دانشگاه تبریز

دانشکده کشاورزی

گروه مهندسی بیوسیستم

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی‌ارشد

در رشته مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

عنوان

تشخیص آلودگی داخلی دانه‌های لوبیای چشم بلبلی به حشرات توسط روش صوتی

استاد راهنما

دکتر اصغر محمودی

استادان مشاور

دکتر عادل حسین‌پور

دکتر رقیه کریم‌زاده

پژوهش‌گر

سینا نجفی

بهمن ۱۳۹۳

نام‌خانوادگی دانشجو: نجفی قلعه نام: سینا

عنوان پایان‌نامه: تشخیص آلودگی داخلی دانه‌های لوبیای چشم بلبلی به حشرات توسط روش صوتی

استاد راهنما: دکتر اصغر محمودی

استادان مشاور: دکتر عادل حسین‌پور و دکتر رقیه کریم‌زاده

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی ماشین‌های کشاورزی

گرایش: مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه: تبریز

دانشکده: کشاورزی تاریخ فارغ‌التحصیلی: بهمن ۱۳۹۳ تعداد صفحه: ۷۱

کلیدواژه‌ها: لوبیا، روش‌های آماری، هوش مصنوعی، صوت، لارو حشرات

چکیده: غلات و حبوبات غذای اصلی انسان می‌باشند، که به دلایل تفاوت در شرایط اقلیمی مناطق مختلف جهان و نامتناسب بودن میزان تولید و مصرف کشورهای مختلف در سطح جهان، کشورها ملزم به انبار کردن این محصولات در زمان‌های طولانی و تجارت این محصول در مسافت‌های زیاد می‌باشند. بنابراین کنترل کیفیت و درجه‌بندی این محصولات از نظر آلودگی به آفات و یا شکسته بودن دانه‌ها، که باعث کاهش شدید زمان انبارداری می‌شود، الزامی است. بدین منظور تشخیص آلودگی دانه‌های انباری به لارو حشرات نیازمند روش‌های غیرمخرب، از آن جمله روش پردازش صوت است. در مورد لوبیا به ویژه لوبیای چشم بلبلی در جهان، مطالعاتی در این خصوص صورت نگرفته است، درحالی‌که زیان‌های آفات انباری مخصوصاً سوسک چهار نقطه‌ای بر این محصول بسیار زیاد است و تا حدی که کشت این محصول را در ایران به شدت کاهش داده و یا کشاورزان را ملزم به ضد عفونی بذور با سموم حشره‌کش و قارچ‌کش نموده که اثرات جبران‌ناپذیری بر سلامت جامعه دارد.

در این تحقیق سعی شده تا با استفاده از یک سیستم هوشمند سیگنال صوتی حاصل از برخورد لوبیای چشم بلبلی سالم و لوبیای حاوی لارو سوسک چهار نقطه‌ای با یک صفحه فولادی ضخیم در-یافت، و مورد مطالعه قرار گیرد. بدین منظور یک کلنی پر جمعیت از سوسک چهار نقطه‌ای آماده و سپس برای تعیین تأثیر اندازه دانه در دقت تشخیص سیستم سه اندازه از لوبیاها با الک‌های استاندارد تهیه شد. تعداد مشخصی لوبیا از هر اندازه در ظروف جداگانه قرار گرفت و در هر ظرف تعداد ۱۵۰ عدد سوسک بالغ هم سن (۴۸ساعته) انتقال داده شد. نمونه‌ها در دما و رطوبت مناسب قرار گرفتند. پس از حصول اطمینان از آلودگی ۱۰۰٪ دانه‌ها برای تعیین تأثیر اندازه لارو بر دقت تشخیص سیستم در پنج نوبت از نمونه‌های آلوده و دانه‌های سالم داده‌برداری صورت پذیرفت و یک بار هم پس از خروج لاروها از داخل دانه‌ها داده‌برداری انجام گرفت. دانه‌های شکسته و نامرغوب به صورت دستی جداسازی و به

همین ترتیب مورد داده‌برداری قرار گرفت.

برای تعین صفات مطلوب برای هر دسته از داده‌ها از روش PCA استفاده شد. بردارهای ویژه و مقادیر ویژه برای هر دسته در حوزه زمان و فرکانس استخراج شد. برای واحد تصمیم از شبکه عصبی MLP استفاده شد. دقت سیستم برای جداسازی دانه‌های سالم از دانه‌های آلوده برای سه دسته کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب برابر ۱۰۰٪، ۹۹٫۶٪ و ۹۹٫۲٪ و دقت سیستم برای تشخیص دانه‌های آلوده از دانه‌های سالم به ترتیب ۹۹٫۶٪، ۹۹٫۶٪ و ۹۹٫۴٪ به دست آمد. دانه‌های نامرغوب با دقت ۹۹٫۷٪ و دانه‌های سالم با دقت ۹۹٫۵٪ برای سیستم قابل‌تشخیص بود.

فهرست مطالب.....**صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه.....۱

فصل دوم: مبانی نظری تحقیق و بررسی منابع

۲-۱ سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات.....۳
۲-۲ لوبیا چشم بلبلی.....۴
۲-۳ صوت.....۴
۲-۳-۱ اندازه‌گیری بلندی صوت.....۶
۲-۳-۲ طول موج.....۶
۲-۳-۳ مزایای آزمون صوتی.....۷
۲-۴ داده کاوی.....۸
۲-۵ سیگنال و پردازش سیگنال.....۹
۲-۵-۱ سری فوریه.....۱۱
۲-۵-۲ تبدیل فوریه.....۱۲
۲-۵-۳ تبدیل فوریه سریع FFT.....۱۳
۲-۶ شبکه عصبی مصنوعی.....۱۴
۲- ۶-۱ مقدمه.....۱۴
۲-۶-۲ فرایند یادگیری.....۱۵
۲-۶-۳ شبکه پرسپترون.....۱۷
۲-۶-۴ شبکه عصبی پس انتشار.....۱۸
۲-۷ الگوریتم‌های کاهش داده.....۱۸
۲-۷-۱ تجزیه به مؤلفه‌های اصلی.....۱۹
۲-۷-۲ روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی.....۲۰
۲-۸ مروری بر تحقیقات انجام گرفته.....۲۲

