



بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران  
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران  
۸ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز



## ارزیابی عملکرد شبکه عصبی پرسپترون در طبقه بندی طیف های رامان حاصل از نمونه های زیستی: تشخیص سم آفلاتوکسین در پسته

- رضا محمدی گل<sup>۱</sup>، محمدهادی خوش تقاضا<sup>۱</sup>، رسول ملک فر<sup>۲</sup>، منصوره میرابوالفتحی<sup>۳</sup>، علی محمد نیکبخت<sup>۴</sup> و هادی دارابی<sup>۵</sup>  
 ۱- گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ص پ ۱۱۱-۱۴۱۵  
 ۲- بخش فیزیک دانشگاه تربیت مدرس  
 ۳- موسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور ۴- گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه ارومیه  
 ۵- دانشگاه تربیت مدرس

چکیده- در این پژوهش امکان تشخیص آفلاتوکسین در پسته با تکنیک طیفسنجی رامان و به کارگیری شبکه عصبی پرسپترون بررسی شده است. بعد از طیف برداری، با توجه به نتایج آنالیز مولفه های اصلی (PCA) پیش پردازش مناسب، اعمال مشتق دوم روی داده های طیفی انتخاب شد و به دنبال آن برای کاهش ابعاد داده های طیفی استخراج مولفه های اصلی نیز صورت پذیرفت. برای طبقه بندی نمونه ها شبکه پرسپترون تک لایه (۸ نرون در لایه پنهان) و دو لایه (۲ و ۴ نرون به ترتیب در لایه اول و دوم) با قانون یادگیری پس انتشار خطا مورد مقایسه قرار گرفتند. میانگین دقت طبقه بندی شبکه تک لایه ۹۲ درصد و شبکه دو لایه ۸۲ درصد به دست آمد. در هر دو شبکه نمونه های سالم با ۱۰۰ درصد دقت از هر دو سطح نمونه های آلوده جدا شده و لذا عملکرد شبکه های عصبی در جداسازی نمونه های سالم از نمونه های دیگر موفقیت آمیز ارزیابی شد.

کلید واژه- آفلاتوکسین، آنالیز مولفه اصلی، طیفسنجی، پسته، شبکه عصبی، طیفسنجی رامان

## Evaluation of perseptron artificial neural networks(ANN) performance in biological samples Raman spectra classification; Pistachio aflatoxin detection

Reza Mohammadigol<sup>1</sup>, Mohammad Hadi Khoshtaghaza<sup>1</sup>, Rasoul Malekfar<sup>2</sup>, Mansooreh Mirabolfathi<sup>3</sup>, Ali Mohammad Nikbakht<sup>4</sup> and Hadi Darabi<sup>5</sup>

1-TMU Machinery mechanic engineering department

2- TMU physics department 3- IRIPP

4-Uromia University Assistant professor, biosystem mechanic engineering department

5- TMU

**Abstract-** The objective of this study was to detect pistachio aflatoxin contamination applying Raman spectroscopy technique and artificial neural networks. After spectra acquisition considering to principal components analysis(PCA) results, Second Derivative preprocessing method was selected and then principal components(PCs) were extracted to reduce the data dimensions. To classify samples, two kind of Multilayer perseptron feed forward back propagation topologies (including 8 neurons in hidden layer as first one and including 2 and 4 neurons in the first and second hidden layers respectively as a second one) were used. On average our classifiers performed with 92(one layer ANN) and 82(two layers ANN) percent accuracy . Both classifiers performance, for no contaminated samples recognition (as they achieved to 100 percent accuracy) was successful.

**Keywords:** Aflatoxin, ANN, PCA, Pistachio, Raman Spectroscopy

## ۱- مقدمه

در سال های اخیر تحقیقات وسیعی در حوزه های گوناگون علم پزشکی و داروسازی به منظور به کارگیری طیف سنجی رامان و بخصوص روش های تقویت طیف های رامان انجام شده است. تمرکز این تحقیق ها روی شناسایی و تشخیص سریع و زودهنگام بافت های سرطانی، باکتری ها، قارچ ها و مواد شیمیایی - دارویی بوده است. در تحقیق های مذکور معمولاً از مدل های طبقه بندی یا رگرسیونی چند متغیره برای نگاشت و تفسیر اطلاعات طیفی استفاده شده است [۱].

