Language Related Research
E-ISSN: 2383-0816
https://lrr.modares.ac.ir
https://doi.org/10.29252/LRR.15.4.9

Tarbiat Modares University

Vol. 15, No. 4, Tome 82
pp. 275-302
September & October 2024

A Correlation between Speech Intelligibility and Vowel Acoustic Measurements in Persian Speaking Spastic Cerebral Palsy Children with Dysarthria

Maryam Mokhlesin[1], *Mandana Nourbakhsh*[2], *Banafsheh Mansoori*[3], *Rezvaneh Nahidi*[4] & *Neda Tahmasebi* [5*]

Received: 15 March 2022
Received in revised form: 20 May 2022
Accepted: 18 June 2022

Abstract

One of the dysarthria features is inaccurate articulation of consonants and vowels, which is the main cause of speech unintelligibility. However, it is not clear what acoustic measures are more related to speech intelligibility in dysarthria. On the other hand, the number of vowels, their articulation and acoustic characteristics are various in different languages. As far as we know, no study investigated vowels articulation in developmental dysarthria in Persian, so there is not enough information about movement details which make their inaccuracies articulation. Hence, the present study aimed to investigate some acoustic measures including vowel formants, vowel space area (VSA), formant centralization ratio (FCR) and vowel articulation index (VAI) and aim to study their correlation with speech intelligibility in Persian speaking children with dysarthria due to spastic cerebral palsy. In this cross - sectional study, 11 monolingual children with dysarthria aged 3 - 9 years and their typically developing matched peers were selected through convenience sampling. For each of the six Persian vowels, two monosyllable words were acoustically analyzed using PRAAT software. To determine intelligibility of words and vowels, the percentage of correct detected ones was calculated. Results showed a significant difference between the two groups in the third formant of the vowels /a/ and /u/ and the second formant of the

[1] Neuromuscular Rehabilitation Research Center, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran & Speech Therapy Department, University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences, Tehran, Iran; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-1728-9931
[2] Linguistics Department Faculty of Literature, Alzahra University, Tehran, Iran
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2554-0727
[3] Neuromuscular Rehabilitation Research Center, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-2843-9926
[4] Student Research Committee, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran;
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8612-0609
[5] Corresponding Author: Speech Therapy Department, University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences, Tehran, Iran, *Email:nedatahmasebist@gmail.com*
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4123-827X

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]
[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

vowel /o/. The vowel space area and intelligibility were significantly reduced in dysarthria. VAS was more correlated with intelligibility and is a good acoustic measurement to assess speech intelligibility in dysarthria. However all three studied acoustic indices had moderate significant correlation with intelligibility.

***Keywords*:** dysarthria, acoustic measurement, vowel space, cerebral palsy, speech intelligibility

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]

[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]

[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

1. Introduction

Abnormalities in power, speed, range, muscle tone, stability, and accuracy of movements necessary for respiration, phonation, production, articulation, or prosodic aspects of speech lead to dysarthria (Duffy, 2019). Depending on the location of the damage in the nervous system, there are different types of dysarthria and each creates different speech characteristics (Duffy, 2019). Cerebral palsy is one of the main causes of dysarthria in children. One of the main and distinctive features of dysarthria is imprecise production, which is the main factor for low speech intelligibility (De Bodt et al., 2002). However, there is limited information on the motor features that cause this inaccuracy in children's production, and awareness of these motor events is a prerequisite for providing appropriate therapeutic approaches (Allison et al., 2017). If we consider syllables as speech motor units (Yunusova et al., 2008) and vowels as the core components of syllables, vowel distortion can affect the structure of syllables and consequently speech. Describing the vowels of a language has more auditory aspects than articulatory ones. However, gradually linguistics realized that if the vowels of a language are displayed based on F1 and F2 features, the result will be a two-dimensional space that they named vowel space. Since speech intelligibility is the primary goal of clinical interventions, and since vowels are a good predictor of speech intelligibility in dysarthria, it is necessary to accurately determine the correctness and accuracy of vowels with the help of appropriate diagnostic or perceptual tools to assess the effects of direct and indirect therapies on the proper production of vowels and the improvement of speech intelligibility. This diagnosis guides therapists in selecting appropriate treatment methods or continuing therapy.

Research Question(s)

Is the formant of each of the 6 vowels in Persian-speaking children with spastic dysarthria different from that of typically developing children? Are speech intelligibility, acoustic parameters of vowel space, vowel production

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]

[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

indices, and formant centralization ratio different in children with dysarthria based on age? Is there a correlation between some acoustic parameters of vowels and speech intelligibility?

2. Literature Review

In 2019, a study was conducted in China on the Mandarin language with the aim of determining acoustic parameters for speech evaluation in children with dysarthria due to cerebral palsy. Thirty children aged 5 to 15 with cerebral palsy and 13 typically developing children participated in the study. Formants F1 and F2 were calculated for vowels /a, i, u/. The VSA, VAI, and FCR indices were also calculated and analyzed. In children with cerebral palsy, there were significant differences in F1 and F2 for the vowel /a/ and F2 for the vowel /i/, while there were no significant differences in F1 and F2 for the vowel /u/ and F1 for the vowel /i/. There were significant differences between the two groups in the FCR, VAI, and VSA indices (Mou et al., 2019). In another study in 2017 aimed at improving the understanding of speech characteristics related to dysarthria in English-speaking children with cerebral palsy in the United States, formants were analyzed at the word and sentence levels. The speech of 10 children with dysarthria due to cerebral palsy was compared to 10 typically developing children. The results showed that children with dysarthria had a smaller vowel space compared to typically developing children at both the word and sentence levels (Allison et al., 2017). The same researchers conducted another study in 2018 with the aim of determining acoustic characteristics of connected speech in children with dysarthria due to cerebral palsy and typically developing children. Twenty children with dysarthria were matched with typically developing children in terms of age and gender. The results showed that children with dysarthria differ from typically developing children in terms of speech-segmental and suprasegmental features (Allison & Hustad, 2018). In 2016, a study titled “Vowel Intelligibility in Children with or without Dysarthria”

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]

[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

was conducted. Researchers in this exploratory study examined the vowel intelligibility of American English vowels in American children. Generally, children with dysarthria had lower vowel intelligibility compared to typically developing children, but there was no statistically significant difference in intelligibility among different vowels. These studies highlight the significance of focusing on the vowel system during therapy to enhance intelligibility (Levy et al., 2016).

3. Methodology

In the present cross-sectional study, 11 children with spastic dysarthria due to cerebral palsy were selected from rehabilitation clinics in Semnan city, and 11 typically developing age- and gender-matched children from preschools and primary schools in the same city. The inclusion criteria for children with cerebral palsy in the study were mild to moderate dysarthria due to spastic cerebral palsy, aged 3 to 9 years, and the ability to produce single words. Exclusion criteria were the presence of sensory or motor problems, bilingualism, dysphagia, and difficulties in producing consonants present in test words. Initially, 12 monosyllabic words with a CVC structure including 2 words for each of the 6 vowels in the Persian language were selected by a linguist and a speech-language pathologist, which were simple to produce in terms of consonants and did not affect the central vowel. Each word was uttered twice, so 4 words were spoken for each vowel, with 3 of them selected for formant analysis using PRAAT software. Subsequently, the spoken words by each child were presented to adults unfamiliar with the child, who were free of hearing or language issues, to write down the words after hearing them. The researchers determined the number of correct words and the vowels identified by adults to establish the percentage of vowel and speech intelligibility for each child. Finally, the two groups of children were compared in terms of vowel space and speech intelligibility.

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]

[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

4. Results

In this study, each group of children with normal speech and dysarthria included 4 girls and 7 boys with a minimum age of 3.5 and a maximum age of 9 years. The mean age in children with dysarthria was 1.9 ± 5.6 years and in the group with normal speech was 1.8 ± 5.7 years, with no significant difference between them ($p > 0.05$). Since results in speech production change with age due to vocal tract lengthening and children's motor skill development, the children in this study were categorized into 2 subgroups of 3.6 to 6 years and 6 to 9 years. Comparison of vowels in children with dysarthria and their age-matched typically developing peers using the Mann-Whitney test showed a significant difference between the two groups only in 6 to 9-year-old children in the first formant of /i/ and /æ/ vowels, the second formant of /æ/ vowel, and also the third formant of /e/ and /a/ vowels. Speech intelligibility at the single-word and vowel level, acoustic parameters of vowel space, vowel production indices, and formant centralization ratio were compared between the two groups of children with dysarthria at different ages using the Mann-Whitney test, which showed a significant difference in word and vowel intelligibility between the two groups. All acoustic indices also showed a significant difference between the two groups. Vowel space, calculated based on the /a/, /i/, and /u/ side vowels in this study, was smaller in the group of children with dysarthria compared to the normal group. In both age groups, the dispersion of vowel production in the dysarthric group was higher compared to the normal children. The results of the Spearman correlation coefficient test showed a significant moderate relationship between all indices of vowels and speech intelligibility. This relationship was direct for the Vowel Space Area (VSA) and Vowel Articulatory Index (VAI) and inverse for the Formant Centralization Ratio (FCR).

