

Investigation the Effect of Chemical Pollution Caused by Field Spraying on Honeybee Behavior Using Data Mining Techniques

Z. Abdollahzare¹, N. Kazemi^{2*} and S. Abdanan Mehdizadeh²

1. PhD student, Department of Mechanization and Mechanics of Biosystems Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran.
2. Assistant Professor Department of Mechanization and Mechanics of Biosystems Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran.

Received: 1 October 2019

Accepted: 18 July 2020

Abstract

Introduction: Honeybees play an important role in pollination. However, there are many problems that threaten their life. Pollinators can be exposed to insecticides during their application, by contact with residues, or from the ingestion of pollen, nectar, or guttation fluid containing insecticide. The increasing use of neonicotinoids means there is a greater potential for pollinators to be exposed over longer periods as systemic insecticides can be found in the pollen and nectar of plants throughout their blooming period (Ellis, 2010). Exposure to insecticides may have lethal or sub-lethal behavioral or physiological effects. The impact of imidacloprid on homing flight was evaluated in field with a 500-m-distance between feeder and hive (Bortolotti et al. 2003). At the concentration of 100 lg kg⁻¹ foragers fed with imidacloprid-added syrup returned to the hive, but this treatment caused a temporary inhibition of the foraging activity, lasting more than 5 h. Foragers fed with 500 and 1000 lg kg⁻¹ of imidacloprid were seen neither at the hive nor at the feeding site for the 24 h after the treatment (Bortolotti et al. 2003). Decourtye et al. (2011) have shown how the RFID device can be used to study the effects of pesticides on both the behavioral traits and the lifespan of bees. In this context, they have developed a method under tunnel to automatically record the displacements of foragers individualized with RFID tags and detect the alteration of the flight pattern between an artificial feeder and the hive. Fipronil was selected as test substance due to the lack of information on the effects of this insecticide on the foraging behavior of free-flying bees. They showed that oral treatment of 0.3 ng of fipronil per bee (LD₅₀/20) reduced the number of foraging trips.

Therefore, the aim of this study was to monitoring and determination honeybee's behavior in exposure to pesticide using data mining techniques.

Materials and Methods: Three smart beehive systems developed to monitor the hive internal conditions. Therefore, each beehive equipped with temperature and humidity (HDC1080, China), vibration (MPU6050, China), and CO₂ (CCS811, China) sensors. Data was collected during spraying time for 48 hours and different features of vibration signal in two time-frequency and frequency domains were extracted by MFCC (Mel-Frequency Cepstral Coefficient) algorithm. After that, the most significant features were selected using PCA (Principle Component Analysis) which has been used specifically for extracting information from correlation matrices. Since the spectral data forms the array of correlated variables containing overlapped information, this



approach made it possible to extract useful information from high-dimensional data. In order to choose the number of components, the cross-validation method was used. The extracted principal components were used as the input variables for the classification model. In this paper, the support vector machine with different kernel functions including linear, polynomial, MLP, RBF, and quadratic was applied for performing classification.

Results and Discussion: According to the MFCC of internal vibration results, there were dramatic changes in the range of 1800 to 2200 Hz in spraying time; moreover, Spectrogram of MFCC coefficients for the X component acceleration shown intensity of 350 in the frequency of 2000 Hz and time range of 60 to 120 minutes; besides, humidity (8 to 18 %), the amount of CO₂ (450 to 530 ppm), and temperature (35 to 39 C) increased during this time. To reduce the dimensionality of data five PCs with minimum estimated mean squared prediction error (0.078) were selected based on Monte Carlo method and used in the classifier. Among the five kernels (RBF, linear, MLP, Polynomial, Quadratic), RBF could recognize normal and infected colony with identification rate of 100% and 90%, respectively.

Conclusions: According to the results, temperature, humidity, CO₂, and vibration sensors can recognize internal condition of beehive. Vibration features of honey bees' movements were extracted using MFCC followed by PCA in frequency-time domain. Five PCs were selected by cross-validation method and RBF kernel was the best kernel with identification rate of 100% and 90% for normal and infected beehive, respectively. Generally, the vibration signals (that were recorded by acceleration sensor) have shown the best result compared to the temperature, CO₂, and humidity sensors. It is worth nothing that the use of two temperature and humidity sensors is necessary to monitor and control the beehive internal conditions.

Key words: *Smart beehive, farm spraying, support vector machine, principle component analysis, mel-frequency cepstral coefficient*

بررسی اثر آلودگی شیمیایی ناشی از سمپاشی مزرعه بر رفتار زنبور عسل با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی

زهرا عبدالله زارع^۱، نواب کاظمی^۲ و سامان آبدانان مهدی‌زاده^۲

۱- دانشجوی دکتری مکانیزاسیون کشاورزی، گروه مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۲- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

تاریخچه مقاله

چکیده

سمپاشی‌های صورت گرفته در مزارع برای مبارزه با آفات از جمله مشکلاتی است که زندگی زنبورهای عسل و عملکرد آن‌ها را تهدید می‌کند. بنابراین در پژوهش حاضر شرایط درونی کندو با استفاده از تجهیز آن به حسگرهای ارتعاش، دما، رطوبت و دی‌اکسیدکربن طی مدت ۷۲ ساعت از زمان سم-پاشی مزارع بررسی شد. با توجه به آنالیز ضرائب مل، آفت‌کش سبب افزایش ۱۰۰ واحدی شدت در محدوده فرکانسی ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ هرتز شد. به علاوه با توجه به اطلاعات به‌دست آمده از دیگر حسگرها، دما تحت شرایط نامساعد (وجود آفت‌کش پرمیکارب (پرمور) ۵۰٪ wp در فضا) نسبت به شرایط نرمال از ۳۵ به ۳۹ درجه سلسیوس، میزان دی‌اکسید کربن از ۴۵۰ به ۵۳۰ پی‌پی‌ام و رطوبت حدود ۱۰ درصد افزایش یافت. به منظور طبقه‌بندی ویژگی‌های استخراج شده تحت هر دو شرایط (شرایط آلوده به سموم شیمیایی و شرایط بدون آلودگی) ابتدا با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی انتخاب ویژگی صورت پذیرفت و ۶ مؤلفه با حداقل خطای میانگین مربعات ۰/۰۷۸ انتخاب شدند. پس از انتخاب ویژگی‌ها، طبقه‌بندی ویژگی‌های منتخب با استفاده از ماشین بردار پشتیبان با کرنل‌های مختلف (RBF، خطی، چندجمله‌ای، کوادراتیک، سیگموئید) انجام شد که کرنل RBF دو شرایط غیرآلوده و آلوده به آفت‌کش را به ترتیب با ۱۰۰٪ و ۹۰٪ دقت تشخیص داد. به طور کلی از بین حسگرهای مورد استفاده در سامانه هوشمند، حسگر ارتعاش بهترین نتیجه را به منظور تشخیص شرایط نامساعد کندو در بر داشت.

دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۹

پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰۴/۲۸

کلمات کلیدی:

سامانه کندوی هوشمند،

سم‌پاشی مزارع،

ماشین بردار پشتیبان،

آنالیز مؤلفه اصلی،

ضریب کپستروم مل فرکانس

* عهده دار مکاتبات

Email:

navab20@yahoo.com

مقدمه

زنبورعسل مهم‌ترین حشره‌ای است که وظیفه گرده افشانی گیاهان گلدار زراعی و باغی را به عهده دارد؛ یکی از مشکلاتی که حیات این دام کوچک را تهدید می‌نماید،

سمپاشی محصولات کشاورزی است که تلفات حاصل از آن روی حشرات گرده افشان باعث کاهش جمعیت و نقش این حشرات در حفظ محیط زیست می‌شود. اغلب کاوشگرهای غذا (زنبورهای عسل جوان) در

عبداله زارع و همکاران: بررسی اثر آلودگی شیمیایی ناشی از...

همچنین فعالیت زنبورهای نگهبان شد (دکورتی و همکاران^{۱۱}، (۸)؛ کولین و همکاران^{۱۲}، (۶).