آفلاتوکسین به عنوان عضو خانواده میکوتوکسین ها، از متابولیت های ثانویه کپک هایی چون آسپرژیلوس فلاوس و آ. پارازیتیکوس می باشد. آفلاتوکسین ها به دلیل فراوانی قابل ملاحظه آنها در طبیعت و خاصیت سمی و سرطان زا بودن، به عنوان سردسته میکوتوکسین ها شناخته شده اند. تا کنون چندین نوع آفلاتوکسین شناسایی شده است که از بین آنها آفلاتوکسین های G1، B2، B1 و G2 دارای بیشترین اهمیت هستند [۲].

مهمترین مزیت استفاده از روش طیفسنجی رامان، در تحلیل زیستی غنای اطلاعات موجود در هر طیف می باشد. طیف رامان یک سلول را میتوان بعنوان "انگشت ترکیبات بیوشیمیایی آن به حساب آورد. بنابراین اگر یک عامل سمی باعث تغییرات بیوشیمیایی شود طیف رامان حاصله دستخوش تغییر خواهد شد [۳].

گرایش جامعه جهانی به سمت تولید و عرضه مواد غذایی سالم و بی خطر باعث شده است صنعت پسته همواره با چالش تکنولوژی های جدید به منظور سازش با آگاهی و تقاضای رو به افزایش مصرف کننده در خصوص تضمین سلامت محصول مواجه باشد. رویکرد رو به رشد در اغلب محصولات کشاورزی، افزایش استفاده از روش های سریع، قابل اطمینان و غیرمخرب ارزیابی کیفی می باشد. با توجه به جایگاه ممتاز پسته در صادرات غیر نفتی ایران و به منظور جلوگیری از به مخاطره افتادن صادرات این محصول با ارزش و همچنین برای حضور در تجارت جهانی و رقابت با دیگر کشورها، اولویت تحقیقات بر روی روش های نوین تشخیص و سنجش آلودگی پسته به آفلاتوکسین انکار ناپذیر بوده و جایگاه ویژه ای دارد.

## ۲- مواد و روش ها

سامانه طیف سنج رامان مدل (2009) SENTERRA از نوع پاشنده ساخت شرکت BRUKER آلمان برای به دست آوردن طیف های رامان مورد استفاده قرار گرفت. طول موج لیزر این سامانه ۷۸۵ نانومتر و توان حداکثر آن ۱۰۰ میلی وات می باشد. در تحقیقات زیادی در رابطه با طیف سنجی رامان نمونه های زیستی از لیزر با طول موج ۷۸۵ نانومتر به عنوان منبع تهییج استفاده شده است [۴]. نمونه های پسته به صورت خمیری در ۳ سطح زیر تهیه شدند:

C- بدون آلودگی

a- آلودگی با مجموع آفلاتوکسین های G1، B2، B1 و G2 و ۲۰ نانوگرم در گرم (ppb) (هر کدام ۵ppb)

A- آلودگی با مجموع آفلاتوکسین های G1، B2، B1 و G2 و ۱۰۰ نانوگرم در گرم (ppb) (هر کدام ۲۵ppb)