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]

[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

دوماهنامهٔ بین‌المللی
د۱۵، ش٤ (پیاپی ۸۲)، مهر و آبان ۱٤۰۳، صص ۲۷۵-۳۰۲
مقاله پژوهشی
http://dorl.net/dor/20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3

بررسی هم‌بستگی بین وضوح گفتار و سنجش‌های آکوستیکی واکه‌ها در کودکان فارسی زبان دارای دیزآتری ناشی از فلج مغزی اسپاستیک

مریم مخلصین[۱]، ماندانا نوربخش[۲]، بنفشه منصوری[۳]، رضوانه ناهیدی[۴]، ندا طهماسبی[۵*]

۱. مرکز تحقیقات توان‌بخشی عصبی عضلانی، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران
و گروه گفتاردرمانی، دانشگاه علوم توان‌بخشی و سلامت اجتماعی، تهران، ایران
۲. گروه زبان‌شناسی، دانشکده ادبیات، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران
۳. مرکز تحقیقات توان‌بخشی عصبی عضلانی، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران
٤. کمیتهٔ تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران
۵. گروه گفتاردرمانی، دانشگاه علوم توان‌بخشی و سلامت اجتماعی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۱۲/۲٤ تاریخ پذیرش:۱٤۰۱/۰۳/۲۸

چکیده

یکی از ویژگی‌های گفتار فلجی (دیزآرتری)، تولید غیردقیق واکه‌ها و همخوان‌هاست که عامل اصلی وضوح پایین گفتار است. با این حال هنوز مشخص نیست کدام شاخص‌های آکوستیکی با وضوح گفتار در این اختلال ارتباط قوی‌تری دارد. از طرف دیگر تعداد واکه‌ها، ویژگی‌های تولیدی و آکوستیکی آن‌ها در زبان‌های مختلف متفاوت است. تاآنجاکه می‌دانیم مطالعه‌ای روی تولید واکه‌ها در دیزآرتری دوران رشد در فارسی وجود ندارد، بنابراین درمورد جزئیات حرکتی که باعث بی‌دقتی در تلفظ آن‌ها می‌شود اطلاعات کافی موجود نیست. ازاین‌رو مطالعهٔ حاضر با هدف بررسی برخی شاخص‌های آکوستیکی شامل فرمنت واکه‌ها، شاخص آکوستیکی فضای واکه‌ای (VSA)، نسبت مرکزی شدن فرمنت‌ها (FCR) و شاخص تولید واکه (VAI) و نیز رابطهٔ آن‌ها با وضوح گفتار در کودکان فارسی‌زبان مبتلا به دیزآرتری ناشی از فلج‌مغزی اسپاستیک انجام شد. در این مطالعهٔ مقطعی، ۱۱ کودک تک‌زبانه دارای دیزآرتری ناشی از فلج مغزی سفت ۹ ـ ۳ ساله و همتایان سالم به روش در دسترس انتخاب شدند. برای هر یک از ٦ واکهٔ زبان فارسی ۲ کلمهٔ تک‌هجایی از طریق نرم‌افزار PRAAT مورد تحلیل آکوستیکی قرار گیرد. وضوح کلمه و واکه نیز به‌صورت میانگین درصد موارد قابل تشخیص محاسبه شد. نتایج آزمون نشان

* نویسندهٔ مسئول مقاله: E-mail: m_mokhlessin@semums.ac.ir

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]
[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

داد تفاوت معنادار بین دو گروه در فرمنت سوم واکه‌های /a/ و /u/ و فرمنت دوم واکه /o/ وجود داشت. فضای واکه‌ای و وضوح گفتار در کودکان دیزآرتری به‌طور معناداری کاهش داشت. VAS بیشترین هم‌بستگی را با وضوح داشت و شاخص آکوستیکی مناسبی برای بررسی وضوح گفتار در دیزآرتری است. بااین‌حال هر سه شاخص آکوستیکی مورد مطالعه رابطهٔ معنادار متوسطی با وضوح داشت.

واژه‌های کلیدی: دیزآرتری، شاخص آکوستیک، فضای واکه‌ای، فلج مغزی، وضوح گفتار.

۱. مقدمه

دیزآرتری[۱] اصطلاح کلی برای گروهی از اختلالات گفتاری نورولوژیک است که به ناهنجاری‌هایی در قدرت، سرعت، دامنه، تونیسیته عضلانی[۲]، ثبات و صحت حرکات لازم برای انجام تنفس، تشدید[۳]، تولید[۴]، آواسازی یا جنبه‌های نوای تولید گفتار[۵] منجر می‌شود (Duffy, 2019). بسته به محل آسیب در سیستم عصبی، انواع مختلف دیزآرتری وجود دارد که هر یک ویژگی‌های گفتاری متفاوتی ایجاد می‌کند (Duffy, 2019). دیزآرتری می‌تواند ثانویه به بسیاری از شرایط نورولوژیک مانند بیماری پارکینسون، اسکلروز چندگانه[۶] (MS)، فلج مغزی[۷]، سکتهٔ مغزی[۸]، ضربهٔ مغزی[۹] و اسکلروز جانبی آمیوتروفیک[۱۰] (ALS) باشد (Lee et al., 2017). فلج مغزی، یکی از دلایل عمدهٔ دیزآرتری در کودکان است. ازآنجاکه فلج مغزی اختلالی ناهمگن است، دیزآرتری حاصل از آن نیز ویژگی‌ها و علائم متفاوتی دارد و به انواع مختلفی طبقه‌بندی می‌شود. یکی از ویژگی‌های اصلی و مشخصهٔ دیزآرتری، تولید غیردقیق است که عامل اصلی وضوح[۱۱] پایین گفتار است (De Bodt et al., 2002). با این حال درمورد ویژگی‌های حرکتی که باعث این بی‌دقتی در تولید کودکان می‌شود اطلاعات کمی وجود دارد و آگاهی از این وقایع حرکتی پیش‌نیاز ارائه رویکردهای درمانی مناسب است (Allison et al., 2017). چنانچه می‌دانیم هجاها واحدهای حرکتی گفتارند(Yunusova et al., 2008) و واکه‌ها هستهٔ تشکیل‌دهندهٔ هجاها هستند. بنابراین خراب‌گویی واکه‌ها می‌تواند ساختار هجاها و درنتیجه گفتار را متأثر سازد. واکه‌ها از واج‌های تولیدی مهم هستند و داده‌های آکوستیکی که از آن‌ها به‌دست می‌آید موارد مهمی را پوشش می‌دهد که عبارت‌اند از: سرنخ‌های آکوستیکی

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]
[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

برای همخوان‌ها (انتقال فرمنت برای توالی همخوان - واکه و یا واکه - همخوان)، الگوی نوای گفتار و مشخص‌سازی گوینده (که معمولاً براساس فرکانس فرمنت است). واکه‌ها در ایجاد درک ویژگی‌های آکوستیکی نقش اصلی را بر عهده دارند، زیرا در طی مراحل رشد گفتاری زود ظاهر می‌شوند و جزء سنگ رشدهای[۱۲] مهم در رشد گفتار به حساب می‌آیند (Vorperian & Kent, 2007).

توصیف واکه‌های یک زبان براساس ذوزنقهٔ واکه‌های اصلی، بیشتر جنبهٔ شنیداری دارد تا تولیدی، اما به تدریج آواشناسان دریافتند که اگر واکه‌های زبان در دستگاه مختصات دکارتی F1 و F2 نمایش داده شود، نتیجهٔ آن فضایی دوبُعدی خواهد بود که آن را فضای واکه‌ای[۱۳] نامیدند (Catford, 1988). فضای واکه‌ای به شکل‌های مختلفی محاسبه می‌شود که در مطالعات انجام‌شده به زبان‌های انگلیسی و آلمانی اغلب یا از ۳ واکهٔ کناری[۱٤] /a,u,i/ استفاده شده است که به آن فضای واکه‌ای ۳ نقطه‌ای می‌گویند یا از روش ٤ واکهٔ کناری/ a,u, i,æ/ استفاده می‌شود که آن را فضای واکه‌ای ٤ نقطه‌ای می‌نامند (Kent & Kim, 2003).

باتوجه به اینکه وضوح گفتار هدف اولیهٔ مداخلات بالینی است و از آنجا که واکه‌ها پیش‌بینی‌کنندهٔ مناسبی برای وضوح گفتار در دیزآرتری است، برای تعیین اثر درمان‌های مستقیم و غیرمستقیم بر تولید صحیح واکه و بهبود یا عدم بهبود وضوح گفتار، لازم است تا با کمک ابزارهای تشخیصی و یا ادراکی مناسب، صحت و درستی واکه‌ها به دقت تعین شود و این تشخیص، درمانگران را در انتخاب روش درمانی مناسب و یا ادامه درمان هدایت می‌کند.

