

## **An Efficient Method for Parkinson's Disease Detection using Handwriting Features**

**Dehghanpur Deharab, Elham<sup>1</sup> / Ghaderyan, Peyvand<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup> - M.Sc. Student, Faculty of Biomedical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

<sup>2</sup> - Assistant Professor, Computational Neuroscience Laboratory, Faculty of Biomedical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

### **ARTICLE INFO**

DOI: 10.22041/ijbme.2022.534243.1706

Received: 17 July 2021

Revised: 20/9/2021 – 27/12/2021

Accepted: 9 February 2022

### **KEYWORDS**

*Parkinson's Disease*  
*Handwriting*  
*Matching Pursuit*  
*Support Vector Machine*

### **ABSTRACT**

Parkinson's disease (PD) is one of the most common types of dementia associated with motor impairments and affected performance of motor skills such as writing. Brain imaging techniques are the common methods used to diagnose PD, which are expensive or invasive, and their accuracy depends on the experience and the skill of the physician. Therefore, the development of an automated, low cost, and reliable diagnostic system is desirable for researchers. In this study, a handwriting signal including cognitive and motor-perceptual components has been used as a non-invasive, cost effective and reliable characteristic in identifying PD-related cognitive and motor dysfunctions. For this purpose, the matching pursuit algorithm with high time-frequency resolution has been employed to decompose X-Y coordinates. It provides a sparse representation of the handwriting signals and quantifies the basic information about the local changes in the handwriting signals. The proposed method is evaluated on a database with 31 healthy samples and 29 Parkinson's samples using the support vector machine classifier and obtained results yields an average accuracy rate of 90%, sensitivity rate of 91.59% and specificity rate of 90%. Comparing different writing tasks has also demonstrated superior performance of writing an entire sentence for PD detection.

### **\*Corresponding Author**

<b>Address</b>	Computational Neuroscience Laboratory, Faculty of Biomedical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran		
<b>Postal Code</b>	51335-1996	<b>Tel</b>	+98-41-33458421
<b>E-Mail</b>	p_ghaderyan@sut.ac.ir		
		<b>Fax</b>	+98-41-33444360





## یک روش موثر برای تشخیص بیماری پارکینسون با استفاده از ویژگی‌های دست خط

دهقان پور ده‌عرب، الهام<sup>۱</sup> / قادریان، پیوند<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> - دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران  
<sup>۲</sup> - استادیار، آزمایشگاه علوم اعصاب محاسباتی، دانشکده‌ی مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

### مشخصات مقاله

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22041/ijbme.2022.534243.1706

پذیرش: ۲۰ بهمن ۱۴۰۰

بازنگری: ۱۴۰۰/۶/۲۹ - ۱۴۰۰/۱۰/۶

ثبت در سامانه: ۲۶ تیر ۱۴۰۰

### چکیده

### واژه‌های کلیدی

بیماری پارکینسون یکی از شایع‌ترین انواع زوال مغزی بوده که با اختلالات حرکتی و کاهش مهارت‌های اجرایی مانند نوشتن همراه است. راه‌کارهای تشخیصی این بیماری اغلب به کمک روش‌های تصویربرداری مغزی انجام شده که پرهزینه بوده و یا به صورت تهاجمی قابل اجرا می‌باشند و هم‌چنین صحت تشخیصی آن‌ها به تجربه و مهارت پزشک وابسته است. از این رو ارائه‌ی یک سیستم تشخیصی خودکار، کم‌هزینه و در عین حال قابل اعتماد، مورد توجه محققان قرار دارد. در این مطالعه از سیگنال دست خط شامل اجزای شناختی و حرکتی-ادراکی، به عنوان یک مشخصه‌ی غیرتهاجمی، کم‌هزینه و قابل اعتماد در تشخیص اختلالات شناختی و حرکتی حاصل از بیماری پارکینسون استفاده شده است. بدین منظور از الگوریتم پیگیری تطبیقی با رزولوشن زمانی-فرکانسی بالا جهت تجزیه‌ی مشخصه‌های x-y بهره گرفته شده است. این روش یک نمایش تنک از سیگنال دست خط را فراهم آورده و اطلاعات پایه‌ای از تغییرات محلی نوشتار را به کمک تعداد ضرایب کم کمی‌سازی می‌نماید. روش پیشنهادی روی یک پایگاه داده با ۳۱ نمونه‌ی سالم و ۲۹ نمونه‌ی پارکینسون، به کمک طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده، قدرت تشخیصی بالای روش پیشنهادی با صحت تشخیص ۹۰٪، حساسیت ۹۱/۵۹٪ و اختصاصیت ۹۰٪ را نشان می‌دهد. هم‌چنین مقایسه‌ی تکالیف نوشتاری مختلف، عمل کرد برتر نگارش جمله را در تشخیص پارکینسون به اثبات رسانیده است.

بیماری پارکینسون  
دست خط  
پیگیری تطبیقی  
ماشین بردار پشتیبان

### \*نویسنده‌ی مسئول

نشانی: آزمایشگاه علوم اعصاب محاسباتی، دانشکده‌ی مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

