

تحلیل فرکتالی سیگنال‌های صوتی کمباین سمپو مدل ۳۰۶۵

فرزاد مهدیه بروجنی^{۱*} - علی ملکی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۳۰

چکیده

کمباین‌ها یکی از مهم‌ترین منابع ایجاد سر و صدا در کشاورزی هستند. با توجه به شرایط متفاوت کاری کمباین‌ها و اینکه رانندگان همواره در معرض سر و صدای ناشی از کمباین‌ها هستند. این پژوهش با هدف دستیابی به بعد فرکتال سیگنال‌های صوتی کمباین سمپو (SAMPO) در شرایط مختلف صورت گرفت تا از این طریق بتوان به ساختار مناسب جاذب‌های صوتی در کمباین‌ها دست یافت. سیگنال‌های صوتی کمباین مطابق با استاندارد بین‌المللی 5131 و 7216 در دو سطح دور موتور (تند و آرام)، دو وضعیت عملکردی (حرکت آزاد و هنگام برداشت)، چهار حالت دنده (دنده پارک، دنده یک سنگین، دنده دو سنگین و دنده سه سبک) و دو موقعیت میکروفون (کمباین با کابین و بدون کابین) ضبط گردید. بعد فرکتال سیگنال‌های صوتی در حوزه زمان با استفاده از روش‌های کاتز، سویک، هیگوچی و MRBC و با اعمال سه پنجره لرزان به طول‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌ثانیه محاسبه شد. نتایج نشان داد که مقادیر بعد فرکتال اعدادی بین ۱ تا ۱/۶ را به خود اختصاص می‌دهد و همچنین با افزایش طول پنجره‌ها مقدار آن افزایش می‌یابد (در پنجره ۵۰ میلی‌ثانیه ۱/۳۴، در پنجره ۱۰۰ میلی‌ثانیه ۱/۳۷ و در پنجره ۲۰۰ میلی‌ثانیه ۱/۴۰) و در وضعیت وجود کابین بعد فرکتال مقدار ۱/۲۵ و در حالت بدون کابین ۱/۴۸ است. همچنین با افزایش دور موتور مقدار بعد فرکتال سیگنال صوتی از ۱/۳۴ به ۱/۴۰ افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: آکوستیک، بعد فرکتال، فرکتال، کمباین

مقدمه

یکی از ناهنجارترین پدیده‌های قرن حاضر سر و صدا است که منابع آن پیرامون زندگی انسان به صورت روز افزونی در حال افزایش بوده و می‌تواند در نقش منبعی برای صدمات و اختلالات جسمی و روانی عمل نماید (Depczynski et al., 2011). ورود تراکتورها، کمباین‌ها و ماشین‌های کشاورزی به مزرعه، مشکلات بسیاری را در ارتباط با ایمنی و سلامت شغلی حاصل از کار این دستگاه‌ها برای کاربران آن‌ها و نیز کارگران مشغول به کار در مزرعه به وجود آورده است که از آن جمله می‌توان به سر و صدا و ارتعاش حاصل از کار این ادوات اشاره نمود (Solecki, 2000; Brown, 1998). امروزه تحقیقات متعددی در مورد منبع سر و صدا، نوع آن و اثرات آن در ارتباط با مدت زمان انتشار صورت گرفته است. این تحقیقات باید تا تعیین این که کدام نوع ماده جاذب، در چه تراز فشار صدایی باعث کاهش در مقیاس صدای مینا شنوایی می‌گردد، ادامه پیدا کنند (Aybek et al., 2010). استفاده از هندسه فرکتالی روشی نوین در

این حوزه است.

اصطلاح فرکتال را مندلبروت^۳ در سال ۱۹۷۵ ابداع کرد. فرکتال‌ها در معادلاتی که حرکت بی‌نظم دارند مثل آب و هوا، اقتصاد، سیگنال‌های مغزی، قلبی و صوتی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Kantz and Scheriber, 1997). برای درک هندسه فرکتالی باید راهی یافته شود که بتوان پیچیدگی شکل را در قالب عدد نشان داد. این عدد همان بعد فرکتالی است. فرکتال‌ها چه طبیعی باشند و چه مصنوعی، همه بعد خاصی دارند. بعد فرکتال اطلاعات نهفته در سیستم را آشکار می‌کند (Berreto and Hunt, 1999). بعد فرکتال موج یک ابزار قوی برای تشخیص ناپایداری سیگنال می‌باشد. آنالیز بعد فرکتال غالباً برای تشخیص حالت‌های خاص توابع فیزیولوژیکی، پردازش سیگنال‌های بیوالکترونیک و به‌طور ویژه در آنالیز الکتروکاردیوگرام و آنالیز سیگنال EEG^۴ کاربرد دارد (Paramanathan and Uthayakumar, 2008).

نتایج پژوهش ملکی و لشگری نشان داد که برای کمباین‌های سمپو و جاندیر تراز فشار صدا با توجه به افزایش بسامد روند کاهشی داشته است. همچنین بیشینه تراز فشار صدای کمباین‌های جاندیر و سمپو به ترتیب برابر ۱۱۶ دسی‌بل در بسامد ۲۵۰ هرتز و ۱۱۱/۱

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
(Email: Maleki_ali@iran.ir)

*- نویسنده مسئول:

3- Mandelbrot

4- Electroencephalogram

گاه‌پران‌ها، الک‌ها و دمنده دارای حرکت بودند. پس از انجام آزمایش‌ها و جمع‌آوری اطلاعات به‌دست آمده، داده‌ها به کمک نرم‌افزار SPSS.۲۰ مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. شکل ۱ بخشی از سیگنال ضبط شده در دور تند، دنده یک و در حالت برداشت را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که سیگنال‌های صوتی براساس استانداردهای سازمان بین‌المللی (ISO 5131 and ISO 7216) استاندارد تهیه گردیده است. برای این منظور در زمان آزمون، سرعت باد توسط بادسنج دیجیتال اندازه‌گیری شد که در تمامی آزمایش‌ها کمتر از ۵ متر بر ثانیه به ثبت رسید. با توجه به اینکه تمامی آزمایش‌ها در فصل تابستان انجام گرفتند، لذا دمای هوای محیط نیز همواره بیشتر از ۵ درجه سانتی‌گراد بود که هر دو مقوله سرعت باد و دمای محیط در زمان آزمایش، کاملاً مطابق با شرایط مندرج در مقررات استاندارد بودند.