مطالعاتی که تاکنون در این زمینه انجام شده در حیطه فیزیولوژی زنبور و به صورت آزمایشات شیمیایی بوده است؛ بدین منظور انجام تمامی مراحل آزمایش مستلزم بازدید از کندو و بررسی رفتار و فعالیت‌های روزمره زنبورها به روش تهاجمی است. تشخیص از راه دور و به صورت خودکار یکی از روش‌های مورد استفاده در کشاورزی دقیق است. در زمینه زنبورداری نیز با استفاده از شبکه‌های حسگر بیسیم مطالعات و بررسی‌هایی به منظور کاهش تلفات و فرار احتمالی زنبورها صورت گرفته است. بدین منظور در پژوهشی توسط بنسیک و همکاران^{۱۳} (۲) به شناسایی فرآیند هجوم زنبور عسل با تحلیل طول مدت ارتعاشات کندو پرداخته شد؛ در واقع مجموعه‌ای از سیگنال‌های ارتعاش لحظه‌ای مستقل از زنبور عسل با استفاده از یک روش کاملاً خودکار و غیر تهاجمی شناسایی و مورد نظارت قرار گرفت. همچنین آن‌ها به این نتیجه رسیدند که تغییرات فاکتور وزن می‌تواند نشانه‌ای از فرآیند هجوم باشد که معمولاً این تغییرات چند روز قبل از واقعه شروع می‌شود. روش نظارتی می‌تواند برای ارائه اثرات دیگر به خصوص در سایر فرآیندهای فیزیولوژیکی در مورد زنبور عسل و درک بهتر مسائل بهداشتی و زیست محیطی که اخیراً با گرده افشان‌ها مواجه شده است، استفاده شود. بنابراین کندوی توسعه یافته نه تنها در مطالعات رفتاری زنبور قابل استفاده است، بلکه توانایی تشخیص شرایط نامناسب کندو را نیز دارد. این مساله به زنبورداران در تغییر به موقع مکان کندو و کاهش خسارات ناشی از سموم کمک شایانی می‌نماید.

مواد و روش‌ها

پایش شرایط داخلی کندو در بهار سال ۱۳۹۸ (زمان سمپاشی مزارع کلزا) در خوزستان (شهرستان اهواز) انجام

معرض ترکیبات سمی قرار می‌گیرند و با آوردن شهد آلوده به سموم شیمیایی از جمله نئونیکوتینوئیدها (حشره‌کش‌های سیستماتیک) برای تغذیه لاروها باعث مسمومیت و کاهش جمعیت کندو می‌شوند ویلا و همکاران^۱ (۲۱)؛ الیس^۲، (۹). بانگ و همکاران^۳ (۲۳) دریافتند که املیفرا^۴ با تغذیه از ایمیدکتوپرید^۵ و آنتونیکوتینوئید^۶، رفتار تغذیه‌ای غیرعادی از خود نشان می‌دهند، بطوریکه سفرهای تغذیه‌ای آن‌ها حدود ۲۰ تا ۶۰٪ کاهش یافت و با تأخیر انجام می‌شد. از دیگر اثرات این حشره‌کش‌ها بر زنبورهای عسل ایجاد اختلال در حس بویایی، گشت و گذار، ناوبری و جهت‌گیری، فعالیت‌های عضلانی و همچنین توانایی یادگیری و حافظه آن‌ها با گذشت زمان است لوندین و همکاران^۷، (۱۴). در پژوهشی اثر تماس مداوم سم کرایوان ابی^۸ بر حس بویایی زنبورها مورد بررسی قرار گرفت؛ بر اساس نتایج مشخص شد که تغذیه از شربت آلوده به سم با غلظت 5 mg.Kg^{-1} توانایی یادگیری زنبورها را تحت تأثیر قرار می‌دهد و همچنین سبب افزایش مصرف شربت توسط زنبورها در محیط آلوده به سم می‌شود رامیرز-رومنو و همکاران^۹، (۱۸). در ضمن در پژوهش رامیرز-رومنو (۱۷) مشخص شد که استفاده از شربت سمی با غلظت 1 mg.Kg^{-1} به مدت ۷ روز هیچ اثری بر رفتار یادگیری زنبورها ندارند اما باعث کاهش فعالیت تغذیه‌ای پس از اتمام آزمایش شد. در بررسی اثرات مخرب دو حشره‌کش، محلول شکر برای تغذیه زنبورها با ایمیدکتوپرید و دلتامترین^{۱۰} به ترتیب با غلظت‌های $24 \text{ } \mu\text{g.Kg}^{-1}$ و $500 \text{ } \mu\text{g.Kg}^{-1}$ ترکیب شد که در نهایت موجب کاهش فعالیت زنبورهای کاوشگر غذا و

- 1- Villa *et al.*
- 2- Ellis
- 3- Yang *et al.*
- 4- A.mellifera
- 5- imidactoprid
- 6- aneonicotinoid
- 7- Lundin *et al.*
- 8- Cry1Ab
- 9- Ramirez-Romero *et al.*
- 10- deltamethrin

11- Decourtye *et al.*

12- Colin *et al.*

13- Bencsik *et al.*

در صورتی که بین قرائت حاضر و الگوهای از پیش تعیین شده شباهتی وجود داشت، قرائت غیر معمول تشخیص داده شده و پیام هشدار به کاربر ارسال می‌شد؛ در غیر اینصورت اطلاعات به طور معمول در منبع ذخیره سازی می‌گردید. شکل (۲) نمودار روند نمای الگوریتم تشخیص رفتار زنبور درون کندو را نشان می‌دهد.

استخراج ویژگی

با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده از فعالیت‌های زنبور عسل تحت شرایط محیطی موجود و مطالعات انجام شده، استخراج ویژگی در سه حوزه زمان، فرکانس و زمان-فرکانس قابل پردازش است. به منظور استخراج ویژگی از سیگنال‌های ارتعاش، به دلیل تغییرات زیاد فرکانس در زمان از روش زمان-فرکانسی استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل سیگنال‌های ارتعاش، از فیلتر گوسی برای حذف نویز در سیگنال‌های ارتعاش استفاده شد (اورک و همکاران، ۱۵). داده‌های مورد استفاده مربوط به شرایط تحت سم‌پاشی به طور متوسط ۵۷ تکرار ۶۰۰۰ تایی (شامل ۳ مؤلفه شتاب و ۳ مؤلفه سرعت زاویه‌ای) طی مدت ۹ ساعت و داده‌های مربوط به شرایط معمولی نیز ۷۶ تکرار ۶۰۰۰ تایی بود که طی مدت ۳۶ ساعت بدست آمد. سپس تحلیل روی سیگنال‌ها در حوزه‌های زمان، زمان-فرکانس و فرکانس انجام پذیرفت.

بسامد مل^۱ از الگوریتم‌های مورد توجه در حوزه زمان-فرکانس ضرایب کپستروم است. برای محاسبه ضرایب کپستروم بسامد مل ابتدا سیگنال ارتعاش با اعمال پنجره هامینگ^۲ بخش‌بندی شد. کپستروم به عنوان معکوس لگاریتم مقدار^۳ DFT یک سیگنال تعریف می‌شود. لذا بعد از بخش‌بندی DFT روی هر پنجره اعمال شد (رابطه ۱ و ۲) (تودی‌سکو و همکاران، ۲۰).

