Research in Sport Medicine and Technology
Print ISSN: 2252 - 0708 Online ISSN: 2588 - 3925
Homepage: https://jsmt.khu.ac.ir

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-07 ]

[ DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.27.12.7 ]
[ DOI: 10.61186/jsmt.22.27.219 ]

# The Role Of Sensory Manipulation In Postural Control Responses: A Developmental Study

Saeed Arsham[1]

1. Assistant Professor of Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.

saeedarsham@khu.ac.ir

**ARTICLE INFO**

**Article type:**
Research Article

**Article history**:
Received: 9-8-2023
Revised: 8-1-2024
Accepted: 8-1-2024

**Keywords:**
Sensory Organization Test, Static Balance, Body Mass Index, Postural Control

**How to Cite:**
Saeed Arsham. **The Role Of Sensory Manipulation In Postural Control Responses: A Developmental Study**. *Research In Sport Medicine and Technology*, 2024: 14(27): 219-239.

**This study aimed to determine the underlying mechanisms of age-related differences in postural control of 7-18 years old girls by determining the differences between different age groups and adults in their sensory preferences for compensatory responses. 118 non-athlete girls aged 7 to 18 were selected by available sampling and divided into four age groups: 7-9 (n=31), 10-12 (n=32), 13-15 (n=28), and 16-18 (n=27). A reference group of adults (n=28, Mean= 27.9 years) was examined for comparison. Sensory organization test (SOT) with computerized dynamic posturography was used to manipulate sensory inputs. One-way analysis of variance and Tukey post hoc test showed a significant difference between all age groups in 6 test conditions (P<0.05). The use of somatosensory and vestibular sensory inputs to maintain balance was almost the same in different age groups, but significant differences were observed in the use of visual inputs. From the age of 13, the postural control performance of girls becomes similar to that of adults, which can be due to the delayed development of the visual system. In general, it seems that for perfect postural control, first the somatosensory sensory system and then the vestibular and visual systems mature.**

*Published by Kharazmi University, Tehran, Iran. Copyright(c) The author(s) This is an open access article under e*:
CC BY-NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

پژوهش در طب ورزشی و فناوری
شاپا چاپی: ۲۲۵۲-۰۷۰۸ شاپا الکترونیکی: ۳۹۲۵-۲۵۸۸
Homepage: https://jsmt.khu.ac.ir

# نقش دست‌کاری دستگاه‌های حسی در پاسخ‌های کنترل قامت: یک مطالعه رشدی

سعید ارشم[۱]

۱. استادیار گروه رفتار حرکتی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

saeedarsham@khu.ac.ir

**اطلاعات مقاله:**

**نوع مقاله: علمی–پژوهشی**

دریافت: ۱۴۰۲/۵/۱۸

ویرایش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۰

پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۰

**واژه‌های کلیدی:**

آزمون سازماندهی حسی، تعادل ایستا، شاخص توده بدن، کنترل قامت

**ارجاع:**

سعید ارشم. **نقش دست‌کاری دستگاه‌های حسی در پاسخ‌های کنترل قامت: یک مطالعه رشدی.** *پژوهش در طب ورزشی و فناوری*. ۱۴۰۳: ۱۴(۲۷):۲۱۹-۲۳۹