کد پستی: ۵۱۳۳۵-۱۹۹۶      تلفن: +۹۸-۴۱-۳۳۴۵۸۴۲۱

پست الکترونیک: p\_ghaderyan@sut.ac.ir      دورنگار: +۹۸-۴۱-۳۳۴۴۴۳۶۰



## ۱- مقدمه

بیماری پارکینسون نوعی زوال مغزی پیش‌رونده است که بر اثر کاهش سطح دوپامین در ناحیه‌ی توده‌ی سیاه<sup>۱</sup> مغز ایجاد می‌گردد [۱]. این اختلال عصبی بر عمل کرد نواحی مختلفی از مغز تاثیر گذاشته و منجر به اختلالات حرکتی مختلفی مانند لرزش، سفتی عضلانی، برادی‌کینزی<sup>۲</sup>، آکینزی<sup>۲</sup> و عدم تعادل می‌شود [۲]. پارکینسون دومین بیماری شایع پیش‌رونده‌ی عصبی با بیش‌ترین نرخ شیوع در بین اختلالات مختلف حرکتی است [۲] و از آن‌جا که درمان خاصی برای آن وجود ندارد، ارائه‌ی یک روش تشخیصی دقیق می‌تواند به پیش وضعیت مبتلایان به این بیماری و در نتیجه کنترل علائم بیماری قبل از شدت یافتن آن کمک شایانی نماید [۳]. هر چند روش‌های مختلفی از جمله اسکن‌های مغزی، تصویربرداری تشدید مغناطیسی، تصویربرداری تشدید مغناطیسی کارکردی، برش‌نگاری با گسیل پوزیترون، آزمایش خون و نمونه‌برداری از مایع مغزی-نخاعی برای تشخیص پارکینسون وجود دارد [۴، ۵] اما این روش‌ها عمدتاً پرهزینه یا تهاجمی بوده و گاهی به تنهایی قادر به شناسایی و تشخیص پارکینسون نیستند [۵]. در سال‌های اخیر پژوهش‌گران به دنبال طراحی یک سیستم تشخیصی کم‌هزینه و غیرتهاجمی به منظور کمی‌سازی آسیب‌های ناشی از بیماری پارکینسون بر اساس تحلیل سیگنال دست‌خط بوده‌اند [۶]. سیگنال دست‌خط که در بردارنده‌ی اطلاعات شناختی، هماهنگی و قابلیت‌های اجرایی است، بر اثر اختلالات ناشی از بیماری پارکینسون تغییر کرده و به عنوان یک نشان‌گر زیستی مهم برای یک سیستم تشخیصی اتوماتیک، در دست‌رس و بلادرنگ محسوب می‌شود که نسبت به روش‌های تشخیصی پیشین کم‌هزینه‌تر است [۷]. در پژوهش‌هایی که تا کنون با هدف طراحی سیستم تشخیص اتوماتیک بیماری پارکینسون با استفاده از سیگنال دست‌خط انجام شده، مولفه‌های مختلف تاثیرگذار بر صحت و دقت تشخیص مورد ارزیابی قرار گرفته است که از این میان می‌توان به نوع تکلیف-های نوشتاری مورد استفاده در روند ثبت سیگنال دست‌خط، نوع ویژگی‌های استخراجی از تکلیف‌های نوشتاری جهت شناسایی تفاوت‌های موجود بین نمونه‌های سالم و بیمار و هم-چنین روش طبقه‌بندی نمونه‌ها اشاره کرد [۷]. تکلیف‌های ترسیمی ساده، نوشتنی ساده و تکلیف‌های پیچیده از جمله تکلیف‌های نوشتاری مختلفی هستند که در اکثر این مطالعات مورد استفاده قرار گرفته [۶] و بر اساس میزان برخورداری از

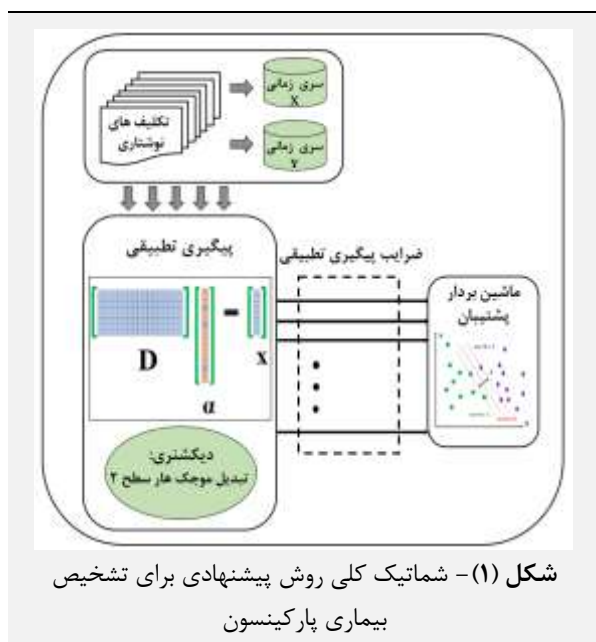
مولفه‌های حرکتی، شناختی و عمل‌کردی اطلاعات بسیاری از سیستم نوشتاری هر فرد و میزان آسیب‌های شناختی و حرکتی ناشی از بیماری پارکینسون را به دست آورده‌اند [۶، ۷]. هم‌چنین در این مطالعات انواع ویژگی‌های سینماتیکی، مکانی زمانی، ویژگی‌های مبتنی بر انواع مدل‌های نوشتاری و غیرخطی ارائه شده که با بهره‌گیری از انواع مختلف روش‌های یادگیری ماشین، نمونه‌های سالم از نمونه‌های مبتلا به پارکینسون تفکیک شده [۳، ۶] و بدین ترتیب روش‌های متعددی برای تشخیص بیماری پارکینسون بر اساس سیگنال دست‌خط ارائه شده است. تا کنون از روش‌های زمانی و یا فرکانسی مختلفی برای تشخیص بیماری پارکینسون و کمی‌سازی تغییرات ناشی از اثر بیماری استفاده شده است [۶، ۸]. تحقیقات صورت گرفته در مورد پردازش سیگنال‌های متغیر با زمان و غیرایستا نشان داده است که هنگامی که محتوای فرکانسی سیگنال با گذشت زمان دچار تغییر شود، هیچ‌کدام از مشخصه‌های زمانی یا فرکانسی سیگنال به تنهایی قادر به ارائه‌ی توصیف کاملی از آن نبوده [۹] و استفاده از روش‌های زمانی-فرکانسی ارجحیت دارد. از آن‌جا که سیگنال دست‌خط، سیگنالی غیرایستا و در بردارنده‌ی مشخصه‌های متغیر با زمان است [۱۰]، به کارگیری یک رویکرد دینامیک (متغیر با زمان)، اطلاعات بیش‌تری از الگو و ساختار هندسی سیگنال دست‌خط و نیز فرایندهای اصلی دخیل در شکل‌گیری آن را حاصل می‌کند [۱۱]. هم‌چنین با توجه به این که مولفه‌های متغیر با زمان سیگنال دست‌خط در فرکانس‌های مختلفی رخ می‌دهند، تحلیل سیگنال دست‌خط در حوزه‌های زمان و فرکانس به طور هم‌زمان که تعیین‌کننده‌ی اطلاعات زمانی اجزای طیفی سیگنال است، ارزش تشخیصی بالایی برای شناسایی بیماری پارکینسون دارد [۱۲، ۱۳]. به عبارت دیگر با استخراج مولفه‌های زمان-فرکانس سیگنال دست‌خط می‌توان به بررسی دقیق‌تری از تغییرات دینامیک ناشی از اختلالات مربوط به پارکینسون دست یافت. پیگیری تطبیقی<sup>۴</sup> به عنوان یک روش تجزیه‌ی غیرخطی و تکرارشونده‌ی سیگنال، توصیف دقیق و با رزولوشن بالایی از سیگنال‌ها، خصوصاً سیگنال‌های غیرایستا را در حوزه‌ی زمان-فرکانس به همراه دارد [۱۴]. الگوریتم پیگیری تطبیقی، یک روش تخمین سیگنال با بسطی خطی از الگوهایی به نام اتم است که این اتم‌ها از یک دیکشنری انتخاب شده‌اند [۱۵]. این روش به دلیل صحت بالاتر در استخراج الگوهای زمان-فرکانس از سیگنال‌های زیستی [۱۶] و هم‌چنین فائق

