ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی موم در گونه‌های مختلف زنبوران عسل

جنس Apis (Hymenoptera: Apoidea: Apidae)

گرد آوری و ترجمه[1] تقی قاسمی خادمی: کارشناس ارشد معاونت پژوهشی جهاد دانشگاهی واحد استان اردبیل

موم زنبوران عسل[2] ماده‌ای است که توسط سه جفت از چهار جفت غده‌های زیرشکمی و در سنین خاصی (از سیزدهمین تا هجدهمین روز پس از تولد)، توسط زنبوران عسل کارگر تولید می‌شود. این ماده در زندگی زنبوران عسل دارای کاربردهای مختلفی است که از آن جمله می‌توان به استفاده از موم جهت: ساخت لانه‌ها یا سلول‌های شش گوشه‌ای شان، پُر نمودن تمام منافذ و درزهای کندو با قطر بیش از هفت میلی‌متر، پوشاندن سر سلول‌های محتوی عسل و سلول‌های محتوی لارو در حال رشد و تکوین و ... اشاره نمود.

موم نوعی ماده واحد و بخصوصی بوده و از ترکیب مواد مختلفی شامل: هیدروکربن‌ها، اسیدهای چرب، الکل‌ها، انواع اِستِرها و ... تشکیل شده است. موم در دمای حدود ۶۳ درجه سانتی‌گراد ذوب و در دمای حدود ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد بخار می‌شود. این ماده از آب سبک‌تر بوده و وزن مخصوص آن بین ۰/۹۵ تا ۰/۹۶ می‌باشد. لازم به ذکر است که شیره‌ی معده انسان قادر به تجزیه موم نمی‌باشد. رنگ موم تازه معمولا سفید است که به تدریج به زردی می‌گراید. موم در آب و الکل نامحلول بوده و در کلروفرم به راحتی حل می‌گردد (شهرستانی، ۱۳۹۰).

ترکیبات شیمیایی و ویژگی‌های فیزیکی موم‌های زنبوران عسل در طی سالیان متمادی توسط دانشمندان مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. در یکی از مهم‌ترین این مطالعات، Narayana در سال ۱۹۷۰ و نیز Phadke و همکاران در سال ۱۹۷۱ هر دو به این نتیجه رسیدند که متوسط طول زنجیره‌ی کربنی در موم سه گونه از زنبوران عسل آسیایی شامل: آپیس سِرانا، آپیس دورساتا و آپیس فلورا کوتاه‌تر از زنبورعسل اروپایی (*A. mellifera*) بوده و این مسئله دلیلی بر دماهای پایین ذوب موم

۱) مطالب مربوط به ترجمه از کتاب "Honeybees of Asia" تالیف پروفسور Hepburn و پروفسور Radloff (2011) خلاصه برداری شده است.

2) Bees waxes

در این زنبوران عنوان شده است.

با پیشرفت‌های قابل توجه در شناسایی ساختار شیمیایی موم و ابداع تکنیک‌های جدید شامل تکنیک‌های کروماتوگرافی گاز-مایع[3] و کروماتوگرافی لایه نازک[4] نتایج بعدی در این مورد حاصل گردیده است. بطوری که Tulloch در سال ۱۹۸۰ گزارش نمود که سه گونه از زنبورعسل آسیایی شامل *A. cerana*، *A. dorsata* و *A. florea* از لحاظ ترکیبات شیمیایی تشکیل دهنده‌ی موم تشابهات بیش‌تری نسبت بهم در مقایسه با زنبورعسل اروپایی *A. mellifera* دارند.

در آزمایش دیگری Aichholz و Lorbeer در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ با استفاده از روش کروماتوگرافی گازی، ترکیبات شیمیایی موم شش گونه از زنبوران عسل شامل گونه‌های *A. cearana*، *A. andreniformis*، *A. laboriosa*، *A. florea*، *A. dorsata* و *A. mellifera* را مورد بررسی قرار دادند.