به‌منظور دستیابی به بعد فرکتال سیگنال‌های صوتی، سطح کل شکل موج توسط جعبه‌هایی با ابعاد ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌ثانیه به اجزاء کوچک‌تری تقسیم شد. میان هر کدام از جعبه‌ها نیز فاصله‌ای برابر ۲۵ میلی‌ثانیه لحاظ گردید. سپس با استفاده از روش‌های کاتز، سویک، هیگوجی و MRBC^۳ بعد فرکتال برای هر کدام از این پنجره‌ها محاسبه گردید. شکل ۲ نمونه‌ای از نحوه توزیع پنجره‌ها را نشان می‌دهد.

تئوری تحقیق

در سیستم‌های فیزیکی، خاصیت خود متشابهی در اجسام فرکتال محدوده مقیاسی بیشینه و کمینه‌ای دارد. هنگامی که یک رخداد مانند سیگنال‌های فیزیولوژیکی در طبیعت اتفاق می‌افتد، به‌طور دقیق خود را بر روی مقیاس‌های مختلف تکرار می‌کند. دیدگاه تشکیل‌دهنده تخمین مستقیم بعد فرکتال در حوزه زمان یا در حوزه اصلی شکل موج به نحوی است که شکل موج و یا سیگنال اصلی به‌صورت یک شکل هندسی در نظر گرفته می‌شود (Gnitecki and Moussavi, 2005). برای این اساس برای محاسبه بعد فرکتال سیگنال‌ها از نرم‌افزار MATLAB (R2010a) استفاده شد.

دسی‌بل در بسامد ۴۰ هرتز است (Maleki and Lashgari, 2014). در پژوهشی روش جدیدی برای محاسبه بعد فرکتال شکل‌موج مطرح شد. الگوریتم مطرحی نسبت به الگوریتم هیگوجی^۱ دارای سرعت بیشتر و ملاک سنجش دقیق‌تری برای تعیین K_{min} و K_{max} می‌باشد (Paramanathan and Uthayakumar, 2008).

روش تشخیص صدای منتشر شده برای مطالعه آرایش ترک‌های ناشی از خستگی و انتشار آن‌ها بر روی فلز استیل توسط (Biancolini et al., 2006) استفاده شد. آنها با استفاده از آنالیز فرکتال و روش شمارش جعبه^۲ به توصیف خصوصیات پخش‌شدگی فضایی منبع صدا پرداختند. در نتیجه نشان داده شد که بین آسیب خستگی مواد با پارامترهای میکروسکوپی و بعد فرکتال سیگنال‌های صوتی منتشره از آن‌ها همبستگی وجود دارد.

از بعد فرکتال در علم پردازش سیگنال، جهت تشخیص ترک در دیواره لوله‌ها نیز استفاده می‌گردد (Shoupeng and Peiwen, 2007). این پژوهشگران بعد فرکتال سیگنال‌های فراصوت مربوط به عیوب مختلف لوله‌هایی از جنس فولاد سخت و آلومینیوم را با استفاده از روش شمارش جعبه محاسبه نمودند.

انتقال صدا از میان صفحات سوراخ‌دار فرش سرپینسکی به‌عنوان هندسه فرکتال توسط گومز لوزانو و همکاران بررسی شد. نتایج نشان داد که می‌توان در آینده بر این اساس اقدام به ساخت فیلترهای فراصوت نمود. آنالیز فرکتالی برای استخراج خصوصیات سیگنال‌های صوتی مشخصه‌ای مفید است. بنابراین تمرکز اولیه این مطالعه بر روی فرکتال طبیعی سیگنال‌های صوتی کمباین سمپو می‌باشد و هدف استفاده از روش‌های کاتز، سویک، هیگوجی و MRBC^۳ به‌منظور محاسبه بعد فرکتال، سیگنال‌های صوتی منتشرشده از کمباین سمپو تحت شرایط عملکردی مختلف است (Gómez-Lozano et al., 2013).

مواد و روش‌ها

در این مطالعه از سیگنال‌های صوتی کمباین سمپو ۳۰۶۵ که حاصل فعالیت پژوهشی ملکی و لشگری می‌باشد، استفاده گردید (Maleki and Lashgari, 2014). جدول ۱، متغیرها و سطوح آنها را نشان می‌دهد.

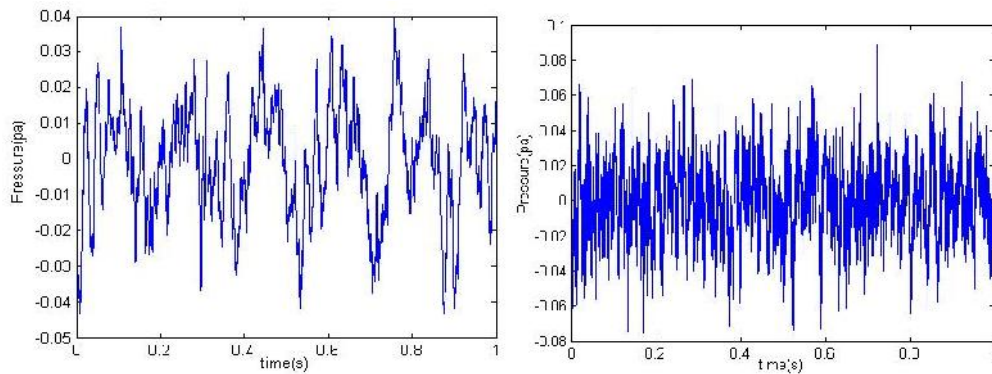
لازم به ذکر است که وضعیت عملیات در سطح حرکت آزاد بیانگر حالتی است که کمباین تنها دارای حرکت انتقالی بوده و تمامی اجزای سیستم برداشت غیرفعال بودند و وضعیت برداشت بیانگر حالت بدون بار و هنگامی است که علاوه بر این که کمباین دارای حرکت انتقالی بوده، تمامی اجزای سیستم برداشت از قبیل سکوی برش، کوبنده،