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱ مقدمه.....۲۹
۳-۲ تهیه نمونه.....۲۹
۳-۲-۱ الک کردن دانه‌ها.....۳۰
۳-۲-۲ تهیه کلنی.....۳۱

۳-۲-۳ اندازه‌گیری محتوای رطوبتی ۳۲
۳-۲-۴ اندازه‌گیری ابعاد ۳۲
۳-۲-۵ وزن هزار دانه ۳۳
۳-۲-۶ زمان داده برداری ۳۴
۳-۳ سیستم آزمایشگاهی ۳۴
۳-۳-۱ سیستم صوتی ۳۴
۳-۳-۲ محفظه آکوستیک ۳۵
۳-۴ داده برداری ۳۸
۳-۵ استخراج خصوصیات ۳۸
۳-۵-۱ تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) توسط MATLAB ۴۱
۳-۶ دسته‌بندی با شبکه عصبی مصنوعی (ANN) ۴۳

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱ انتخاب ساختار بهینه شبکه ۴۵
۴-۱-۱ بررسی ویژگی‌های اصلی ۴۵
۴-۱-۲ انتخاب تعداد نرون لایه پنهان ۵۰
۴-۱-۳ شبکه عصبی نهایی ۵۲
۴-۱-۴ عملکرد شبکه بهینه ۵۳
۴-۲ شناسایی لوبیاهای سن اول تا ششم ۵۴
۴-۲-۱ تأثیر اندازه دانه بر عملکرد شبکه ۵۶
۴-۲-۲ تأثیر اندازه‌ی لارو بر عملکرد شبکه ۵۸
۴-۳ شناسایی دانه‌های مرغوب و نامرغوب ۵۹
۴-۳-۱ انتخاب ساختار بهینه شبکه عصبی ۶۰
۴-۳-۱-۱ استخراج مؤلفه‌های اصلی ۶۲
۴-۳-۲ عملکرد شبکه ۶۴

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱ نتیجه‌گیری ۶۵
۵-۲ پیشنهادها ۶۶
۵-۳ منابع ۶۶

فهرست شکل‌ها

شکل۲-۱ حشره‌ی کامل سوسک چهار نقطه‌ای..... ۳
شکل۲-۲ طول موج و دامنه موج..... ۷
شکل۳-۱ سیستم صوتی برای در یافت سیگنال صوتی..... ۳۴
شکل۳-۲ منحنی چگالی طیف توان به طول ۱۰۲۴ در حوزه فرکانس برای لوبیای سالم..... ۳۹
شکل۳-۳ منحنی FFT به طول ۱۰۲۴ در حوزه فرکانس برای لوبیای سالم..... ۴۰
شکل۳-۴ منحنی فاز FFT به طول ۱۰۲۴ در حوزه فرکانس برای لوبیای سالم..... ۴۱
شکل۳-۵ توپولوژی شبکه ANN سیستم جداسازی..... ۴۴
شکل ۴-۱ اختلاف دامنه‌ی میانگین موج‌های دانه‌های سالم و آلوده..... ۴۶
شکل ۴-۲ مقایسه‌ی تغییرات اندازه FFT در حوزه فرکانس برای متوسط ۵۰۰ دانه از هر کلاس..... ۴۷
شکل۴-۳ مقایسه تغییرات زاویه فاز FFT در حوزه فرکانس برای متوسط ۵۰۰ دانه از هر کلاس..... ۴۷
شکل۴-۴ مقایسه‌ی تغییرات چگالی طیف‌توان در حوزه فرکانس برای متوسط ۵۰۰ دانه از هرکلاس..... ۴۸
شکل۴-۵ نشان‌دهنده میزان MSE در تغییرات تعداد نرون لایه پنهان..... ۵۲
شکل۴-۶ ساختار نهایی شبکه عصبی..... ۵۳
شکل۴-۷ تغییرات مقدار ضریب همبستگی (R) در شش بار داده برداری برای سه اندازه لوبیا..... ۵۷
شکل۴-۸ عملکرد شبکه با داده‌های اعتبارسنجی را برای سه اندازه لوبیا در شش دوره داده برداری..... ۵۷
شکل۴-۹ درصد تشخیص دانه‌های سالم در شش دوره داده‌برداری..... ۵۸
شکل۴-۱۰ درصد تشخیص دانه‌های آلوده در شش دوره داده‌برداری..... ۵۸
شکل۴-۱۱ دامنه تغییرات ولتاژ برای متوسط داده‌های دانه‌های مرغوب از نامرغوب..... ۶۰
شکل۴-۱۲ منحنی اندازه FFT برای ۴۰۰ دانه لوبیا از هر دو طبقه..... ۶۱
شکل۴-۱۳ منحنی زاویه فاز FFT برای ۴۰۰ دانه لوبیا از هر دو طبقه..... ۶۱
شکل۴-۱۴ منحنی چگالی طیف توان برای ۴۰۰ دانه لوبیا از هر دو طبقه..... ۶۲

فهرست جدول‌ها

جدول۳-۱ ابعاد به دست آمده برای سه طبقه درشت، متوسط و ریز..... ۳۳
جدول۳-۲ وزن هزار دانه سه کلاس لوبیا..... ۳۳
جدول۳-۳ میزان افت در محصولات آفت‌دیده..... ۳۳
جدول ۴-۱ تعیین بهترین ترکیب از مؤلفه‌های اصلی..... ۴۹
جدول۴-۲ تعیین تعداد نرون لایه پنهان..... ۵۱
جدول۴-۳ عملکرد شبکه بهینه..... ۵۳
جدول۴-۴ میزان جداسازی صحیح دو دسته دانه‌های مورد آزمون..... ۵۴