۲.پیشینهٔ تحقیق

در سال ۲۰۱۹ مطالعه‌ای در چین در زبان ماندارین با هدف تعیین پارامترهای آکوستیک برای ارزیابی گفتار در کودکان با اختلال دیزآرتری حاصل از فلج مغزی انجام شد. ۳۰ کودک ۵ تا ۱۵ ساله دارای فلج مغزی و ۱۳ کودک همتای سالم در مطالعه شرکت کردند. فرمنت‌های F_1 و F_2 برای واکه‌های /a, i, u/ محاسبه شد. شاخص‌های VSA, VAI و FCR نیز محاسبه و آنالیز شدند. در کودکان دارای فلج مغزی F_1 و F_2 در واکه /a/ و F_2 در واکهٔ /i/ تفاوت معنادار داشت، در حالی که F_1 و F_2 در واکهٔ /u/ و F_1 در واکهٔ /i/ تفاوت معنادار نداشت. بین هر دو

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]
[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

گروه در شاخص‌های FCR, VAI, VSA تفاوت معنادار بود (Mou et al., 2019).

در مطالعهٔ دیگری در سال ۲۰۱۷ که با هدف بهبود درک مشخصه‌های مرتبط با گفتار دیزآرتری در کودکان فلج مغزی انگلیسی زبان آمریکا انجام شد، فرمنت‌ها در سطح کلمه و جمله آنالیز شدند. گفتار ۱۰ کودک دارای دیزآرتری ناشی از فلج مغزی با ۱۰ کودک همتای طبیعی مقایسه شد. نتایج نشان داد که کودکان با اختلال دیزآرتری فضای واکه‌ای کوچک‌تری نسبت به کودکان طبیعی در دو سطح کلمه و جمله داشتند (Allison et al., 2017). همان محققان در سال ۲۰۱۸ مطالعهٔ دیگری با هدف تعیین مشخصه‌های آکوستیکی گفتار پیوسته در کودکان دارای دیزآرتری ناشی از فلج مغزی و کودکان طبیعی انجام دادند. ۲۰ کودک دارای دیزآرتری با کودکان سالم از نظر سن و جنسیت همسان‌سازی شدند. نتایج نشان داد که کودکان دارای اختلال دیزآرتری با کودکان طبیعی از لحاظ مشخصه‌های زنجیری[۱۵] و فرازنجیری[۱۶] گفتار متفاوت هستند (Allison & Hustad, 2018).

در سال ۲۰۱۶ مطالعه‌ای با عنوان وضوح واکه در کودکان با یا بدون دیزآرتری انجام شد. محققان در این مطالعهٔ اکتشافی به بررسی وضوح واکه‌های انگلیسی ـ آمریکایی در کودکان امریکایی پرداختند. به‌طور کلی کودکان با اختلال دیزآرتری وضوح کم‌تری در تولید واکه نسبت به کودکان طبیعی داشتند، اما تفاوت در وضوح، بین واکه‌های مختلف از لحاظ آماری معنادار نبود. این دسته از مطالعات تأثیرات خاص واکه و هدف‌گذاری درمانی را از طریق سیستم واکه‌ای به‌منظور افزایش وضوح نشان می‌دهند (Levy et al., 2016).

۳. چهارچوب نظری

در حیطهٔ ابزارهای تشخیصی، متغیرهای آکوستیک مختلفی معرفی شده که می‌تواند به وجود دیزآرتری حساس باشد و در این زمینه مطالعات مختلفی انجام شده است. این متغیرها شامل: فرکانس پایه (F0)، فرکانس‌های فرمنت اول و دوم (F1, F2)، حرکت F1 و F2، دیرش آوایی[۱۷]، زمان شروع واک[۱۸]، مساحت فضای واکه‌ای[۱۹] (VAS)، الگوی پراکندگی واکه، شاخص تولید واکه[۲۰] (VAI) نسبت مرکزی شدگی فرمنت[۲۱] (FCR) و شیب F2[۲۲] است (Johnson, & Perlman, 2011; Lee et al., 2017; Mefferd & Kim, Hasegawa ـ

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]
[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

Dietrich, 2019; Mou et al., 2019; Turner et al., 1995; Whitfield et al., 2018; Whitfield & Mehta, 2019)

با این حال مشخص نیست کدام شاخص‌های آکوستیکی تولید، ارتباط قوی‌تری با وضوح گفتار دارد (Allison et al., 2017). لنسفورد (۲۰۱٤) در مطالعهٔ خود، تعداد زیادی از متغیرهای آکوستیک مرتبط با فرمنت را بررسی و عنوان کردند که حساس‌ترین سنجه‌ها که به تفاوت بین گروه‌های افراد با و بدون دیزآرتری حساس است، الگوی پراکندگی واکهٔ قدامی و فضای واکه‌ای است (Lansford & Liss, 2014).

نتایج برخی از پژوهش‌ها حاکی از وجود هم‌بستگی قوی بین فضای واکه‌ای و وضوح گفتار در افراد دارای دیزآرتری است. به‌طوری که فضای واکه‌ای کوچک‌تر باعث تمیز ضعیف‌تر بین واکه‌ها و درنتیجه وضوح کم‌تر گفتار می‌شود (Al ـ Tamimi & Ferragne, 2005; DuHadway & Hustad, 2012; Higgins & Hodge, 2002; Lee & Hustad, 2013; Weismer, Jeng, Laures et al., 2001). در این مطالعات زمانی که مقادیر F1, F2 در افراد دارای دیزآرتری مورد بررسی قرار گرفت، الگوی پراکندگی آن تمایل به مرکزی شدگی و نزدیک‌تر شدن به واکهٔ خنثی[۲۳] داشت. این مرکزی‌شدگی الگوی واکه‌ها به شدت به اندازهٔ فضای واکه‌ای آکوستیک مرتبط است. فضای واکه‌ای یکی از سنجه‌های آکوستیک است که به تفاوت بین گروه‌ها حساس است. برای مثال پترسون و بارنی در سال ۱۹۵۲ نشان دادند که فرکانس‌های فرمنت واکه‌ای با توجه به سن و جنس (مرد، زن، بچه) متفاوت است (Weismer et al., 2001) و زمانی که مرکزی‌شدگی بیشتری در سیستم واکه‌ای وجود داشته باشد، فضای واکه‌ای کوچک‌تر می‌شود (Green et al., 2013). در مطالعات روی بزرگسالان مبتلا به دیزآرتری که غالباً شامل افراد مبتلا به پارکینسون و ALS بوده است، شواهدی از متمرکز شدن واکه‌ها[۲٤] و کاهش دامنهٔ حرکات هم در فضای واکه‌ای و هم F2 حاصل شده است (Green et al., 2013; Kim et al., 2011; Lee et al., 2017; Liu, Tsao, & Kuhl, 2005; Mefferd & Dietrich, 2019; Turner et al., 1995; Weismer et al., 2001; Whitfield et al., 2018; Whitfield & Mehta, 2019; Yunusova et al., 2008). لنسفورد و همکاران با مطالعه روی ٤۵ فرد مبتلا به دیزآرتری و ۱۲ فرد طبیعی، الگوی پراکندگی واکهٔ قدامی و فضای واکه‌ای را در تشخیص دیزآرتری مهم می‌دانند، اما همین

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]
[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

شاخص‌ها را برای تمیز بین انواع دیزآرتری براساس طبقه‌بندی موجود معتبر نمی‌دانند (Lansford & Liss, 2014). با وجود این، نتایج مطالعات دربارهٔ رابطهٔ بین فضای واکه‌ای و وضوح گفتار افراد و رابطهٔ بین شاخص‌های تمرکز واکه‌ها و نمرات ادراکی از شدت دیزآرتری ضد و نقیض است (Fletcher et al., 2017). برای مثال کیم و همکاران معتقدند میزان وضوح گفتار در دیزآرتری بیشتر از آنکه با فضای واکه‌ای مرتبط باشد با میزان هم‌پوشانی[۲۵] واکه‌ها مرتبط است (Kim et al., 2011) و برخی مطالعات نتوانسته‌اند رابطهٔ معنادار آماری بین گفتار طبیعی و دیزآرتری درمورد برخی شاخص‌های آکوستیکی واکه‌ها مانند فضای واکه‌ای پیدا کنند، گرچه میل به سمت مرکزی شدن واکه‌ها در گفتار این افراد در مطالعات آنان نیز مشخص بوده است (Bunton & Weismer, 2001; Sapir et al., 2010; Sapir et al., 2007; Weismer et al., 2001).