1- Higuchi
2- Box-counting method

جدول ۱- سطوح مختلف متغیرهای اندازه‌گیری شده

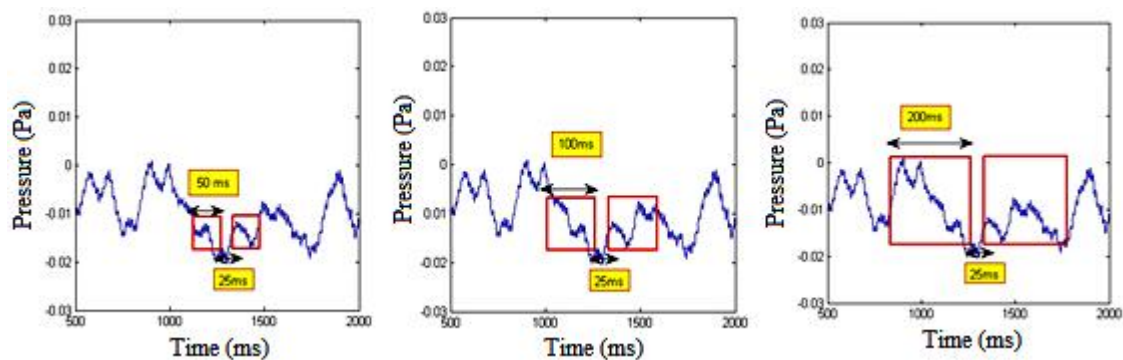
Table 1- Levels of measured parameters

متغیرها Parameters	سطوح متغیرها Levels of parameters			
دور موتور Engine speed	آرام (۱۲۵۰ دور بر دقیقه) Low (1250 rpm)		تند (۲۵۰۰ دور بر دقیقه) High (2500 rpm)	
نسبت دنده Gear ratio	پارک Park Gear	۱ سنگین 1st Gear	۲ سنگین 2nd Gear	۳ سبک 3rd Gear
وضعیت عملیات Type of operation	حرکت آزاد Travelling		هنگام برداشت Harvesting	
موقعیت میکروفن Microphone position	در کابین In the cabin		بیرون کابین Out the cabin	
طول جعبه‌ها Box length	۵۰ میلی ثانیه 50 (ms)	۱۰۰ میلی ثانیه 100(ms)	۲۰۰ میلی ثانیه 200(ms)	
روش‌های محاسبه Methods of calculation	کاتز Katz	سویک Sevcik	هیگوچی Higuchi	MRBC (Multiresolution Box-counting)



شکل ۱- نمونه سیگنال‌های صوتی کم‌باین. موقعیت گوش راننده داخل کابین (راست). موقعیت گوش راننده بدون کابین (چپ)

Fig.1. The sample of combine sound signals near operator ear with cabin (right), without cabin (left)



شکل ۲- نحوه توزیع جعبه‌ها بر روی سیگنال صوتی. توزیع جعبه ۵۰ میلی‌ثانیه‌ای (چپ)، توزیع جعبه ۱۰۰ میلی‌ثانیه‌ای (وسط)، توزیع جعبه ۲۰۰ میلی‌ثانیه‌ای (راست)

Fig.2. Box distribution arrays on the sound signals. 50ms box length (left), 100ms box length (middle), 200ms box length (right)

روش کاتز^۱

برای تعیین بعد فرکتال در این روش شکل موج‌ها به صورت منحنی‌های مسطحی هستند که از زوج مرتب‌های (y و x) تشکیل شده‌اند و مقدار x به صورت تک واحدی افزایش پیدا می‌کند. برای تشخیص بعد فرکتال شکل موج‌ها در روش کاتز از رابطه (۱) استفاده می‌گردد:

$$FD = \log(n) / (\log(n) + \log(d/L)) \quad (1)$$

در رابطه (۱)، n تعداد مراحل در شکل موج، d توسعه فضای شکل موج است و L طول کلی شکل موج است. بر این اساس شکل موج دارای گستره بعد فرکتالی از ۱ برای خطوط مستقیم تا ۱/۵ برای موج‌های بیشتر به هم پیچیده می‌باشد (Katz, 1998).

روش سویک (Sevcik)

در سال ۱۹۹۸ کارلوس سویک^۲ تغییراتی را در روش کاتز به وجود آورد، که شامل نرمال‌سازی محورهای X و Y قبل از محاسبه بعد فرکتال است.

$$x_i^* = \frac{x_i}{x_{max}} \quad (2)$$

$$y_i^* = \frac{y_i - y_{max}}{y_{max} - y_{min}} \quad (3)$$

که در این روابط x_i و y_i مختصات نقطه نام را مشخص می‌کنند و همچنین اندیس max و min به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار در هر پنجره هستند. لذا اگر طول کل سیگنال که حاوی N نمونه است L باشد، بعد فرکتال به صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود:

$$FD = 1 + \frac{\ln(L) + \ln(2)}{\ln(2N^*)} \quad (4)$$

و مقدار $N^* = N - 1$ است (Sevcik, 1998).