آن ها نشان دادند که موم این زنبوران ترکیبات پیچیده‌ای از لیپیدهای خنثی[5] و همسان[6] محتوی دامنه‌ای از ۲۰ تا ۶۴ مولکول‌های طویل کربنی می‌باشند. در بررسی دیگری Aichholz و همکاران در سال ۲۰۰۰ و با استفاده از روش کروماتوگرافی گازی، الگوی ویژه‌ای برای موم هر گونه از زنبوران عسل بدست آوردند، به طوری‌که نسبت و کمیت ترکیبات مختلف و در برخی موارد نوع ترکیبات تشکیل دهنده‌ی موم هر گونه مختص همان گونه بوده و متفاوت از گونه‌ی دیگر بود. بطور مثال دیئن‌ها[7] فقط در موم زنبوران عسل ریز *(A. Andreniformis)* حضور داشته و در موم هیچ کدام از گونه‌های دیگر زنبوران عسل وجود ندارد (جدول ۱).

در کل Aichholz و همکاران با تجمیع اطلاعات حاصل از آزمایشات خود و نتایج پژوهش‌های قبلی به این نتیجه رسیدند که آلکان‌ها[8]، آلکن‌ها[9]، اسیدهای چرب آزاد[10]، مونواِستِرها[11]، دی اِستِرها[12] و هیدروکسی مونو اِستِرها[13] ترکیبات اصلی موم را تشکیل داده و الکل‌های چرب[14] و هیدروکسی دی اِستِرها[15] به مقدار جزئی در موم زنبوران عسل وجود دارند (جدول ۱). با نگاه دقیق‌تر به جدول (۱-۱) و مقادیر کمی ترکیبات تشکیل دهنده‌ی موم در هر گونه و حضور و عدم حضور برخی ترکیبات در برخی از گونه‌ها درمی‌یابیم که هر گونه از زنبوران عسل الگوی ویژه و منحصر بفردی از لحاظ نوع و کمیت ترکیبات تشکیل دهنده‌ی موم دارا می‌باشد.

خانواده‌های ترکیبات	*A. andreniformis*	*A. florea*	*A. cerana*	*A. mellifera*	*A. dorsata*	*A. laboriosa*
مجموع آلکان‌ها	۱۸/۵	۱۲/۵	۱۱/۴	۱۲/۸	۱۰/۸	۱۰/۸
مجموع آلکن‌ها	۵/۹	۷/۵	۷/۴	۲/۹	۰/۶	۵/۳
مجموع دیئن‌ها	۳/۴	---	---	---	---	---
مجموع هیدروکربن‌ها	۲۷/۸	۲۰	۱۸/۸	۱۵/۷	۱۱/۴	۱۶/۱
مجموع اسیدهای چرب	۲/۶	۰/۸	۳/۶	۱۸	۴/۹	¾
مجموع الکل‌های چرب	---	۰/۴	۱/۸	۰/۶	---	---
مجموع مونو اِستِرها	۲۷/۵	۴۱/۱	۳۳/۴	۴۰/۸	۳۶/۹	۳۷/۵
مجموع هیدروکسی مونو اِستِرها	۱۳/۶	۹/۱	۱۸/۱	۹/۲	۲۳/۳	۲۳/۶
مجموع دی اِستِرها	۱۲/۹	۱۵/۷	۱۲/۲	۷/۴	۱۱/۹	۸/۸
مجموع هیدروکسی دی استرها	۳/۹	۲/۳	۳	---	۱/۴	۱/۱
مجموع استرها	۵۷/۹	۶۸/۲	۶۶/۷	۵۷/۴	۷۳/۵	۷۱
کل	۸۸/۳	۸۹/۴	۹۰/۹	۹۱/۷	۸۹/۸	۹۱/۴

جدول۱- ترکیبات اصلی موم شان در گونه‌های مختلف زنبوران عسل (Aichholz and Lorbeer, 1999).