جدول۴-۵ عملکرد شبکه بهینه برای دانه‌های آلوده و سالم.....۵۵
جدول۴-۶ میزان جداسازی صحیح دو دسته دانه‌های سالم و آلوده.....۵۶
جدول۴-۷ تعین بهترین ترکیب از تعداد مؤلفه‌های اصلی و تعداد نرون لایه پنهان.....۶۳
جدول۴-۸ عملکرد شبکه بهینه.....۶۴
جدول۴-۹ میزان جداسازی صحیح دو دسته دانه‌های مورد آزمون.....۶۴

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

حبوبات پس از غلات، دومین منبع مهم غذایی می‌باشد. در غالب کشورهای جهان سوم مسئله کمبود مواد غذایی به خصوص مواد پروتئینی یکی از مشکلات مهم مردم است. حبوبات با داشتن پروتئین نسبتاً بالا تا حدودی کمبود پروتئین حیوانی را جبران می‌کنند. دانه‌های حبوبات هم در مزرعه و هم در انبار مورد حمله انواع مختلفی از آفات و بیماری‌ها قرار می‌گیرند، که در این میان نقش حشرات از همه بارزتر است. مهم‌ترین آفات حبوبات، حشرات خانواده‌ی *Brachidae* می‌باشند. سوسک چهر نقطه‌ای حبوبات[1] در میان افراد این خانواده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این حشره در اغلب نقاط دنیا از جمله آمریکا، اروپا، اطراف دریای مدیترانه، آفریقا، هندوستان، مالزی، چین، ژاپن و ایران دیده می‌شود. سوسک چهار نقطه‌ای، حشره‌ای است چند خوار که لارو آن از دانه‌های بقولات مختلف، مانند لوبیا و واریته‌های آن، نخود، ماش، عدس، باقلا و غیره تغذیه می‌کند (باقری زنوز، ۱۳۸۶).

بعضی از واریته‌های لوبیا از جمله، لوبیا سفید و لوبیاچیتی ، از حمله آفت مصون هستند، در صورتی که بعضی دیگر مانند لوبیا چشم‌بلبلی، به شدت مبتلا می‌شوند. این امر سبب شد که در بعضی از مناطق ایران در سال‌های اخیر، کشاورزان از کشت آن منصرف شوند (باقری زنوز، ۱۳۸۶).

ایران به عنوان یکی از واردکنندگان غلات نیاز به انبارداری غلات دارد، ولی در اثر عدم کنترل آفات، در انبار متحمل افت‌های کیفی و کمی بیشتری نسبت به کشورهای پیشرفته می‌شود. در ایران طبق نشریات وزارت کشاورزی و اظهارات مقامات اجرایی هر سال به طور متوسط ۱۰ تا ۲۰ درصد از کل محصولات کشاورزی به وسیله آفات و عوامل مختلف در انبارها از دست می‌رود (باقری زنوز، ۱۳۸۶).

[1] *Callosobruchus maculatus*

بنابراین با توجه به اینکه وضعیت انبارها، شرایط مطلوبی را برای رشد و نمو این حشره ایجاد می‌کند، ذخیره‌سازی بهینه محصولات انباری، به ویژه مواد غذایی استراتژیک (غلات، حبوبات، دانه‌های روغنی و...) برای هر کشوری بسیار مهم و الزامی است. این موضوع برای کشور ، از یک‌سو با توجه به هزینه‌های سنگینی که از سوی دولت به عنوان یارانه[1] به منظور رفاه معیشتی یا تثبیت نرخ کالاها پرداخت می‌شود، و از سوی دیگر زیان‌هایی را که به وسیله‌ی آفات و عوامل زیان‌آور مختلف به محصولات وارد می‌شود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

هم‌اکنون کنترل آفات انباری به وسیله‌ی آفت‌کش‌های شیمیایی به ویژه فومیگانت‌ها[2] انجام می‌گیرد، با وجود انتقادات گسترده‌ی جهانی که در مورد مصرف آفت‌کش‌ها به عمل می‌آید این ترکیبات هنوز یکی از مؤثرترین و باصرفه‌ترین روش‌ها برای کنترل آفات به شمار می‌آیند و تا به امروز جانشینی مناسب در جهان برای آن‌ها پیدا نشده است. یکی از مهم‌ترین انتقادها مربوط به مقاوم شدن برخی از آفات به آفت‌کش‌ها و باقیمانده[3] یا پسمانده‌ی سم روی محصولات غذایی است. در حقیقت مصرف بیش از اندازه سموم، جانوران آفت را به تدریج مقاوم کرده و بر مشکلات می‌افزاید یا پسمانده‌ی سموم، بهداشت انسان و دیگر مصرف-کنندگان را به مخاطره می‌اندازد و در این راستا کنفرانس‌های علمی جهانی به منظور حفاظت بهینه‌ی محیط زیست، استفاده از بسیاری آفت‌کش‌ها را ممنوع و غیرمجاز اعلام کرده است.

از آنجایی که سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات خسارت‌های زیان‌آوری را به حبوبات به ویژه لوبیا چشم‌بلبلی وارد می‌کند، لزوم مبارزه‌ی همه‌جانبه علیه آن از الزامات تحقیقات در دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی است. علی‌رغم اعمال روش‌های مختلف مبارزه علیه این آفت، هم چنان در حال ایجاد خسارت به حبوبات به ویژه در انبارها است. بنابراین شناسایی دانه‌های آلوده به این آفت و جلوگیری از ورود دانه‌های آلوده به انبارها ضروری است. لذا در این پایان‌نامه از روش غیرمخرب صوتی برای تشخیص آلودگی داخلی لوبیای چشم بلبلی استفاده شد.

