دوفصلنامه علمی ترویجی علوم و فنون زنبورعسل
جلد۹، شماره ۱۷، سال ۱۳۹۷، (۴۱-۵۰)

زنبورهای عسل بعنوان حسگرهای زیستی ترکیبات شیمیایی در محیط

نجمه صاحب زاده[1]، زهرا خوشه بست[1]
۱-گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه سراسری زابل، زابل، ایران

تاریخ دریافت: تیرماه ۹۷ / **تاریخ پذیرش**: بهمن ماه ۹۷
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/hbsj.2019.122373.1065
رایانامه: drnajmeh.sahebzadeh@gmail.com

چکیده:

سیستم بویایی حشرات آنها را قادر می سازد تا بتوانند مقادیر بسیار اندک از وجود آلاینده های محیطی مختلف مانند فلزات سنگین، سموم شیمیایی و متابولیتهای ثانویه عوامل بیماریزای مختلف مانند باکتریها را شناسایی نمایند. این فرایند «پایش زیستی» نامیده می شود که بدلیل کم هزینه بودن در مقایسه با سایر روشهای پایش، توجه محققین را به خود جلب کرده است. به اثبات رسیده که می توان موجودات مختلف مانند زنبورعسل را بدلیل حساسیت بالای حس بویایی از طریق شرطی سازی موثر مبتنی بر پاسخ رفتاری قابل مشاهده به بوها برای تشخیص داروهای قاچاق، مواد منفجره و حتی بیماری های انسانی آموزش داده و در مکان های خاص جهت شناسایی استفاده نمود.

بطور کلی پایش آلاینده های زیست محیطی از طریق ارزیابی رفتارهای خاص زنبورعسل مانند واکنش گسترش خرطوم در پاسخ به تحریک با آلاینده ها و همچنین سنجش بقایای آنها در فراورده های کندو و یا در بدن زنبورهای عسل امکان پذیر است. در این مقاله به بررسی توانایی زنبورعسل جهت پایش آلاینده ها و سایر ترکیبات شیمیایی در محیط زیست از طریق شرطی سازی و یا سنجش بقایای مواد

شیمیایی مختلف در کندوها پرداخته می شود.

واژه های کلیدی: پایش زیستی، آلاینده های شیمیایی، یادگیری شرطی

۱- مقدمه

آلودگی های محیطی با ترکیبات معدنی و آلی یکی از مهمترین مشکلات مورد بررسی توسط بوم شناسان بوده که می توان آن را به عنوان نتیجه ای از افزایش تراکم جمعیت انسان و کم توجهی به سلامت محیط زیست دانست. علیرغم استفاده از روش های مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی برای تعیین سطوح آلودگی، اخیراً توجه زیادی به موجودات زنده به عنوان شاخص های سلامت محیطی شده است. سیستم بویایی در برخی موجودات مانند حشرات به عنوان یک حس بسیار کارآمد، توانایی آن را دارد که هزاران مولکول فرار را در غلظت های بسیار پایین تشخیص داده و حتی بین برخی از آنها که فقط از نظر یک یا چند اتم در ساختمان شیمیایی متفاوت هستند، نیز تفکیک قائل شود (Hansson & Stensmyr, 2011).

در حالت کلی، عملکرد حس بویایی، قابلیتی در جانوران ایجاد می کند که از آن می توان برای تشخیص نشانه های وجود مواد و آلاینده های شیمیایی در محیط زیست جانور استفاده نمود. پایش زیستی مواد شیمیایی با استفاده از موجودات زنده، برای به دست آوردن اطلاعات در مورد ویژگی ها و شرایط زندگی موجودات در محیط زندگی آنها صورت می گیرد. در پایش زیستی، معمولاً از تغییرات در رفتار موجود مورد استفاده در پایش یا تعیین غلظت های خاصی از مواد در بافت های بدن موجود مورد نظر از طریق روشهای مختلف مانند آنالیز بافتهای جانور و یا تکنیک کروماتوگرافی استفاده می شود (Kosiotis *et al*., 2014; Ge *et al*., 2016).

طیف وسیعی از گونه های جانوری به عنوان نشانگرهای زیستی مورد استفاده قرار می گیرند. با بهره گیری از حس بویایی توسعه یافته حشرات بخصوص زنبورهای عسل در کنار ردیاب های صنعتی آلاینده ها، می توان از حشرات به عنوان ابزاری امیدوارکننده جهت پایش های زیستی مواد و آلاینده های شیمیایی در محیط زیست استفاده کرد. طبق بررسی های انجام شده، سگ ها، موش ها و زنبورهای عسل، توانایی یادگیری و تشخیص تفاوت بین یک بوی خاص از سایر بوها را دارند. در مقایسه با سگ ها که معمولاً آموزش آنها ماه ها به طول می انجامد، زنبورهای عسل را می توان طی یک تا چند ساعت برای پاسخ به یک یا چند ترکیب شیمیایی شرطی سازی کرد و آموزش داد. همچنین می توان کل کلونی زنبور عسل را در زمانی کمتر از سه روز در شرایط میدانی باز، برای جستجو شرطی سازی کرد.

علاوه بر این زنبورهای عسل نسبت به سگ ها کمتر حواس پرت بوده و نیاز به راهنمایی مستقیم یک مربی ندارند. آگاهی از قابلیت گیرنده های شیمیایی منحصر به فرد زنبورهای عسل و سرمایه گذاری بر روی مزیت های رفتاری این حشره، موجب توسعه طیف وسیعی از رویکردهای جدید با اتکا به زنبورعسل به عنوان یک سیستم حسگر زیستی شده که از موفقیت های قابل توجهی نیز برخوردار بوده اند (Bromenshenk *et al*., 2015; Giglio *et al*., 2017).