<sup>۱</sup> Akinesia<sup>۲</sup> Matching Pursuit<sup>۱</sup> Substantia Nigra<sup>۲</sup> Bradykinesia

از این تکلیف‌ها به طور جداگانه بررسی شده است. در ادامه در بخش ۲ اطلاعات مربوط به پایگاه داده و روش پردازش الگوهای دست‌خط ارائه شده است. سپس نتایج به دست آمده، در بخش ۳ گزارش شده و مورد بحث قرار گرفته است. در نهایت نیز در بخش ۴ نتیجه‌گیری و جمع‌بندی صورت گرفته است.

## ۲- مواد و روش‌ها

شماتیک کلی مراحل انجام شده در این پژوهش جهت تشخیص بیماران مبتلا به پارکینسون از افراد سالم در شکل (۱) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در ابتدا سری‌های زمانی مربوط به مختصات X و Y الگوهای نوشتاری توسط الگوریتم پیگیری تطبیقی تجزیه شده و یک دسته از ضرایب زمانی فرکانسی تنک شده‌ی حاوی نوسانات محلی از حرکات دست در حین نوشتار، استخراج شده است. انتظار می‌رود که الگوی این ضرایب در شناسایی تغییرات ناشی از پارکینسون در دست‌خط نمونه‌های بیمار، موثر باشد. بدین منظور میزان قابلیت تفکیک‌پذیری این ضرایب به عنوان ویژگی‌های استخراجی برای تشخیص پارکینسون، با کمک طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان ارزیابی شده است. در ادامه به تفصیل به شرح پایگاه داده‌ی مورد استفاده، مراحل استخراج ویژگی و طبقه‌بندی پرداخته شده است.



## ۲-۱- پایگاه داده

ارزیابی روش تشخیصی پیشنهادی در این پژوهش با بهره‌گیری از الگوهای دست‌خط مربوط به پایگاه داده‌ی PaHaW [۲۱، ۲۲] بوده که به

آمدن بر محدودیت‌های سایر روش‌های زمان-فرکانس مانند تعدیل<sup>۱</sup> و از بین بردن اطلاعات سیگنال یا رزولوشن زمان-فرکانسی پایین‌تر [۱۷، ۱۸]، روش موثری برای تحلیل انواع مختلف سیگنال‌های زیستی مانند نوار مغزی، تغییرات نرخ ضربان قلب، پتانسیل برانگیخته‌ی بینایی و گسیل صوتی گوش<sup>۲</sup> شناخته شده است [۱۸]. از دیگر مزایای الگوریتم پیگیری تطبیقی نسبت به سایر روش‌های تحلیل زمان-فرکانس، آشکارسازی و تشخیص تغییرات گذرای سیگنال در فرکانس‌های پایین و هم‌چنین نوسانات فرکانس بالای سیگنال با بهره‌گیری از یک روش تطبیقی است [۱۹] که این امر می‌تواند در شناسایی تغییرات گذرای سیگنال دست‌خط و یا نوسانات فرکانس بالای احتمالی موجود در آن که بر اثر آسیب‌های ناشی از بیماری پارکینسون ایجاد می‌گردد، موثر واقع شود. از سوی دیگر قابلیت این الگوریتم در تنک‌سازی و حذف اطلاعات غیرمفید، ویژگی مفید دیگری است که استفاده از آن را در این پژوهش توجیه می‌کند. از این رو در این مطالعه برای اولین بار در تشخیص بیماری پارکینسون به کمک تحلیل دست‌خط از این الگوریتم استفاده شده است. بدین منظور در ابتدا الگوهای دست‌خط افراد سالم و بیماران مبتلا به پارکینسون با روش پیگیری تطبیقی، تجزیه و تنک شده است. سپس ضرایب تنک زمانی-فرکانسی استخراج شده که حاوی اطلاعات فشرده‌ای از نوسانات محلی حرکات دست در حین نوشتن می‌باشد، به عنوان ویژگی‌های متمایز کننده‌ی افراد سالم از بیماران استفاده شده است. هم‌چنین از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان به عنوان یک طبقه‌بند بهینه برای بررسی میزان اثربخشی ویژگی‌های استخراجی در تشخیص خودکار بیماری پارکینسون استفاده شده است. برتری و کارایی این طبقه‌بند در تفکیک دست‌خط افراد بیمار از سالم در مقایسه با سایر روش‌ها در مطالعات پیشین نشان داده شده است [۲۰]. از سوی دیگر از آن‌جا که مطالعات پیشین بر اثرگذاری نوع تکلیف نوشتاری در قدرت تشخیصی تاکید داشته و کوتاه یا طولانی بودن متن نوشتاری و بار شناختی حاصل از نوشتار را در ارائه‌ی قدرت تشخیصی، موثر دانسته‌اند [۷]، جهت بررسی این عوامل در روش پیشنهادی، از تکالیف مختلف نوشتاری بیماران مبتلا به پارکینسون و افراد سالم استفاده شده و نتایج مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفته است. تکالیف نوشتاری مورد استفاده در این پژوهش متعلق به پایگاه داده‌ی PaHaW [۲۱، ۲۲] بوده که به طور عمومی در دسترس است. از آن‌جا که این پایگاه داده شامل تکالیف‌های نوشتاری مختلفی می‌باشد، عمل کرد هر یک