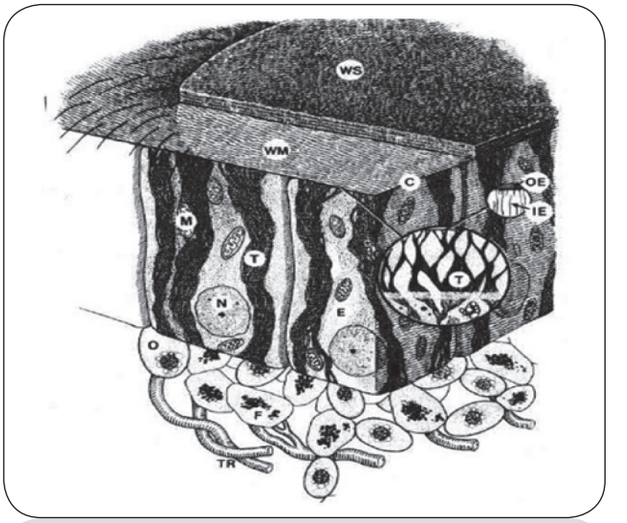
در کل، اختلافات ویژه و قابل توجهی در ترکیبات موم بین گونه‌های مختلف زنبوران عسل وجود دارد. ولی در هر حال همه‌ی گونه‌های زنبوران عسل در داشتن ترکیب پیچیده‌ای از لیپیدهای خنثی و هومولوگ باهم مشترک می‌باشند که از جمله‌ی آن ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

آلکان‌ها (C25-C29)، مونو اِستِرها (C40-C54)، هیدروکسی مونو اِستِرها (C42-C52) و دی اِستِرها (C56-C58) (Aichholz and Lorbeer, 1999; Aichholz et al., 2000).

از طرفی دیگر، اگر دانش امروزی دانشمندان زنبورعسل جهان

3) gas–liquid chromatography
4) Thin layer chromatography (TLC)
5) Neutral
6)Homologous
7) Diene
8) Alkanes
9) Alkenes
10) Free fatty acids
11) Monoesters
12) Diesters
13) Hydroxy-monoesters
14) Fatty alcohols
15) Hydroxydiesters

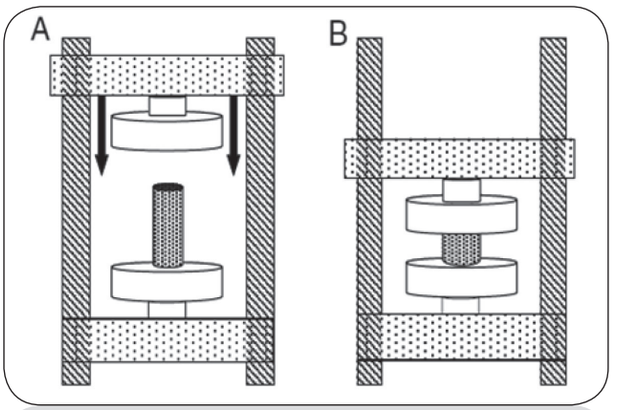
دربارهی ترکیب شیمیایی موم تولیدی زنبوران عسل در یک کفهی ترازو قرار گیرد، در کفهی دیگر آن باید چگونگی سنتز و ترشح موم توسط هر یک از گونههای زنبورعسل مطالعه شده و با یکدیگر مقایسه شوند، که این امر تا کنون فقط در مورد زنبوران عسل نژاد *Apis mellifera capensis* توسط Hepburn و همکاران در سال ۱۹۹۱ انجام شده است، بنابراین در آینده مسیر زیادی جهت مطالعه و درک چگونگی سنتز و ترشح موم در هر یک از گونههای زنبوران عسل فرآروی ما باز خواهد شد. شکل ۱ نمایی از کمپلکس غدهی موم ساز در زنبورعسل *A. mellifera* را به نمایش میگذارد.



شکل۱-نمایی از ساختار غدهی موم ساز در زنبورعسل معمولی(*A. mellifera*). WS: لایهی بیرونی موم، WM و C:ناحیهی OE ،Wax mirror: اپی کوتیکول بیرونی، IE: اپی کوتیکول درونی، T: توبولهای (انتقال) موم، E) سلول اپیدرمی، N: هسته، M:میتوکندری، F: سلول چربی، TR: Tracheole یا لولهی تنفسی، O: سلولهای تولیدکنندهی موم (Hepburn et al., 1999).