۲- سیستم بویایی در حشرات و شرطی شدن آنها با بو

حشرات دارای حس بویایی نسبتاً قوی بوده که توسط بوهای زیادی که اغلب برای انسان غیر قابل درک و یا نامطبوع می-باشند، جلب می شوند. اعضای حس بویایی در حشرات معمولاً به طور پراکنده و یا مجتمع در شاخک ها و پالپ های قطعات دهانی و به صورت موهای حسی و یا فرورفتگی های کوچک جلدی مجهز به سلول های حسی متعدد مرتبط با دستگاه عصبی می باشند. پس از شرطی سازی زنبورعسل و با حذف تدریجی مفصل های شاخک، ثابت شده که اعضای بویایی بطور پراکنده و در روی هشت مفصل آخر شاخک قرار دارند.

یک محرک در سطوح مختلفی از غلظت، قادر است رفتار حشرات را تحت تاثیر قرار دهد. به عنوان مثال، نوعی از رفتار غذایابی در حشرات به ویژه زنبور عسل، واکنش کشیده شدن خرطوم (PER)[1] می-باشد. بر اساس این رفتار، زمانی که شاخک های زنبورعسل منبع غذا را حس می کنند، خرطوم به طور غیر ارادی برای مکش منبع غذایی توسعه یافته و بزرگ تر می شود (Thany *et al*., 2015). هنگامی که شاخک زنبور های عسل با میله شیشه ای آغشته به محلول قند یا عسل تحریک می شود، خرطوم خود را بیرون آورده اما هنگامی که این میله در آب خالی فرورفته باشد، واکنشی نشان داده نمی شود. محققین با تکیه بر واکنش کشیده شدن خرطوم و نیز استفاده از روش شرطی سازی، قدرت یادگیری و حافظه زنبورعسل را ارزیابی و از این حشره جهت تشخیص

1- Proboscis Extension Reflex

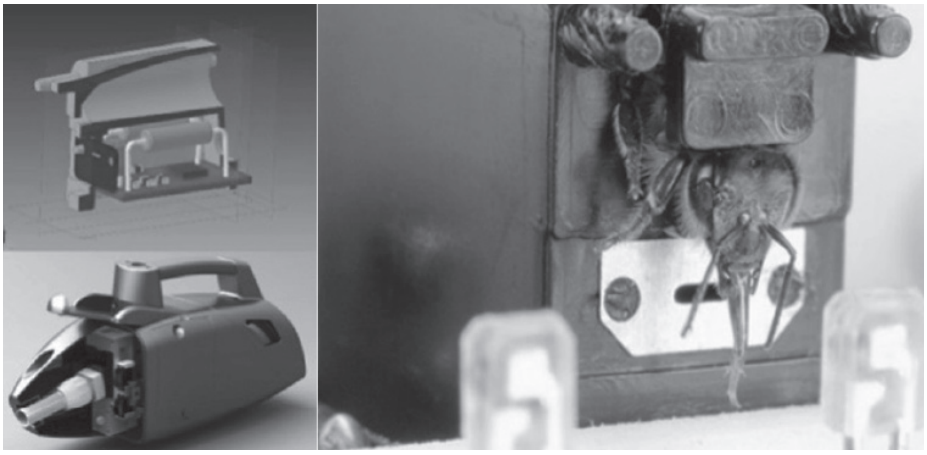
بو و سیگنال های شیمیایی در محیط برنامه ریزی نموده اند (Bromenshenk *et al*., 2015).

● ۳- پایش مواد شیمیایی مبتنی بر شرطی سازی زنبورهای عسل

بسیاری از حشرات، حساسیت و قدرت انتخاب بسیار بالایی نسبت به بوهای متصاعد شده از گیاهان و یا سایر منابع داشته و نسبت به دریافت آنها شرطی می شوند. بر اساس مطالعات انجام شده، آموزش و شرطی سازی در گونه های متعددی از حشرات مانند زنبورهای عسل، مگس سرکه و برخی از حشرات آفت و پارازیتوئیدها انجام شده است. پایش مواد شیمیایی مبتنی بر شرطی سازی زنبورهای عسل به دو طریق زیر انجام می شود:

۳-۱ زنبورهای محصور شده به عنوان حسگرهای زیستی شیمیایی

در این طرح با اقتباس از روش PER، دستگاهی با محفظه دارای بخش نگهدارنده زنبورعسل طراحی شده و با دوربین، فیلم ها ثبت و تصاویر رفتار واکنش گسترش خرطوم مجموعه ای از زنبورها پردازش می شود. در مرحله پیشرفته تر، از یک ردیاب و محفظه دستی نگهدارنده زنبورعسل با قابلیت شارژ باطری برای بررسی های میدانی، استفاده شد. این دستگاه که موسوم به VASOR[2] می باشد (شکل ۱)، گنجایش ۳۶ زنبورعسل را داشته و از تغییرات مرحله ای در غلظت بو برای بروز PER استفاده می کند (Bromenshenk *et al*., 2015).