شد. پس از به ساقه رفتن کلزا با ظهور غنچه‌ها، در اوایل بهار مرحله غنچه‌دهی شروع و به دلیل آلودگی مزرعه کلزا به شته، نسبت به سم‌پاشی مزرعه و مبارزه با آن اقدام شد. سم-پاشی طی سه روز بین ساعات ۶ تا ۷ صبح قبل از طلوع آفتاب انجام شد. یک ساعت قبل از سم‌پاشی، داده‌برداری به وسیله سامانه هوشمند صورت گرفت. برای ثبت عکس العمل‌های بعدی پس از پایان سم‌پاشی تا حدود ۴ ساعت بعد نیز داده‌برداری ادامه یافت. بدین منظور سه کندو مجهز به سیستم پایش هوشمند استفاده شد. حسگرهای به کار رفته در کندو شامل حسگر دما و رطوبت (مدل HDC1080، کشور چین)، تعیین میزان گاز دی‌اکسیدکربن موجود در کندو (مدل CCS811- کشور چین)، حسگر شتاب ۶ محوره (مدل MPU9255، کشور چین) بودند. برای حسگر شتاب در هر ثانیه ۳۸۰۰ داده و هر حسگر محیطی به طور پیوسته ۱۲ بار در ثانیه عمل داده‌برداری صورت می‌گرفت (نرخ نمونه‌گیری توسط کاربر قابل تغییر بود). فرستنده nRF24L01 داده‌های اخذ شده از هر کندو را به گره کنترل برای آنالیز برخط ارسال می‌کرد و همچنین برای از دست ندادن داده‌ها در زمان‌های قطعی برق، داده‌ها روی کارت حافظه متصل به سیستم جمع‌آوری داده ذخیره می‌شدند. مجموعه حسگرها در محفظه مکعبی شکل و داخل کندو و سیستم جمع‌آوری داده خارج از کندو قرار داشتند (شکل ۱). تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده برای ارزیابی سیستم و انتخاب مناسب‌ترین و کارآمدترین حسگرها در تشخیص شرایط نامساعد کندو بر اساس عملکرد الگوریتم طبقه‌بندی صورت پذیرفت.

تعیین الگوهای غیرمعمول در حسگرهای ارتعاش، دما، رطوبت و دی‌اکسید کربن

به منظور تعیین الگوی رفتاری زنبور در حال معمول و غیرمعمول (حضور سم) ابتدا با نظارت مستقیم بر داده‌ها و با استفاده از سامانه توسعه یافته، پایگاه داده‌ای برای حالت نامساعد ایجاد شد. پس از داده‌برداری، ویژگی‌هایی استخراج و با الگوهای موجود در سامانه مقایسه شدند. بررسی و مقایسه شباهت به صورت پیوسته صورت گرفت و

1- MFCC

2- Hamming

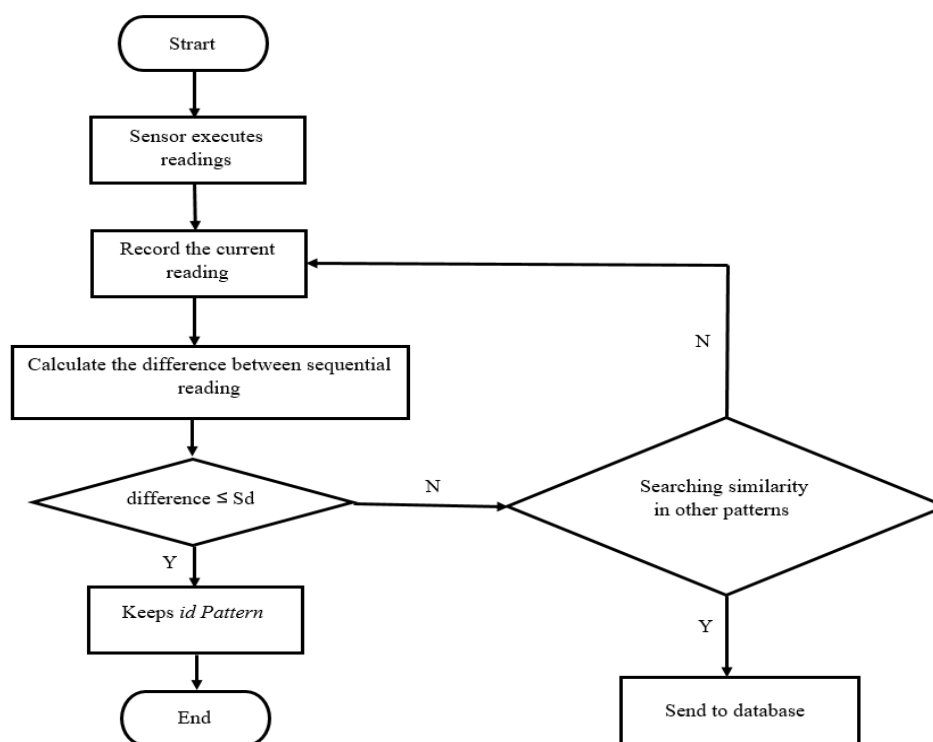
3- Discrete Fourier Transfom

4- Todisco et al.

عبداله زارع و همکاران: بررسی اثر آلودگی شیمیایی ناشی از...



شکل (۱) سامانه اخذ و ثبت داده مورد استفاده در کندوی هوشمند
Figure (1) Data Logger of smart beehive



شکل (۲) فلوجارت بررسی و تغییر الگوها در کندو: (شروع) Start، (قرائت‌های عملکرد حسگر) Sensor executes readings، (ثبت قرائت جاری) Record the current reading، (محاسبه اختلاف بین قرائت‌های متوالی) Calculate the difference between sequential reading، (نگهدار الگوی انتخاب شده) Keeps id pattern، (اختلاف) difference، (جستجوی شباهت با دیگر الگوها) Searching similarity in other patterns، (بفرست به پایگاه داده) Send to database، (پایان) End.

Figure (2) Flowchart of searching algorithm for pattern recognition inside beehive

که در این روابط N تعداد نمونه‌ها، F تبدیل فوریه گسسته، $c[n]$ کپستروم و X سیگنال است.

با جایگذاری رابطه (۱) در رابطه (۲) کپستروم یک

سیگنال بدست می‌آید (رابطه ۳):

$$c[n] = F^{-1} \left\{ \log \left| F \{ x[n] \} \right| \right\} \quad (1)$$

$$X[m] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j \frac{2\pi mn}{N}} \quad (2)$$

استفاده از آن مقادیر ویژه و بردارهای ویژه تجزیه می‌شوند (رابطه ۸):

$$S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - m)(x_i - m)^T \quad (۷)$$

$$\lambda_i e_i = S e_i \quad (۸)$$

که در این رابطه λ_i مقادیر ویژه و e_i بردارهای ویژه است. ماتریس تبدیل W با انتخاب p بردارهای ویژه اول متناظر با مقادیر ویژه λ_i ها که به صورت نزولی مرتب شده- اند، با رابطه $W = \{e_i\}_{i=1}^p$ بدست می‌آید. در انتخاب تعداد مؤلفه‌های اصلی باید به این نکته توجه کرد که شرط (رابطه ۹) برقرار شود (لی و همکاران^۵، (۱۳)):

$$\sum_{i=1}^{i=p} \lambda_i / \sum_{i=1}^{i=m} \lambda_i \geq 0.9 \quad (۹)$$

که در آن m تعداد کل مقادیر ویژه و p تعداد مؤلفه‌های انتخابی است. در نهایت فضای جدید y_i ایجاد می‌شود.

با در اختیار داشتن تعداد زیاد مؤلفه‌ها مسلماً برازش داده‌ها به خوبی انجام می‌شود اما ممکن است منجر به بیش برازش^۶ شود. بیش برازش می‌تواند باعث شود یک مدل به خوبی به داده‌های جدید تعمیم داده نشود و یا به عنوان واریانس اضافی درون پارامترهای خارج از مجموعه داده- های اندازه‌گیری شده، قرار گیرد. برای جلوگیری از این مشکل، اعتبارسنجی متقابل^۷ که یک روش معتبر آماری برای انتخاب تعداد مؤلفه‌ها با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی است صورت پذیرفت. در مطالعه حاضر اعتبارسنجی متقابل با روش مونت کارلو یا روش تکرار تصادفی بازنمونه‌گیری برای تعیین تعداد بهینه مؤلفه‌های اصلی استفاده شد (اکسو و لیانگ^۸، (۲۲)).

طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان

ماشین بردار پشتیبان یک الگوریتم آموزش ماشین نظارتی است که به منظور طبقه‌بندی و تشخیص شرایط نامساعد محیطی و فرار احتمالی کلونی استفاده شد. روش ماشین بردار پشتیبان به صورت گسترده در کاربردهای

$$\sum_{n=0}^{N-1} \log \left(\left| \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j \frac{2\pi}{N} kn} \right|^2 \right) e^{j \frac{2\pi}{N} kn} \quad (۳)$$

طیف بسامد مل در تجزیه و تحلیل زمان n به صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود (چانگ^۵):

$$MF[r] = \frac{1}{A_r} \sum_{k=L_r}^{U_r} |V_r[k] X(n.k)| \quad (۴)$$

که V_r مقادیر تابع مثلثی برای r امین بخش ارتعاش است که شامل شاخص DFT از فرکانس $k=L_r$ تا $k=U_r$ که به عنوان یک عامل نرمال‌کننده برای این قسمت از ارتعاش به کار می‌رود، $MF[r]$ خروجی r امین کانال بانک فیلتر، برای هر پنجره یک مقدار لگاریتم برای بدست آوردن MFCCs محاسبه می‌شود (رابطه ۵) که معمولاً برای یک تعداد مشخصی از ضرایب ارزیابی شد.

$$MFCC[m] = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \log(MF[r]) \cos \left[\frac{2\pi}{R} \left(r + \frac{1}{2} \right) m \right] \quad (۵)$$

R تعداد ضرایب مورد نظر مل و m تعداد کانال‌های بانک فیلتر است که در این پژوهش به ترتیب ۸ و ۲۴ انتخاب شدند (بیشاپ و همکاران^۱، (۳)).

انتخاب ویژگی

به منظور انتخاب ویژگی‌های استخراج شده از سیگنال‌های دما، رطوبت نسبی، دی اکسید کربن و ارتعاش از ترکیب الگوریتم آنالیز مؤلفه اصلی^۲ و طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان^۳ استفاده گردید. در این مرحله الگوریتم آنالیز مؤلفه اصلی برای انتخاب بهترین ویژگی و همچنین کاهش ابعاد ویژگی‌های استخراج شده ارتعاش به کار برده شد. میانگین بردار ویژگی‌های اصلی از رابطه (۶) محاسبه شد (کیم و همکاران^۴، (۱۲)):

$$m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (۶)$$

که در این رابطه x_i بردار ویژگی‌ها و N تعداد نمونه‌ها است. سپس ماتریس کوواریانس S محاسبه (رابطه ۷) و با

5- Lee et al.

6- Over fitting

7- Cross validation

8- Xu and Liang

1- Bishop et al.

2- Principal Component Analysis

3- Support Vector Machine

4- Kim et al.

تحلیل نتایج

استخراج ویژگی

استخراج ویژگی یکی از مراحل مهم در پردازش سیگنال است. نکته‌ای که باید در هنگام استخراج ویژگی به آن توجه نمود ماهیت سیگنال‌های مورد نظر است که ناشی از حرکت بال زدن و جنب و جوش و رقص زنبورهای درون کندو است. همچنین یکی از راه‌های ارتباطی بین زنبورهای عسل انتشار سیگنال‌های ارتعاشی است که هنگام مواجهه با خطر، ارتعاش در شانه‌های کندو بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ هرتز به صورت حرکات پیچشی و رقص افزایش می‌یابد که این تغییر فاز در طول فاصله بین زنبور رقصنده و ملتزمین دارای بیشترین فرکانس است (توتز^{۱۱}، (۲۰)). در پژوهش حاضر روش ضرایب کپستروم مل بر سیگنال ارتعاش اعمال شد. این ضرایب، اطلاعات زمان-فرکانسی از ویژگی‌های ارتعاش ناشی از حرکات بدن زنبورهای عسل را فراهم می‌نماید. ارتعاش درونی کندو بر اساس دو پارامتر شتاب و سرعت زاویه‌ای در سه صفحه مختصات X ، Y و Z مورد بررسی قرار گرفت و تغییرات ضرایب مل برای هر شش مؤلفه مذکور به دست آمد. با اعمال الگوریتم ضرایب کپستروم بسامد مل، برای هر نمونه از هر مؤلفه ۸ ضریب بدست آمد. شکل (۳) بزرگی تغییرات ضرایب مل فرکانس را برای شتاب در جهت محور x ها برای یک نمونه نشان می‌دهد.^{۱۲} همانطور که در شکل‌های (۳-۳) و (۳-۳) دیده می‌شود در محدوده فرکانسی ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ هرتز، میزان بزرگی دارای تغییرات قابل ملاحظه‌ای بود که می‌تواند گویای تغییر در وضعیت کندو در این محدوده فرکانسی باشد. برای شکل‌های (۳-۳)، (۳-۳) و (۳-۳) نیز این تغییرات کوچکتر و دارای توزیع نسبتاً یکنواختی است بنابراین حاوی اطلاعات کمی هستند (در محدوده فرکانسی ۲۰۰۰ هرتز تغییرات کوچکی را نیز نشان می‌دهند).

متفاوت با عملکرد بسیار عالی استفاده شده است (ادانکون و چریت^۱، (۱)). کرنل‌های متداول و بسیار پرکاربرد در سیستم‌های جداسازی شامل: کرنل RBF^۲، تانژانت هیپربولیک یا سیگموئید^۳، کوادراتیک^۴، چندجمله‌ای^۵ و خطی^۶ هستند (گان^۷، (۱۱)). روابط (۱۰)، (۱۱)، (۱۲)، (۱۳)، (۱۴) و (۱۵) به ترتیب بیانگر صفحه جداکننده، کرنل RBF، خطی، کوادراتیک، چندجمله‌ای و سیگموئید است (راقاوندرا و دکا^۸، (۱۶)).

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \gamma_i k(x_i, x) + b \quad (10)$$

$$K(x, y) = \exp(\gamma \|x - y\|^2) \quad (11)$$

$$K(x, y) = x \times y \quad (12)$$

$$K(x, y) = (x \times y + 1)^2 \quad (13)$$

$$K(x, y) = (x \times y + 1)^p \quad p=3,4,\dots \quad (14)$$

$$K(x, y) = \tanh(\gamma x \times y + C) \quad (15)$$

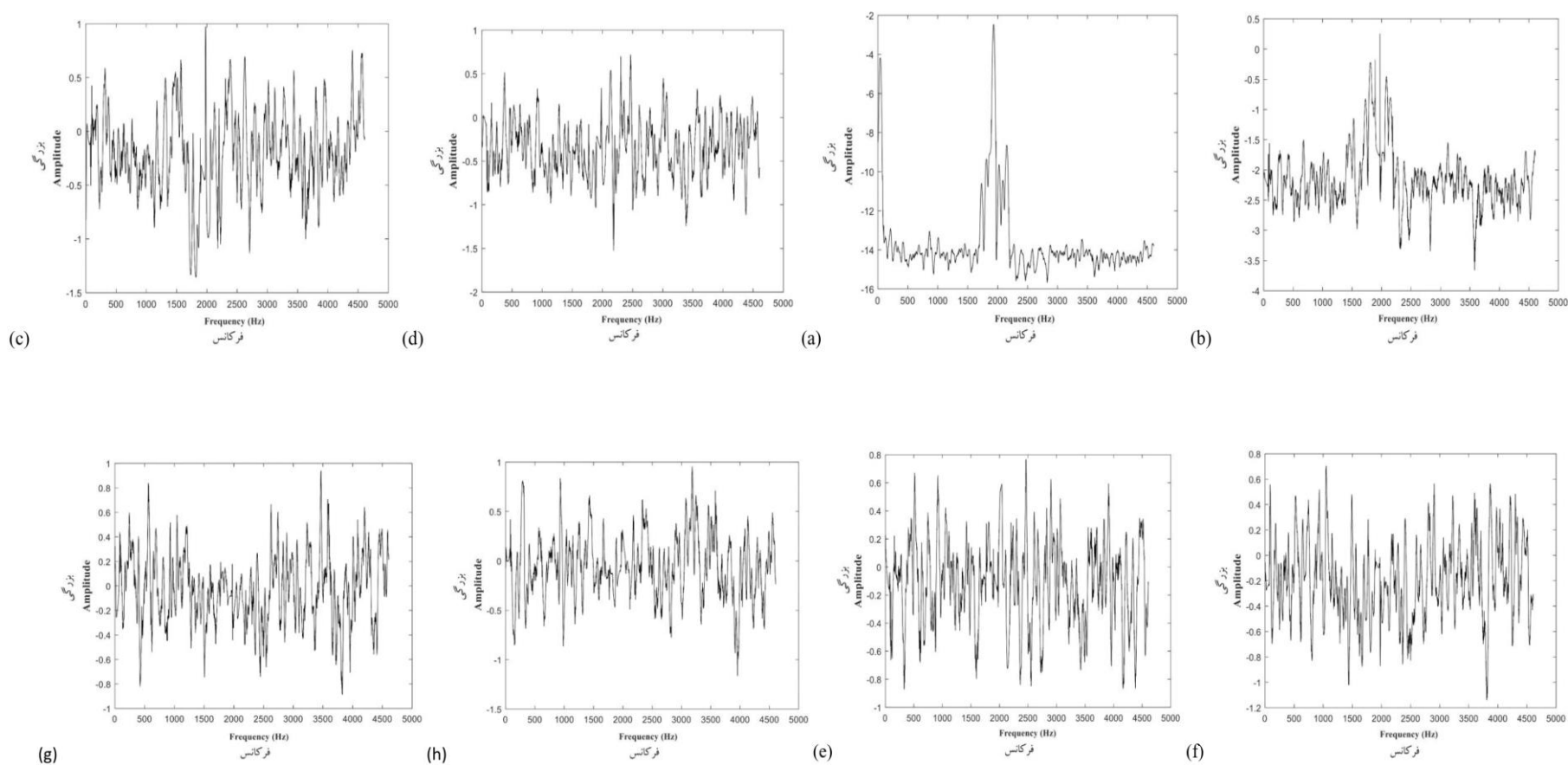
در رابطه (۱۰) ضرایب α_i تعیین می‌شوند که به کمک روش کوادراتیک پروگرامینگ^۹ تعیین می‌شود و b مقدار بایاس است. در رابطه‌های (۱۰) تا (۱۵) K تابع کرنل برای تعیین فضای معیارها است. γ و C پارامترهای کرنل هستند.