نتایج مطالعات پیشین گویای آن است که با وجود یکسان بودن برخی واکه‌ها در زبان‌های مختلف، جایگاه قرارگیری آن‌ها در فضای واکه‌ای پدیده‌ای زبان‌ویژه است. برای مثال واکه‌ها در سه زبان فرانسوی، عربی مراکشی و عربی اردنی در سطح هجا و به تنهایی دارای جایگاه یکسانی هستند، اما در سطح واژه جایگاه‌های متفاوتی دارند (Al ـ Tamimi & Ferragne, 2005). از آنجا که تعداد واکه‌ها، ویژگی‌های تولیدی و آکوستیکی آن‌ها در زبان‌ها و حتی لهجه‌های مختلف یک زبان متفاوت است (Jacewicz et al., 2011)، بنابراین فضای واکه‌ای در آن‌ها تفاوت خواهد داشت. در شرایط طبیعی برخی موارد مانند جنسیت و سن نیز می‌تواند بر مساحت فضای واکه‌ای افراد اثر بگذارد (Vorperian & Kent, 2007) که به‌دلیل اثر طول چین‌های صوتی (Watt & Fabricius, 2002) و تغییر طول لولهٔ صوتی است. تغییر بلندی صدای فرد نیز می‌تواند بر شاخص‌های اندازه‌گیری حرکتی[۲۶] واکه‌ها و فضای واکه‌ای و نیز همخوان‌ها مؤثر باشد (Whitfield et al., 2018) و وضوح گفتار فرد را تحت تأثیر قرار دهد (Turner et al., 1995). عوامل دیگری که می‌تواند به‌عنوان متغیرهای بین فردی موجب تفاوت و تاثیرگذاری در نتایج مطالعات مختلف شود عبارت‌اند از: شدت و پاتوفیزیولوژی دیزآرتری، ماهیت آزمون گفتاری، روش‌های خاص اندازه‌گیری واکه، محیط آوایی که واکه در آن تولید و فضای واکه‌ای برایش محاسبه می‌شود (Rosen et al., 2008; Yunusova et al., 2008;

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]
[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

Lee et al., 2014). بنابراین داده‌های بزرگسالان مبتلا به دیزآرتری برای کودکان قابل استفاده نیست، زیرا هم طول لولهٔ صوتی کودکان متفاوت است و هم بهبود کنترل حرکتی با افزایش سن می‌تواند دقت تولید را بهبود بخشد (Vorperian & Kent, 2007).

با درنظر گرفتن عوامل فوق و علی‌رغم تعداد زیاد کودکان فلج مغزی در ایران، تا آنجا که می‌دانیم تاکنون هیچ مطالعه‌ای در زمینهٔ ویژگی‌های آکوستیکی گفتار کودکان فارسی‌زبان دارای دیزآرتری انجام نشده است، لذا این مطالعه با درنظر گرفتن برخی عوامل تأثرگذار بر وضوح گفتار و فضای واکه‌ای مانند نوع فلج مغزی، سن، جنسیت و نوع محرک (کلمه)، به بررسی وضوح گفتار، فضای واکه‌ای و رابطهٔ فضای واکه‌ای و برخی شاخص‌های دیگر آکوستیکی با وضوح گفتار در کودکان فارسی زبان ۳ تا ۹ سالهٔ مبتلا به دیزآرتری ناشی از فلج مغزی اسپاستیک[۲۷] می‌پردازد.

۴.روش و ابزار تحقیق

در مطالعهٔ مقطعی حاضر، ۱۱ کودک مبتلا به دیزآرتری ناشی از فلج مغزی اسپاستیک به روش در دسترس از کلینیک‌های توان‌بخشی شهر سمنان و ۱۱ کودک سالم همتای سنی و جنسیتی از مهد کودک‌ها و مدارس این شهر انتخاب شدند. میانگین سنی در گروه مبتلا به دیزآرتری ٥.٦ سال و در گروه سالم ٥.٧ سال بود. معیار ورود کودکان فلج مغزی به مطالعه عبارت بود از وجود دیزآرتری خفیف تا متوسط ناشی از فلج مغزی اسپاستیک، سن ۳ الی ۹ سال تمام، توانایی تولید تک‌کلمات و معیار خروج همهٔ کودکان عبارت بود از وجود مشکلات همراه مانند مشکلات شنوایی، کم‌توانی ذهنی، آپراکسی گفتار، دوزبانگی، اختلالات بلع، اختلال در تولید همخوان‌های موجود در کلمات آزمون، آنومالی‌های مادرزادی دهانی ـ چهره‌ای و شکاف کام.

ابتدا ۱۲ کلمهٔ تک‌هجایی با ساختار CVC شامل ۲ کلمه برای هریک از ٦ واکهٔ موجود در زبان فارسی که از نظر همخوان‌های موجود داری سادگی تولید و کم‌اثر بر واکهٔ میانی بود توسط یک زبان‌شناس و یک آسیب‌شناس گفتار و زبان انتخاب شد. این فهرست شامل کلمات «بال، باد، لیف، بیل، دود، دوغ، لپ، دو، در، لب، دِل، بِه» بود. قبل از شروع آزمون، تصاویر آزمون که روی یک صفحهٔ A4 در کنار هم قرار داشت یکبار توسط درمانگر بیان می‌شد تا

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]
[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

کودک با آن‌ها آشنا شود و سپس کلمات را در محیطی ساکت با نویز کم‌تر از ۲۰ دسی بل و با بلندی معمول محاوره خود بیان کند. هر کلمه ۲ بار بیان می‌شد، بنابراین برای هر واکه ٤ کلمه بیان می‌شد که ۳ مورد از آن‌ها برای تحلیل فورمنتی انتخاب می‌شد. داده‌های صوتی توسط دستگاه ضبط صوت[۲۸] مدل Sony ICD ـ PX440 که در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از دهان کودک قرار داشت ضبط می‌شد، سپس از طریق نرم‌افزار PRAAT ورژن 6.1.30 بخش وسط واکه‌ها به مدت حدود ۰/۰۵ ثانیه انتخاب و سپس فرمنت‌های آن تحلیل و مقایسه می‌شد.

در مرحلهٔ بعد کلمات بیان‌شده توسط هر کودک، در اختیار افراد بزرگسال ناآشنا با کودک فاقد مشکل شنوایی یا زبانی قرار گرفت تا بعد از شنیدن هر کلمه آن را یادداشت کنند. این کار در محیطی به دور از صدا انجام می‌شد و کلمات بیان‌شده توسط هر کودک برای ارزیابی و امتیازدهی در اختیار ۲ بزرگسال فاقد هرگونه مشکل شنوایی و زبانی قرار می‌گرفت. بین ارائهٔ محرک‌ها با نرم‌افزار PRAAT حدود ۲ ثانیه فاصلهٔ زمانی بود تا از تداخل کلمات جلوگیری شود. از ارزیابان درخواست می‌شد تا هرآنچه را بیان می‌شود و می‌شنوند که ممکن است کلمه یا ناکلمه باشد یادداشت کنند. ترتیب کلماتی که ارائه می‌شد به‌صورت تصادفی بود و الگوی یکسانی نداشت. شنوندگان اجازه داشتند هر کلمه را هر چند بار می‌خواهند گوش دهند، اما وقتی آن را یادداشت کردند اجازهٔ بازگشت و تصحیح نداشتند. آنگاه محققان براساس میانگین تعداد کلمات صحیح یادداشت‌شده و تعداد واکه‌های صحیح تشخیص داده‌شده توسط بزرگسالان، درصد وضوح شنیداری واکه‌ها و میزان وضوح گفتار را برای هر کودک مشخص می‌ساختند. سپس دو گروه کودکان از نظر فضای واکه‌ای و میزان وضوح گفتار مورد مقایسه قرار می‌گرفتند.

گفتنی است نمونه‌گیری پس از کسب کد اخلاق با شمارهٔ IR.SEMUMS.REC. 1399.046 از دانشگاه علوم پزشکی سمنان و کسب رضایت آگاهانه از والدین کودکان انجام شد و به مشارکت‌کنندگان درمورد محرمانه ماندن اطلاعاتشان اطمینان داده شد.

از شاخص‌های آمار مرکزی و پراکندگی در بخش آمار توصیفی و از آزمون من ویتنی و ضریب هم‌بستگی اسپیرمن در بخش آمار تحلیلی استفاده شد.

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]
[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

۵.تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این مطالعه در هر گروه کودکان با گفتار طبیعی و دیزآرتری ٤ دختر و ۷ پسر با حداقل سن ۳.۵ و حداکثر سن ۹ سال شرکت داشتند. میانگین سنی در کودکان دارای دیزآرتری ۱.۹±۵.٦ سال و در گروه دارای گفتار طبیعی ۱.۸±۵.۷ سال بود که تفاوت معناداری بین آن‌ها وجود نداشت ($p>0.05$). از نظر سیستم طبقه‌بندی حرکات درشت (GMFCS)[۲۹]، سه نفر از کودکان فلج مغزی در سطح ۲، پنج نفر در سطح ۳ و سه نفر در سطح ٤ بودند و از نظر تعداد اندام‌های درگیر ۵ نفر دای‌پلژی، ۲ نفر تری‌پلژی و ٤ نفر تتراپلژی بودند.

میانگین و انحراف معیار فرمنت هر یک از ٦ واکهٔ زبان فارسی در هر یک از گروه‌های کودکان مبتلا به دیزآرتری اسپاستیک و طبیعی در جدول ۱ به تفکیک سن گزارش شده است. از آنجا که با افزایش سن و درنتیجه طول لولهٔ صوتی و مهارت حرکتی کودکان نتایج در تولید تغییر می‌یابد، لذا کودکان مورد بررسی در این مطالعه به ۲ گروه ۳/٦ تا ٦ سال و ٦ تا ۹ سال طبقه‌بندی شدند. برای مقایسهٔ واکه‌ها در کودکان دارای دیزآرتری با همتایان سنی سالم خود، از آزمون من ویتنی با سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد که نتایج آن در جدول ۱ ذکر شده است و همانطور که از جدول مشخص است، تفاوت معنادار بین دو گروه فقط در کودکان ۹ ـ ٦ ساله در فرمنت اول واکه‌های /i/ و /æ/، فرمنت دوم واکه /æ/ و همچنین فرمنت سوم واکه‌های /e/ و /a/ وجود دارد.