شکل ۱) دستگاه VASOR (Bromenshenk *et al*., 2015)

علی رغم امکانات فنی سیستم، محدودیت هایی مانند هزینه تولید و عدم امکان کاربرد در سطوح میدانی وسیع، استفاده از ردیاب PER برای تشخیص بوهای خاص، عملیاتی نشده است (Matsumoto *et al*., 2012). نتایج بررسی توانایی زنبورهای عسل در تشخیص ایزومرهای کروزول (به عنوان آلاینده های فرار شناخته شده در آلودگی محیطی)، با تکیه بر شرطی سازی و واکنش کشیده شدن خرطوم، نشان داد که زنبورهای آموزش دیده قادر به تشخیص بوی ایزومر هدف از سایر ایزومرها بودند (Blazyte-Cereskiene & Buda, 2007). از PER همچنین برای بررسی توانایی زنبورهای عسل در امور نظامی و جهت شناسایی مواد شیمیایی مانند مین های جنگی استفاده شده است. در علوم ژنتیک گیاهی و گرده افشانی، از PER نیز برای پایش واریته های گیاهی جذاب برای زنبورهای عسل و شناسایی مواد شیمیایی جلب کننده آنها بهره برده اند (Bromenshenk *et al*., 2015).

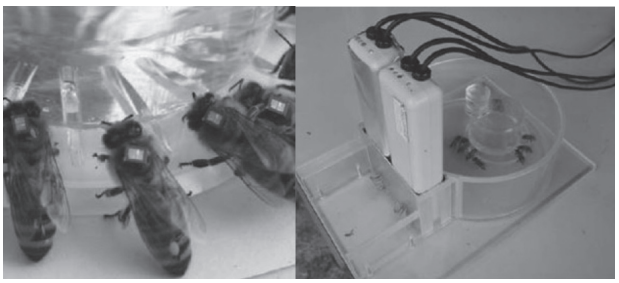
۳-۲ تشخیص و مسیر یابی زنبورهای عسل نشانه گذاری شده با تگ ها

زنبورهای عسل در طول سفرهای جستجوگری خود ممکن است در معرض آفتکش ها و آلاینده های مختلفی قرار بگیرند که می تواند سبب ناتوانی در حرکت و یا جهت گیری فضایی شده و نهایتاً منجر به تلفات آنها گردد. بنابراین پایش پروازهای کاوشگری نیازمند شناسایی فردی زنبورهای عسل است (Meikle & Holst, 2015). بر همین اساس و با استفاده از تکنیک هایی مانند کاربرد تگ های نشانه گذاری زنبورهای عسل، امکان ردیابی مسیرهای پرواز با دقت و به طور مداوم برای فواصل زیاد فراهم می گردد. در این تکنیک، یک تراشه ردیاب الکترونیک به قفس سینه زنبورعسل متصل شده که

2- Volatile Analysis by Specific Odour Recognition

تامین انرژی این تراشه توسط جمع کننده های خورشیدی بسیار کوچک بوده که بر روی تراشه به کار برده شده اند (De-courtye *et al*., 2011). پیشرفت های عمده دیگر در زمینه ردیابی زنبورهای عسل، استفاده از تگ های فرکانس رادیویی (RFID)[3] و تگ های رادار هماهنگ (رادار هارمونیک)[4] می باشد. از RFID برای بررسی تاثیر آفتکش هایی مانند فیپرونیل[5] روی ویژگی های رفتاری و طول عمر زنبورها، استفاده شده است. در این مطالعه با قرار دادن خوانشگر RFID در قسمت ورودی کندو، ویژگی های رفتای زنبورهای تگ گذاری شده اندازه گیری گردید.

با استفاده از RFID، علاوه بر مطالعه ی اثرات مواد شیمیایی بر رفتار کاوشگری زنبورها، می توان تغییر الگوهای پرواز بین کندو و مکان مورد پایش را نیز بررسی نمود (Decourtye *et al*., 2011). در مطالعه Schneider و همکاران (۲۰۱۲)، اثرات زیرکشندگی ایمیداکلوپراید[6] و کلوتیانیدین[7]، روی رفتار کاوشگری زنبورعسل از طریق قراردادن خوانشگرهای RFID در قسمت ورودی کندو و نیز در منبع ماده غذایی مصنوعی بررسی شد و نتایج نشان داد که هر دو حشره کش باعث کاهش قابل ملاحظه ای در فعالیت های تغذیه ای گردیدند. همچنین سه ساعت پس از تیمار با این حشره کش ها، میزان پروازهای کاوشگری زنبورها کاهش قابل توجهی نشان داد (شکل ۲).



شکل۲) ثبت اتوماتیک دوزهای مورد تغذیه در تغذیه کننده با استفاده از تگ RFID (Schneider *et al*., 2012)

بر خلاف تگ های فرکانس رادیویی، تگ های رادار هارمونیک هر سیگنال فرکانس رادیویی را دو بار بازتابش می کنند. در این تکنیک، یک دیود بعنوان رسانای غیر خطی به یک آنتن مناسب متصل شده و بر روی هدف مورد نظر برای ردیابی، ثابت می شود (شکل ۳).