روش هیگوچی^۳

در این روش بعد فرکتال شکل موج‌ها به صورت رابطه (۵) محاسبه می‌گردد. اگر $x(1), x(2), \dots, x(N)$ سری زمانی تحت آنالیز باشد، سری زمانی جدید x_m^k طبق رابطه (۵) ساخته می‌شود (Higuchi, 1998):

$$x_m^k = \left\{ x(m), x(m+k), x(m+2k), \dots, x\left(m + \left[\frac{N-m}{k}\right]k\right) \right\} \quad (5)$$

$$m = 1, 2, \dots, k$$

m مقدار زمان اولیه، k فاصله زمانی مجزا بین نقاط (تأخیر) و [a] جزء صحیح a را مشخص می‌کند. برای هر منحنی یا سری زمانی، x_m^k ساخته شده و طول میانگین به صورت $L_m(k)$ با رابطه (۶)

تعریف می‌شود:

$$L_m(k) = \frac{\sum_{i=1}^{\lfloor \frac{N-m}{k} \rfloor} |x(m+ik) - x(m+(i-1)k)|(n-1)}{\lfloor \frac{N-m}{k} \rfloor k} \quad (6)$$

N طول کامل جماعات داده‌های x و $(N-1)/[(N-m)/k]$ فاکتور نرمال‌سازی است. طول میانگین برای کلیه سری‌های زمانی دارای تأخیر k یکسان محاسبه می‌شود. این فرآیند برای همه k‌ها از دامنه ۱ تا k_{max} تکرار می‌شود. مجموع میانگین طول‌ها برای هر k با رابطه (۷) تعریف می‌شود:

$$L(k) = \sum_{m=1}^k L_m(k) \quad (7)$$

مجموع میانگین طول‌ها برای مقیاس k و $L(k)$ متناسب با k^{-D} است و در حقیقت D بعد فرکتال به روش هیگوچی می‌باشد. در منحنی $\ln(L(k))$ در مقابل $\ln(1/k)$ شیب خط حداقل مربعات خطی که بهترین تطبیق با نمودار را داشته باشد، تخمینی از بعد فرکتال است (Higuchi, 1998).

روش MRBC^۴

در این روش فرض می‌شود که سیگنال مورد بررسی به صورت $s = \{s(1), s(2), \dots, s(N)\}$ با فرکانس نمونه‌گیری f_s و N تعداد کل نقاط نمونه سیگنال است. حال در مرحله اول دو نقطه متوالی $S(i)$ و $S(i+1)$ را بر روی نمودار در نظر می‌گیریم. فاصله زمانی بین این دو نقطه از رابطه (۸) به دست می‌آید.

$$dt = x(i+1) - x(i) = \frac{1}{f_s} \quad (8)$$

ارتفاع بین این نقاط $h = y(i+1) - y(i)$ است. اندازه جعبه‌های مورد نیاز برای پوشش بین این دو نقطه dt و تعداد جعبه به این اندازه برای پوشش نقاط $b(i) = \lceil |h|/dt \rceil$ است. بزرگترین عدد نزدیک به a است. اکنون مقدار $y(i+1)$ به صورت رابطه (۹) تصحیح می‌شود.

$$\text{اگر } h > 0 \Rightarrow y(i+1) = y(i) + |h| - dt \quad (9)$$

$$\text{اگر } h < 0 \Rightarrow y(i+1) = y(i) - |h| - dt$$

این فرآیند برای کلیه نقاط روی منحنی تکرار می‌شود تا به نقطه نهایی دست یابیم. تعداد کل جعبه‌های مورد نیاز برای پوشش کامل منحنی با دقت r برابر است با:

$$B(r) = \text{sum}(b(i)), i = 1, 2, \dots, N - 1$$

در مرحله بعد منحنی با دقت کمتری تقسیم‌بندی می‌شود، به عبارتی نقاط روی محور زمان در منحنی به صورت یک در میان در نظر گرفته می‌شوند. یعنی $r = 2/fs$. اکنون اندازه جعبه‌های مورد

1- Katz

2- Carlos Sevcik

3- Higuchi

4- Multiresolution Box-counting

نیاز برای پوشش کامل منحنی به صورت $dt = 2/fs$ است.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس میانگین‌های اثرات دور موتور، وضعیت، موقعیت میکروفن، دنده، طول جعبه و روش محاسبه بر بعد فرکتال و زمان سپری شده

Table 2- ANOVA results of engine speed, position of the microphone, the box length and the method of calculating means effects on the fractal dimension and the elapsed time

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean square	
		بعد فرکتال Fractal dimension	زمان سپری شده Elapsed time
دور موتور Engine speed	1	29.209**	0.042**
وضعیت عملیات Operation	1	71.16**	6.75×10 ^{-5ns}
موقعیت میکروفن Mic Position	1	681.11**	0.095**
نسبت دنده Gear	3	5.087**	0.015**
طول جعبه‌ها Box Length	2	11.24**	819.06**
روش‌های محاسبه Methods of Calculation	3	143.37**	641.21**
دورموتور×دنده Engine Speed × Gear	3	0.066**	0.013**
دور موتور×وضعیت عملیات Engine Speed×Operation	1	2.66**	0.002**
دور موتور×موقعیت میکروفن Engine Speed × MicPosition	1	339.36**	0.855 ^{ns}
دور موتور×طول جعبه‌ها Engine Speed × Box Length	2	0.119**	0.018**
دور موتور×روش محاسبه Engine Speed ×Method	3	9.394**	0.005**
نسبت دنده×وضعیت عملیات Gear ×Operation	3	0.783**	0.005**
نسبت دنده×موقعیت میکروفن Gear × MicPosition	3	0.835**	0.001**
نسبت دنده×طول جعبه Gear × Box Length	6	0.015**	0.003**
نسبت دنده×روش‌های محاسبه Gear × Method	9	0.690**	0.010**
وضعیت عملیات×موقعیت میکروفن Operation × MicPosition	1	33.53**	0.004**
وضعیت عملیات×طول جعبه Operation × Box Length	2	0.289**	5.23×10 ^{-5 ns}
وضعیت عملیات×روش محاسبه Operation ×Method	3	6.177**	3.46×10 ^{-4 ns}
موقعیت میکروفن×طول جعبه MicPosition ×Box Length	2	0.06**	0.021**
موقعیت میکروفن×روش محاسبه MicPosition × Method	3	26.29**	0.019**
طول جعبه×روش محاسبه Box Length × Method	6	7.71**	160.41**

**معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪، *معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ و ^{ns}: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

می‌باشد. در حالت پارک تنها موتور کمباین به‌عنوان منبع مولد صدا مطرح است، اما در هنگام قرارگیری کمباین در وضعیت درگیری دنده، صدایی توسط سیستم انتقال توان ایجاد می‌شود که امواج صوتی حاصل از سیستم انتقال توان که با صدای اصلی اختلاف فاز دارند، باعث کاهش آشفته‌گی‌های صدای اصلی می‌شوند و در نتیجه مقدار بعد فرکتال کاهش می‌یابد. در ضمن با توجه به شکل ۳، راست، با افزایش دنده در یک دور مشخص مقدار بعد فرکتال کاهش می‌یابد.

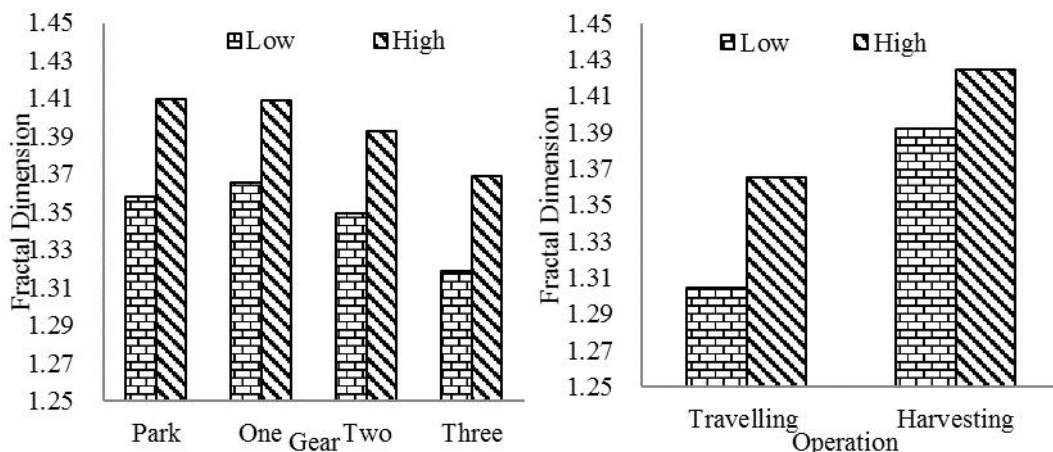
با توجه به شکل ۳، سمت چپ، در حالت برداشت نسبت به حالت آزاد مقادیر بعد فرکتال بزرگتری داریم. با توجه به اینکه در هنگام برداشت محصول، قطعات مرتبط با واحد بردارنده، کوبنده، تمیزکننده و انتقال دهنده نیز مشغول به کار می‌شوند و حرکت این مجموعه‌ها به علت تماس قطعات فلزی با هم باعث افزایش تراز فشار صدا می‌گردد، پیش‌بینی افزایش بعد فرکتال امری بدیهی است. نتایج حاصل نیز در دور موتور کم نشان می‌دهد که مقدار میانگین بعد فرکتال در هنگام برداشت ۱/۳۹۷ است، اما در حالت حرکت آزاد مقدار آن ۱/۲۹۵ است. همچنین نسبت رشد بعد فرکتال در هنگام تغییر دور موتور در حرکت آزاد مقدار بزرگتری را به‌خود اختصاص داده است. با توجه به تعریف تراز فشار صدا و این که با افزایش دور موتور تراز فشار صدا در هر دنده‌ای افزایش می‌یابد (Dewangan *et al.*, 2005)، می‌توان این‌گونه تفسیر نمود که با افزایش دور موتور میزان اغتشاش امواج بیشتر می‌شود، که این آشفته‌گی در سیگنال‌های صوتی به‌صورت افزایش بعد فرکتال بروز می‌یابد.

با تکرار مراحل فوق برای دقت‌های زمانی متعدد، تعداد جعبه‌های $B(r)$ برای پوششش منحنی در $r = 1/fs, 2/fs, \dots, R/fs$ به‌دست می‌آید که بیشینه مقدار دقت زمانی است و نهایتاً منحنی در آن قرار می‌گیرد. در نهایت شیب نمودار $\log(B(r))$ در مقابل $\log(1/r)$ تخمینی از بعد فرکتال سیگنال زمانی به روش MRBC است (Raghavendra and NarayanaDutt, 2010).

نتایج و بحث

جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس مربوط به بعد فرکتال و زمان صرف‌شده در سطوح مختلف را نشان می‌دهد. این جدول اثرات اصلی و برهم‌کنش تیمارهای موجود را نشان می‌دهد. در ضمن از اثرات برهم‌کنش سه‌گانه صرف نظر شده است. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که اثرات دور موتور، وضعیت، موقعیت میکروفن، دنده، طول جعبه و روش محاسبه بر بعد فرکتال و زمان سپری‌شده در سطح ۱٪ معنی‌دار بودند. کلیه اثرات متقابل دوگانه بر بعد فرکتال در سطح ۱٪ معنی‌دار بودند. اثرات وضعیت، اثر متقابل دور موتور در موقعیت میکروفن، وضعیت در روش و وضعیت در طول جعبه بر زمان سپری‌شده، معنی‌دار نبوده است.