<sup>۱</sup> Otcoustic Emission

<sup>۲</sup> Dilution

این الگوهای دست‌خط حاصل انجام چندین تکلیف نوشتاری از جمله نوشتن حلقه‌های تکرار از حرف l، هجای le و les، کلماتی به زبان محلی چکوسلوواکی مانند lektorka، porovnat، nepopadnout و جمله‌ی Tramvaj dnes už nepojede نشان همین زبان بوده که نمونه‌ای از این تکلیف‌ها در شکل (۲) نشان داده شده است. در این شکل محور افقی بیان‌گر مختصات X و محور عمودی بیان‌گر مختصات Y سری‌های نوشتاری است. داده‌های تکلیف‌های نوشتاری با تبلت Intuos 4M (Wacom) در فرکانس ۱۰۰ هرتز ثبت شده است. پردازش‌های بیش‌تر انجام شده در این مطالعه، روی مختصات X و Y سری‌های نوشتاری که الگوی کاملی از نوسانات حرکت دست را در دو محور موجود نشان می‌دهد، صورت گرفته است.

## ۲-۲- استخراج ویژگی

الگوریتم پیگیری تطبیقی نخستین بار توسط مالات و ژانگ برای نمایش اطلاعات توام زمانی-فرکانسی سیگنال به صورت تطبیقی معرفی شده است [۱۵]. این الگوریتم، یک روش حریصانه برای تجزیه‌ی سیگنال‌های مختلف به الگوهای زمان-فرکانس است که این الگوها از یک دیکشنری متشکل از توابعی به نام اتم انتخاب می‌شوند. در واقع این روش بهترین اتم‌ها را برای ایجاد بیش‌ترین میزان هم‌بخشی<sup>۲</sup> با سیگنال اصلی مشخص می‌کند [۲۳]. نخستین گام در این روش، یافتن اتمی با تناسب کامل با سیگنال به عنوان اولین اتم انتخابی از دیکشنری و کم کردن آن از سیگنال است. سپس این روند تا جایی ادامه می‌یابد که سیگنال به اندازه‌ی کافی به اتم‌های انتخابی تجزیه گردد [۲۴].

فرض کنید D، یک دیکشنری از اتم‌های  $\phi_p$  باشد که برای تخمین سیگنال دست‌خط y انتخاب شده است. طبق روش پیگیری تطبیقی، D و y به صورت زیر نوشته می‌شوند.

$$D = \{\phi_p\}_{p \in \Gamma} \quad (1)$$

$$y = \sum_{n=0}^{N-1} a_n \phi_{p_n} + R^N y \quad (2)$$

$$a_n = \langle R^n y, \phi_{p_n} \rangle \quad (3)$$

$$R^{n+1} y = R^n y - \langle R^n, \phi_{p_n} \rangle \phi_{p_n} \quad (4)$$

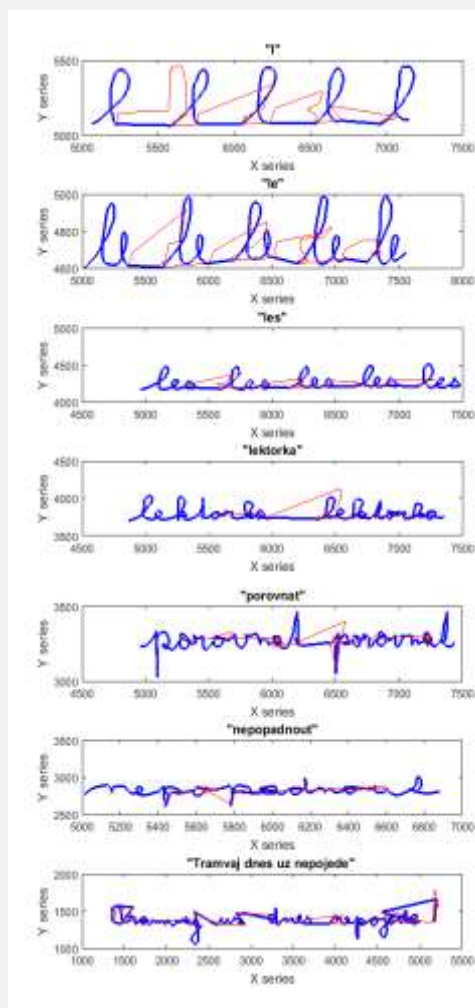
در این روابط n دفعه‌ی تکرار،  $\phi$  مناسب‌ترین اتم در دفعه‌ی تکرار مربوطه و  $R^0 y = y$  است.

در این پژوهش برای مواجهه با مشخصه‌ی غیرایستا و متغیر با زمان سیگنال دست‌خط، از دیکشنری تبدیل موجک هر سطح

[۲۲] شامل ۲۹ نمونه‌ی مبتلا به پارکینسون و ۳۱ نمونه‌ی سالم صورت گرفته که اطلاعات بالینی و آماری آن‌ها در جدول (۱) خلاصه شده است. هیچ‌کدام از نمونه‌ها سابقه و یا نشانه‌ای از وجود علائم روانی یا هر گونه بیماری موثر بر سیستم اعصاب مرکزی را نداشته (به جز نشانه‌های پارکینسون در نمونه‌های مبتلا به آن) و تمامی بیماران مبتلا به پارکینسون، تکلیف‌های نوشتاری را در طول دوره‌ی درمان با لوودوپا<sup>۱</sup> انجام داده‌اند. نمونه‌های سالم نیز توسط پزشکان مورد ارزیابی قرار گرفته تا هیچ‌گونه اختلال و آسیب حرکتی تاثیرگذار بر دست‌خط، نداشته باشند [۲۲].