شکل ۳) رادار هارمونیک نصب شده بر روی زنبور عسل همراه با آنتن بلند و عمودی (Bromenshenk *et al*., 2015)

هنگامی که این تگ توسط پرتو رادار روشن می گردد، جریان ها در فرکانس های هارمونیک سیگنال های اصلی را تولید می کنند و این جریان ها، هارمونیک هایی را از سیگنال اصلی بازتابش می کنند. علیرغم استفاده از رادار هارمونیک و یا تگ RFID، برد و دامنه قرائت تراشه های نصب شده روی زنبورهای عسل بسیار محدود است که این امر باعث کاهش احتمال تشخیص هر زنبور علامت گذاری شده در محیط پروازی می شود. افزایش اندازه آنتن موجود روی تراشه های مسیریابی، موجب افزایش برد تشخیص شده هر چند که ممکن است بدلیل نصب آن روی زنبور، باعث افزایش وزن حشره و تداخل در رفتار پروازی زنبور نیز گردد. با توسعه رادارهای هارمونیک، محققین توانسته اند تگ های راداری برای اتصال به زنبورها تولید کنند که از آنتن چاپ شده بر روی تراشه جهت ردیابی استفاده می شود.

در یک مطالعه جدید، آنتن های خاص آبکاری شده با لیزر بر روی زنبورها نصب گردیدند. تراشه های باطری دار، دارای برد بیشتری از تگ ها بوده اما خود باطری ها نیز موجب افزایش وزن زنبور می شوند. راه حل این مسئله، استفاده از خود حشره برای تولید و تامین برق تگ می باشد. علی رغم سرمایه گذاری های مالی زیاد برای تولید RFID دوربرد و مسیریابی بیوسنسورهای حشرات، هیچ یک از این تراشه ها تاکنون نتوانسته اند از مرحله آزمایشی فراتر بروند (Bromen-

3- Radio-Frequency Identification (RFID)
4- Harmonic Radar
5- Fipronil
6- Imidacloprid
7- Clothianidin

shenk *et al*., 2015). با وجود پیشرفت های چشمگیر اخیر در ساخت تگ های هارمونیک، انواعی از نانو تگ ها برای مطالعه رفتارهای زنبورهای عسل، پروازهای جفت گیری ملکه و اثرات آفتکش های نئونیکوتینوئید[8] استفاده شده اند (Heidinger *et al*., 2014).

● ۴- پایش آلاینده های محیطی بر اساس پایش کندو و محصولات زنبور عسل:

زنبورعسل در طول فعالیت های کاوشگری خود و جمع آوری گرده و شهد، می تواند باقی مانده آلاینده های موجود در طبیعت را بر روی بدن خود نگه داشته و در نتیجه از این طریق امکان آلودگی کندو و محصولات وجود خواهد داشت. بنابراین با توجه به فعالیت جستجوگری زنبورهای عسل و تماس آنها با تعداد زیادی از موادشیمیایی و آلاینده های محیطی، همچنین انتقال و تجمع این مواد در داخل کندو، می توان با قرار دادن کندوها در مناطق مختلف تحت پایش، میزان حضور آلاینده ها را در اکوسیستم مورد نظر تعیین نمود (Perugini *et al*., 2011). اخیراً در مطالعات جداگانه و با تحلیل دوره ای عسل جمع آوری شده توسط زنبورها به پایش آلاینده ها در کندو و محصولات آن پرداخته شده است. در مطالعه انجام شده در استان کردستان (ایران) و با هدف تعیین سطوح عناصر فلزی در کندوهای زنبورهای عسل، مشخص شد که پتاسیم بیشترین غلظت را داشت (Sadeghi *et al*., 2012).

علاوه بر این، پایش محیطی ایمیداکلوپراید و فیپرونیل به همراه متابولیت های آنها در فرانسه، طی سه سال و از طریق بررسی گرده های ذخیره شده در کلنی زنبورهای عسل، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (Chauzat *et al*., 2006). همچنین برای پایش آلاینده هایی از قبیل فلزات سنگین و هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای در ترکیه (Kargar *et al*., 2017) و نیز آفتکش های گروههای ارگانوفسفات ها[9]، پیرتروئیدها[10] و تریازول ها[11] و فلزات سنگین انجام شده است (Ruschioni *et al*., 2013). در نمونه برداری انجام شده از چهار ناحیه اطراف شهر رم، غلظت سه فلز سنگین در زنبورهای عسل و محصولات تولید شده آنها اندازه گیری و نتایج نشان داد که غلظت فلزات سنگین در مناطق غیرصنعتی بسیار اندک می باشد. این مطالعه نشان داد که از عسل، گرده، بره موم، موم و خود زنبور عسل می توان در ارزیابی درجه آلودگی فلزات سنگین موجود در محیط زیست استفاده نمود (Conti & Botre, 2001).