برای طبقه‌بندی ویژگی‌های منتخب با استفاده از کرنل‌های طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان، ابتدا داده‌ها به دو دسته‌ی آموزشی و آزمون تقسیم شدند. سپس تعداد مؤلفه اصلی انتخاب شده به صورت ورودی وارد طبقه‌بند شدند. در مرحله آموزش ۷۰ درصد داده‌ها و ۳۰ درصد برای آزمایش به صورت تصادفی از بین کل داده‌ها انتخاب شد. برای اجرای آنالیزها از نرم افزار متلب ۲۰۱۶^{۱۰} استفاده شد.

- 1- Adankon and Cheri
- 2- Radial Basis Function
- 3- MLP (Sigmoidal)
- 4- Quadratic
- 5- polynomial
- 6- Linear
- 7- Gunn
- 8- Raghavendra and Deka
- 9- Quadratic Programming
- 10- Matlab 2016

11- Tautz

۱۲- به دلیل محدودیت تعداد صفحات مقاله بر اساس فرمت ارائه شده، فقط شکل‌های مربوط به محور X ها در مقاله حاضر نشان داده شده است.

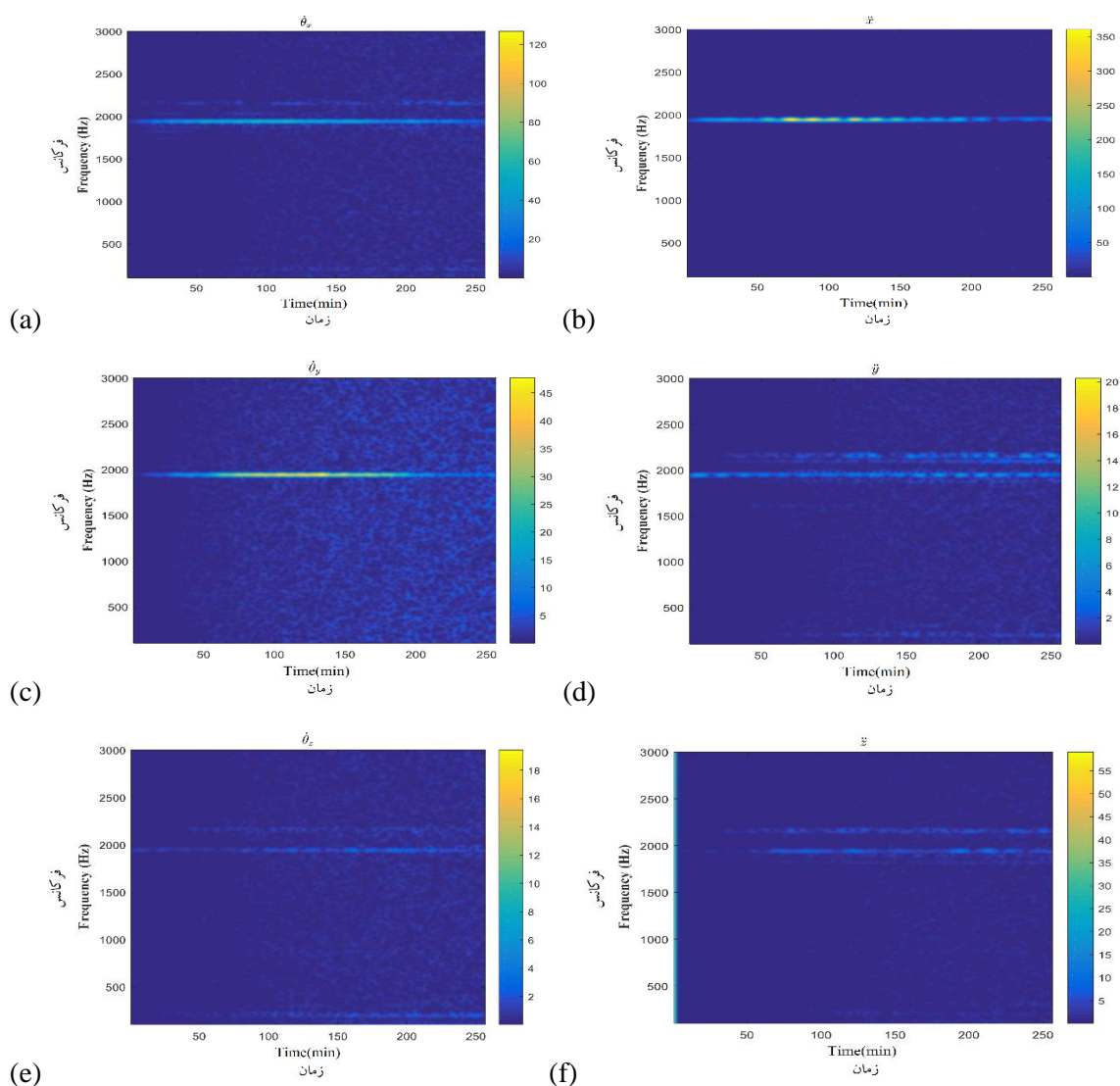


شکل (۳) (a) تا (h) بزرگی تغییرات هشت ضریب مل فرکانس برای شتاب در جهت محور X
 Figure (3) (a) to (h) are Amplitude of changes of MFC 8 coefficients in X direction

عبداله زارع و همکاران: بررسی اثر آلودگی شیمیایی ناشی از...

محور Z ها (e-۴) ۸ درجه بر ثانیه بوده که نسبت به محور X ها (a-۴) و Y ها (c-۴) به ترتیب با شدت ۶۰ و ۴۵ درجه بر ثانیه از مقادیر کمتری برخوردار است. شدت مقادیر ذکر شده در بازه زمانی ۶۰ تا ۱۲۰ بیشتر نسبت به زمان‌های دیگر در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز بزرگتر است که در واقع وقوع این تغییرات بر شرایط نامناسب و بحرانی درون کندو ناشی از سمپاشی مزارع (بین ساعت ۶ تا ۷ صبح) در این فرکانس دلالت می‌کند.

بر اساس نتایج حاصل از ضرایب مل، اسپکتروگرام سه مؤلفه سرعت زاویه‌ای و شتاب در جهت محور X، Y، Z تحت شرایط نرمال و آلوده به آفت‌کش ترسیم شدند (شکل ۴). بر اساس شکل b-۴ (شتاب در راستای محور X)، در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز، بزرگی تغییرات با ۳۵۰ درجه بر مجذور ثانیه نسبت به شتاب در جهت محور Y (d-۴) و در جهت محور Z (f-۴) از مقدار بیشتری برخوردار می‌باشد. در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز، سرعت زاویه‌ای در جهت



شکل (۴) اسپکتروگرام حاصل از ضرایب کپستروم مل فرکانس. (a)، (c) و (e): به ترتیب سرعت زاویه‌ای در راستای محور X،

Y و Z؛ (b)، (d) و (f): شتاب در راستای محور X، Y و Z

Figure (4) Spectrogram of MFCC coefficients. (a), (c), and (e): Angular velocity along the X, Y, and Z axis, respectively; (b), (d), and (f): Acceleration along the X, Y, and Z axis, respectively.