[1] Subside
[2] Fumigant
[3] Residue

فصل دوم

مبانی نظری تحقیق و بررسی منابع

۲-۱ سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات[1]

از لحاظ مشخصات مرفولوژیکی، حشره کامل سوسک کوچکی است به طول ۲ تا ۵ میلی‌متر که رنگ بدن آن بسیار متغیر بوده و اغلب به رنگ‌های قرمز، سیاه و سفید و بلوطی دیده می‌شود (شکل۲-۱). سر این حشره سیاه رنگ و شاخک‌های ۱۱ بندی دارد. پیش قفس سینه به شکل مخروط ناقص و به رنگ قرمز روشن و یا قهوه‌ای است. طول هر بال‌پوش تقریباً دو برابر پهنای آن است بر روی هر بال‌پوش دو لکه وجود دارد که یکی در وسط به رنگ سیاه و دیگری در انتها قهوه‌ای متمایل به سیاه می‌باشد. رنگ عمومی بال-پوش‌ها قهوه‌ای مایل به قرمز می‌باشد. ساق پای عقبی بسیار قوی است. نرهای این حشره نسبت به ماده‌ها کوچک‌تر و رنگ آن‌ها نیز قرمزتر می‌باشد. تخم‌ها نیمه کروی است و طول هر تخم در حدود نیم میلی‌متر است. لارو جوان دارای پاهای سه‌بندی کوتاه و نسبتاً قوی است ولی لارو کامل بدون پا است (باقری زنوز، ۱۳۸۶).

شکل ۲-۱حشره کامل سوسک چهارنقطه‌ای

[1] *Callosobruchus maculatu*

۲-۲ لوبیا چشم بلبلی[1]

منشأ این گیاه آفریقا بوده و از آنجا به هند، چین و قسمت‌های مرکزی و شمالی آمریکا منتقل شده است. در حال حاضر در بسیاری از کشورهای گرمسیری با سطح زیر کشت جهانی ۴٫۵ میلیون هکتار کشت می‌شود. لوبیا با قدمتی حدوداً ۸ هزارساله در اکثر نقاط دنیا کشت می‌شود. در ایران نیز با توجه به ارزش غذایی آن از دیرباز به آن توجه شده است. لوبیا چشم بلبلی ارزش غذایی بالایی دارد و منبع عالی کلسیم، ویتامین A و فولات است. فیبر غنی موجود در لوبیا چشم‌بلبلی، به کاهش وزن کمک می‌کند. فیبر موجود در لوبیا چشم‌بلبلی به سیستم گوارشی نظم می‌بخشد و مانع یبوست و جذب کلسترول می‌شود. از این رو احتمال خطر بروز بیماری قلبی را کاهش می‌دهد. پتاسیم موجود در لوبیا چشم‌بلبلی، برای سلامت عضله و استخوان مفید است. لوبیا چشم‌بلبلی مانع بروز پوکی استخوان و برخی انواع سرطان می‌شود. لوبیا چشم بلبلی منبع عالی پروتئین است و افراد گیاه‌خوار می‌توانند آن را جایگزین گوشت کنند. پروتئین برای حفظ سلامت عضله، پوست، مو و ناخن بسیار مفید است (علیرضا عرفی، ۱۳۹۱).

غلات و حبوبات منابع اصلی تغذیه انسان می‌باشند، که به صورت گسترده در سطح جهان و ایران تولید می‌شوند. طبق آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰، از حدود ۱۲٫۷۴میلیون هکتار سطح برداشت محصولات زراعی، حدود ۰٫۸۹ میلیون هکتار معادل ۷درصد سطح برداشت حبوبات، و از مجموع ۸۲٫۵ میلیون تن تولید محصولات زراعی در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰، حدود ۰٫۷۹ میلیون تن معادل ۱درصد میزان تولید را حبوبات تشکیل می‌دهند (آمارنامه جهاد کشاورزی، ۱۳۹۳).

بر اساس پیش‌بینی سازمان جهانی خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) میزان تولید غلات و حبوبات (محصولات دانه‌ای) در سال ۲۰۱۳ نزدیک به ۲۵۰۰ میلیون تن برآورد شده است از این مقدار ۵۷۲ میلیون تن تا سال ۲۰۱۴ به صورت انباری ذخیره خواهد شد.

۲-۳ صوت

از زمان‌های باستان تا قرن هجدهم میلادی تنها نام چند تن فیلسوف و نظریه‌دان موسیقی را می‌توان یافت که به مطالعه آکوستیک پرداخته باشند. آکوستیک موسیقی تنها موضوع فیزیکی مورد بحث آنان بوده است که در آن قانون کمی را کشف کرده‌اند: فیثاغورث با مقایسه ارتفاع صداهای موسیقی با طول‌های مولد آن‌ها در تار مرتعش، نخستین بار ارقام را در فیزیک وارد ساخته است. فارابی و ابن‌سینا ایجاد و خواص

[1] *Vigna unguiculata*

ارتعاشی صوت را کامل‌تر از پیشینیان خود تشریح کرده‌اند. از طرف دیگر آکوستیک ساختمانی از قرن‌ها پیش از میلاد مورد توجه بوده است. در ساختمان‌های قدیم یونانی و رومی برخی از مسائل مربوط به آکوستیک ساختمانی مراعات و حل شده است.

در آغاز قرن هفدهم مرسن[۱] با اندازه‌گیری ارتفاع صداهای گام، بین آکوستیک و هنر موسیقی پلی برقرار می‌سازد. آزمایش‌های اتوگریک[۲] به وسیله ماشین تخلیه هوا نشان می‌دهد که صوت در خلا منتشر نمی‌شود. در اواخر قرن هفدهم سور[۳] وجود گره و شکم را در موج‌های صوتی کشف می‌کند و در همین اوان نیوتون نخستین تشریح ریاضی صوت را بر پایه خواص ارتجاعی محیط‌ها اعلام می‌دارد.

در قرن هجدهم دالامبر[۴] و دانیل برنولی[۵] مسائل تارهای مرتعش را تشریح می‌کنند و فرمول ریاضی مهم آن‌ها را به نام معادله تارهای مرتعش را کشف می‌کنند.