همانگونه که اشاره شد، گونههای مختلف زنبوران عسل از لحاظ مقادیر نسبی مواد اصلی تشکیل دهندهی موم با یکدیگر اختلاف قابل توجهی داشته و این اختلاف میتواند در ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی موم گونههای مختلف زنبوران عسل نیز نمایان شود. به همین جهت در مطالعهی جالبی Buchwald و همکاران در سال ۲۰۰۶ و در یک مطالعهی مقایسهای، ویژگیهای مکانیکی موم چندین گونهی مختلف از زنبوران عسل (*A. andreniformis*، *A. dorsata*، *A. cerana* و *A. mellifera*) را مورد بررسی قرار دادند. به علت اینکه ویژگیهای مکانیکی هر ساختاری حاصل از ماهیت شیمیایی درونی یک ماده و فرم ساختاریاش میباشد، و از طرفی با توجه به سختی فوق العادهی کار با کل یک شان در شرایط آزمایشگاهی برای چنین آزمایشی، Buchwald و همکاران با حذف ساختار در آزمایش خود، تنها رفتار سیلندرهای موم زنبوران عسل را تحت فشار مکانیکی مورد مطالعه قرار دادند.

در این آزمایش، جهت تهیهی سیلندرهای مومی ابتدا توسط آب گرم رزینهای گیاهی و گرده از موم زنبوران عسل جداسازی شده و موم خالص تهیه شده پس از ذوب شدن در قالبهای سیلندری شکل ریخته شده و سرد شدند. و بدین طریق در این آزمایش سیلندرهای خالص موم به شکل دلخواه حاصل شده است (شکل۲). در ادامه موم گونههای مختلف فوقالذکر از لحاظ سفتی[16]، ارتجاع پذیری[17] و سایر ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی مورد بررسی قرار گرفتند.



شکل-۲ نمایی شماتیک از نمونهی موم قبل (A) و بعد (B) از فشرده سازی (Buchwald et al., 2006).

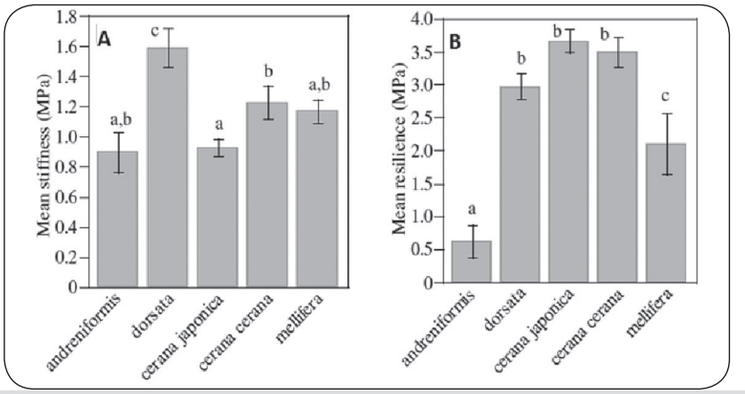
نتایج این آزمایش نشان داد که موم زنبوران عسل بزرگ (*A. dorsata*) که یک شان بزرگ ولی منفرد میسازند، بدون شک سفتترین موم و از لحاظ انعطاف پذیری، دارای قدرت ارتجاعی بالایی در بین کل گونههای زنبوران عسل هستند (لازم به ذکر است که موم زنبوران عسل *A. cerana* نیز دارای قدرت ارتجاعی بالایی بوده و از این نظر در گروه زنبوران عسل بزرگ قرار میگیرند).