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار فرمنت واکه‌ها

Table 1. Mean and Standard Deviation of Vowel Formants

		واکه /a/			واکه /u/			واکه /i/		
		Mean(SD)								
		F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3
کودکان ٦ ـ ۳.٦ ساله	دیزآرتری (N=4)	۸۸۵/۹ (۱۸۲/۷۱)	۱۵۰۸/۳۸ (۱٤۷/۱٤)	۳٤۰۰/۲۳ (۷۳۵/۱۸)	۵۳٤/۵۲ (۱٤۱/۲۲)	۱۳۲٦ (۲۲۸/۷۵)	۳۲۹۰/۷۱ (٤۵۱/۵۷)	۵٤۸/۳۸ (۱٤۲/۳۳)	۲٤٦٦/٤۷ (٦۳۸/۹)	۳۵۷٤/۳۳ (۳۸٤/۲٤)
	طبیعی (N=٤)	۹۵۵/۷٦ (۱۰۲/۱۷)	۱۵۵۹/۰۹ (۱۷۷/۵۵)	۳۵۵۲/۲۳ (۲۷٦/۳)	٤٦۷/٦٦ (۸۷/۰۳)	۱۱۳۹/۹۵ (۱۳۳/۰۳)	۳٤۲۳/۳۸ (۲۹۵/٦٦)	٤۵۱/۹۹ (۸۰/۲۱)	۲۹٦۸/۵۲ (۲۸۲/۷۵)	۳۷۳٦/۰٤ (۲۱۹/۸۷)

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]
[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

		واکه /a/			واکه /u/			واکه /i/		
		Mean(SD)								
		F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3
	Z	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۴۴	۰/۹۵	۱/۷۲	۰/۵۷	۱/۳۴	۱/۵۹	۰/۸۳
	P	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۶۵	۰/۳۳	۰/۸۵	۰/۵۶	۰/۱۷	۰/۱۱	۰/۴
کودکان ۶-۹ ساله	دیزآرتری (N=۷)	۸۶۱/۵۸ (۷۸/۱۵)	۱۵۴۹/۰۸ (۱۶۶/۳۹)	۲۷۱۶/۰۸ (۷۹۲/۸۱)	۶۰۳/۹۱ (۶۷/۳۷)	۱۲۲۰/۵ (۱۷۴/۰۵)	۳۲۶۹/۶۶ (۴۷۵/۵)	۵۴۴/۵۸ (۳۷/۲)	۲۶۸۶/۲۵ (۵۱۹/۷)	۳۵۱۹/۴ (۱۲۶/۷)
	طبیعـــی (N=7)	۹۱۷/۸۳ (۱۹/۶۶)	۱۴۱۳/۶۶ (۱۲۳/۶۱)	۳۷۳۱/۶۶ (۱۰۷/۷۴)	۴۵۲/۵ (۱۳۵/۴۷)	۱۱۰۹/۹۱ (۱۷۶/۱۱)	۳۴۷۰ (۲۱۶/۱۲)	۴۱۸/۵ (۴۵/۶۹)	۳۱۵۰/۰۸ (۱۸۱/۳۶)	۳۷۲۸/۸۳ (۱۱۴/۱۶)
	Z	۱/۷۳	۱/۱۵	۲/۳	۱/۴۴	۰/۸۶	۰/۵۷	۲/۳	۱/۷۳	۱/۷۳
	P	۰/۸۳	۰/۲۴	۰/۰۲*	۰/۱۴	۰/۳۸	۰/۵۶	۰/۰۲*	۰/۰۸	۰/۰۸
کودکان ۶-۳.۶ ساله	دیزآرتری (N=4)	۱۰۴۸ (۱۳۸/۸۳)	۱۹۴۳/۸ (۳۰۷/۸۳)	۳۵۳۴/۰۹ (۵۳۳/۱۵)	۶۴۱/۸۵ (۱۳۴/۵۵)	۱۴۲۱/۲۳ (۲۱۹/۱۳)	۳۲۵۹/۱۹ (۵۱۶/۷۶)	۷۴۲ (۱۰۴/۲)	۲۲۰۲/۲۳ (۵۳۸/۷۹)	۳۴۳۴/۱۹ (۵۰۶/۶۹)
	طبیعی (N=۴)	۱۱۲۷/۵۲ (۱۴۱/۴۹)	۲۰۱۹/۴۱ (۴۶۸/۷۸)	۳۱۷۵/۵۷ (۶۶۷/۴۱)	۶۴۴ (۱۱۱/۰۶)	۱۱۷۲/۲۸ (۲۵۶/۱۸)	۳۴۲۴/۷۶ (۳۸۶/۹۷)	۶۹۷/۸ (۸۴/۴۶)	۲۲۳۸/۶۱ (۶۰۱/۴۵)	۳۳۰۴/۴۲ (۴۶۷/۷۶)
	Z	۰/۹۵	۰/۳۱	۱/۲۱	۰/۰۶	۱/۵۹	۰/۵۷	۰/۸۳	۰/۳۲	۰/۵۷
	P	۰/۳۳	۰/۷۴	۰/۲۲	۰/۹۴	۰/۱۱	۰/۵۶	۰/۴	۰/۷۴	۰/۵۶
کودکان ۶-۹ ساله	دیزآرتری (N=۷)	۹۶۳/۵۸ (۱۷۰/۹۷)	۱۷۵۶/۸۳ (۳۴۴/۷۸)	۲۹۱۶/۵ (۳۷۱/۰۹)	۶۸۷/۰۸ (۹۷/۵۲)	۱۲۶۴/۹۱ (۱۹۴/۸۷)	۳۱۲۲/۳۳ (۴۱۸/۱۴)	۶۱۸/۱۶ (۴۴/۲۵)	۱۹۹۱/۲۵ (۵۸۷/۵۶۹)	۲۹۵۵/۴۱ (۲۳۷/۲۱)
	طبیعی (N=7)	۱۲۰۸/۲۵ (۱۰۶/۰۷)	۲۲۷/۵ (۱۱۹/۰۵)	۳۴۳۸/۹۱ (۴۱۱/۷۴)	۵۹۹/۰۸ (۲۹/۰۸)	۱۱۲۹/۶۶ (۹۰/۴۹)	۳۶۱۲/۰۸ (۳۶۸/۰۸)	۶۲۶/۰۸ (۴۲/۱۵)	۲۶۲۲/۴۱ (۴۰۴/۵۵)	۳۵۳۳/۴۱ (۳۹۱/۸۲)
	Z	۲/۰۲	۲/۳	۱/۷۳	۱/۱۵	۰/۸۶	۱/۴۴	۰/۲۸	۱/۷۳	۲/۰۲
	P	۰/۴۳*	۰/۰۲*	۰/۰۸	۰/۲۴	۰/۳۸	۰/۱۴	۰/۷۷	۰/۰۸	۰/۴۳*

درصد وضوح واکه‌ها و کلمات و شاخص تولید واکه (VAI) و نسبت مرکزی شدن فرمنت (FCR) نیز برای هر دو گروه از کودکان در جدول ۲ مشخص شده است. برای محاسبهٔ هر یک از شاخص‌ها از فرمول‌های زیر استفاده شد:

فضای واکه‌ای: VSA= abs((F1i*(F2a ـ F2i)+F1u*(F2i ـ F2u)+F1a*(F2u ـ F2a))/2)که برای کوچک‌تر شدن اعداد، از آن لگاریتم گرفته شد.

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]
[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

شاخص تولید واکه: VAI= (F2i+F1a)/(F1i+F1u+F2u+F2a)

نسبت مرکزی شدن فرمنت: FCR= (F2u+F2a+F1i+F1u)/(F2i+F1a)

با آزمون من ویتنی وضوح گفتار در سطح تک‌کلمات و واکه، شاخص‌های آکوستیکی فضای واکه‌ای، شاخص تولید واکه و نسبت مرکزی‌شدگی فرمنت در دو گروه مقایسه شد. همانطور که نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد، وضوح کلمه و واکه در دو گروه به‌طور معناداری متفاوت است و همهٔ شاخص‌های آکوستیکی نیز تفاوت معناداری در دو گروه نشان می‌دهد.