در قرن نوزدهم دانشمندانی مانند دولن[۶]، ورتایم[۷]، رینول[۸]، کلادن[۹]، ستورم[۱۰]، روش‌های گوناگون سرعت صوت را در محیط‌های مختلف اندازه‌گیری می‌کنند. هلمهولتس[۱۱] و کونیگ[۱۲] به وسیله رزوناتورهای خود زنگ صدا را تجزیه می‌کنند و راه را برای تجزیه و ترکیب صداهای باز می‌رسانند.

در اواخر قرن نوزدهم وسایل ضبط‌صوت به وسیله ادیسون[۱۳] و وسایل انتقال الکتریکی صوت به وسیله بل[۱۴] کشف می‌شوند و موارد استعمال فنی و صنعتی آن توسعه می‌یابد.

قرن بیستم دوره تکامل و ترقی در علم و صنایع است و دامنه مطالعات علمی در باره ارتعاش آکوستیکی از حدود فرو صوتی تا فرکانس ۲۰ و صداهای قابل احساس از ۲۰ تا ۲۰۰۰۰ به ارتعاش‌های سریع‌تر کشانده می‌شود و در دوره فرا صوتی از ۲۰۰۰۰ تا ۱۰ میلیون و بالاتر از آن موج‌های مافوق صدا تا حدود فرکانس

---

1 Mersenne
2 Otto Guerik
3 Sauveur
4 D,Alembert
5 Daniel Bernoulli
6 Dulong
7 Wertheim
8 Regnault
9 Colladon
10 Sturm
11 Helmholtz
12 Koenig
13 Edison
14 Bel

10^{13} که سبب تحریک‌های گرمایی در جامدات و مایعات می‌شود و موارد استفاده صنعتی متعدد آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

این تاریخچه مختصر از تحول علمی آکوستیک نشان می‌دهد که در سیر تکامل علوم به سوی وحدت کامل، آکوستیک علم زنده‌ای باقی مانده است که در نیم‌قرن اخیر گام‌های بلندی در سیر تکاملی تمدن پیموده است و اکنون به رشته‌های تخصصی گوناگون تقسیم شده است (اسماعیل بیگی ،۱۳۶۳).

۲-۳-۱ اندازه‌گیری بلندی صوت

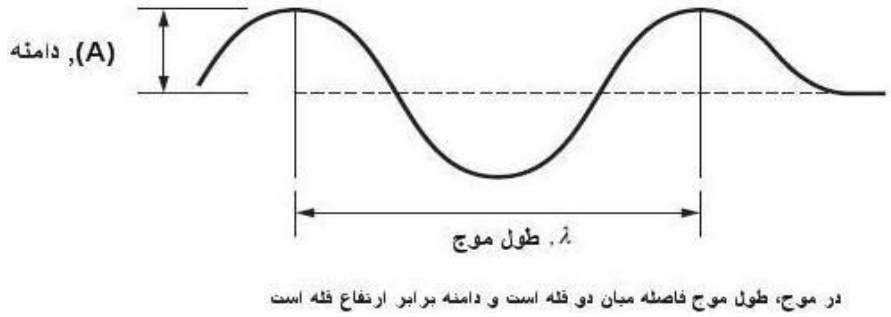
واحد اندازه‌گیری بلندی صوت بل است که به افتخار الکساندر گراهام بل، مخترع تلفن نامیده شده است. دسی‌بل یک دهم بل است. اگر آستانه شنوایی صفر در نظر گرفته شود صدای حرف در گوشی ۲۰ دسی‌بل، صدای اتومبیل ۴۵ دسی‌بل، مکالمه عادی ۶۰ دسی‌بل و صدای رعد ۱۱۰ دسی‌بل است. صدای بالاتر از ۱۲۰ دسی‌بل به گوش صدمه می‌زند. وسایل اندازه‌گیری صوت، توان امواج صوتی را با صفحات مدرج اندازه می‌گیرند. شدت نسبی احساس صوت بر حسب دسی‌بل از رابطه زیر حساب می‌شود:

$$\beta = 10\log(I/I_0)$$

در این رابطه I_0 شدت صوت مبنا یا آستانه شنوایی برای فرکانس ۱۰۰۰ هرتز و گوش سالم است. مقدار شدت صوت سطح مبنا برابر 10^{-12} وات بر مترمربع بوده و تراز شدت صوت سطح مبنا برابر صفر است. تراز شدت آستانه دردناکی گوش انسان برابر ۱۲۰ دسی‌بل است (گلستانیان، ۱۳۶۹).

۲-۳-۲ طول موج

به بالاترین نقاط موج‌ها، قله‌ی موج و به پایین‌ترین نقاط آن‌ها دره‌ی موج می‌گویند. فاصله بین یک قله موج تا قله‌ی دیگر را طول موج می‌نامند. طول موج نیز مانند بسامد (میزان بالا و پایین رفتن موج)، روی ویژگی‌هایی موج تأثیر می‌گذارد؛ زیرا این دو باهم ارتباط نزدیک دارند. برای مثال، موج‌های صدای کم بسامد نسبت به موج‌های صدای پر بسامد، طول موج بزرگ‌تری دارند (شکل ۲-۲).



شکل ۲-۲ طول موج و دامنه موج

۲-۳-۳ مزایای آزمون صوتی

محققین برای تعیین دانه‌های حاوی لارو از روش‌های گوناگونی استفاده کرده‌اند که از آن میان می‌توان تصویربرداری با اشعه X[1]، طیف‌سنجی مادون‌قرمز[2]، تصویربرداری MRI، استفاده از آسیاب غلتکی رسانای الکتریکی[3] و غوطه‌ور کردن دانه‌ها در محلول‌های مختلف برای استفاده از تغیر چگالی دانه‌های آلوده و روش‌های دیگر اشاره کرد. از آن میان اینجه و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از پاسخ آزمون آکوستیک اقدام به شناسایی دانه‌های گندم حامل لارو حشرات از دانه‌های سالم نمودند. از محاسن روش مورد استفاده ایشان نسبت به روش‌های یادشده سادگی نسبی، ارزانی و سرعت بالا و از همه مهم‌تر، غیر مخرب بودن روش صوتی است. این عوامل باعث شده، آزمون‌های صوتی به عنوان یک روش قابل‌اعتماد در اکثر علوم مهندسی مورد استفاده قرار گیرد.