شان بزرگ این زنبوران باید علاوه بر تحمل وزن لانه، با توجه به اینکه این لانهها اکثرا بر روی درختان مرتفع ساخته میشوند، باید قدرت پایداری بالایی در مقابل بادهای مخرب نیز داشته باشند. زنبوران عسل دارای اندازهی متوسط (شامل پنج گونه از زنبوران عسل شامل: *A. mellifera*، *A. koschevnikovi*، *A. nuluensis*، *A. cerana* و *A. nigrocincta*) دارای چندین شان میباشند که معمولا در حفرههایی با چندین محل اتصال ساخته شده است، بنابراین بار لانه بر روی این چند نقطهی اتصال توزیع میشود. در

16) Stiffness 17) Resilience

آزمایش مذکور موم زنبوران عسل *A. mellifera* از لحاظ سفتی و درجه‌ی انعطاف پذیری و موم زنبوران عسل *A. cerana* از لحاظ سفتی در میزان متوسطی قرار داشتند.

زنبوران عسل کوچولو شان منفرد کوچکی می‌سازند، که این لانه‌ها بندرت در معرض دید قرار می‌گیرند. با اینکه این زنبوران مانند زنبوران عسل با جثه‌ی متوسط، در حفره‌ها لانه سازی نمی‌کنند، ولی لانه‌ی خود را آویزان به شاخه‌های پایینی و دارای حفاظی می‌سازند که باعث از بین بردن اثر بادها و باران‌های مخرب می‌گردد. در این آزمایش زنبوران عسل *A. andreniformis* دارای حداقل سفتی و ارتجاع پذیری در بین گونه‌های مختلف زنبوران عسل بودند (شکل-۳).

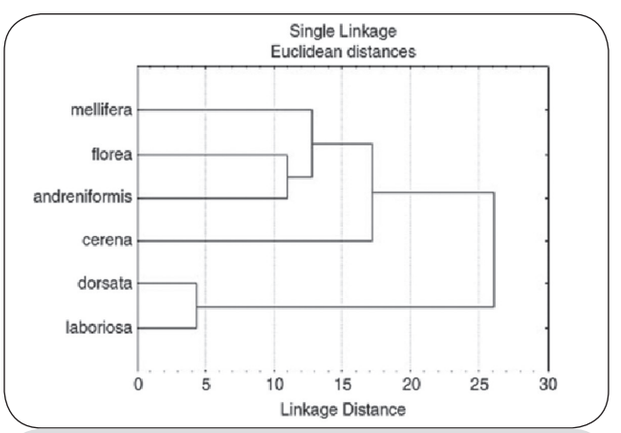


شکل ۳- مقایسه‌ی سفتی (A) و ارتجاع پذیری (B) (میانگین ± انحراف معیار) موم پنج گونه از زنبوران عسل (*A. andreniformis*، *A. dorsata*، *A. cerana* و *A. mellifera*). حروف (a، b، c) دلالت کننده بر گروه‌هایی هستند که از لحاظ آماری متفاوت می‌باشند (Buchwald et al., 2006).

در پژوهشی دیگر، Hepburn و همکاران در سال ۲۰۰۹ با استفاده از اطلاعات Aichholz و Lorbeer (۱۹۹۹) ترکیبات مختلف موم زنبوران عسل را نشان دادند. با انجام آنالیز UPGMA[18] دندروگرام شکل-۴ را ترسیم نمودند. همان‌گونه که از دندروگرام شکل-۴ پیداست، گروه زنبوران عسل بزرگ (*A. dorsata* و *A. laboriosa*) و نیز گروه زنبوران عسل کوچولو: (*A. florea* و *A. andreniformis*) هر کدام در یک گروه و به حالت مجزا از سایر گونه‌های زنبوران عسل قرار دارند. این در حالی است که زنبورعسل اروپایی (*A. mellifera*) تقریبا در نزدیکی گروه خواهری خود یعنی *A. cerana* قرار گرفته است.