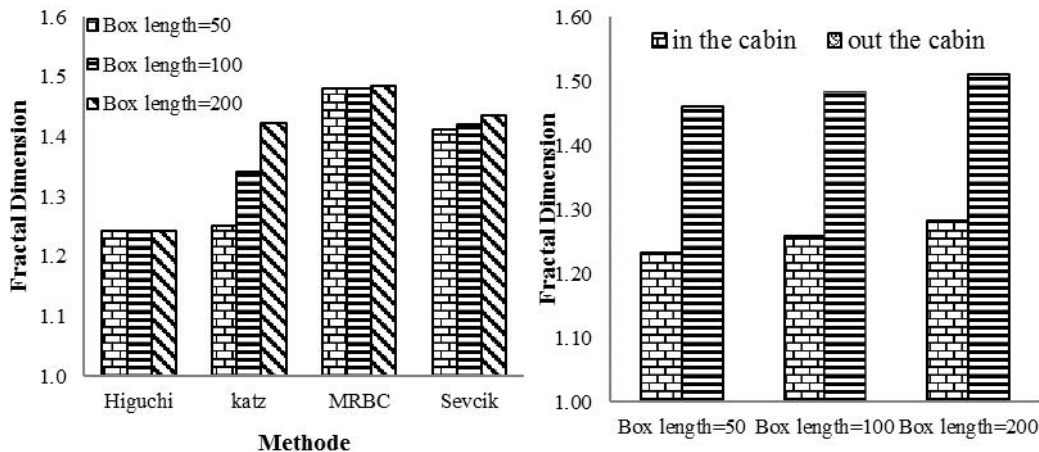
اثرات برهم‌کنش سطوح عامل نسبت دنده و دور موتور در شکل ۳، سمت راست، نشان داده شده است. با توجه به شکل با افزایش دور موتور در دنده‌های ذکر شده نسبت تغییرات میانگین بعد فرکتال به‌ترتیب ۱/۰۳۸، ۱/۰۳۱، ۱/۰۳۱ و ۱/۰۳۷ است که بیشترین افزایش بعد فرکتال در حالت تغییر دور موتور مربوط به وضعیت دنده پارک



شکل ۳- اثر برهم‌کنش میانگین‌های سطوح عامل نسبت دنده و دور موتور (راست) و وضعیت عملکرد و دور موتور (چپ) بر بعد فرکتال

Fig.3. Interaction means effect of the gear ratio and engine speed (right) and operation and engine speed (left) on fractal dimension

(شکل ۴-راست). به عبارتی با افزایش طول جعبه‌ها و تعداد داده‌های موجود در هر جعبه مقدار بعد فرکتال افزایش می‌یابد (شکل ۴-چپ). این امر با نتایج حاصل از آزمایشات جنیتکی و موسوی (۲۰۰۵) مطابقت کامل دارد.



شکل ۴- اثر برهم‌کنش میانگین‌های سطوح عامل روش‌های محاسبه و طول جعبه بر مقدار بعد فرکتال (راست) و عامل وجود کابین و طول جعبه بر مقدار بعد فرکتال (چپ)

Fig.4. Interaction means effect of the method of calculation and the box length on the fractal dimension (right), and presence of the cabin and the box length on the fractal dimension (left)

مدت زمان محاسبه

بدیهی است که با افزایش طول جعبه به دلیل قرارگیری تعداد داده بیشتری در جعبه‌ها فرآیند اندازه‌گیری بعد فرکتال زمان بیشتری را به خود اختصاص می‌دهد که این امر در شکل ۵ سمت راست به‌طور کامل نشان داده شده است. از طرفی در حالتی که کمباین در وضعیت برداشت قرار دارد فرآیند اندازه‌گیری زمان بیشتری را به خود اختصاص خواهد داد. که این امر به این دلیل است که در هنگام برداشت سیگنال‌های صوتی منتشره از کمباین بازه فشاری بزرگتری را به خود اختصاص می‌دهد. در کلیه وضعیت‌های بررسی شده روش کاتز سریعترین روش برای محاسبه بعد فرکتال است (شکل ۵- سمت چپ) و روش هیگچی زمان‌برترین روش است.

نتیجه‌گیری

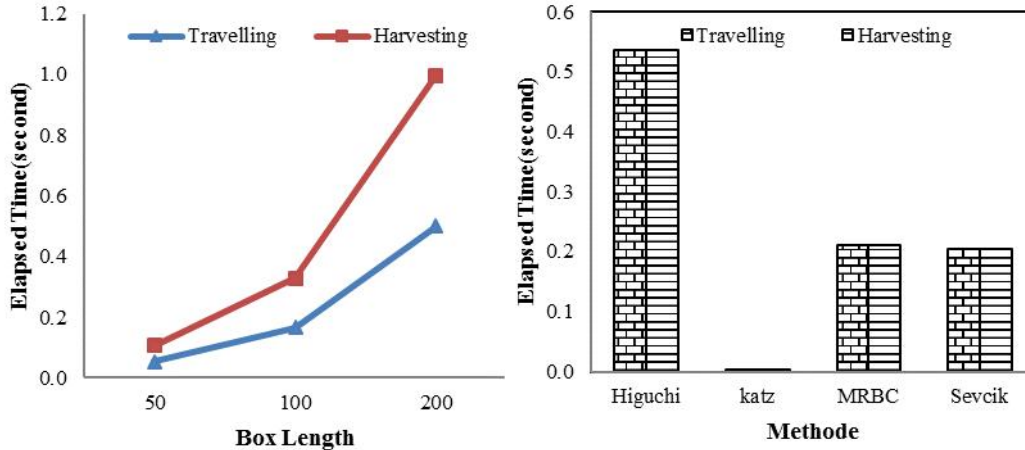
جهت طراحی مناسب وسایل کنترل صدا در کابین کمباین‌ها بر اساس علم هندسه فرکتالی، در ابتدا نیاز است تا مفاهیم مرتبط با بعد فرکتال سیگنال‌های صوتی در حالت‌های مختلف عملکرد این ماشین مطالعه شود. بر این اساس، هدف این پژوهش محاسبه بعد فرکتال سیگنال‌های صوتی کمباین سمپو در حالت‌های مختلف است. استفاده از مفاهیم هندسه فرکتال در بررسی سیگنال‌های صوتی در مورد ماشین‌های کشاورزی برای اولین بار بوده که انجام شده است و امید است که این پژوهش گام اول در طراحی