و دما را به دنبال دارد. در پژوهشی که به منظور بررسی هجوم در کندو انجام پذیرفت مشخص گردید که مقدار فرکانس صدای ثبت شده از محدوده ۱۰۰-۳۰۰ هرتز (شرایط عادی کندو) تا فرکانس بالاتر از ۵۰۰ تا ۶۰۰ هرتز (هنگام هجوم) تغییر کرد. بعلاوه تغییرات دما (از ۳۵ به ۳۳ درجه سلسیوس) و رطوبت (افت ۵ درصدی) نیز کاهش یافته بودند. محققین دلیل این مساله را بال زدن شدیدتر زنبورها هنگام هجوم دانسته‌اند (فراری و همکاران (۱۰)).

به منظور بررسی دقیق‌تر شرایط محیطی درون کندوها برای دو حالت غیر آلوده و آلوده به آفت کش، بیشینه مقادیر دی اکسید کربن، رطوبت و دمای داخلی کندو در هر تکرار بدست آمد. سپس با استفاده از آزمون T بین میانگین مقادیر بیشینه در دو حالت مذکور مقایسه صورت گرفت. بر اساس نتایج حاصل از این بررسی (جدول ۱) اختلاف میانگین میزان دی اکسید کربن ($38/33 \pm 16/65$) و دمای درون کندو ($3/87 \pm 0/32$) به ترتیب در سطح ۵٪ و ۱٪ معنی دار شد. مقایسه میانگین رطوبت درون کندو تحت دو شرایط با مقدار خطای ۱۲/۰ معنی دار نشد.

انتخاب ویژگی با استفاده از آنالیز مؤلفه اصلی

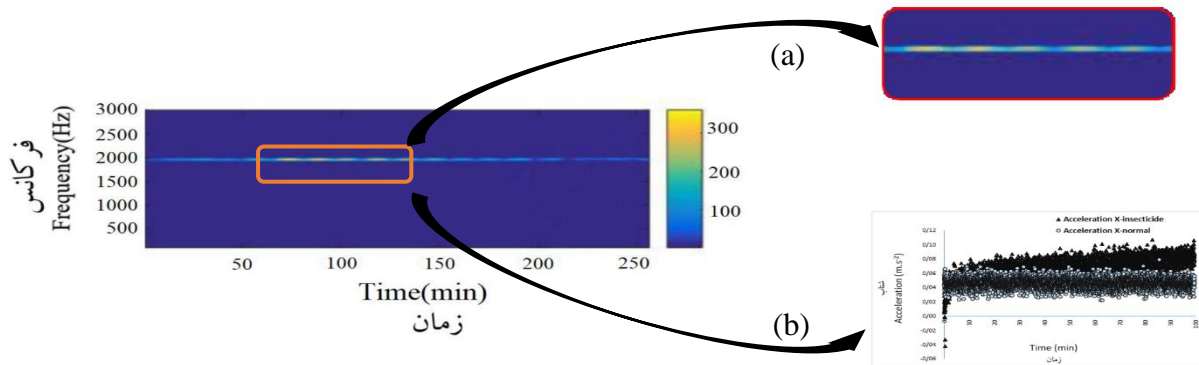
هدف از انجام آنالیز مؤلفه اصلی، انتخاب ویژگی‌های مؤثر بر تشخیص شرایط نامساعد کلونی است. بدین منظور ضرایب و ویژگی‌های استخراج شده با استفاده از مل کپستروم برای تعیین تعداد مؤلفه‌های مورد نیاز با حداقل خطای مورد انتظار، تجزیه و تحلیل شدند. نتایج حاصل از اعتبارسنجی متقابل با روش تکرار تصادفی بازنمونه‌گیری (روش مونت کارلو) به منظور تعیین تعداد بهینه مؤلفه‌های اصلی در شکل ۷ نشان داده شده است. بر این اساس ۶ مؤلفه اصلی (برای هر یک از مشاهدات از مجموعه داده‌ها با ۱۳۳ مشاهده شامل شرایط نرمال و آلوده به آفت کش، ۶ مؤلفه اصلی انتخاب شد) دارای بیش از ۹۲٪ واریانس داده‌ها و حداقل خطای میانگین

به منظور بررسی دقیق‌تر تغییرات، بزرگ نمای شتاب در جهت محور x در شکل (۵-a) به عنوان نمونه ترسیم شد. همانطور که در شکل مشخص است در محدوده فرکانسی ۲۰۰۰ میزان بزرگی تغییرات شتاب در محدوده ۳۵۰ متر بر مجذور ثانیه است که حاکی از شرایط غیرطبیعی در دوره زمانی ۶۰ تا ۱۲۰ دقیقه (سم‌پاشی طی ساعات ۶ تا ۷ صبح صورت گرفت اما اثرات آن تا دقایقی بعد ادامه یافت) است. شکل (۵-b) که از داده‌های شتاب جمع‌آوری شده توسط سامانه هوشمند بدست آمده است حاکی از افزایش شتاب تحت شرایط نامساعد در راستای محور x را نسبت به وضعیت نرمال کندو بیان می‌کند. این مساله نشان از افزایش نوسانات در کندو نسبت به شرایط نرمال در کندو است. بنسبک و همکاران (۲) برای شناسایی فرآیند فرار زنبورها با استفاده از یک شتاب‌سنج، طول مدت ارتعاشات را نظارت و اندازه‌گیری کردند. بر اساس نتایج، حداکثر ارتعاش ایجاد شده Hz ۲۰۰۰ و به مدت ۵ ساعت به طول انجامید.

برای پایش شرایط داخلی کندو علاوه بر حسگر شتاب از حسگرهای دما، رطوبت و دی اکسید کربن نیز استفاده شد. دمای داخلی کندو تحت شرایط نامساعد (وجود آفت کش در هوا) از ۳۵ درجه به ۳۹ درجه سلسیوس (شکل ۶-a) و رطوبت درون کندو نیز حدود ۱۰ درصد افزایش یافت (شکل ۶-b). در واقع با افزایش میزان جنب و جوش زنبورها درون کندو، درصد بالایی از رطوبت تبخیر و باعث کاهش دمای درون کندو می‌شود. همچنین برای تعیین میزان تنفس زنبورها درون کندو که می‌تواند به عنوان شاخصی از جمعیت کندو باشد از حسگر دی اکسید کربن استفاده شد. طبق شکل (۶-c) طی دقایق ۶۰ تا ۱۲۰ میزان تنفس افزایش چشمگیری داشته به طوری که از پی‌پی‌ام ۴۵۰ در شرایط معمول به پی‌پی‌ام ۵۳۰ تحت شرایط نامساعد تغییر یافته است. بنابراین بر اساس نتایج بدست آمده سم‌پاشی باعث هجوم زنبورها به داخل کندو می‌شود که افزایش میزان تنفس و همچنین تحرک کمتر زنبورها و افزایش رطوبت