## چکیده

هدف از این پژوهش بررسی سازوکارهای زیربنایی تفاوت‌های وابسته به سن در کنترل قامت دختران ۱۸-۷ ساله از طریق تعیین تفاوت‌های بین رده‌های سنی مختلف و بزرگسالان در اولویت‌های حسی آنها برای پاسخ‌های جبرانی بود. تعداد ۱۱۸ دختر غیرورزشکار ۷ تا ۱۸ ساله به روش نمونه‌گیری در دسترس انتخاب و به چهار گروه سنی ۷- ۹ (۳۱ نفر)، ۱۰- ۱۲ (۳۲ نفر)، ۱۳-۱۵ (۲۸ نفر) و ۱۶-۱۸ (۲۷ نفر) تقسیم شدند. همچنین، یک گروه مرجع از بزرگسالان (۲۸ نفر، میانگین سنی ۲۷/۹ سال) به‌منظور مقایسه بررسی شد. برای دستکاری درونداده‌های حسی از آزمون سازماندهی حسی (SOT) با دستگاه پاسچروگرافی پویای کامپیوتری استفاده شد. نتایج آزمون تحلیل واریانس یک راهه و آزمون تعقیبی تفاوت معنی‌دار بین تمام گروه‌های سنی در ۶ شرایط آزمون را نشان داد (P<۰/۰۵). استفاده از درونداده‌های حسی پیکری و دهلیزی برای حفظ تعادل در گروه‌های سنی مختلف تقریبا یکسان بود اما، در استفاده از درونداده‌های بینایی تفاوت‌های معنی‌داری مشاهده شد. عملکرد کنترل قامت دختران از ۱۳ سالگی به بعد مشابه با افراد بزرگسال می‌شود که این می‌تواند به دلیل رشد تأخیری دستگاه بینایی باشد. به‌طور کلی، ظاهرا برای کنترل بهینهٔ قامت، ابتدا دستگاه حسی پیکری و پس از آن، به ترتیب دستگاه‌های دهلیزی و بینایی بالیده می‌شوند.



[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-07 ]
[ DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.27.12.7 ]
[ DOI: 10.61186/jsmt.22.27.219 ]

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-07 ]

[ DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.27.12.7 ]

[ DOI: 10.61186/jsmt.22.27.219 ]

## Extended Abstract

Motor skills, regardless of the performer's skill level, are manifestations of the motor control system. Two key consequences of muscle control are mobility and postural control. Postural control is defined as the ability to regulate the position of the body in space to achieve the dual objectives of body stability and orientation. The orientation component refers to maintaining the relationship between different parts of the body and the body with the environment to perform a specific task effectively. Conversely, the stability component is the balance or the capacity to control body mass in relation to the base of support.

The efforts of numerous studies in the field of identifying specific mechanisms related to age differences have shown that their focus has usually been on a limited age range and a single control mechanism. However, progress in this field has been limited for several reasons. For instance, age-comparison studies have concentrated on a narrow age range, typically comparing children with young adults or young and older adults. Additionally, these studies have often relied solely on data related to the center of pressure (COP), such as its path length or sway area, which reflects the mechanisms of the components without specifying their different effectiveness and contributions.

Therefore, this study aimed to determine the underlying mechanisms of age-related differences in postural control of 7-18 years old girls by assessing the differences between various age groups and adults in their sensory preferences for compensatory responses. By adopting a comprehensive approach that considers multiple age ranges and incorporates various measures of postural control, this research seeks to provide a more nuanced understanding of the developmental changes in postural control mechanisms during childhood and adolescence.

The current study is classified as applied research, employing a clinical and laboratory methodology conducted in a semi-experimental fashion. The research involved the manipulation of sensory system information related to postural control across five distinct independent groups. A total of 118 female students aged 7-18 from schools in northern Tehran were selected using a combination of available and purposeful sampling techniques, distributed across four age groups: 7-9 (n=31), 10-12 (n=32), 13-15 (n=28),

and 16-18 (n=27). Additionally, 28 adults (with a mean age of 27.9 years) were included as a reference group for comparative analysis. The research encompassed a total of 146 subjects, providing a comprehensive evaluation of the study parameters.

The study's entry criteria were rigorously assessed using three distinct methods: a questionnaire, physical examination (including measurements), and consultation with a specialist physician from the Red Crescent Rehabilitation Center. These criteria encompassed the following key points: a) Participants were required to have height, weight, and body mass index (BMI) within the normal range for their respective age group; b) Exclusion criteria included the absence of any issues related to the nervous system, neurological defects, vestibular and proprioceptive systems, or visual impairments; c) Participants were also screened for any structural abnormalities in their upper and lower body organs, as well as deviations in the spine and lower limbs; d) Additionally, individuals with a history of surgery or injury to the ankle, knee, or thigh joints were excluded; e) Participants with a recent history of anesthesia within the past 6 months were not eligible; f) Lastly, individuals with a history of regular exercise or physical activity were not included in the study cohort. These stringent criteria were meticulously applied to ensure the selection of a suitable and homogeneous participant group for the study.