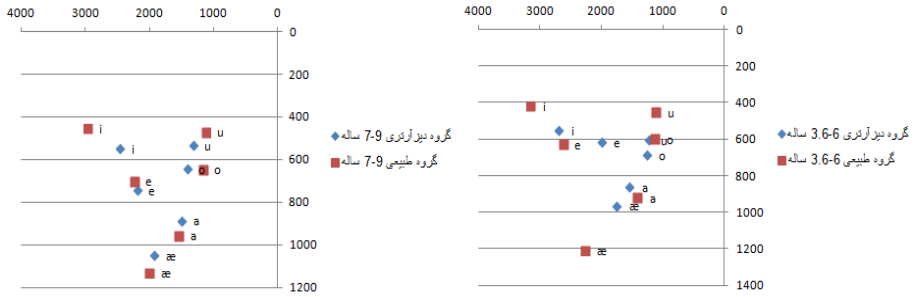
جدول۲. مقایسهٔ درصد وضوح، فضای واکه‌ای، شاخص تولید واکه و نسبت مرکزی شدن فرمنت در کودکان دارای دیزآرتری و گفتار طبیعی

Table 2. Comparing the Intelligibility Percentage, Vowel Space, Vowel Articulation Index and Formant Centralization Ration in Children with Dysarthria and Normal Speech

	وضوح واکه	وضوح کلمه	لگاریتم فضای واکه ای	شاخص تولید واکه	نسبت مرکزی شدن فرمنت
	Mean(SD)				
گروه دیزآرتری (N=11)	۸۰/۷٦ (۲۳/۳٦)	٥۱/٤۷ (۲٤/۱۳)	٥/۱٥ (۰/٥۲)	۰/۸۸ (۰/۱۷)	۱/۰۱ (۰/۲٤)
گروه طبیعی (N=11)	۹۸/۲۲ (۲/۸٦)	۸۹/۱ (۸/۳۸)	٥/٦٤ (۰/۱۲)	۱/۱۳ (۰/۱)	۰/۷۷ (۰/۰۷)
Z	۳/۱۷	۳/۳۹	۳/٤٤	۳/۰٥	۳/٥۷
P	۰/۰۰۱ *	≤۰/۰۰۱ *	≤۰/۰۰۱ *	≤۰/۰۰۱ *	۰/۰۰۱ *

فضای واکه‌ای برای ٦ واکه فارسی در گروه کودکان طبیعی و دارای دیزآرتری به تفکیک سن در تصویر ۱ ترسیم شده است. همانطور که از تصاویر مشخص است فضای واکه‌ای که در این مطالعه براساس واکه‌های کناری /a/، /i/ و /u/ محاسبه شده است، در گروه دارای دیزآرتری کوچک‌تر از گروه طبیعی است.

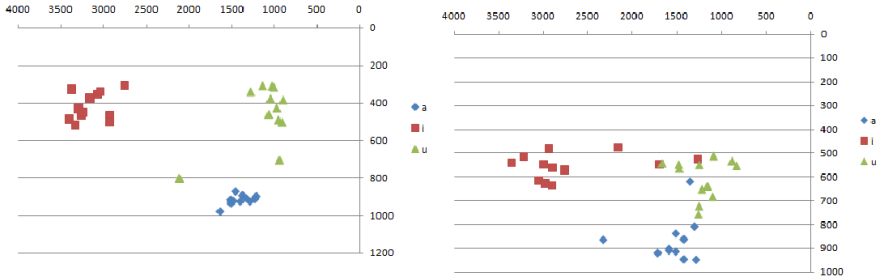
[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]
[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]



تصویر ۱. فضای واکه‌ای در دو گروه کودکان دارای دیزآرتری و طبیعی بر حسب هرتز

Figure 1. Vowel Space in Children with Dysarthria and Normal Speech in Hertz

پراکندگی تولید واکه‌های /a/، /u/ و /i/ نیز به‌عنوان تحلیلی اضافی در این تحقیق، به تفکیک گروه سنی با نمودار اسکترپلات در تصاویر ۲و۳ نمایش داده شده است و همانطور که مشخص است در هر دو گروه سنی پراکندگی بیشتری در تولید واکه‌های گروه دارای دیزآرتری در مقایسه با کودکان طبیعی دیده می‌شود.

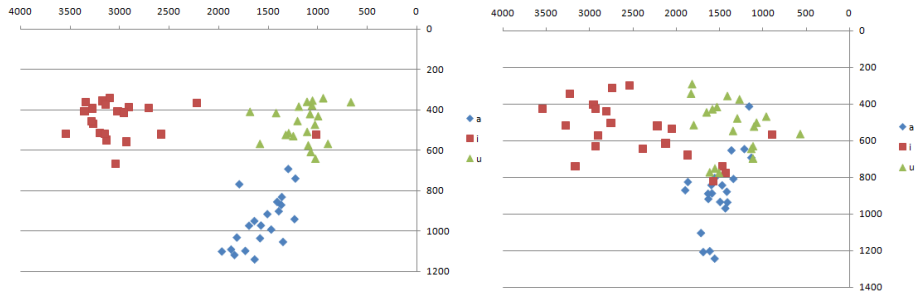


تصویر ۲. مقایسهٔ پراکندگی سه واکهٔ کناری در دو گروه ٦ ـ ٣.٦ ساله

(سمت راست دیزآرتری، سمت چپ طبیعی)

Figure 2. Comparing Dispersion of the Three Lax Vowels in 3.6 to 6 Years Old Children Groups (right: dysarthria, left: normal)

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]
[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]



تصویر ۳. مقایسهٔ پراکندگی سه واکه کناری در دو گروه ۹ ـ ٦ ساله
(سمت راست دیزآرتری، سمت چپ طبیعی)

Fig3. Comparing Dispersion of the Three Lax Vowels in 6 to 9 Years Old Children Groups (right: dysarthria, left: normal)

با استفاده از آزمون ضریب هم‌بستگی اسپیرمن، رابطهٔ بین برخی شاخص‌های آکوستیکی واکه‌ها با وضوح گفتار مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ٤ مشخص شده است. همانطور که مشخص است بین همهٔ شاخص‌ها و وضوح واکه و کلمه رابطهٔ معنادار متوسطی وجود دارد که این رابطه برای VSA و VAI مستقیم و برای FCR معکوس است.

جدول۳. هم‌بستگی بین وضوح گفتار و واکه با فضای واکه‌ای، شاخص تولید واکه و نسبت مرکزی شدن فرمنت در شرکت‌کنندگان

Table 3. Correlation between Speech and Vowel Intelligibility and Vowel Space, Vowel Articulation Index and Formant Centralization Ration in Children with Dysarthria and Normal Speech

		فضای واکه‌ای	شاخص تولید واکه	نسبت مرکزی شدن فرمنت
وضوح واکه	r	۰/٦٥	۰/٦٢	ـ ۰/٥٥
	P	۰/۰۰۱ ٭	۰/۰۰۲ ٭	۰/۰۰۸ ٭
وضوح کلمه	r	۰/٦۹	۰/٦٢	۰/٥٢
	P	≤۰/۰۰۱ ٭	۰/۰۰۲ ٭	۰/۰۱ ٭

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]
[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

۶. بحث و نتیجه‌گیری

هرچند خرابگویی واکه‌ها یکی از ویژگی‌های تولیدی در دیزآرتری است (Duffy, 2019)، اما ماهیت حرکتی این خرابگویی و میزان تأثیر آن بر وضوح گفتار مشخص نیست. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد بین فرمنت واکه‌ها در کودکان مبتلا به دیزآرتری خفیف تا متوسط ۳.٦ تا ٦ ساله تفاوت معناداری بین فرمنت واکه‌ها وجود نداشت، اما این تفاوت در کودکان ۹ ـ ٦ ساله در فرمنت برخی واکه‌ها بین دو گروه معنادار بود. درواقع به نظر می‌رسد با افزایش سن و تکامل سیستم آوایی کودکان طبیعی، تفاوت بین تولید واکه‌ها بین دو گروه مشهودتر می‌شود. زیرا افزایش سن با بهبود کنترل حرکتی همراه است که می‌تواند دقت تولید را بهبود ببخشد (Vorperian & Kent, 2007) و در سنین کم، بی‌ثباتی و تغییرپذیری در تولید بیشتر است (Smith & Zelaznik, 2004). تفاوت معنادار یافت‌شده بین دو گروه کودکان ۹ ـ ٦ ساله مربوط به فرمنت اول واکه‌های /i/ و /æ/، فرمنت دوم واکه /æ/ و همچنین فرمنت سوم واکه‌های /e/ و /a/ بود. این تفاوت‌ها به‌دلیل مشکلات کنترل حرکتی و تون بالا در ناحیهٔ لب در کودکان فلج مغزی اسپاستیک است که شکل لب‌ها را حین تولید این واکه‌ها دستخوش تغییر می‌کند. در مطالعهٔ حاضر جایگاه قرارگیری زبان فقط در واکه /æ/ متفاوت بود، اما ارتفاع و برافراشتگی آن در واکه‌های /e/ و /a/ تفاوت معناداری داشت که به‌دلیل محدودیت در حرکت و کنترل مناسب فک است. این تفاوت مشاهده‌شده در ارتفاع زبان حین تولید واکهٔ کناری /a/ در زبان چینی در مطالعهٔ مو و همکاران نیز یافت شد، اما فرمنت سوم بین دو گروه تفاوتی نداشت که می‌تواند ناشی از تفاوت‌های تولید واکه در زبان‌های مختلف باشد. در مطالعهٔ مذکور، فرمنت F1 و F2 واکه /a/ و F2 واکه /i/ بین دو گروه کودکان دارای دیزآرتری و طبیعی تفاوت معنادار داشت (Mou et al., 2019). در مطالعهٔ حاضر هرچند تفاوت معناداری بین فرمنت‌ها در کودکان کم سن‌تر دیده نشد، اما در بررسی و مقایسهٔ فضای واکه‌ای بین دو گروه کودکان دارای گفتار طبیعی و دیزآرتری، فضای واکه‌ای کودکان ۹ ـ ۳.٦ دارای دیزآرتری به‌طور معناداری کوچک‌تر از کودکان طبیعی بود و تحلیل اضافی برحسب زیرگروه‌های سنی نشان داد این نتیجه برای هر دو گروه سنی ٦ ـ ۳.٦ سال و ۹ ـ ٦ سال نیز صادق است. این یافته همسو با مطالعات مختلفی است که مرکزی شدن فرمنت‌ها و یا فشردگی فضای واکه‌ای را در افراد مبتلا به دیزآرتری نشان داده‌اند (DuHadway & Hustad, 2012; Liu et al., 2005; Weismer et al., 2001; Zlegler & von Cramon,