بر عکس «تشخیص منفعل» که در آن زنبورها به طور آزادانه فعالیت و پرواز می کنند، «تشخیص فعال»، یک جست و جوی جهت دار و هدفمند برای شناسایی آلاینده ها بوده که از طریق اصلاح رفتار جست و جو و غذایابی یک جاندار تا هدایت آن با تکیه بر ابزارها و سیستم های فناوری انجام می شود (Bromenshenk *et al*., 2015). براین اساس، آژانس پروژه های تحقیقاتی پیشرفته دفاعی آمریکا (DARPA)[12] در طرحی موسوم به سیستم های کنترل شده ی بیولوژیکی و تقلیدزیستی، به بررسی کنترل حرکت از طریق رابط عصبی الکترونیکی نصب شده در پشت حشره پرداخته است. هدف این طرح، بررسی موجودات از سه دیدگاه مختلف بود. در دیدگاه اول، هدف بررسی توانایی آموزش زنبورهای عسل و مگس ها بدون کمک تکنولوژی و امکان استفاده از آنها در فعالیت های نظامی از قبیل کشف مکان مینهای جنگی بود. دیدگاه دوم که به نام هیبریدهای زیستی نام گذاری شده، شامل فناوری تقویت توانایی های طبیعی موجودات است. این دیدگاه بر پایه ی نصب تگ های ردیاب رادیویی بر روی زنبورهای عسلی که مسئول شناسایی مین های زمینی می باشند، متمرکز است. دیدگاه سوم مبتنی بر تقلیدکننده های زیستی می باشد. این دیدگاه شامل ایجاد یک تکرار و تشابه حرکت مکانیکی است که می تواند کاری مشابه با اندام اصلی را انجام دهد. کشف پتانسیل آموزش حشرات برای یافتن مواد مورد آزمایش توسط DARPA، منجر به توسعه روش های آموزش زنبور عسل شده است. در تحقیقی ده ساله توانایی زنبورها برای شناسایی مواد شیمیایی (نشت یافته از معادن، آزمایشگاه های تولید دارو، اجساد مرده یا سیگنال های شیمیایی تولید شده توسط گیاهان و حیوانات بیمار)، جستجوی گیاهان خاص و همچنین توانایی تشخیص سیگنال های شیمیایی در سطوح وسیع بررسی شده است (Bromenshenk *et al*., 2005).

● ۵- پایش بیماریها توسط زنبورهای عسل

این امکان وجود دارد که با شرطی سازی زنبورهای عسل توسط ترکیبات شیمیایی تولید شده توسط عوامل بیماریزای مختلف، بتوان از آنها در تشخیص بیماریهای مختلف استفاده

8- Neonicotinoid
9- Organophosphorus
10- Pyrethroid
11- Triazoles
12- Defense Advanced Research Projects Agency

نمود. هر چند اطلاعات بسیار اندکی در مورد این موضوع در دسترس است، اما میتوان به توانایی زنبورهای عسل برای شناسایی ترکیبات شیمیایی تولید شده توسط باکتری عامل بیماری سل در انسان اشاره نمود (Suckling & Sagar, 2011). کارایی رادار هارمونیک در سنجش آلودگی کندو به نوزوما نیز به اثبات رسیده است (Wolf *et al*., 2014). همچنین با نصب یک سیستم متصل به دوربین در دهانه ورودی کندو، پایش زنبورهای آلوده به کنه واروآ بدون نیاز به باز نمودن درب کندو انجام شده است (Schurischuster *et al*., 2016). کمپانی اینسنتینل[13] بعنوان پیشگام مطالعات استفاده از زنبورهای عسل بعنوان حسگرهای زیستی، اخیراً در پروژه ای شروع به بررسی کارایی زنبورها برای شناسایی مراحل اولیه سرطان در انسان نموده است (Anonymous, 2018).

۶- پیشرفت های فناوری در پایش زیستی مبتنی بر زنبورعسل و کندو

کندوی زنبورعسل مکانی است که در آن هر جسم خارجی به عنوان تهدید محسوب شده و توسط زنبورها دفع می گردد. با توجه به توانایی زنبورعسل به عنوان یک حسگر زیستی، دانشمندان توانسته اند با روشهای مختلفی، غلظت آلاینده هایی مانند فلزات سنگین را در زنبورهای کاوشگری که کندوهای آنها تحت نظارت بودند را تعیین نمایند. به عنوان مثال در بررسی Giglio و همکاران (۲۰۱۶)، سطح آلودگی فلزات سنگین با استفاده از زنبورهای عسل در دو منطقه شهری و حومه شهری در ایتالیا، پایش گردید. با پیشرفت در زمینه حسگرها برای پایش زنبورهای عسل و کندو، این امکان فراهم شد تا بر پارامترهای مختلفی مانند دما، سطوح رطوبت داخل کندوهای زنبور، وزن، صداها و گازهای تولید شده که می توانند حاوی اطلاعات مهمی باشند، نظارت دقیقی اعمال شود. در سال های اخیر به دلیل استفاده از شبکه های حسگر بی سیم، سیستم های پایش بسیار پیشرفت کرده اند. اولین ترکیب حسگرهای الکترونیکی و زنبورهای عسل منجر به معرفی آنالیزور فرکانس موسوم به آپیدیکتور[14] شد.

آپیدیکتور یک سیستم برای تشخیص تغییرات صوتی رخ داده در کندوهای زنبورعسل به مدت بیش از دو تا سه هفته قبل از تشکیل کلونی زنبور می باشد. هدف این سیستم پایش زنبورها، تجزیه و تحلیل صدا بوده که داده های صوتی به دست آمده را به یک سیستم اطلاعاتی تبدیل می کند (Woods, 1957). البته محققین با توجه به الگوی آپیدیکتور چوبی، فعالیت هایی را به منظور ساخت آپیدیکتور مدرن انجام داده و توانسته اند نرم افزاری را بر اساس کار آن طراحی کنند. براین اساس، اخیراً بسته حسگر موسوم به جعبه وزوز[15] طراحی شده که به کمک فناوری بیسیم و با تکیه بر شارژ باطری با نورخورشید، میتوان شرایط داخل کندو و سلامت آنرا هر ۲۰ تا ۶۰ دقیقه یکبار به نرم افزار نصب شده در تلفنهای همراه ارسال نمود (Bromenshenk *et al*., 2015).