Prior to the test, the subjects' arch height was assessed using the Brody method and line drawing evaluation to identify individuals with a healthy and normal sole structure. Additionally, body mass index (BMI) was calculated based on height and weight measurements to exclude individuals falling outside the normal range. Following the screening of 326 candidates, 172 qualified individuals were selected to proceed to the research phase, while 26 others declined to participate further, citing reasons such as apprehension about the testing environment. For the evaluation of postural control, the EquiTest computerized dynamic posturography device (model EQO356) manufactured by the American company NeuroCom was utilized (see Figure 1). This device is renowned for its advanced capabilities in studying and manipulating sensory inputs that influence postural control. Equipped with safety belts connected to the subject's chest and pelvis (suitable for individuals aged 4 years and above), the device ensures stability and prevents falls or injuries. It features two movable force platforms measuring 18.8 x

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-07 ]
[ DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.27.12.7 ]
[ DOI: 10.61186/jsmt.22.27.219 ]

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-07 ]

[ DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.27.12.7 ]

[ DOI: 10.61186/jsmt.22.27.219 ]

18.8 inches (47.7 x 47.7 cm) and 8 sensory channels for analyzing kinetic variables related to postural control. During the test, participants are instructed to stand on the platform with both feet and respond to sudden movements to regain their vertical stance. Vertical and anterior-posterior forces are utilized to determine the horizontal position of the center of pressure, ankle muscle moments, and shear forces exerted by each leg. Parameters such as linear displacement of the foot pressure center and angular fluctuations of the body's center of mass are calculated and adjusted based on participants' height and ankle axis (age and height data are inputted into the device beforehand). The task requires subjects to maintain stability under varying conditions. The device offers a range of tests, with this study focusing on the sensory organization test to assess postural control mechanisms.

This test comprises six distinct conditions. The first three conditions involve stationary force platforms, while the remaining three incorporate movement in the anterior and posterior directions.

In the initial condition, the individual has access to all sensory information relevant to postural control. The second condition involves the removal of visual system input through the use of a blindfold. In the third condition, the eyes remain open, but the visual environment is in motion, presenting distorted visual cues. Moving on to the fourth condition, the force platforms are mobile, eliminating proprioceptive information. The fifth condition combines visual deprivation with a blindfold and the removal of proprioceptive input through the moving force platform, focusing on testing the vestibular system's role in height control. The final condition eliminates all three sensory inputs - visual, auditory, and proprioceptive. Each scenario lasts for 20 seconds and is repeated three times.

The findings revealed distinct variations in postural control among subjects aged 7 years to adulthood across all sensory manipulation conditions. Notably, the group aged 7 to 9 years exhibited a significant disparity compared to older age groups, indicating that girls in this age range may not possess the same level of sensory postural control organization as adults until reaching the age of 9. Conversely, no significant differences were noted in the performance of the 10 to 12-year-old group when compared to both younger and older age groups. Consequently, the period between 10 to 12 years could be identified as a

transitional phase for girls in terms of postural control, as no significant distinctions were observed when comparing this age group to adults from 13 to 15 years old.

According to the dynamic systems approach, the difference between children and adults probably involves their differences in how precisely the posture control system adapts when sensory information conflicts with each other. In adults, if a sensory system provides unreliable information, their postural control systems can reduce the emphasis on the information from this system and increase the emphasis on the information from another system that is more reliable. Probably, children cannot evaluate sensory information as accurately as adults. In the current study, the participants did not reach the same accuracy as adults until the age of 13.

In general, the disparities observed among age groups in utilizing various inputs for postural control may stem from variances in biomechanical and neurological factors between children and adults. It is plausible that as individuals gain experience in balancing tasks with age, they adapt their compensatory strategies to address external disturbances or sensory alterations. However, the precise timeframe required to adjust sensory-motor information and attain a posture control pattern akin to that of adults remains somewhat ambiguous, as noted by Thurman and Corbetta (2019). Moreover, the processing of emotions influencing posture control may undergo changes from childhood to adolescence, attributed to the progressive enhancement of frontal control over cortical regions, subsequently influencing strategies in response to diverse disturbances. Considering the relatively lower significance of the vestibular system compared to the somatosensory system, it can be postulated that the developmental sequence for optimal postural control involves the somatosensory system first, followed by the vestibular system, and the visual system. Whether this prioritization is influenced by distinct emotional perception and processing or other factors unique to adults warrants further investigation. Given that the study focused exclusively on girls, a notable limitation arises from the inability to differentiate and discern patterns of growth and hormonal fluctuations impacting postural control. It is advisable to objectively and careful assess and regulate participants' level of physical activity, a factor addressed solely through questionnaires in