مقدار میانگین بعد فرکتال محاسبه شده با روش کاتز برای سیگنال صوتی در جعبه‌هایی با طول ۵۰ میلی ثانیه ۱/۲۵ است. این در حالی است که در جعبه‌هایی با طول ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌ثانیه به ترتیب مقادیر میانگین بعد فرکتال برابر ۱/۳۴ و ۱/۴۲ می‌باشد

در کمباین همراه با کابین تفاوت قابل ملاحظه‌ای از نظر سطح فشار صدا نسبت به کمباین‌های بدون کابین وجود دارد که علت این برتری عایق‌گذاری مواد استفاده شده در کابین‌ها می‌باشد که باعث می‌گردد کابین به‌عنوان مانعی در مسیر جریان صوت عمل کرده و باعث کاهش میزان سطح فشار صدا گردد. طبق شکل ۴ سمت چپ مقادیر بعد فرکتال در موقعیت گوش راننده بدون کابین بزرگتر از موقعیت گوش راننده با کابین است. به عبارتی وجود کابین در کمباین باعث کاهش بعد فرکتال صدای رسیده به گوش راننده می‌گردد. شکل ۴، سمت راست روش‌های بررسی شده برای تعیین بعد فرکتال سیگنال‌ها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشهود است در روش هیگچی با افزایش طول جعبه‌ها تفاوت چندانی در مقادیر بعد فرکتال سیگنال حاصل نشده است، اختلاف بین بیشینه و کمینه مقدار بعد فرکتال در روش هیگچی، کاتز، MRBC و سویک در هنگام رشد طول جعبه‌ها به ترتیب برابر با ۰/۰۰۱، ۰/۱۷۱، ۰/۰۰۵ و ۰/۰۲۴ است. به عبارتی روش کاتز بیشترین حساسیت را نسبت به افزایش طول جعبه‌ها از خود نشان می‌دهد. استفاده از روش MRBC به دلیل روند طی شده در حین محاسبه بعد فرکتال و تفاوت موجود در روابط منجر به دست‌یابی به بعد فرکتال بزرگتری شده است و همانند روش هیگچی حساسیت کمتری در تغییر بعد فرکتال نسبت به تغییر اندازه جعبه‌ها دارد.

مختلف عملکرد در حوزه زمان بررسی گردید.

جاذب‌های فرکتالی مناسب ماشین‌های کشاورزی باشد. در این پژوهش با استفاده از روش کاتز، سویک، هیگوچی و MRBC مشخصات فرکتالی سیگنال‌های صوتی کمباین سمپو در شرایط



شکل ۵- اثر تغییر طول جعبه بر مدت زمان محاسبه (راست) و روش محاسبه بر مدت زمان محاسبه (چپ) در دو وضعیت عملیات

Fig.5. Effect of box length change on the calculation time (right) and Calculation method on the calculation time (left) in two operation conditions

نسبت دنده عامل دیگری در بروز اختلاف معنی‌دار در بعد فرکتال صدای کمباین است به نحوی که با تغییر دنده از حالت پارک به دنده یک سنگین اختلاف معنی‌داری به وجود نیامده، ولی از دنده یک سنگین به دنده دو سنگین این اختلاف قابل ملاحظه بوده، که ناشی از صدای تولید شده با سیستم انتقال قدرت وسیله است که منجر به تغییر معنی‌دار بعد فرکتال می‌شود.

سپاسگزاری

از کلیه حمایت مالی و فنی دانشگاه شهرکرد و همچنین آقای دکتر مجید لشگری استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه اراک برای همکاری در فراهم آوردن اطلاعات موردنیاز صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

در نهایت مقدار بعد فرکتال برای حالت‌های مختلف مقادیری بین ۱ تا ۱/۵ را به خود اختصاص داد. البته بیشینه مقدار بعد فرکتال معادل ۱/۶۳۰ و مربوط به حالت کمباین بدون کابین و با استفاده از روش MRBC به دست آمد. نتایج نشان داد با افزایش اندازه جعبه‌ها و رشد تعداد داده‌های موجود در آنها مقدار بعد فرکتال افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش تراز فشار صدای ساطع شده از کمباین به دلایل افزایش دور موتور، راه‌اندازی قسمت‌های برداشت کمباین در حالت بدون بار از قبیل سکوی برش، کوبنده، کاه‌پران‌ها، الک‌ها و دمنده مقدار بعد فرکتال افزایش یافته است. در دنده سه، کمترین مقدار میانگین بعد فرکتال حاصل شده است. البته آنچه در اثر تغییر نسبت جعبه دنده، منجر به ایجاد تغییر در تراز فشار صدا می‌شود، می‌تواند مربوط به اثرات آگزوز موتور در کمباین باشد.

References

1. Aybek, A. H., A. Kamer, and S. Arslan. 2010. Personal noise exposures of operators of agricultural tractors. *Applied Ergonomics* 41: 274-281.
2. Berreto, E., and B. R. Hunt. 1999. Box counting dimension without boxes: Computing D, from average expansion rates. *Physical Review* 60: 378-385.
3. Biancolini, M. E., C. Brutti, G. Paparo, and A. Zanini, 2006. Fatigue cracks nucleation on steel, acoustic emission and fractal analysis. *International Journal of Fatigue* 28: 1820-1825.
4. Brown R. H. 1998. *Handbook of Engineering in Agriculture*. 1st ed., Prentice & Hall press. U. K.
5. Depczynski, J., K. Challinor, and L. Fragar. 2011. Changes in the hearing status and noise injury prevention practices of Australian farmers from 1994 to 2008. *Journal. Agromedicine* 16 (2): 127-142.
6. Dewagan K., G. Kumar, and V. Tewari. 2005. Noise characteristics of tractors and health effect on farmers. *Applied Acoustics* 66: 1049-1062.