۶-۱ کندوهای الکترونیک، شمارشگرهای زنبور، پایش زیستی مواد شیمیایی درکندو

رفت و آمدهای ثابت زنبورهای عسل در کندو فراهم کننده شرایط مناسب برای پایش خودکار فعالیت های افراد کندو و شرایط داخل و خارج از کندو می باشد (Meikle & Holst, 2015). اخیراً محققین روی پایش مواد شیمیایی مختلف در کندوها متمرکز شده اند (Badiou-Beneteau *et al*., 2013; Hernando *et al*., 2018).

در مطالعه انجام شده توسط مرکز تحقیقات سلامت محیط زیست ارتش آمریکا به منظور استفاده از کلونی های زنبور عسل بعنوان حسگرهای سنجش آلودگی سریع، برای فیلترینگ مناطق دفن زباله ها از نظر موادشیمیایی سمی و نظارت بر آزادسازی هرگونه مواد شیمیایی، پنجاه کندوی هوشمند برای پایش آزادسازی مواد شیمیایی در مناطق دفن زباله های سمی استفاده شد. هر کندو پس از آماده سازی، برای نمونه برداری زیست محیطی مواد شیمیایی فرار و نیمه فرار مجهز گردید. نتایج این تحقیقات منجر به شناسایی بیش از ۲۰۰ ماده شیمیایی فرار و نیمه فرار شد (Bromenshenk *et al*., 1996). نصب دستگاه های الکترونیکی بر روی کندوهای زنبورعسل اولین بار توسط Struye و همکارانش (۱۹۹۴) انجام شد که طرحی برای شمارش زنبور ارایه نموده و زمینه را برای طراحی شمارنده های لولند الکترونیک[16] فراهم کرد. هدف طراحی شمارنده های لولند الکترونیک، مطالعه اثرات آفت کش ها بر روی کلونی های زنبورعسل بود. در طرح لولند الکترونیک، زنبورها در زمان عبور از دهانه ورودی کندو که مجهز به ردیاب ها و فرستنده های مادون قرمز هستند، شمارش می شوند.

13- Inscentinel

14- Apidictor

15- BuzzBox Sensor kit (https://docs.osbeehives.com/docs/how-it-works)

16- Lowland Electronics

یکی از معایب موجود در شمارشگر لولند الکترونیک عدم وجود قابلیت ارسال اطلاعات بود که Bromenshenk و همکارانش (۲۰۱۵)، این ویژگی را به کندوهای هوشمند از طریق شمارش ورود و خروج دو طرفه زنبورها و ارسال اطلاعات به نرم افزار طراحی شده برای تلفنهای همراه اضافه نمودند. از آنجا که این شمارشگرها دست ساز و گران قیمت بوده و متناسب با مدیریت کلونی امروزی نیستند، می توان به فناوری های جایگزین دیگر مانند شمارشگرهای خازن دار، تفاضل تصویر مادون قرمز و مرئی و همچنین تصویربرداری ثابت و ویدویی اشاره کرد. سیستم های شمارنده مبتنی بر مادون قرمز نسبت به سیستم های مبتنی بر ویدیو و خازن قوی تر و دقیق تر هستند اما این شمارشگرها نیارمند پاکسازی و نگه داری منظم می باشند. یک شمارشگر زنبورعسل باید دارای تونل های ورودی و خروجی بسیاری باشد در غیر این صورت در محل ورودی کندو ازدحام ایجاد شده و به این ترتیب باعث کاهش سرعت زنبورها و نهایتاً منجر به خستگی گرمایی کلونی می گردد.

با مطالعه بر روی کندوهای زنبورعسل با استفاده از شمارشگرها مشخص شد که در حالت طبیعی نرخ بازگشت روزانه برای کلونی های سالم بیشتر از ۹۰ درصد است اما زمانی که کلونی ها در معرض مواد سمی قرار می گیرند، این تعداد به ۸۰ درصد یا کمتر کاهش می یابد. همچنین مشخص شد که تغییر در فعالیت پرواز از کندوی اصلی به سایر کندو در یک محل مشخص با افزایش مواجهه با مواد سمی، افزایش می یابد زیرا برخی از کلونی ها بیشتر از کلونی های دیگر تحت تاثیر قرار می گیرند (Bromenshenk *et al*., 2005). در بررسی دیگری فعالیت زنبورها در هنگام ورود و خروج آنها به داخل کندو با نوعی حسگر مبتنی بر خازن های الکتریکی ارزیابی شد. این حسگر قادر است علاوه بر تعیین میزان ورود و خروج زنبورها، اطلاعات مربوط به سرعت، اندازه و جهت حرکت هر زنبور عسل را از طریق تجزیه و تحلیل طول، دامنه و جهت گیری پالس ولتاژ خروجی حسگر محاسبه نماید (Campbell *et al*., 2005).

نسل جدید کندوهای هوشمند، سیستم های کندوی الکترونیک می باشند که از یک ترازوی گنجانده شده در یک محفظه ی پلاستیکی یا چوبی حاوی چهار تا شش کلونی زنبور تشکیل شده است. این سیستم ها مبتنی بر صفحه قابل تنظیم دارای یک پردازنده الکترونیکی قابل برنامه نویسی بوده و با یک جریان متناوب باطری یا یک پانل خورشیدی کوچک کار می کنند. کندوهای الکترونیک دارای گزینه هایی برای اتصال به طیف وسیعی از حسگرهای دیجیتال و آنالوگ ولتاژ پایین هستند. گزینه های حسگر شامل ترازو، دماسنج، میکروفون ها، سنسورهای مادون قرمز، رطوبت سنج، ردیاب های آتش سوزی و رطوبتی، ردیاب های حرکتی، شمارشگرها و ایستگاه های هواشناسی هستند.