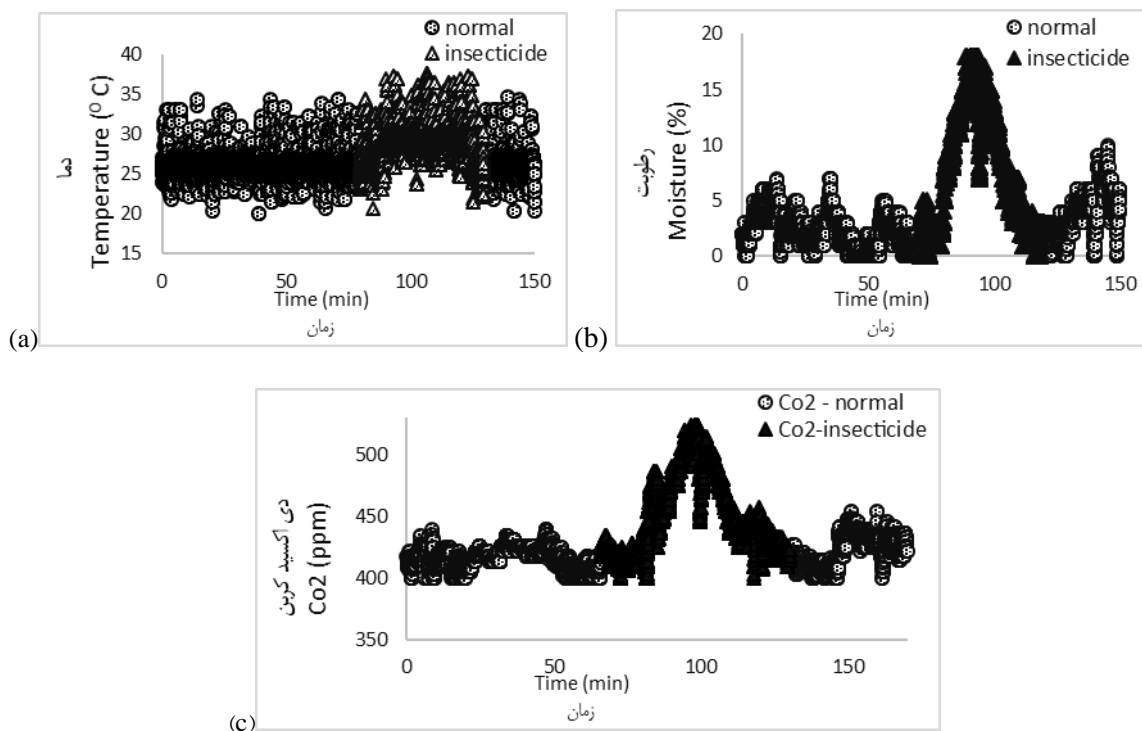
عبداله زارع و همکاران: بررسی اثر آلودگی شیمیایی ناشی از...

مربعات معادل ۰/۰۷۸ می‌باشند. بطوریکه مؤلفه‌های اصلی ۱-۶ حاوی بیشترین اطلاعات مربوط به شرایط درون کلونی است.



شکل (۵) (a) بزرگ نمایی شتاب در جهت محور x؛ (b) تغییرات شتاب در واحد زمان: (حشره کش) insecticide (عادی) normal

Figure (5) (a): The magnification of the acceleration in X direction; (b): Acceleration changes per unit time

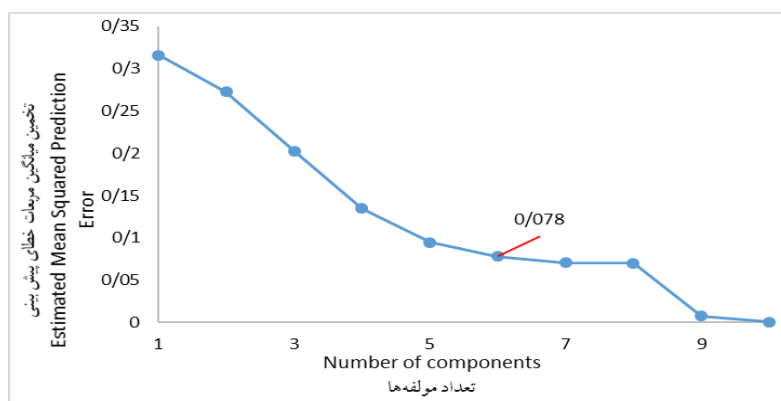


شکل (۶) تغییرات دما، رطوبت و میزان دی اکسید کربن درون کندو تحت دو شرایط نرمال و آلوده به آفت کش (a) دما، (b) رطوبت و (c) دی اکسید کربن

Figure (6) Condition changes of beehive under normal and contaminated with pesticides conditions:(a) temperature, (b) moisture, and (c) Co2

جدول (۱) مقایسه میانگین ویژگی‌های استخراج شده بین دو حالت نرمال و سم‌پاشی مزارع
 Table (1) Mean comparison of maximum values extracted under normal and field spraying conditions

سطح معنی داری Significant			اختلاف (میانگین \pm انحراف معیار) Difference (Mean \pm Std.Error)			ویژگی Feature
رطوبت Moisture %	دما Temperature °C	دی اکسید کربن (CO ₂) PPM	میزان رطوبت Moisture %	دما Temperature °C	میزان دی اکسید کربن (CO ₂) PPM	
0.12	0.00	0.04	4.33 \pm 2.56	3.87 \pm 0.32	38.33 \pm 16.65	بیشینه Maximum



شکل (۷) تعداد مؤلفه اصلی نسبت به خطای پیش‌بینی
 Figure (7) Number of principal component analysis in terms of prediction error

درصد در تشخیص شرایط نرمال نسبت به دیگر کرنل‌ها از حداقل توانایی تشخیص دو شرایط برخوردار بودند. در پژوهشی بنسیک و همکاران (۲) برای شناسایی فرآیند هجوم زنبور عسل از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی برای استخراج ویژگی و تحلیل زمانی ارتعاشات درون کندو استفاده کردند. بر اساس نتایج، آن‌ها بیان نمودند که در هر لحظه از زمان، ترکیب خطی ده مؤلفه اصلی اول و اسپکتروم بهترین نتیجه از آنالیز مؤلفه‌ی اصلی را داشته است. در پژوهشی دیگر فراری و همکاران (۱۰) با قرار دادن یک میکروفون در بالای قاب یک کندو به اندازه‌گیری صدای انعکاس شده توسط مجموعه‌ای از زنبورها در هنگام فرار پرداختند. بر اساس نتایج با نزدیک شدن به زمان فرار، فرکانس صداهای ثبت شده در محدوده ۳۰۰ هرترز تا ۵۰۰ هرترز بود. همچنین دمای درون کندو قبل از زمان فرار از ۳۳ به ۳۵ درجه سلسیوس افزایش و در هنگام فرار به ۳۲ درجه سلسیوس کاهش یافت.

طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان

پس از انتخاب ویژگی‌های حاصل از ارتعاش، با استفاده از الگوریتم آموزش ماشین بردار پشتیبان طبقه‌بندی ویژگی‌های منتخب صورت پذیرفت. بدین منظور، طبقه‌بندی با هر پنج کرنل (شامل چند جمله‌ای، خطی، کوادراتیک، سیگموئید و RBF) ماشین بردار پشتیبان انجام شد. نتایج حاصل از بررسی و مقایسه کرنل‌های مذکور در جدول (۲) گزارش شده است. همانطور که نشان داده شده دقت کرنل‌های چند جمله‌ای، خطی، کوادراتیک، سیگموئید و RBF به ترتیب برای شرایط معمولی ۹۱٪، ۱۰۰٪، ۱۰۰٪، ۹۵٪ و ۱۰۰٪ و تحت شرایط سم-پاشی به ترتیب برابر با ۶۰٪، ۷۰٪، ۵۰٪، ۸۰٪ و ۹۰٪ بدست آمد. از بین کرنل‌های استفاده شده، RBF به خوبی شرایط نرمال و کلونی آلوده به آفت کش را به ترتیب با ۱۰۰٪ و ۹۰٪ دقت تشخیص داده است و کرنل کوادراتیک با دقت ۵۰ درصد در تشخیص شرایط آلوده به آفت کش و چند جمله‌ای با دقت ۹۱

عبداله زارع و همکاران: بررسی اثر آلودگی شیمیایی ناشی از...