با توجه به این که بازرسی، طبقه‌بندی و جداسازی محصولات کشاورزی غالباً به صورت بلادرنگ[4] انجام می‌گیرد، زمان لازم برای دریافت و پردازش داده، طبقه‌بندی محصولات و راه‌اندازی مکانیزم جداسازی بسیار محدود است. آزمون‌های آکوستیک با سرعت بالایی که دارند، در علوم کشاورزی جایگاه ویژه‌ای پیداکرده‌اند. هدف دیگری که در درجه‌بندی محصولات کشاورزی مهم است، غیرمخرب بودن فرایند تشخیص است، که آزمون‌های صوتی این هدف را به خوبی پوشش می‌دهند. همچنین روش‌های آزمون آکوستیک اصول کاری آسانی دارند و سازگاری سریعی با تغییرات یک نوع محصول و محصول جدید دیگر ایجاد می‌کنند. بنابراین

[1] X–ray Imaging
[2] IR Spectroscopy
[3] Electrically Conductive Roller Mill
[4] Real-time

گرایش به سمت استفاده از روش‌های صوتی بیش از گذشته مورد توجه محققین و صنعت‌گران رشته کشاورزی است.

در علوم کشاورزی آزمون آکوستیکی برای درجه‌بندی محصولات، تعیین رسیدگی و سفتی میوه‌ها، تعیین برخی خصوصیات فیزیکی محصولات و گاهی تعیین برخی عیوب ممکن در محصولات باغی و کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شرط اولیه استفاده از این روش آن است که باید عیوب یا تفاوت‌ها با استفاده از رفتار ارتعاشی محصول قابل‌شناسایی باشد. مواد مختلف در هنگام برخورد با یکدیگر امواجی تولید می‌کنند که فرکانس، دامنه و شدت صوتی آن به عوامل مهمی از جمله سرعت برخورد، جنس، حجم و جرم مواد بستگی دارد. بنابراین با اندازه‌گیری خصوصیات امواج صوتی و فراصوتی می‌توان به برخی از خصوصیات مواد و یا حداقل به تفاوت‌های آن‌ها پی برد. با بررسی و مطالعه روی ویژگی‌های به دست آمده می‌توان به بسیاری از خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی و غذایی از جمله سفتی، ترک، رسیدگی، آسیب‌دیدگی و ... پی برد. تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که پردازش در حوزه فرکانس، اطلاعات و خصوصیات بیشتری از محصولات کشاورزی را در اختیار محققین قرار می‌دهد.

۲-۴ داده کاوی[1]

تا دهه ۱۹۶۰ و قبل از آن فعالیت بشر بر روی‌داده‌های به دست آمده محدود به ایجاد پایگاه‌های داده و جمع‌آوری داده‌ها می‌شد. از دهه ۱۹۷۰ تا اواسط ۱۹۸۰ به دلیل کثرت داده‌ها و نیاز به حفظ و تکثیر از آن‌ها و مدیریت داده‌ها سیستم مدیریت پایگاه‌های داده ایجاد شد. پس از اواسط دهه ۱۹۸۰ داده کاوی در دوشاخه به صورت موازی پیش‌رفت در شاخه اول به دلیل افزایش حجم داده‌ها در شاخه‌های مختلف علم و به یاری پیشرفت تکنولوژی سیستم پایگاه‌های داده پیشرفته ایجاد شد. به موازات ایجاد پایگاه‌های داده پیشرفته به کمک پیشرفت کامپیوتر و هوش مصنوعی و نیاز به تحلیل داده‌ها و نتیجه‌گیری از آن‌ها در مدت زمان معین سیستم تحلیل پیشرفته داده ایجاد شد.

منظور از داده‌کاوی استخراج توصیفات منطقی و کاربردی از داخل حجم عظیمی از داده‌های خام است. یعنی در مدت زمان مناسب سیل عظیمی از داده‌ها دریافت و عصاره‌ای از آن‌ها به عنوان اطلاعات[2] از سیستم خارج شود.

[1] Data Mining
[2] Information

داده‌ها خود از مجموعه نویز[1] استخراج می‌شوند. نویز یک فرایند تصادفی است که نمی‌شود بر اساس آن به نتیجه‌گیری رسید و نه مدلی غیر از توزیع احتمالی ارائه کرد و در کل بار اطلاعاتی ندارد. ولی بعد از استخراج داده‌ها از نویز، می‌توان با داده کاوی مجموعه‌ای از اطلاعات دست یافت که بسیار مرتب تر و ساخت یافته‌تر از داده‌ها هستند ولی باز به اندازه دانش منظم و قابل‌استفاده نیستند. بنابراین مسیر رسیدن به دانش از نویز با داده کاوی را می‌توان به صورت زیر نشان داد.

نویز ⟵ داده ⟵ اطلاعات ⟵ دانش

۲-۵ سیگنال[2] و پردازش سیگنال

سیگنال به هرچه که دربردارنده‌ی پیام و یا اطلاعات باشد گفته می‌شود. اما بیشتر به معنی موجی با مشخصه‌های ویژه است. به هر آشفتگی که در محیط یا در فضا منتشر می‌شود و اغلب حامل انرژی است موج می‌گویند. اگر این آشفتگی که در میدان مغناطیسی باشد به آن موج الکترومغناطیسی می‌گویند. اگر این آشفتگی در یک محیط مادی منتشر شود به آن موج مکانیکی گفته می‌شود. انتشار این‌گونه امواج به دلیل نیروهای داخلی در محیط در اثر تغییر شکل ایجادشده (آشفتگی) است. برخی از انواع امواج مکانیکی، امواج صوت، امواج زلزله و امواج آب می‌باشد.