جدول (۱) - اطلاعات بالینی و آماری نمونه‌ها

پارامتر	پارکینسون	سالم
تعداد شرکت کنندگان	۲۹	۳۱
سن (سال)	$70.738 \pm 9.1$	$61.65 \pm 10.73$
جنسیت (مرد/زن)	۱۷/۱۲	۱۶/۱۵
مدت ابتلا به پارکینسون (سال)	$8.31 \pm 5.01$	-
نمره‌ی UPDRS-V	$27.28 \pm 0.89$	-



شکل (۲) - نمونه‌ای از تکلیف نوشتاری پایگاه داده‌ی PaHaW

<sup>۱</sup> Contribution

<sup>۲</sup> Levodopa





ماشین بردار پشتیبان عمل‌کرد تعمیم‌دهی خوبی را با بهره‌مندی از اصل حداقل‌سازی ریسک ساختاری و راه‌حل‌های بهینه‌سازی از خود نشان داده و بدین صورت خطای تعمیم‌دهی را کاهش می‌دهد [۲۷، ۲۸]. در این مقاله از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان با کرنل تابع پایهی شعاعی برای تشخیص الگوهای دست‌خط افراد سالم از بیماران مبتلا به پارکینسون استفاده شده است. علاوه بر این از روش اعتبارسنجی متقابل پنج‌گانه برای دستیابی به یک تحلیل بدون جهت‌دهی استفاده شده است. در این روش اعتبارسنجی، داده‌ها به دو دسته آموزشی (۸۰٪) و آزمایشی (۲۰٪) تقسیم شده است. فرایند آموزش توسط دسته آموزشی انجام شده و توسط دسته آموزشی مورد سنجش قرار گرفته است. این فرایند ۵ بار تکرار شده و در هر بار تکرار، دسته‌ی جدیدی به عنوان دسته آموزشی انتخاب گردیده است. بدین ترتیب تمام دسته‌ها حداقل یک بار در فرایند آزمایش شرکت کرده و نهایتاً میانگین نتایج به دست آمده، گزارش شده است.

### ۳- یافته‌ها و بحث

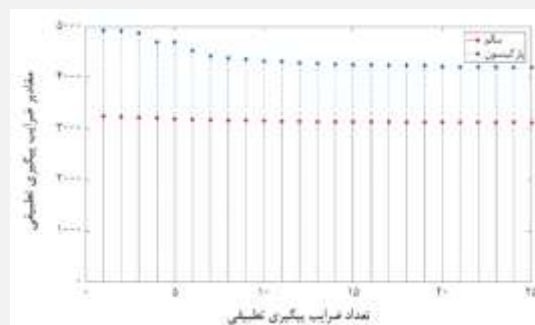
همان‌گونه که در قسمت‌های پیشین نیز بیان گردید، این پژوهش روی ۲۹ نمونه‌ی مبتلا به پارکینسون و ۳۱ نمونه‌ی سالم انجام شده و سری‌های زمانی  $X$  و  $Y$  مربوط به تکلیف‌های نوشتاری مختلف به عنوان ورودی الگوریتم پیگیری تطبیقی استفاده شده است. سپس ضرایب تنک به دست آمده، پس از نرمال‌سازی، به طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان داده شده است. قدرت تشخیصی ارائه شده توسط روش پیشنهادی در جدول (۳) گزارش شده است. مشاهده می‌شود که استفاده از اطلاعات توأم زمانی-فرکانسی پنهان در ضرایب تنک روش پیگیری تطبیقی، قادر به ارائه‌ی قدرت تشخیصی بالا با نرخ میانگین صحت ۹۰٪، اختصاصیت ۹۰٪ و حساسیت ۹۱/۵۹٪ است. با وجود این که نمونه‌های بیمار شرکت کننده در پایگاه داده‌ی PaHaW به دلیل مصرف لوودوپا دارای نشانه‌های مختصر و بهبودیافته‌ای از بیماری پارکینسون هستند [۲۲]، مشاهده می‌شود که الگوریتم پیگیری تطبیقی توانسته تا حد قابل قبول و مطلوبی تغییرات جزئی ناشی از بیماری پارکینسون در دست‌خط را شناسایی کرده و بدین ترتیب در تشخیص این بیماری با وجود مصرف دارو موثر واقع شود. در واقع الگوریتم پیگیری تطبیقی به عنوان یک روش تجزیه‌ی سیگنال مقاوم در برابر نویز [۲۴]، با حذف نوسانات اتفاقی و استخراج مشخصه‌های اصلی و محلی سیگنال دست‌خط توانسته نوسانات گذرای سیگنال دست‌خط را که نشان دهنده‌ی تاثیر لرزش‌های

استفاده شده و با اعمال الگوریتم پیگیری تطبیقی، ۲۵ ضریب تنک زمانی-فرکانسی سری‌های نوشتاری  $X$  و  $Y$  مستخرج از ۷ تکلیف نوشتاری مطابق جدول (۲) محاسبه شده است. نمونه‌ای از این ضرایب برای سری نوشتاری  $Y$  از تکلیف نوشتاری هفتم برای یک نمونه‌ی سالم و یک نمونه‌ی بیمار مبتلا به پارکینسون در شکل (۳) ارائه شده است. مشاهده می‌شود که تفاوت‌های واضحی بین دامنه‌ی ضرایب استخراج شده از افراد سالم و بیمار وجود دارد. بنابراین استفاده از اطلاعات دامنه به تنهایی می‌تواند نشان دهنده‌ی تغییرات پاتولوژیک بیماری باشد. از این رو در ادامه عمل‌کرد این ضرایب به صورت مجزا توسط طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان ارزیابی و مقایسه شده است.