7. Gnitecki J., and Z. Moussavi. 2005. The fractality of lung sounds: A comparison of three waveform fractal dimension algorithms. *Chaos, Solitons and Fractals* 26: 1065-1072.
8. Gómez-Lozano, V., A. Uris, P. Candelas, and F. Belmar. 2013. Acoustic transmission through perforated plates with fractal subwavelength apertures. *Solid State Communications* 165: 11-14.
9. Higuchi, T. 1998. Approach to an irregular time series on the basis of the fractal theory. *Physica* 31:277-283.
10. ISO 5131. 1996. Acoustics: Tractors and machinery for agriculture and forestry measurement of noise at
11. ISO 7216. 1992. Acoustics: Agricultural and forestry wheeled tractors and self-propelled machines.
12. Kantz, H., and T. Schreiber. 1997. *Nonlinear time series analysis*. Cambridge University Press.
13. Katz, M. J. 1998. Fractals and the analysis of waveforms. *Computer Bio Medicine* 18: 145-156.
14. Maleki, A., and M. Lashgari. 2014. Analysis of combine harvester sound pressure level in onethird octave band frequency. *Journal of Agricultural Machinery* 4(2): 154-165. (In Farsi).
15. Paramanathan, P., and R. Uthayakumar. 2008. An algorithm for computing the fractal dimension of waveforms. *Applied Mathematics and Computation* 195: 598-603.
16. Raghavendra, B. S., and D. NarayanaDutt. 2010. Computing fractal dimension of signals using Multiresolution Box-Counting method. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 37: 1266-1281.
17. Sevcik, C. A. 1998. Procedure to estimate the fractal dimension of waveforms. *Complexity International* 5: 124-136.
18. Shoupeng, S., and Q. Peiwen. 2007. A Fractal-Dimension-Based Signal-Processing Technique and Its Use for Nondestructive Testing. *Russian Journal of Nondestructive Testing* 43: 270-280.
19. Solecki, L. 2000. Duration of exposure to noise among farmers as an important factor of occupational risk. *Ann agricultural and environmental medicine* 7: 89-93.

Fractal analysis of sound signals in SAMPO 3065 combine harvester

F. Mahdiyeh Boroujeni¹- A. Maleki^{2*}

Received: 13-02-2015

Accepted: 21-12-2015

Introduction

Nowadays, many studies were performed about noise source and its type and effects related to duration of sound emission. Most of these researches just report sound pressure level in frequency or time domain. These researches should be continued in order to find better absorber material in noise pollution. Use of fractal geometry is a new method in this filed. Wave fractal dimension value is a strong tool for diagnosis of signal instability and fractal analysis is a good method to finding sound signal characteristics. Therefore the aim of this study is on the fractal geometry of SAMPO 3065 combine harvester signals and determine the fractal dimension value of these signals in different operational conditions by Katz, Sevcik, Higuchi and MRBC methods.

Materials and Methods

In this research, sound signals of SAMPO 3065 harvester combine that were recorded by Maleki and Lashgari (2014), were analyzed. Engine speed (high and low), gear ratio (neutral, 1st, 2nd, 3rd gear), type of operation (traveling and harvesting) and microphone position (in and out of the cabin) were the main factors of this research. For determining signal fractal dimension value in time domain, wave shape supposed as a geometrical shape and for calculation of fractal dimension value of these signals, total area of wave shape was divided into boxes in 50, 100, 200 milliseconds with an interval 25 millisecond box. Then Fractal dimension value of these boxes was calculated by Katz, Sevcik, Higuchi and MRBC methods using MATLAB (2010a) software. SPSS (Ver.20) software was used for further analysis.

Results and Discussion

Results showed mean effects of engine speed, microphone position, gear ratio, type of operation, box length, calculation method and all of two way interaction effects were significant ($p < 0.01$). Means of Fractal Dimension in the road and field position were 1.4 and 1.28 respectively. The Maximum growth ratio of fractal dimension value during engine speed levels was related to road position. By increasing of box length and number of data points in each box, the fractal dimension value was increased. Investigation of fractal dimension methods showed changes of box length did not affect fractal dimension value in Higuchi method and range of this factor while box length varied were 0.001, 0.171, 0.005 and 0.024 in Higuchi, Katz, MRBC and Sevcik method respectively. These results showed that Katz method has maximum sensitivity and MRBC method like Higuchi method had the minimum sensitivity by changing of box length. In this research fractal dimension value of SAMPO Combine signals in the time domain in different operation conditions were investigated by Katz, Sevcik, Higuchi and MRBC methods. These values varied from 1 to 1.5 in different conditions. Maximum fractal dimension value was 1.63 in case of no cabin by MRBC method. Increasing of box length or further the data point cause of increasing fractal dimension value with increasing of sound pressure level of combine due to increasing of engine speed and working of different parts of harvesting combine. Due to define of sound pressure level, and increasing of this item in each gear ratio, this can be justify that in high engine speed, wave turbulent is higher than low speed and this turbulent appeared in fractal dimension value.

Conclusions

One of the important factors in the evaluation of the time series disturbance is fractal dimension. Therefore, the study of sound signals can be an effective role in this regard. Factors such as the cabin existence, gear type, engine speed and operational state of combining parts had a considerable role in distribution of combining

1- M.Sc. Graduated Student, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

2- Associate Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
(*- Corresponding Author Email: Maleki_ali@iran.ir)

sound signals and fractal dimension of these signals. For example cabin acts as a barrier in the sound wave and decrease the sound pressure level near driver ear and cause decrease fractal dimension of signals.

The study of time series with different lengths have shown that the duration time of the calculation in various methods had a significant effect. Increasing the length of signals due to a higher number of signal data cause to increase calculation time of fractal dimension calculation, while the changes of fractal dimension in increasing of the number of data is minimum and negligible. Therefore, the choice of the appropriate length of the signal is important.

Keywords: Acoustic, Combine, Fractal Dimension, Signals