## ۲-۱- پیش پردازش طیف ها (Preprocessing)

طیف های رامان برداشت شده (c: ۱۵، a: ۱۷ و A: ۱۸ عدد و مجموعاً ۵۰ طیف) علاوه بر اطلاعات نمونه حامل اطلاعات ناخواسته از قبیل نوفه و نور پس زمینه می باشد لذا برای رسیدن به مدل واسنجی دقیق و قابل اعتماد پیش پردازش داده های طیفی قبل از مدل سازی ضرورت دارد. روش های پیش پردازش بسیار متنوع هستند که معمولاً هر یک از آنها برای منظور خاصی ابداع شده اند و با توجه به شرایط متفاوت نمونه ها و روش ها و ابزار آزمایشگاهی ارائه یک روش پیش پردازش مشخص امکان ندارد. از این رو معمولاً در تحقیقات طیف سنجی روش های رایج برتر مورد ارزیابی قرار گرفته و بهترین روش مورد استفاده قرار می گیرد. در این تحقیق تاثیر روش های زیر در تفکیک و تمایز طیف های اخذ شده مورد بررسی قرار گرفتند. هموارسازی ساویتزکی - گولای (SG): در این روش، الگوریتم SG بر هر بخش متوالی طیف، یک چند جمله ای برازش و مقادیرهای اصلی طیف را با مقادیرهای برازش شده (تغییرات منظم تر) جایگزین می کند.

هنجار سازی: انجام هنجارسازی طیفی برای حذف تغییرات سیستماتیک در میزان فوتون های پراکنده شده که به صورت محور عمودی در طیف ها ظاهر می شود، ضروری است.

از انواع روش‌های تحلیل داده‌های چند متغیره است که هدف اصلی آن تقلیل بعد مسئله مورد مطالعه است. با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی می‌توان تعداد زیادی متغیر توضیحی (متغیر مستقل) را با تعداد محدودی متغیر توضیحی جدید که با یکدیگر وابستگی خطی ندارند و مؤلفه‌های اصلی نامیده می‌شوند، جایگزین نمود. با توجه به حجم بالای متغیرهای طیف رامان (عدد موج‌ها) از این روش برای کاهش متغیرها استفاده شد.

### ۲-۳- مدل‌سازی

یک شبکه عصبی این قابلیت را دارد که تمایزها و تفاوت‌های مرموز را که در شکل کلی و وضعیت نوارهای مختلف رامان وجود دارد و به راحتی توسط بشر درک نمی‌شوند، را فهمیده و بر مبنای آن آموزش ببیند [۵]. در این تحقیق از شبکه پرسپترون یک و دولایه‌ای (MLP) و قانون یادگیری پس انتشار خطا برای طبقه بندی طیف‌ها استفاده شد [۶]. در این پژوهش نرم افزار MATLAB در مدل سازی شبکه عصبی و نرم افزار Unscrambler برای پیش پردازش طیف‌ها و انجام PCA مورد استفاده قرار گرفتند.

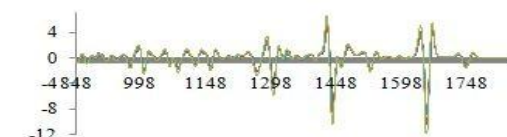
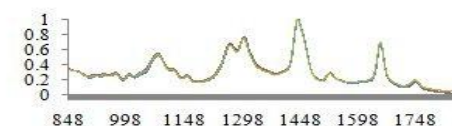
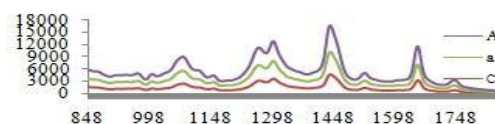
### ۳- نتایج

پس از بررسی شکل طیف‌ها استنباط می‌شود که در بازه  $848 - 1748 \text{ cm}^{-1}$  شدت (Raman Intensity) نمونه‌های گروه A بیشتر از گروه a و آن هم بیشتر از گروه C است، بنابراین مطلب و همچنین مقایسه آنالیز مولفه‌های اصلی کل محدوده طیف، نوار مذکور در مراحل بعدی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