#### جدول (۲) - ویژگی‌های به دست آمده با استفاده از الگوریتم

##### پیگیری تطبیقی

بردار ویژگی حاصل از هر تکلیف نوشتاری
۲۵ ضریب پیگیری تطبیقی مربوط به سری نوشتاری $X$
+
۲۵ ضریب پیگیری تطبیقی مربوط به سری نوشتاری $Y$



شکل (۳) - ضرایب پیگیری تطبیقی برای سری نوشتاری  $Y$  از تکلیف نوشتاری هفتم

### ۳-۲- طبقه‌بندی

به منظور طبقه‌بندی نمونه‌ها به دو گروه هدف افراد سالم و بیماران مبتلا به پارکینسون، باید تابعی تعریف گردد که بتواند نگاشتی از ویژگی‌های استخراجی از دست‌خط را به برچسب‌های گروه هدف ایجاد نماید. طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان از یک تابع کرنل برای ایجاد نگاشت از ویژگی‌های دست‌خط به یک فضای ویژگی با ابعاد بالاتر بهره برده که در آن فضای ویژگی، یک ابرصفحه، داده‌ها را به گروه‌های هدف با ایجاد بیش‌ترین حاشیه تقسیم می‌کند [۲۵]. برای هر الگوریتم یادگیری ماشین، داشتن عمل‌کرد تعمیم‌دهی خوب، یک اصل مهم بوده که با ایجاد مصالحه بین صحت تشخیص برای تعداد محدودی داده‌ی آموزشی و تشخیص صحیح سری داده‌ی جدید به دست می‌آید [۲۶]. مطالعات نشان داده است که طبقه‌بند

طور جداگانه برای طبقه‌بندی نمونه‌ها استفاده شده است. نتایج طبقه‌بندی حاصل از اعمال روش پیشنهادی برای هر تکلیف نوشتاری در جدول (۴) ارائه شده است. مشاهده می‌شود که تکلیف نوشتاری هفتم (تکلیف نوشتن جمله) عمل کرد بهتری را در تشخیص نمونه‌های سالم از بیمار نسبت به سایر تکلیف‌ها از خود نشان داده که دلیل آن لزوم وجود هماهنگی حرکتی و شناختی بیش‌تری بوده که در نوشتن جمله نسبت به نوشتن کلمات و یا حروف مورد نیاز است. این هماهنگی به دلیل ایجاد عارضه‌ی مغزی ناشی از پارکینسون بیش‌تر تحت تاثیر قرار گرفته و به خوبی در این تکلیف نشان داده شده است. برتری این تکلیف در مقالات مشابه نیز گزارش شده است [۲۰]. بررسی‌های بیش‌تر هم‌چنین نشان داده است که استفاده از تکالیف کوتاه مانند نوشتن یک یا دو کلمه یا هجا به تنهایی جهت ارائه‌ی قدرت تشخیصی مناسب، کافی نیست.

ناشی از بیماری پارکینسون است، به خوبی نمایش دهد. این مساله می‌تواند به دلیل رزولوشن مناسب زمانی سیگنال در تمام فرکانس‌ها باشد که یکی دیگر از ویژگی‌های برتر این روش در مقایسه با سایر تحلیل‌های زمانی-فرکانسی است.

**جدول (۳) - بررسی عمل کرد روش پیشنهادی با استفاده از تمام تکالیف نوشتاری**

نتایج	معیار
٪۹۰	صحت
٪۹۱/۵۹	حساسیت
٪۹۰	اختصاصیت
[۸۲/۸۵, ۹۷/۱۵]	بازه‌ی اطمینان ٪۹۵ صحت تشخیص

در ادامه برای مقایسه‌ی میزان اثربخشی تکلیف‌های نوشتاری مختلف، ضرایب تنک محاسبه شده از هر تکلیف نوشتاری به

**جدول (۴) - نتایج طبقه‌بندی تکالیف‌های نوشتاری**

پارامتر	صحت (%)	حساسیت (%)	اختصاصیت (%)	بازه‌ی اطمینان ٪۹۵ صحت
تکلیف ۱	۵۳/۳۳	۲۷/۰۵	۸۲/۱۴	[۴۷/۵۵, ۶۲/۴۵]
تکلیف ۲	۶۱/۶۷	۳۲/۸۳	۹۱/۶۷	[۴۲/۵۲, ۷۷/۴۸]
تکلیف ۳	۵۸/۳۳	۳۷/۳۳	۸۹/۲۱	[۵۱/۵, ۶۸/۵]
تکلیف ۴	۶۸/۳۳	۵۰/۸۱	۸۱/۳۳	[۵۴/۲۱, ۸۲/۴۷]
تکلیف ۵	۶۶/۶۷	۵۹/۷۶	۷۳/۶۷	[۵۹/۸۳, ۷۶/۸۳]
تکلیف ۶	۶۸/۳۳	۴۱/۷۱	۹۳/۳۳	[۵۷/۴۵, ۷۵/۸۷]
تکلیف ۷	۸۸/۳۳	۸۳/۸۱	۹۰/۴۴	[۸۲/۵, ۹۴/۱۸]

تشخیص بیماری پارکینسون، تعداد بسیار زیادی از انواع ویژگی‌های سینماتیک، مبتنی بر مشخصه‌های زمانی و مکانی سیگنال دست‌خط، مبتنی بر آنتروپی و انرژی سیگنال و دسته‌ای از ویژگی‌های مبتنی بر توابع حالت ذاتی<sup>۱</sup> را از سیگنال دست‌خط استخراج نموده و با بهره‌گیری از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان، صحت تشخیص روش خود را تا رسیدن به مقدار ۸۸/۱۳٪ بهبود بخشیده‌اند. هم‌چنین دیاز و هم‌کارانش در مطالعه‌ی [۱۱] به معرفی ویژگی‌های استاتیکی بهبودیافته با روش‌های دینامیکی پرداخته‌اند که از طریق یادگیری شبکه‌ی عصبی کانولوشن به دست آمده است. آن‌ها سپس میزان اثربخشی این ویژگی‌ها را با گروهی از طبقه‌بندهای ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و آدا‌بوست<sup>۲</sup> مورد ارزیابی قرار داده و به صحت تشخیص ۸۶/۶۷٪ دست یافته‌اند. نهایتاً مطابق جدول (۵)، در این پژوهش تنها با استفاده از یک نوع روش تجزیه و بهره‌گیری از ضرایب تنک پیگیری تطبیقی به عنوان ویژگی‌های

