearing of a key pollinator, *Bombus impatiens*. *Insects*, 12(8), 673. <https://doi.org/10.20506/rst.41.1.3317>

Vallejo-Marín, M. (2022). How and why do bees buzz? Implications for buzz pollination. *Journal of experimental botany*, 73(4), 1080-1092. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab428>

Vanbergen ,A. J. ,& Initiative ,T. I. P. (2013). Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment* ,11(5) ,251–259. <https://doi.org/10.1890/120126>

Vaudo, A. D., Farrell, L. M., Patch, H. M., Grozinger, C. M., & Tooker, J. F. (2018). Consistent pollen nutritional intake drives bumble bee (*Bombus impatiens*) colony growth and reproduction across different habitats. *Ecology and Evolution*, 8(11), 5765-5776. <https://doi.org/10.1002/ece3.4115>

Velthuis ,H. H. W. ,& Van Doorn ,A. (2006). A century of advances in bumblebee domestication and the economic and environmental aspects of its commercialization for pollination. *Apidologie* ,37(4) ,421–451. <https://doi.org/10.1051/apido:2006019>

Votavová, A., Tomčala, A., Kofroňová, E., Kudzejová, M., Šobotník, J., Jiroš, P., ... & Valterová, I. (2015). Seasonal dynamics in the chemistry and structure of the

fat bodies of bumblebee queens. *PloS one*, 10(11), e0142261.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142261>

Whitehorn, P. R., Tinsley, M. C., Brown, M. J., Darvill, B., & Goulson, D. (2009). Impacts of inbreeding on bumblebee colony fitness under field conditions. *BMC evolutionary biology*, 9(1), 152.
<https://doi.org/10.1186/1471-2148-9-152>

Williams P. H. (1998). An annotated checklist of bumble bees with an analysis of patterns of description (Hymenoptera: Apidae :Bombini). Bulletin of the Natural History Museum. Entomology Series ,67(1) ,79–152.

Woodard S. H. ,Duennes M. A. ,Watrous K. M. ,& Jha S. (2019). Diet and nutritional status during early adult life have immediate and persistent effects on queen bumble bees. *Conservation Physiology* ,7(1) ,coz048.
<https://doi.org/10.1093/conphys/coz048>

Wynants, E., Lenaerts, N., Wäckers, F., Oystaeyen, A. v., & Vanderplanck, M. (2021). Thermoregulation dynamics in commercially reared colonies of the bumblebee *Bombus terrestris*. *Physiological Entomology*, 46(2), 158-168.
<https://doi.org/10.1111/phen.12350>

Zabihi, A. (2021). *The role of substrate in the overwintering process of the bumblebee Bombus terrestris (Hymenoptera: Apidae)* (Master's thesis, University of Tehran, Tehran, Iran). (In Persian).

Zhao X. ,Jiang J. ,Pang Z. ,Ma W. ,Jiang Y. ,Fu Y. ,& Liu Y. (2024). Tracking existing factors directly affecting the reproduction of bumblebees: Current knowledge. *Insects* ,15(9) ,654. <https://doi.org/10.3390/insects15090654>

Zhou Z. ,Zhang H. ,Mashilingi S. K. ,Jie C. ,Guo B. ,Guo Y. ,... & An J. (2024). *Bombus terrestris* prefer mixed-pollen diets for a better colony performance: A laboratory study. *Insects* ,15(4) ,285. <https://doi.org/10.3390/insects15040285>