صفحه های کندوی هوشمند دارای حافظه داده داخلی بوده که بازیابی داده ها از طریق درگاه USB، بلوتوث یا سایر روش ها صورت گرفته و سپس به کامپیوتر یا موبایل زنبوردار مخابره می شوند. بررسی عدم تعادل در کندو و نیز اندازه گیری متغیرهای بیولوژیک موجود در کندو، با استفاده از سیستم های الکترونیک نشان دهنده ی اهمیت آن ها برای سلامت کندوها و نیز پایش عوامل نامطلوب در کندو از جمله مواد شیمیایی و حتی دما و رطوبت می باشد (Sanchez *et al*., 2015). با این وجود، محدودیت هایی مانند هزینه، نیاز به برق، قدرت پردازش و دوام اجزای الکترونیکی موجب محدود شدن استفاده از حسگرهای الکترونیک پایش کندو و زنبورعسل در زمینه های تحقیقاتی پایه و کاربردی می باشد. اما پیشرفت های انجام شده در پنج سال گذشته در فناوری های ضروری نظیر پردازنده های کامپیوتری به اندازه کارت اعتباری و ارزان با مصرف برق پایین، موجب برطرف شدن بسیاری از محدودیت های سخت افزاری برای استفاده از کندوهای هوشمند شده است.

بحث و نتیجه گیری:

این بررسی به اهمیت و توسعه کاربردهای زنبورهای عسل به عنوان حسگرهای زیستی پرداخته است. ادراک بویایی زنبور عسل موجب گردیده که به عنوان یک تشخیص دهنده قوی برای شناسایی ترکیبات مختلف از جمله آلاینده های محیطی، مواد منفجره و حتی عوامل بیماری زا، استفاده گردد. بهره گیری از زنبورهای عسل به عنوان حسگرهای زیستی می تواند منجر به تعیین نوع و میزان آلاینده های شیمیایی وارد شده به محیط های هوا، خاک، آب و پوشش های گیاهی گردد. بر این اساس در آینده می توان رویکردهای نوینی را جهت کاهش این آلاینده ها در زنجیره های غذایی اتخاذ کرد. البته توجه به این نکته که از بین حسگرهای زیستی متکی بر زنبورها کدام بهتر است نیاز به بررسی و تحلیل علمی دقیق می باشد. در مجموع می توان گفت داشتن چنین فناوری هایی باعث می شود که دیدگاه های جدیدی از نقطه نظر اکوسیستم های طبیعی به ویژه

اکوسیستم های کشاورزی و تولید محصولات کشاورزی ایجاد شود. اطلاعات به دست آمده توسط این نوع از حسگرهای زیستی با زندگی انسان ارتباط مستقیم داشته و می توان از آن در جنبه های مختلف زندگی انسان ها به ویژه در حوزه های سلامت و کشاورزی بهره گرفت.

منبع ها:

Anonymous. 2018. http://www.panchromos.com/stories/inscentinel/. Accessed at 20 August 2018.

Badiou-Beneteau, A., Reynaud, B., Belzunces, L.P., Benneveau, A., Geret, F., Delatte, H., Becker, N., Brunet, J.L. 2013. Honeybee biomarkers as promising tools to monitor environmental quality. Environment International, 60 (1): 31-41.

Blazyte-Cereskiene, L., Buda, V. 2007. Ability of honey bees to detect and recognise isomers of cresol. Ekologija, 53 (3): 16-21.

Bromenshenk, J., Seccomb, R.A., Rice S.D., Etter, R.T., Henderson, C. B. 2005. Method and Apparatus for Conditioning Honey Bees. U.S. Patent 6,896,579.

Bromenshenk J.J, Henderson, B.C., Seccomb, R.A., Welch, Ph., M., Debnam, S.E., Firth, D.R. 2015. Bees as biosensors: chemosensory ability, honey bee monitoring systems, and emergent sensor technologies derived from the pollinator syndrome. Biosensors, 5 (4): 678-711.

Bromenshenk, J.J., Smith, G.C., King, B., Seccomb R.A., Alnasser, A., Henderson C.B., Loeser, M.R., Wrobel, C.L. 1996. New and improved methods for monitoring air quality and the terrestrial environment. In Technical Report ADA 326262; National Technical Information Service: Springfield, VA, USA, 1996.

Campbell, J.M., Dahn, D.C., Ryan, D.A.J. 2005. Capacitance-based sensor for monitoring bees passing through a tunnel. Measurement Science and Technology, 16 (12): 2503-2510.

Chauzat, M.P., Faucon, J.P., Martel, A.C., Lachaize, J., Cougoule, N., Aubert, M. 2006. A survey of pesticide residues in pollen loads collected by honey bees in France. Journal of Economic Entomology, 99 (2): 253-262.

Conti M.E., Botre F.2001. Honeybees and their products as potential bioindicators of heavy metals contamination. Environmental Monitoring and Assessment, 69 (3): 267-282.

Decourtye, A., Devillers, J., Brun, F., Bagnis, C., Gauthier, M., Aupinel, P., Fourrier, J. 2011. Honeybee tracking with microchips: A new methodology to measure the effects of pesticides. Ecotoxicology, 20 (2): 429-437.

Ge, X., Wu, X., Liang, S., Su, M., Sun, H. 2016. Trace residue analysis of dicyandiamide, cyromazine, and melamine in animal tissue foods by ultra-performance liquid chromatography. Journal of Food and Drug Analysis, 24 (3): 579-585.