به منظور بررسی بیش‌تر نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان به مقایسه‌ی روش پیشنهادی در این پژوهش و سایر روش‌های مورد استفاده برای تشخیص بیماری پارکینسون با استفاده از سیگنال دست‌خط پرداخت که در آن‌ها نیز از اطلاعات مربوط به پایگاه داده‌ی PaHaW استفاده شده است. دروتار و هم‌کارانش در مطالعات [۲۱، ۲۹، ۳۰] به بررسی میزان اثربخشی بیش از ۶۰۰ نوع ویژگی‌های مختلف سینماتیکی و مبتنی بر ویژگی‌های مکانی و زمانی سیگنال دست‌خط با استفاده از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان پرداخته و به ترتیب به میانگین صحت تشخیص ۸۵/۶۱٪، ۸۰/۰۹٪ و ۷۹/۴٪ دست یافته‌اند. همین نویسندگان در مطالعه‌ی [۲۲] افزون بر انواع مختلف ویژگی‌های سینماتیک، از گروهی از ویژگی‌های مبتنی بر فشار در تحلیل سیگنال دست‌خط استفاده نموده و میانگین صحت ۸۱/۳٪ را در تشخیص پارکینسون به دست آورده‌اند. در پژوهش [۲۵] دروتار و هم‌کارانش به منظور بهبود صحت

<sup>۲</sup> AdaBoost

<sup>۱</sup> Intrinsic Mode Function



می‌کند، به عنوان تنها روش استخراج ویژگی و هم‌چنین کاهش چشم‌گیر در تعداد و تنوع ویژگی‌ها در مقایسه با مطالعات قبل، توانسته است درصد طبقه‌بندی بهتری را در عین محاسبات کم‌تر به دلیل استفاده از ویژگی‌های کم‌تر ارائه دهد که این روش را برای کاربردهای کلینیکی مناسب می‌سازد.

استخراجی از سیگنال دست‌خط، صحت تشخیص ۹۰٪ با طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان به دست آمده است. از مقایسه‌ی نتایج روش پیشنهادی با روش‌های پیشین می‌توان دریافت که این مقاله با بهره‌مندی از یک الگوریتم تطبیقی که ویژگی‌های زمانی-فرکانسی را تواما با رزولوشن بالا استخراج

جدول (۵) - مقایسه‌ی عمل‌کرد روش پیشنهادی با پژوهش‌های پیشین با پایگاه داده‌ی مشترک

مقاله	ویژگی استخراجی	روش طبقه‌بندی	صحت
[۲۱]	بیش از ۶۰۰ ویژگی سینماتیکی و مکانی زمانی	ماشین بردار پشتیبان	۸۵/۶۱
[۲۹]	بیش از ۶۰۰ ویژگی سینماتیکی و مکانی زمانی	ماشین بردار پشتیبان	۸۰/۰۹
[۳۰]	بیش از ۷۰۰ ویژگی سینماتیکی و مکانی زمانی	ماشین بردار پشتیبان	۷۹/۴
[۲۲]	بیش از ۷۰۰ ویژگی سینماتیکی، مکانی زمانی، آنروپی، انرژی و تجزیه‌ی حالت تجربی	ماشین بردار پشتیبان	۸۱/۳
[۲۵]	۱۶۲ ویژگی سینماتیکی، آنروپی، انرژی و توابع حالت ذاتی (پس از دو مرحله انتخاب ویژگی)	ماشین بردار پشتیبان	۸۸/۱۳
[۱۱]	مبتنی بر یادگیری ژرف	ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و آدابوست	۸۶/۶۷
پیشنهادی	۵۰ ضریب پیگیری تطبیقی	ماشین بردار پشتیبان	۹۰

#### ۴- نتیجه‌گیری

مطالعات نشان داده که تحلیل دینامیک سیگنال دست‌خط به خوبی قادر به آشکارسازی اختلالات شناختی و حرکتی است [۱۱، ۳۱]. از این رو این تحلیل‌ها روش قابل اطمینانی برای شناسایی مشکلات ایجاد شده در دست‌خط بر اثر بیماری پارکینسون هستند. با در نظر داشتن این موضوع، ارائه‌ی بیان جدیدی از سیگنال دست‌خط که تنها در بردارنده‌ی مولفه‌های اصلی آن با بیش‌ترین اطلاعات مرتبط با تغییرات زمانی و فرکانسی سیگنال باشد، می‌تواند روش موثری به شمار آید. بنابراین در این مقاله از الگوریتم پیگیری تطبیقی برای توصیف سیگنال دست‌خط در هر دو فضای زمان و فرکانس و در قالب ضرایب تنک استفاده شده است که این ضرایب اطلاعات مفید مربوط به نوسانات محلی و تغییرات گذرای سیگنال را در بر دارند. نتایج حاصل از این مقاله نشان می‌دهد که رزولوشن بالای الگوریتم پیگیری تطبیقی منجر به استخراج مجموعه‌ی ضرایبی شده که به خوبی قادر به توصیف تغییرات جزئی ایجاد شده در سیگنال دست‌خط هستند. هم‌چنین از آن‌جا که نوع تکلیف نوشتاری یکی از عوامل موثر در صحت تشخیص بیماری پارکینسون است، تاثیر تکلیف‌های مختلف نوشتاری به طور مجزا مورد بررسی قرار گرفته و از این میان تکلیف نوشتن جمله به دلیل برخورداری از ساختار پیچیده‌تر، نتیجه‌ی بهتری را به همراه داشته و نهایتاً بالاترین صحت تشخیص پارکینسون، با استفاده از تمامی تکلیف‌های نوشتاری به دست آمده است.

#### ۵- مراجع

- [1] R. Balestrino and A. H. Schapira, "Parkinson disease," *European journal of neurology*, vol. 27, pp. 27-42, 2020.
- [2] O.-B. Tysnes and A. Storstein, "Epidemiology of Parkinson's disease," *Journal of Neural Transmission*, vol. 124, pp. 901-905, 2017.
- [3] C. De Stefano, F. Fontanella, D. Impedovo, G. Pirlo, and A. S. di Freca, "Handwriting analysis to support neurodegenerative diseases diagnosis: A review," *Pattern Recognition Letters*, vol. 121, pp. 37-45, 2019.
- [4] C. De Stefano, F. Fontanella, D. Impedovo, G. Pirlo, and A. S. di Freca, "A Brief Overview on Handwriting Analysis for Neurodegenerative Disease Diagnosis," in *WAIHA@ AI\* IA*, 2017, pp. 9-16.
- [5] M. Niethammer, A. Feigin, and D. Eidelberg, "Functional neuroimaging in Parkinson's disease," *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, vol. 2, p. a009274, 2012.
- [6] G. Vessio, "Dynamic Handwriting Analysis for Neurodegenerative Disease Assessment: A Literary Review," *Applied Sciences*, vol. 9, p. 4666, 2019.
- [7] D. Impedovo and G. Pirlo, "Dynamic handwriting analysis for the assessment of neurodegenerative diseases: A pattern recognition perspective," *IEEE reviews in biomedical engineering*, vol. 12, pp. 209-220, 2018.
- [8] Y. Sarbaz, F. Towhidkhan, V. Mosavari, A. Janani, and A. Soltanzadeh, "Separating Parkinsonian patients from normal persons using handwriting features," *Journal of Mechanics in*