پس از عمل PCA خوشه‌ای قرار گرفتن طیف‌ها در مختصات مولفه‌های اصلی شاخص مناسبی از عملکرد مدل در طبقه بندی و جداسازی است [۵]. در شکل ۲ پراکندگی طیف‌ها در مختصات مولفه‌های اصلی اول و دوم مشاهده می‌شود، همانگونه که مشهود است روش پیش پردازش مشتق دوم به گونه‌ای طیف‌ها را پراکنده نموده است که بیشتر از هم قابل تمایز به نظر می‌رسند (خوشه‌ای) و همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد در منابع این تمایزپذیری جمعیت داده‌ها شرط موفقیت مدل‌های واسنجی و از جمله شبکه‌های عصبی

مشتق اول و مشتق دوم: با هر بار مشتق‌گیری از طیف (افزایش درجه مشتق)، پیک‌های تیز نسبت به پیک‌های پهن بیشتر می‌شوند. به همین دلیل، مشتق دوم نسبت به مشتق اول قدرت تفکیکی بهتری معمولاً ارائه می‌دهد [7]. با این حال مشتق‌گیری سبب کاهش نسبت سیگنال به نویز (به ویژه در مشتق‌های بالاتر) می‌شود که مطلوب نیست.

در شکل ۱ وضعیت طیف‌ها در عبور از مراحل مختلف پیش پردازشی شامل حذف خط زمینه و هموارسازی، هنجار سازی، اعمال مشتق اول و دوم روی طیف‌های متوسط هر گروه ( $848 - 1748 \text{ cm}^{-1}$ ) نمونه مشاهده می‌شود.



شکل ۱- عملکرد روش‌های پیش پردازش اعمال شده روی متوسط طیف‌های هر گروه نمونه در نوار  $848 - 1748 \text{ cm}^{-1}$  به ترتیب از بالا به پایین: حذف خط زمینه و هموارسازی، هنجار سازی، اعمال مشتق اول، اعمال مشتق دوم

### ۲-۲- آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA)

بطور کلی تعداد مشاهدات (طیف‌ها) برای آموزش موفق یک Machine-Learning Classifier با تعداد داده‌ها (متغیرهای طیفی) توسط رابطه‌نمایی افزایش می‌یابد [۵] لذا در اغلب تحقیقات مرتبط با طیف‌سنجی به دلیل اینکه تعداد متغیرهای طیفی بسیار زیاد است، قبل از فرآیند مدل‌سازی یا طبقه بندی، استخراج مولفه‌های اصلی (توسط الگوریتم کاهش داده) با استفاده از روش PCA انجام شده است. تحلیل مؤلفه‌های اصلی یکی

جدول ۲- ماتریس اغتشاش خلاصه عملکرد شبکه عصبی دو لایه در

طبقه بندی نمونه ها				
درصد صحت جداسازی	(A)	(a)	(C)	پیش بینی شده واقعی
۱۰۰	۰	۰	۱۵	آلودگی ۰ (c)
۷۶/۵	۴	۱۳	۰	آلودگی ۲۰ ppb (a)
۷۲/۵	۱۳	۵	۰	آلودگی ۱۰۰ ppb (A)

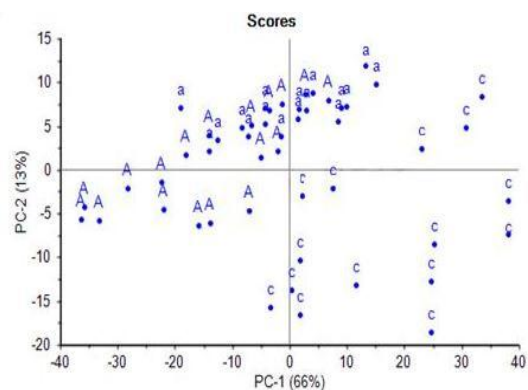
#### ۴- نتیجه گیری

میانگین دقت طبقه بندی شبکه تک لایه مورد استفاده ( با ۸ نرون در لایه پنهان) ۹۲ درصد و شبکه دو لایه ( با ۲ و ۴ نرون به ترتیب در لایه پنهان اول و دوم) ۸۲ درصد به دست آمد. نکته قابل توجه این است که در هر دو شبکه نمونه های سالم با ۱۰۰ درصد دقت از نمونه های آلوده (مجموع دو سطح ۲۰ و ۱۰۰ ppb جدا شده- اند و بنابراین عملکرد شبکه ها در جداسازی نمونه های سالم از آلوده ها کاملاً موفقیت آمیز بوده، اما بیشترین دقت جداسازی نمونه های دو سطح ۱۰۰ ppb و ۲۰ ppb به ترتیب ۹۴/۴ و ۸۲/۴ (شبکه یک لایه) به دست آمد.