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]
[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

1983). طبق یافته‌های الیسون و همکارن، کودکان دارای دیزآرتری هم در کلمات و هم در جملات، فضای واکه‌ای کوچک‌تری داشتند (Allison et al., 2017). اما برخی مطالعات نیز رابطهٔ آماری معناداری بین برخی معیارهای آکوستیکی واکه‌ها مانند فضای واکه‌ای در گفتار دیزآرتری و طبیعی نیافته‌اند (Bunton & Weismer, 2001; Sapir et al., 2010; Sapir et al., 2007; Weismer et al., 2001). شاید یک دلیل برای این یافته‌های متناقض درمورد فضای واکه‌ای این باشد که این پارامتر به متغیرهای بین‌فردی مانند جنسیت و سن (که بر طول و شکل لولهٔ صوتی اثرگذار است)، پاتوفیزیولوژی و شدت دیزآرتری و ماهیت آزمون گفتاری مورد استفاده بسیار حساس است (Sapir et al., 2010). مثلاً در مطالعهٔ لی و همکاران تغییر فضای واکه‌ای بین ٤ تا ٦ سالگی به شدت دیزآرتری بستگی داشت (Lee & Hustad, 2013). بنابراین همگنی شرکت‌کنندگان می‌تواند بر نتیجهٔ مطالعات اثر بگذارد. به‌علاوه همانطور که از تصاویر ۳ و ٤ مشخص است پراکندگی تولید واکه‌ها در کودکان دارای دیزآرتری نیز بیش از کودکان طبیعی است که به‌دلیل مشکلات کنترل حرکتی[۳۰] در آن‌هاست.

در مطالعهٔ حاضر وضوح گفتار در کودکان دارای دیزآرتری هم در واکه‌ها و هم در کلمات به‌طور معناداری کم‌تر از کودکان سالم بود. هرچند لوی و همکاران در مطالعهٔ خود که به مقایسهٔ وضوح واکه‌ها در زبان انگلیسی پرداختند، علی‌رغم اینکه ذکر کردند کودکان فلج مغزی در ادای برخی واکه‌های قدامی وضوح کم‌تری داشتند، اما تفاوت معناداری بین وضوح واکه‌ها در این دو گروه از کودکان نیافتند (Levy et al., 2016). کاهش وضوح گفتار در افراد دارای دیزآرتری می‌تواند به‌دلیل تداخل واکه‌های طرفی با میانی به‌دلیل محدود شدن فضای واکه‌ای باشد (Higgins & Hodge, 2002; Lee et al., 2014). در مطالعهٔ حاضر نیز بین فضای واکه‌ای و وضوح گفتار رابطهٔ معناداری مشاهده شد. هرچند برخی مطالعات دیگر نیز مانند مطالعهٔ حاضر هم‌بستگی بین فضای واکه‌ای و نمرات وضوح گفتار را نشان داده‌اند (Liu et al., 2005; Weismer et al., 2001) اما با وجود این در مطالعات مختلف رابطهٔ بین وضوح گفتار و فضای واکه‌ای متفاوت گزارش شده است مثلاً کیم و همکاران گزارش کردند که وضوح گفتار بیش از آنکه با فضای واکه‌ای مرتبط باشد با همپوشانی واکه‌ها مرتبط است (Kim et al., 2011). مکرا و جادن نیز فضای واکه‌ای را پیش‌بینی‌کنندهٔ خوبی برای وضوح گفتار نیافتند

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]
[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

(McRae et al., 2002; Tjaden & Wilding, 2004). بنابراین در برخی مطالعات استفاده از شاخص‌های آکوستیکی دیگری مطرح شده است تا حساسیت بیشتری به وضوح گفتار داشته باشد. بنابراین در مطالعهٔ حاضر هم‌بستگی شاخص تولید واکه و نسبت مرکزی‌شدگی فرمنت نیز با وضوح گفتار مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد وضوح کلمات و واکه‌ها با هر سه شاخص آکوستیکی ارزیابی واکه VAI، VSA و FCR هم‌بستگی معناداری داشت. این یافته همسو با نتایج مطالعه مو و همکارانش در بررسی پارامترهای آکوستیکی مختلف برای ارزیابی وضوح گفتار کودکان چینی زبان دارای فلج مغزی است که نتیجه گرفتند هر سه شاخص آکوستیکی VAI، FCR و VSA از حساسیت کافی برخوردارند و می‌توان از آن‌ها برای ارزیابی وضوح گفتار ناشی از آسیب تلفظ واکه و بررسی تأثیر درمان استفاده کرد (Mou et al., 2019). با وجود این در مطالعهٔ ساپیر و همکاران که به بررسی VSA، FCR و نسبت F2i به F2u در بزرگ‌سالان مبتلا به دیزآرتری و پارکینسون پرداختند، فضای واکه‌ای شاخص مناسبی نبود، اما FCR برخلاف VSA، شاخصی بود که توانایی تمیز افراد مبتلا به دیزآرتری از طبیعی را داشت و نسبت به جنسیت حساس نبود (Sapir et al., 2010). اسکودا و همکارانش نیز در مطالعهٔ خود شاخص VAI را که عکس شاخص FCR است، شاخصی مناسب برای تشخیص افراد دارای دیزآرتری از گفتار طبیعی گزارش کرده‌اند و مانند ساپیر و همکارانش این شاخص‌ها را به‌عنوان معیاری دقیق‌تر از VSA برای تمایزگذاری خصوصاً در دیزآرتری خفیف می‌دانند (Skodda et al., 2011).

به‌طور کلی نتایج مطالعهٔ حاضر نشان می‌دهد خصوصاً با افزایش سن، فرمنت برخی واکه‌ها بین دو گروه کودکان دارای گفتار طبیعی و دیزآرتری ۳.٦ تا ۹ ساله به‌طور معناداری متفاوت است. همچنین پراکندگی و بی‌ثباتی بیشتری در تولید واکه‌ها در کودکان دارای دیزآرتری وجود دارد. مطالعهٔ حاضر نشان داد وضوح گفتار و فضای واکه‌ای در کودکان دارای دیزآرتری ناشی از فلج مغزی اسپاستیک ۳.٦ تا ۹ ساله به‌طور معناداری نسبت به همتایان سنی کاهش یافته و میزان وضوح واکه‌ها و کلمات، هم‌بستگی معنادار متوسطی با شاخص‌های آکوستیکی فضای واکه‌ای، شاخص صحت واکه و نسبت مرکزی‌شدگی فرمنت‌ها دارد. بنابراین به نظر می‌رسد از هر سه شاخص مذکور می‌توان برای بررسی وضوح گفتار در این کودکان استفاده کرد.

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]
[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

۷. پیشنهادات و محدودیت‌ها

به‌علت پاندمی کوید ـ ۱۹ و درنتیجه تعطیلی مدارس و خدمات حضوری مراکز توان‌بخشی، دست‌یابی به جامعهٔ هدف در مطالعهٔ حاضر با محدودیت‌های فراوانی روبه‌رو شد و به‌علت حجم نمونهٔ اندک این مطالعه، داده‌ها باید با احتیاط تفسیر شود. پیشنهاد می‌شود تا مطالعه در جمعیتی با حجم نمونهٔ بیشتر و محدودهٔ سنی کوچک‌تر در انواع مختلف دیزآرتری انجام شود و از تحلیل‌های آکوستیکی وسیع‌تر و فعالیت‌های گفتاری متنوع‌تری مثلاً در سطح جمله استفاده شود.

سپاسگزاری

این مطالعه در قالب طرح تحقیقاتی شمارهٔ ۱۷۵۷ انجام شده است، لذا از دانشگاه علوم پزشکی سمنان به‌دلیل حمایت مالی سپاسگزاریم. همچنین مراتب قدردانی خود را از خانم‌ها فائزه توزنده جانی، فاطمه سلطان محمدی و تمام کودکان و خانواده‌هایی که در این طرح همکاری داشتند اعلام می‌کنیم.