جدول (۲) مقایسه ۵ کرنل طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان
Table (2) Comparison of 5 kernels of SVM

Kernel کرنل										پیش‌بینی طبقه‌بند Classification prediction
کوادراتیک Quadratic		چندجمله‌ای Polynomial		RBF		سیگموئید MLP		خطی Linear		
Pollution	Normal	Pollution	Normal	Pollution	Normal	Pollution	Normal	Pollution	Normal	
5	22	6	20	9	22	8	21	7	22	صحیح True
5	0	4	2	1	0	2	1	3	0	ناصحیح False
50	100	60	91	90	100	80	95	70	100	دقت % Precision
10	22	10	22	10	22	10	22	10	22	تعداد نمونه of sample

نتیجه‌گیری

در پیش‌بینی شرایط کندو بودند انتخاب شدند. پس از انتخاب ویژگی‌ها، طبقه‌بندی ویژگی‌های منتخب با استفاده از ۵ کرنل (RBF، خطی، چندجمله‌ای، کوادراتیک، سیگموئید) ماشین بردار پشتیبان انجام شد. از بین کرنل‌های مورد استفاده، RBF به خوبی دو شرایط محیطی نرمال و آلوده به آفت کش را به ترتیب با ۱۰۰٪ و ۹۰٪ دقت تشخیص داد. به طور کلی از بین حسگرهای مورد استفاده که برای تشخیص شرایط نامساعد نسبت به شرایط نرمال در سامانه هوشمند به کار گرفته شد، حسگر ارتعاش بهترین نتیجه را در بر داشت. شایان ذکر است که استفاده از دو حسگر دما و رطوبت برای نظارت و کنترل شرایط درونی کنترل لازم می‌باشد. به طور کلی از بین حسگرهای مورد استفاده که برای تشخیص شرایط نامساعد نسبت به شرایط نرمال در سامانه هوشمند به کار گرفته شد، حسگر ارتعاش بهترین نتیجه را در بر داشت. شایان ذکر است که استفاده از دو حسگر دما و رطوبت برای نظارت و کنترل شرایط درونی کندو لازم می‌باشد.

برای استخراج ویژگی ارتعاشی از روش ۸ ضرایب کپستروم مل فرکانس استفاده شد. بر اساس مشاهدات از ۸ ضریب کپستروم مل دو ضریب اول نسبت به دیگر ضرایب حاوی اطلاعات مفیدتری بودند بطوریکه در محدوده فرکانسی ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ هرتز تغییر واضحی رویت شد. اسپکتروگرام حاصل از ضرایب مل، شدت ۳۵۰ را برای شتاب مؤلفه X در فرکانس ۲۰۰۰ و دوره زمانی ۶۰ تا ۱۲۰ دقیقه (سم‌پاشی طی ساعات ۶ تا ۷ صبح طی سه روز انجام پذیرفت) نشان داد. همچنین اطلاعات جمع‌آوری شده مربوط به مؤلفه مذکور در حوزه زمان تحت شرایط آلوده به آفت کش نیز عدم ثبات وضعیت را نسبت به حالت نرمال نشان می‌دهد بطوریکه دما تحت شرایط نامساعد نسبت به شرایط نرمال از ۳۵ به ۳۹ درجه سلسیوس، میزان دی‌اکسید کربن از ۴۵۰ به ۵۳۰ پی‌پی‌ام و رطوبت حدود ۱۰ درصد افزایش یافته است. بر اساس آنالیز مؤلفه‌های اصلی، ۶ مؤلفه که حاوی بیش از ۹۲٪ واریانس داده‌ها و حداقل خطای میانگین مربعات ۰/۰۷۸

References

1. Adankon, M.M., and Cheriet, M. 2009. Model selection for the LS-SVM application to handwriting recognition. *Pattern Recognition*, 42(12): 3264–3270.
2. Bencsik, M., Bencsik, J., Baxter, M., Lucian, A., Romieu, J. and Millet, M. 2011. Identification of the honey bee swarming process by analysing the time course of hive vibrations. *Journal of Computers and Electronics in Agriculture*, 76: 44–50.
3. Bishop, J.C., Falzon, G., Trotter, M., Kwan, P., and Meek, P.D. 2019. Livestock vocalisation classification in farm soundscapes. *Journal of Computers and Electronics in Agriculture*, 162: 531-542.
4. Bortolotti L, Montanari R, Marcelino J, Medrzycki P, Maini S, Porrini C. 2003. Effects of sub-lethal imidacloprid doses on the homing rate and foraging activity of honey bees. *Bulletin of Insectology*, 56(1):63–67
5. Chung, Y. 2013. Automatic detection and recognition of pig wasting diseases using sound data in audio surveillance systems. *Sensors (Basel)*, 13 (10): 12929–12942.
6. Colin, M.E., Bonmatin, J.M., Moineau, I., Gaimon, C., Brun, S., and Vermandere, J.P. 2004. A Method to Quantify and Analyze the Foraging Activity of Honey Bees: Relevance to the Sublethal Effects Induced by Systemic Insecticides. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 47: 387–395.
7. Decourtye, A., Devillers, J., Aupinel, P., Brun, F., Bagnis, C., Fourier, J., and Gauthier, M. 2011. Honeybee tracking with microchips: a new methodology to measure the effects of pesticides. 20(2): 429-437. *Ecotoxicology*, 20(2):429-37.
8. Decourtye, A., Devillers, J., Cluzeau, S., Charreton, M, and Pham-Dele`gue, M.H. 2004. Effects of imidacloprid and deltamethrin on associative learning in honeybees under semi-field and laboratory conditions. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 57: 410–419.
9. Ellis, M.D. 2010. Pesticides and bee toxicity. *American Bee Journal*, 150: 485–486.
10. Ferrari, S., Silva, M., Guarino, M., and Berckmans, D. 2008. Monitoring of swarming sounds in bee hives for early detection of the swarming period. *Journal of Computers and Electronics in Agriculture*, 64(1): 72-77.
11. Gunn, S.R. 1998. Support Vector Machines for Classification and Regression. Technical Report. Department of Electronics and Computer Science, University of Southampton, May 10.
12. Kim, K.I., Jung, K., and Kim, H.J. 2002. Face recognition using kernel principal component analysis. *IEEE Signal Processing Letters*, 9(2): 40-42
13. Lee, J.M., Yoo, Ch.K., Choi, S.W., Vanrolleghem, P.A., and Lee, I.B. 2004. Nonlinear process monitoring using kernel principal component analysis. *Chemical Engineering Science*, 59(1): 223-234.
14. Lundin, O., Rundlöf, M., Smith, H.G., and Bommarco, R. 2015. Neonicotinoid insecticides and their impacts on bees: A systematic review of research approaches and identification of knowledge gaps. *PLOS ONE*. DOI:10.1371/journal.pone.0136928.
15. Orak, H., Abdanan mehdizadeh, S., and Soltani kazemi, M. 2018. Determination of the Vibration Response of Sugarcane Stalk to Predict Fiber and Brix Using Image Processing. *Agricultural Machinery Researches Journal*, 7(13). In Farsi
16. Raghavendra. N, S. and Deka, P.Ch. 2014. Support vector machine applications in the field of hydrology: A review. *Applied Soft Computing*, 19: 372-386.

عبداله زارع و همکاران: بررسی اثر آلودگی شیمیایی ناشی از...

17. Ramirez-Romero, R., Chaufaux, J., and Pham Delègue, M.-H. 2005. Effects of Cry1Ab protoxin, deltamethrin and imidacloprid on the foraging activity and the learning performances of the honey bee *Apis mellifera*, a comparative approach. *Apidologie*, 36: 601–611.
18. Ramirez-Romero, R., Desneux, N., Decourtye, A., Chaffiol, A., and Pham-Delègue, M. H. 2008. Does Cry1Ab protein affect learning performances of the honey bee *Apis mellifera* L. (Hymenoptera, Apidae). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 70: 327–333.
19. Tautz, J. 2001. Phase reversal of vibratory signals in honeycomb may assist dancing honeybees to attract their audience. *Journal of Experimental Biology*, 204: 3737–3746.
20. Todisco, M., Delgado, H., and Evans, N. 2017. Constant Q cepstral coefficients: A spoofing countermeasure for automatic speaker verification. *Computer Speech and Language Journal*, 45:516-535.
21. Villa, S., Vighi, M., Finizio, A., and Bolchi Serini, G. 2000. Risk assessment for honeybees from pesticide-exposed pollen. *Ecotoxicology*, 9:287–297
22. Xu, Q.S. and Liang, Y.Z. 2001. Monte Carlo cross validation. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems Journal*. 56:1–11.
23. Yang, E. C., Chuang, Y. C., Chen, Y. L., and Chang, L. H. 2008. Abnormal foraging behavior induced by sublethal dosage of Imidacloprid in the honey bee (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Economic Entomology*, 101:1743–1748.