- methods and programs in biomedicine, vol. 117, pp. 405-411, 2014.
- [22] P. Drotár, J. Mekyska, I. Rektorová, L. Masarová, Z. Smékal, and M. Faundez-Zanuy, "Evaluation of handwriting kinematics and pressure for differential diagnosis of Parkinson's disease," *Artificial intelligence in Medicine*, vol. 67, pp. 39-46, 2016.
- [23] R. Liu, B. Karumuri, J. Adkinson, T. N. Hutson, I. Vlachos, and L. Iasemidis, "Multivariate Matching Pursuit Decomposition and Normalized Gabor Entropy for Quantification of Preictal Trends in Epilepsy," *Entropy*, vol. 20, p. 419, 2018.
- [24] A. Goshvarpour and A. Goshvarpour, "Matching pursuit based indices for examining physiological differences of meditators and non-meditators: An HRV study," *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 524, pp. 147-156, 2019.
- [25] P. Drotár, J. Mekyska, I. Rektorová, L. Masarová, Z. Smékal, and M. Faundez-Zanuy, "Decision support framework for Parkinson's disease based on novel handwriting markers," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 23, pp. 508-516, 2014.
- [26] P. Kumar, N. Sharma, and A. Rana, "Handwritten character recognition using different kernel based svm classifier and mlp neural network (a comparison)," *International Journal of Computer Applications*, vol. 53, 2012.
- [27] L. Cao, K. S. Chua, W. Chong, H. Lee, and Q. Gu, "A comparison of PCA, KPCA and ICA for dimensionality reduction in support vector machine," *Neurocomputing*, vol. 55, pp. 321-336, 2003.
- [28] P. Ghaderyan, A. Abbasi, and M. H. Sedaaghi, "An efficient seizure prediction method using KNN-based undersampling and linear frequency measures," *Journal of neuroscience methods*, vol. 232, pp. 134-142, 2014.
- [29] P. Drotár, J. Mekyska, I. Rektorová, L. Masarová, Z. Smékal, and M. Faundez-Zanuy, "A new modality for quantitative evaluation of Parkinson's disease: In-air movement," in *13th IEEE International Conference on BioInformatics and BioEngineering*, 2013, pp. 1-4.
- [30] P. Drotár, J. Mekyska, Z. Smékal, I. Rektorová, L. Masarová, and M. Faundez-Zanuy, "Prediction potential of different handwriting tasks for diagnosis of Parkinson's," in *2013 E-Health and Bioengineering Conference (EHB)*, 2013, pp. 1-4.
- [31] J. E. Reisman, "Development and reliability of the research version of the Minnesota Handwriting Test," *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics*, vol. 13, pp. 41-55, 1993.
- Medicine and Biology, vol. 13, p. 1350030, 2013.
- [9] R. Polikar, "The wavelet tutorial," ed, 1996.
- [10] P. Ghaderyan, A. Abbasi, and S. Saber, "A new algorithm for kinematic analysis of handwriting data; towards a reliable handwriting-based tool for early detection of alzheimer's disease," *Expert Systems with Applications*, vol. 114, pp. 428-440, 2018.
- [11] M. Diaz, M. A. Ferrer, D. Impedovo, G. Pirlo, and G. Vessio, "Dynamically enhanced static handwriting representation for Parkinson's disease detection," *Pattern Recognition Letters*, vol. 128, pp. 204-210, 2019.
- [12] C. Baumgartner, K. J. Blinowska, A. Cichocki, H. Dickhaus, P. J. Durka, P. V. McClintock, G. Pfurtscheller, A. Stefanovska, and S. Tong, "Discussion of "Time-frequency techniques in biomedical signal analysis: A tutorial review of similarities and differences"," *Methods of information in medicine*, vol. 52, pp. 297-307, 2013.
- [13] M. Wacker and H. Witte, "Time-frequency techniques in biomedical signal analysis," *Methods of information in medicine*, vol. 52, pp. 279-296, 2013.
- [14] K. J. Blinowska and P. J. Durka, "Unbiased high resolution method of EEG analysis in time-frequency space," *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, vol. 61, pp. 157-174, 2001.
- [15] S. G. Mallat and Z. Zhang, "Matching pursuits with time-frequency dictionaries," *IEEE Transactions on signal processing*, vol. 41, pp. 3397-3415, 1993.
- [16] M. Akay, M. Sekine, T. Tamura, Y. Higashi, and T. Fujimoto, "Unconstrained monitoring of body motion during walking," *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, vol. 22, pp. 104-109, 2003.
- [17] P. Durka and K. Blinowska, "Analysis of EEG transients by means of matching pursuit," *Annals of biomedical engineering*, vol. 23, pp. 608-611, 1995.
- [18] Z.-G. Zhang, J.-L. Yang, S.-C. Chan, K. D.-K. Luk, and Y. Hu, "Time-frequency component analysis of somatosensory evoked potentials in rats," *BioMedical Engineering OnLine*, vol. 8, p. 4, 2009.
- [19] S. C. KS, A. Mishra, V. Shirhatti, and S. Ray, "Comparison of matching pursuit algorithm with other signal processing techniques for computation of the time-frequency power spectrum of brain signals," *Journal of Neuroscience*, vol. 36, pp. 3399-3408, 2016.
- [20] E. D. Deharab and P. Ghaderyan, "Parkinson's Disease Detection Using Dynamic Writing Traces Warping," in *2020 28th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, 2020, pp. 1-4.
- [21] P. Drotar, J. Mekyska, I. Rektorová, L. Masarová, Z. Smékal, and M. Faundez-Zanuy, "Analysis of in-air movement in handwriting: A novel marker for Parkinson's disease," *Computer*