سیگنال‌های تک متغیره به دو گروه سیگنال‌های پیوسته در زمان و سیگنال‌های گسسته در زمان تقسیم می‌شوند. در سیگنال‌های پیوسته در زمان، متغیر مستقل پیوسته است و برای تمامی مقادیر پیوسته‌ی متغیر مستقل تعریف می‌شود. سیگنال‌های گسسته در زمان فقط برای زمان‌های خاصی که به صورت گسسته از هم قرار دارند تعریف می‌شوند. سیگنال‌های گسسته در زمان $x[n]$ می‌توانند نمایش‌گر پدیده‌ای باشند که متغیر مستقل آن ذاتاً گسسته است و سیگنال‌های آماری مثال‌هایی از این نوع هستند. دسته مهم از سیگنال‌های گسسته در زمان، سیگنال‌هایی هستند که از نمونه‌برداری سیگنال پیوسته در زمان حاصل‌شده‌اند. در این حالت سیگنال $x[n]$، نمونه‌های متوالی پدیده‌ای است که متغیر مستقل آن پیوسته است. در سیگنال زمان گسسته، $x[n]$ تنها برای مقادیر صحیح n تعریف می‌شود، با توجه به این که سیگنال‌های صوتی به‌کاررفته در این تحقیق از نوع سیگنال گسسته می‌باشند، فقط اصول و تعریف این نوع سیگنال مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

[1] Noise
[2] Signal

سیگنال زمان گسسته متناوب: سیگنال زمان کسسته $x[n]$ را متناوب با دوره تناوب N می‌نامند، اگر به ازای تمام مقادیر n داشته باشیم:

$$x[n] = x[n+N] \quad (۱-۲)$$

انرژی سیگنال: انرژی سیگنال گسسته در زمان $x[n]$ در فاصله زمانی $n_1 \leq n \leq n_2$ به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$E = \sum_{n_1}^{n_2} x^2[n] \quad (۲-۲)$$

سیگنال زوج و فرد: سیگنال $x[n]$ را زوج می‌گویند اگر انعکاس آن نسبت به مبدأ یکسان باشد. سیگنال $x[n]$ را فرد می‌گویند، اگر انعکاس آن نسبت به مبدأ وارون باشد.

$$x[n] = x[-n] \quad (۳-۲) \text{ سیگنال زوج}$$

$$x[n] = -x[-n] \quad (۴-۲) \text{ سیگنال فرد}$$

سیگنال‌های نمایی مختلط و سینوسی گسسته در زمان: همان طوری که در قسمت بعدی اشاره می‌شود، دسته بزرگی از سیگنال‌های گسسته در زمان توسط رابطه خطی بین سیگنال‌های نمایی و یا سیگنال‌های سینوسی بیان می‌شوند.

$$x[n] = e^{j\omega_0 n} \quad (۵-۲) \text{ سیگنال نمایی}$$

$$x[n] = A\cos(\omega_0 n + \psi) \quad (۶-۲) \text{ سیگنال سینوسی}$$

توابع فوق دارای خواص منحصربه‌فرد زیر هستند که آن‌ها را از سایر توابع متمایز می‌کند:

۱- سیگنال‌های مفید متعددی بر اساس این سیگنال‌ها ساخته می‌شوند.
۲- پاسخ سیستم‌های LTI[1] به این سیگنال‌ها ساختار بسیار ساده‌ای دارند.
۳- این سیگنال‌ها نسبت به فرکانس، دارای دوره تناوب ۲π هستند.

[1] Linear Time Invariant

مثلاً برای تابع نمایی رابطه (۲-۵) داریم:

$$e^{j(\omega_0+2\pi)n} = e^{j2\pi n}e^{j\omega_0 n} = e^{j\omega_0 n}$$

ضربه‌ی واحد: ضربه‌ی واحد یا نمونه‌ی واحد یکی از ساده‌ترین و درعین‌حال پرکاربردترین سیگنال‌های گسسته است که به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\delta[n] = \begin{cases} 0 & n \neq 0 \\ 1 & n = 0 \end{cases} \quad (۲-۷)$$

سیگنال ضربه‌ی واحد از آنجا اهمیت پیدا می‌کند که بسیاری از سیگنال‌ها را با ترکیب خطی سیگنال ضربه واحد جابه‌جا شده در واحد زمان یعنی $\delta[n-k]$ توصیف می‌کنند یعنی:

$$x[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k].\delta[n-k] \quad (۲-۸)$$

پله‌ی واحد: پله‌ی واحد سیگنال گسسته‌ای است که با بیان ریاضی زیر تعریف می‌شود:

$$u[n] = \begin{cases} 0 & n < 0 \\ 1 & n \geq 0 \end{cases} \quad (۲-۹)$$

بین ضربه و پله رابطه نزدیکی وجود دارد:

$$\delta[n] = u[n] - u[n-1] \quad (۲-۱۰)$$

$$u[n] = \sum_{m=-\infty}^{n} \delta[m] \quad (۲-۱۱)$$

در تحلیل بسیاری از مسائل سیگنال و کنترل، اگر پاسخ سیستم به ضربه‌ی واحد و یا پله‌ی واحد مشخص باشد، عملکرد سیستم و پاسخ آن به سیگنال‌های دیگر مشخص می‌شود (دیانی، ۱۳۸۶).

۲-۵-۱ سری فوریه

سری فوریه عبارت است از بسط تابع تناوبی f_x در قالب جملاتی از جمع نامتناهی کسینوس‌ها و سینوس‌ها. در واقع سری فوریه بر کاربرد روابط تعامد توابع سینوسی و کسینوسی تاکید دارد. محاسبه و مطالعه‌ی سری‌های فوریه موسوم به آنالیز هارمونیک می‌باشد که به عنوان یک روش بسیار سودمند برای تفکیک یک تابع تناوبی *دلخواه* به مجموعه‌ای از جملات ساده بوده که به راحتی می‌توان آن‌ها درک نمود، منحصراً حل کرد و دوباره با ترکیب آن‌ها راه حل مسئله‌ی اولیه را به دست آورد، یا اینکه یک تقریب مطلوب و مناسبی را برای آن تخمین زد. با توجه به این که در تحقیق حاضر فقط از سیگنال‌های گسسته در

زمان استفاده گردید، در تعریف و فرمول‌بندی‌های تبدیل فوریه، فقط این گروه از سیگنال‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند.