#### مراجع

- [1] Huang, Z., Teh, S.K., Zheng, W., Lin, K., Ho, K.Y., Teh, M. and Yeoh, K.G. 2010. *In vivo detection of epithelial neoplasia in the stomach using image-guided Raman endoscopy*. *Biosensors and Bioelectronics*, **26**(2): 383-389.
- [2] Arrus, K., Blank, G., Abramson, D., Clear, R. and Holley, R. 2005. *Aflatoxin production by Aspergillus flavus in Brazil nuts*. *Journal of Stored Products Research*, **41**(5): 513-527.
- [3] Notingher, I. 2007. *Raman spectroscopy cell-based biosensors*. *Sensors*, **7**(8): 1343-1358.
- [4] Dennis, A. 2013b. *Automatic Baseline Correction* (Technical note). from PerkinElmer company [www.perkinelmer.com](http://www.perkinelmer.com)
- [5] Ishikawa, S.T. and Gulick, V.C. 2013. *An automated mineral classifier using Raman spectra*. *Computers & Geosciences*, **54**: 259-268.
- [6] Hagan, M.T., Demuth, H.B. and Beale, M.H. 1996. *Neural network design*. Pws Pub. Boston.
- [7] Nicolai, B. M., K. Beullens, E. Bobelyn, A. Peirs, W. Saeys, K. I. Theron and J. Lammertyn. 2007. *Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review*. *Postharvest Biology and Technology* **46**: 99-118.

پرسپترون در طبقه بندی نمونه ها قلمداد شده است [۶]. لذا روش مذکور به عنوان پیش پردازش داده های طیفی در نظر گرفته شد و پس از اعمال این روش بر کل داده ها تعداد ۷ مولفه اصلی اول به عنوان ورودی های شبکه عصبی (تک لایه و دو لایه) در نظر گرفته شد.



شکل ۲- نمایش اثر اعمال مشتق دوم بر پراکندگی طیف ها در مختصات مولفه اصلی اول و دوم (آنالیز PCA)

برنامه تدوین شده بر اساس معیار خطای کمترین تعداد نرون بهینه لایه پنهان برای شبکه تک لایه را ۸ و برای شبکه دوم ۲ و ۴ نرون به ترتیب در لایه های اول و دوم محاسبه نمود. ماتریس اغتشاش با فراهم نمودن اینکه کلاس نمونه چقدر به اشتباه طبقه بندی شده، دقت (تعداد نمونه های درست پیش بینی شده بر تعداد کل نمونه ها) الگوریتم های طبقه بندی را نمایش می دهد و خلاصه عملکرد طبقه بندی با شبکه های عصبی در قالب این ماتریس ارائه می شود. در جدول های ۱ و ۲ ماتریس اغتشاش عملکرد شبکه عصبی یک لایه (با ۸ نرون در لایه پنهان) و شبکه عصبی دو لایه (با ۲ نرون در لایه اول و ۴ نرون در لایه دوم) در طبقه بندی نمونه ها آمده است.

جدول ۱- ماتریس اغتشاش خلاصه عملکرد شبکه عصبی یک لایه در

طبقه بندی نمونه ها				
درصد صحت جداسازی	(A)	(a)	(C)	پیش بینی شده واقعی
۱۰۰	۰	۰	۱۵	آلودگی ۰ (c)
۸۲/۴	۳	۱۴	۰	آلودگی ۲۰ ppb (a)
۹۴/۴	۱۷	۱	۰	آلودگی ۱۰۰ ppb (A)