Giglio, A., Pallavicini, A., Ammendola, A., Simeon, E., Battistella, S., Tagarelli, A. 2017. *Apis mellifera* ligustica, Spinola 1806 as bioindicator for detecting environmental contamination: A preliminary study of heavy metal pollution in Trieste, Italy. Environmental Science and Pollution Research, 24 (1): 659-665.

Hansson, B.S., Stensmyr, M.C. 2011. Evolution of Insect Olfaction. Neuron, 72 (5): 698-711.

Heidinger I., Meixner M., Berg S., Büchler R. 2014. Observation of the mating behavior of honey bee (*Apis mellifera*) queens using radio-frequencyidentification (RFID): Factors influencing the duration and frequency of nuptial flights. Insects, 5: 513-527.

Hernando, MD., Gamiz, V., Gil-Lebrero, S., Rodriguez, I., Garcia-Valcarcel, A.I., Cutillas, V., Fernandez, A.R., Flores, J.M. 2018. Viability of honeybee colonies exposed to sunflowers grown from seeds treated with the neonicotinoids thiamethoxam and clothianidin. Chemosphere, 202: 609-617.

Kargar, N., Matin, M., Matin, A.A., Buyukisik, H.B. 2017. Biomonitoring, status and source risk assessment

of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) using honeybees, pine tree leaves, and propolis. Chemosphere, 186: 140-150.

Kasiotis, K.M., Anagnostopoulos, C., Anastasiadou, P., Machera, K. 2014. Pesticide residues in honeybees, honey and bee pollen by LC–MS/MS screening: Reported death incidents in honeybees. Science of The Total Environment, 485-486: 633-642.

Matsumoto, Y., Menzel, R., Sandoz, J.C., Giurfa, M. 2012. Revisiting olfactory classical conditioning of the proboscis extension response in honeybees: A step toward standardized procedures. Journal of Neuroscience Methods, 211(1): 159-167.

Meikle WG., Holst N. 2015. Application of continuous monitoring of honeybee colonies. Apidologie, 46 (1): 10-22.

Perugini, M., Manera, M., Grotta, L., Abete, M.C., Tarasco, R., Amorena, M. 2011. Heavy metals (Hg, Cr, Cd and Pb) contamination in urban areas and natural reserves: Honeybees as bioindicators. Biological Trace Element Research, 140 (2): 170-176.

Ruschioni, S., Riolo, P., Minuz, R.L., Stefano, M., Cannella, M., Porrini, C., Isidoro, N. 2013. Biomonitoring with honeybees of heavy metals and pesticides in nature reserves of the Marche Region (Italy). Biological Trace Element Research, 154 (2): 226-233.

Sadeghi, A., Mozafari, A.A., Bahmani, R., Shokri, K. 2012. Use of honeybees as bio-indicators of environmental pollution in the Kurdistan province of Iran. Journal of Apicultural Science, 56: 83-88.

Sanchez, V., Gil, S., Flores, J.M., Quiles, F.J., Ortiz, M.A., Luna, J.J. 2015. Implementation of an electronic system to monitor the thermoregulatory capacity of honeybee colonies in hives with open-screened bottom boards. Computers and Electronics in Agriculture, 119: 209-216.

Schneider, CW., Tautz, J., Grunewald, B., Fuchs, S. 2012. RFID tracking of sublethal effects of two neonicotinoid insecticides on the foraging behavior of *Apis mellifera*. Plos ONE, 7 (1): e30023.

Schurischuster, S., Zambanini, S., Kampel, M., Lamp, B. 2016. Sensor study for monitoring varroa mites on honey bees (*Apis mellifera*). Proceedings of the Visual observation and analysis of Vertebrate and Insect Behavior (VAIB) Workshop. Cancun/Mexico. December 2016, 1-4.

Struye, M.H., Mortier, H.J., Arnold, G., Miniggio, C., Borneck, R. 1994. Microprocessor-controlled monitoring of honeybee flight activity at the hive entrance. Apidologie, 25 (4): 384-395.

Suckling D.M., Sagar R.L. 2011. Honeybees *Apis mellifera* can detect the scent of Mycobacterium tuberculosis. Tuberculosis, 91: 327-328.

Thany, S.H., Bourdin, C.M., Graton, J., Laurent, A.D., Mathé-Allainmat

Honeybees as chemical biomonitors in environment

N. Sahebzadeh[1], Z. Khooshehbast[1]

1- Plant Protection Department, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
DOI: 10.22092/hbsj.2019.122373.1065

Abstract

Insect olfaction systems enable them to detect very small amounts of environmental pollutants such as heavy metals, pesticides and secondary metabolites of disease pathogens such as bacteria. This process is called “biomonitoring”, which has attracted the attention of researchers as a result of low cost compared with other methods of monitoring. It has been proven that different animals like honeybees are trained for the sensitivity of their olfaction system through effective conditioning based on the responsive behavior of the visible smells to detect smuggling drugs, explosives, and even human diseases. Generally, environmental pollutant monitoring may be conducted through the assessment of honeybee specific behavior such as proboscis extension reflex (PER) in response to pollutants and chemical residue monitoring in colony products or honeybee body tissue. This paper pays attention to the ability of honeybees to monitor pollutants and other chemical compounds in the environment.

Key words: Biomonitoring, Chemical pollutant, Conditional Learning

Corresponding Author: N. Sahebzadeh
Email: drnajmeh.sahebzadeh@gmail.com