هرگاه سیگنال گسسته در زمان متناوب $x[n]$ دارای دوره تناوب N باشد، مقدار $\omega_0 = 2\pi/T$ را فرکانس پایه می‌نامند و نمایش تابع $x[n]$ به صورت زیر را نمایش سری فوریه می‌نامند.

$$x[n] = \sum a_k e^{jk\omega_0 n} \qquad (۱۲-۲)$$

در این رابطه جمله $k = 0$ را جمله ثابت و $k = +n$ و $k = -n$ را هماهنگ n ام می‌نامند. ضریب سری فوریه از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$a_k = \frac{1}{n}\sum x[n].\, e^{-jk\omega_0 n} \qquad (۱۳-۲)$$

ضرایب سری فوریه‌ی زمان گسسته a_k را ضرایب طیفی $x[n]$ نیز می‌نامند. با توجه به این که سیگنال $e^{j\omega_0 n}$ با دوره‌ی N متناوب است، تنها N ضریب فوریه‌ی مستقل وجود دارد یعنی $a_k = a_{k+N}$.

در مسائل مهندسی کنترل، به جای این که پاسخ یک تابع را به صورت مستقیم در سیستم مورد بررسی قرار دهند، پاسخ هر یک از مؤلفه‌های سیگنال را بررسی کرده و پاسخ کل را به صورت ترکیب خطی پاسخ‌های توابع ویژه در نظر می‌گیرند. سری فوریه علی‌رغم قابلیت‌های زیاد خود، محدود به توابع متناوب بوده و این در حالی است که اکثر سیگنال‌های ایجادشده در حسگرها و سیستم‌های اندازه‌گیری، توابع غیر متناوب هستند. برای حل این مشکل، سیگنال نامتناوب را سیگنالی متناوب با دوره تناوب بینهایت فرض می‌کنند. با بزرگ شدن دوره تناوب مؤلفه‌های فرکانسی حالت پیوسته به خود می‌گیرند و جمع سری فوریه به انتگرال فوریه (تبدیل فوریه) تبدیل می‌شود.

۲-۵-۲ تبدیل فوریه

توابع مورد استفاده در مهندسی و توابع نمایانگر سیگنال‌ها، معمولاً توابعی از زمان هستند یا به عبارت دیگر توابعی که در حوزه زمان تعریف‌شده‌اند. برای حل بسیاری از مسائل بهتر است که تابع در دامنه فرکانس تعریف شده باشد، زیرا این دامنه ویژگی‌هایی دارد که به راحتی محاسبات می‌انجامد. در ریاضیات، سری فوریه، تابعی است که با استفاده از آن می‌توان هر تابع متناوب را به صورت جمعی از توابع نوسانی ساده (سینوسی، کسینوسی و یا تابع نمایی مختلط) نوشت. با بسط هر تابع به صورت سری فوریه، مؤلفه‌های

بسامدی آن تابع به دست می‌آید. سپس می‌توان محاسبات پیچیده‌ی حوزه زمان را به راحتی در حوزه فرکانس انجام داد و با عکس تبدیل فوریه به حوزه زمان انتقال داد.

۲-۵-۳ تبدیل فوریه سریع[۱] FFT

تبدیل فوریه‌ی سریع (FFT)، اجرای سریع DFT[۲] است. در تبدیل FFT از روش‌های سریع‌تر برای انجام DFT استفاده می‌گردد. این الگوریتم تعداد محاسبات مورد نیاز را از مرتبه‌ی N^2 به مرتبه‌ی $N \times \log(N)$ کاهش می‌دهد. سرعت و طبیعت گسترده‌ی FFT، اجازه می‌دهد تا طیف سیگنال با نرم‌افزار متلب تجزیه و تحلیل گردد (فورست، ۲۰۰۵).

تبدیل DFT با تبدیل DTFT[۳]، تفاوت دارد. هر دو این تبدیلات روی سیگنال‌های زمان گسسته عمل می‌کنند ولی DFT، سیگنال گسسته‌ی حوزه‌ی فرکانس و DTFT، سیگنال پیوسته در حوزه‌ی فرکانس را ارائه می‌دهد. تبدیل DFT شکل نمونه‌های گسسته شده‌ی تبدیل DTFT است. مهم‌ترین خواص تبدیل فوریه‌ی DFT که در تبدیل DTFT هم اعتبار دارند، عبارت‌اند از:

تناوبی بودن[۴]: اگر $X[k]$ تبدیل DFT، سیگنال $x[n]$ باشد ($N-1$ و....و 1 و $k=0$ و N طول FFT)، $X[k]$ متناوب است. یعنی سیگنال‌های نمایی مختلط گسسته در زمانی که تفاوت فرکانس‌هایشان مضرب صحیحی از 2π است، باهم یکسان‌اند. با تبدیل محدوده 2π به محدوده فرکانس نمونه‌برداری، یک دوره تناوب از $f=0$ تا $f=f_s$ هرتز که در آن f_s فرکانس نمونه‌برداری است، ادامه دارد. بنابراین DFT تنها در فاصله صفر تا f_s تعریف می‌گردد.

تقارن[۵]: زمانی که علامت در ناحیه بین صفر و f_s بررسی می‌گردد، مشاهده می‌شود که یک تقارن زوج حول نقطه‌ی مرکزی، $f_s/2$ که به فرکانس نایکویست معروف است، وجود دارد. این تقارن افزونگی[۶] (اطلاعات زائد) ایجاد می‌کند.

---
[1] Fast Fourier Transform
[2] Discrete Fourier Transform
[3] Discrete-time Fourier Transform
[4] Periodicity
[5] Symmetry
[6] Redundancy