۸. پی‌نوشت‌ها

1. dysarthria
2. muscle tone
3. resonance
4. articulation
5. prosody
6. multiple sclerosis
7. cerebral palsy
8. cerebral palsy accident
9. brain trauma
10. amyotrophic lateral sclerosis
11. intelligibility
12. milestones
13. vowel space
14. lax vowels
15. segmental
16. suprasegmental

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]
[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

17. segmental duration
18. voice onset time
19. vowel space area
20. vowel articulation index
21. formant centralization ratio
22. f2 slope
23. schwa
24. centralization vowel
25. overlap
26. kinematic
27. pastic cerebral palsy
28. voice recorder
29. gross motor function classification system
30. motor control

۹. منابع

- Al-Tamimi, J. E., & Ferragne, E. (2005, September). Does vowel space size depend on language vowel inventories? Evidence from two Arabic dialects and French. In *Interspeech* (pp. 2465–2468).
- Allison, K. M., Annear, L., Policicchio, M., & Hustad, K. C. (2017). Range and precision of formant movement in pediatric dysarthria. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *60*(7), 1864– 1876.
- Allison, K. M., & Hustad, K. C. (2018). Acoustic predictors of pediatric dysarthria in cerebral palsy. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *61*(3), 462–478 .
- Bunton, K., & Weismer, G. (2001). The relationship between perception and acoustics for a high-low vowel contrast produced by speakers with dysarthria. *Journal of Speech, Language & Hearing Research, 44*, 1215–1228.
- Catford, J. C. (1988). *A practical introduction to phonetics:* Clarendon Press Oxford.
- De Bodt, M. S., Huici, M. E. H. - D. a., & Van De Heyning, P. H. (2002). Intelligibility as a linear combination of dimensions in dysarthric speech. *Journal of*

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]
[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

communication disorders, 35(3), 283–292.

- Duffy, J. R. (2019). *Motor speech disorders e - book: Substrates, differential diagnosis, and management.* Elsevier Health Sciences.
- DuHadway, C. M., & Hustad, K. C. (2012). Contributors to intelligibility in preschool - aged children with cerebral palsy. *Journal of Medical Speech - Language Pathology, 20*(4).
- Fletcher, A. R., McAuliffe, M. J., Lansford, K. L., & Liss, J. M. (2017). Assessing vowel centralization in dysarthria: A comparison of methods. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 60*(2), 341–354.
- Green, J. R., Moore, C. A., Higashikawa, M., & Steeve, R. W. (2000). The physiologic development of speech motor control: Lip and jaw coordination. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 43*(1), 239– 255.
- Green, J. R., Yunusova, Y., Kuruvilla, M. S., Wang, J., Pattee, G. L., Synhorst, L., & Berry, J. D. (2013). Bulbar and speech motor assessment in ALS: Challenges and future directions. *Amyotrophic Lateral Sclerosis and Frontotemporal Degeneration, 14*(7 - 8), 494 –500.
- Higgins, C., & Hodge, M. (2002). Vowel area and intelligibility in children with and without dysarthria. *Journal of Medical Speech - Language Pathology, 10*(4), 271 – 277 .
- Jacewicz, E., Fox, R. A., & Salmons, J. (2011). Regional dialect variation in the vowel systems of typically developing children.
- Kent, R. D., & Kim, Y. J. (2003). Toward an acoustic typology of motor speech disorders. *Clinical linguistics & phonetics, 17*(6), 427–445. doi:doi.org/10.1080/0269920031000086248
- Kim, H., Hasegawa - Johnson, M., & Perlman, A. (2011). Vowel contrast and speech intelligibility in dysarthria. *Folia Phoniatrica et Logopaedica, 63*(4), 187–194. doi:10.1159/000318881
- Lansford, K. L., & Liss, J. M. (2014). Vowel acoustics in dysarthria: Speech disorder

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]
[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

diagnosis and classification. https:// doi.org/10.1044/1092 - 4388(2013/12 - 0262)

- Lee, J., & Hustad, K. C. (2013). A preliminary investigation of longitudinal changes in speech production over 18 months in young children with cerebral palsy. *Folia Phoniatrica et Logopaedica, 65*(1), 32 – 39. https:// doi.org/10.1159/000334531
- Lee, J., Hustad, K. C., & Weismer, G. (2014). Predicting speech intelligibility with a multiple speech subsystems approach in children with cerebral palsy. Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 57(5), 1666–1678. https:// doi.org 10.1_۲۰۱۴/۰۴۴JSLHR - S - 13 - 0292
- Lee, J., Littlejohn, M. A., & Simmons, Z. (2017). Acoustic and tongue kinematic vowel space in speakers with and without dysarthria. *International Journal of Speech - Language Pathology, 19*(2), 195–204. https:// doi.org/ 10.1080/17549507.2016.1193899
- Levy, E. S., Leone, D., Moya Gale, G., Hsu, S. C., Chen, W., & Ramig, L. O. (2016). Vowel intelligibility in children with and without dysarthria: An exploratory study. *Communication Disorders Quarterly, 37*(3), 171–179.
- Liu, H. M., Tsao, F. M., & Kuhl, P. K. (2005). The effect of reduced vowel working space on speech intelligibility in Mandarin - speaking young adults with cerebral palsy. *The Journal of the Acoustical Society of America, 117*(6), 3879–3889.
- McRae, P. A., Tjaden, K., & Schoonings, B. (2002). Acoustic and perceptual consequences of articulatory rate change in Parkinson disease. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. https:// doi.org 10.1044/1092 - 4388(2002/003)
- Mefferd, A. S., & Dietrich, M. S. (2019). Tongue - and jaw - specific articulatory underpinnings of reduced and enhanced acoustic vowel contrast in talkers with Parkinson's disease. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 62*(7), 2118 -–2132. doi:10.1044/2019_JSLHR - S - MSC18 - 18 - 0192
- Mou, Z., Teng, W., Ouyang, H., Chen, Y., Liu, Y., Jiang, C., & Chen, Z. (2019). Quantitative analysis of vowel production in cerebral palsy children with dysarthria.

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]
[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

Journal of Clinical Neuroscience, 66, 77 –82.

- Rosen, K. M., Goozée, J. V., & Murdoch, B. E. (2008). Examining the effects of multiple sclerosis on speech production: does phonetic structure matter? *Journal of Communication Disorders, 41*(1), 49 –69.
- Sapir, S., Ramig, L. O., Spielman, J. L., & Fox, C. (2010). Formant centralization ratio: A proposal for a new acoustic measure of dysarthric speech. https:// doi.org 10.1044/1092 - 4388(2009/08 - 0184)
- Sapir, S., Spielman, J. L., Ramig, L. O., Story, B. H., & Fox, C. (2007). Effects of intensive voice treatment (the Lee Silverman Voice Treatment] LSVT]) on vowel articulation in dysarthric individuals with idiopathic Parkinson disease: acoustic and perceptual findings. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. https:// doi.org 10.1044/1092 - 4388(2007/064)
- Skodda, S., Visser, W., & Schlegel, U. (2011). Vowel articulation in Parkinson's disease. *Journal of voice, 25*(4), 467 –472.
- Smith, A., & Zelaznik, H. N. (2004). Development of functional synergies for speech motor coordination in childhood and adolescence. *Developmental psychobiology, 45*(1), 22–33. https:// doi.org 10.1002/dev.20009
- Tjaden, K., & Wilding, G. E. (2004). Rate and loudness manipulations in dysarthria. https:// doi.org/10.1044/1092 - 4388(2004/058)
- Turner, G. S., Tjaden, K., & Weismer, G. (1995). The influence of speaking rate on vowel space and speech intelligibility for individuals with amyotrophic lateral sclerosis. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 38*(5), 1001–1013.
- Vorperian, H. K., & Kent, R. D. (2007). Vowel acoustic space development in children: A synthesis of acoustic and anatomic data. https:// doi.org/10.1044/1092 - 4388(2007/104)
- Watt, D., & Fabricius, A. (2002). Evaluation of a technique for improving the mapping of multiple speakers' vowel spaces in the F1~ F2 plane. *Leeds Working Papers in Linguistics and Phonetics, 9*(9), 159 –173 .

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]
[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]

- Weismer, G., Jeng, J. Y., Laures, J. S., Kent, R. D., & Kent, J. F. (2001). Acoustic and intelligibility characteristics of sentence production in neurogenic speech disorders. *Folia Phoniatrica et Logopaedica, 53*(1), 1 –18.
- Whitfield, J. A., Dromey, C., & Palmer, P. (2018). Examining acoustic and kinematic measures of articulatory working space: Effects of speech intensity. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 61*(5), 1104 –1117.
- Whitfield, J. A., & Mehta, D. D. (2019). Examination of clear speech in Parkinson disease using measures of working vowel space. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 62*(7), 2082 –2098.
- Yunusova, Y., Weismer, G., Westbury, J. R., & Lindstrom, M. J. (2008). Articulatory movements during vowels in speakers with dysarthria and healthy controls. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. https:// doi.org/ doi:10.1044/2019_JSLHR - S - MSC18 - 18 - 0189
- Zlegler, W., & von Cramon, D. (1983). Vowel distortion in traumatic dysarthria: A formant study. *Phonetica, 40*(1), 63 –78. https:// doi.org/10.1159/000261681

[Downloaded from lrr.modares.ac.ir on 2025-02-21]
[DOR: 20.1001.1.23223081.1401.0.0.171.3]
[DOI: 10.48311/LRR.15.4.275]