دندروگرام شکل-۴ در هماهنگی با اطلاعات حاصل از مطالعات مورفولوژیک (Alexander, 1991)، مطالعات رفتارشناختی (Raffiudin and Crozier, 2007) و نیز مطالعات آنالیزهای سکانس ژنومی زنبوران عسل (Arias and Sheppard, 2005) می‌باشد که در آن ها نیز مطالعات مختلف گونه‌های زنبوران عسل و آنالیز خوشه‌ای آن ها منتهی به ایجاد سه خوشه مجزا از گروه‌های خواهری شده است که عبارتند از: ۱) خوشه زنبوران عسل کوچولو: (*A. florea* و *A. andreniformis*) ۲) خوشه زنبوران عسل بزرگ (*A. dorsata* و *A. laboriosa*) و ۳) خوشه زنبوران عسل با جثه‌ی متوسط شامل پنج گونه از زنبوران عسل: *A. mellifera*، *A. koschevnikovi*، *A. nuluensis*، *A. cerana* و *A. nigrocincta*.

در کل، تشابه نزدیک نمودار UPGMA حاصل از ترکیبات شیمیایی موم گونه‌های مختلف زنبوران عسل به نمودار UPGMA حاصل از اطلاعات مورفومتریک و DNA ژنومی زنبوران عسل، موید این مطلب است که غدد سازنده‌ی موم و محصولات حاصل از آن ها ویژگی‌های کاملا حفاظت شده‌ای در طول تکامل زنبوران عسل دارند.



شکل ۴- نمودار خوشه‌ای سلسله مراتبی (Hierarchical clustering) حاصل شده از خوشه بندی با روش single linkage با استفاده از اطلاعات حاصل از ترکیبات شیمیایی موم شش گونه از زنبوران عسل (Hepburn et al., 2009).

18) Unweighted pair-group method analysis

منابع:

۱- شهرستانی، نعمت اله. ۱۳۹۰. زنبورعسل و پرورش آن. انتشارات سپهر، چاپ هفدهم، ۴۵۵ صفحه.

2- Aichholz R, Lorbeer E. 1999. Investigation of combwax of honeybees with high-temperature gas chromatography and high-temperature gas chromatography-chemical ionization mass spectrometry. I. High-temperature gas chromatography. J Chromatogr A 855: 601–615.

3- Aichholz R, Lorbeer E. 2000. Investigation of combwax of honeybees with high-temperature gas chromatography and high-temperature gas chromatography-chemical ionization mass spectrometry. II. High-temperature gas chromatography-chemical ionization mass spectrometry. J Chromatogr A 883: 75–88.

4- Alexander BA. 1991. A cladistic analysis of the genus Apis. In: Smith DR (ed) Diversity in the genus Apis. Westview, Boulder, pp 1–28.

5- Arias MC, Sheppard WS. 2005. Phylogenetic relationships of honey bees (Hymenoptera: Apini) inferred from nuclear and mitochondrial DNA sequence data. Mol Phylogenet Evol 37: 25–35.

6- Buchwald R, Breed MD, Greenberg AR, Otis G. 2006. Interspecific variation in beeswax as a biological construction material. J Exp Biol 209: 3984–3989.

7- Hepburn HR, Radloff SE. 2011. Honeybees of Asia. Springer Heidelberg Dordrecht London New York. 669 pp.

8- Hepburn HR, Radloff SE, Duangphakdee O, Phiancharoen M. 2009. Interspecific utilization of wax in comb building by honeybees. Naturwissenschaften 96: 719–723.

9- Hepburn HR, Bernard RTF, Davidson BC, Muller WJ, Lloyd P, Kurstjens SP, Vincent SL. 1991. Synthesis and secretion of beeswax in honeybees. Apidologie 22: 21–36.

10- Narayana N. 1970. Studies in Indian honeys and bees waxes. Central Bee Research Institute, Poona.

11- Phadke RP, Nair KS, Nandekar KU. 1971. Indian beeswaxes. II. The nature of their chemical constituents. Indian Bee J 33: 3–5.

12- Raffiudin R, Crozier RH. 2007. Phylogenetic analysis of honeybee behavioral evolution. Mol Phylogenet Evol 43: 543–552.

13- Tulloch AP. 1980. Beeswax – composition and analysis. Bee World 61: 47–62.