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-07 ]
[ DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.27.12.7 ]
[ DOI: 10.61186/jsmt.22.27.219 ]

this study, despite its confirmed association with postural control development. Furthermore, future research should consider other crucial variables describing postural control, such as muscle activation patterns, to enrich our knowledge of this subject.

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-07 ]

[ DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.27.12.7 ]

[ DOI: 10.61186/jsmt.22.27.219 ]

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-07 ]

[ DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.27.12.7 ]

[ DOI: 10.61186/jsmt.22.27.219 ]

## مقدمه

تمام مهارت‌های حرکتی، بدون توجه به سطح مهارت اجراکننده، جلوه‌هایی از دستگاه کنترل حرکتی هستند. دو پیامد کنترل عضلانی، کنترل حرکات جابه‌جایی و کنترل قامت هستند (۱). محققان کنترل حرکتی، کنترل قامت بدن را کنترل موقعیت بدن در فضا برای دستیابی به دو هدف ثبات و جهت‌یابی بدن تعریف کرده‌اند. مؤلفهٔ جهت‌یابی به منزلهٔ توانایی حفظ ارتباط بین بخش‌های مختلف بدن و همچنین بدن با محیط برای انجام یک تکلیف ویژه تعریف می‌شود. از سوی دیگر مؤلفهٔ ثبات همان تعادل یا توانایی کنترل جرم بدن در ارتباط با سطح اتکا است (۲). کنترل قامت شامل فرآیندهای حسی–حرکتی خاصی است که اطلاعات شنوایی، بینایی، دهلیزی و حسی جسمانی را از طریق فرآیندی به نام ارزش‌گذاری مجدد[1]حسی یکپارچه می‌کند (۳). با توجه به اهمیت بررسی یکپارچگی دستگاه‌های کنترل کننده قامت، محققان با استفاده از رویکرد سیستم‌ها به این موضوع پرداخته‌اند. طبق این رویکرد، توانایی حفظ قامت به کارکرد دستگاه عصبی مرکزی (CNS) در انتخاب و یکپارچگی دقیق دروندادهای حسی از دستگاه های بینایی، دهلیزی و حسی پیکری بستگی دارد (۴). تفاوت بین کودکان و بزرگسالان، احتمالاً شامل تفاوت آنها در نحوهٔ سازگاری دقیق دستگاه کنترل قامتی هنگام تعارض اطلاعات حسی با یکدیگر است. بزرگسالان در صورت لزوم قادرند اطلاعات حسی را دوباره با دقت زیادی ارزش‌گذاری کنند و اگر یک دستگاه حسی اطلاعات غیر قابل اطمینان فراهم کند، دستگاه‌های کنترل قامت آنها می‌توانند تاکید بر اطلاعات حاصل از این دستگاه را کاهش و تاکید بر اطلاعات حاصل از دستگاه دیگری را که مطمئن‌تر است، افزایش دهد. این فرایند ارزش‌گذاری مجدد، شامل کاهش ارزش اطلاعات نامربوط و افزایش ارزش اطلاعات مرتبط حتی در هنگام تغییر احتمالی ویژگی‌های محرک است (۱). بنابراین، هنگامی که یک یا چند دستگاه حسی اطلاعات غلطی برای CNS فراهم می‌کند، دروندادهای سایر دستگاه‌ها ممکن است قادر به جبران آن باشد (۵).

دستگاه حس پیکری بین ۳ تا ۴ سالگی کاملا رشد می‌کند و تا ۶ سالگی به طور کامل بالیده می‌شود (۶) و عملکرد مولفه‌های دستگاه دهلیزی در زمان تولد مشابه با بزرگسالان است (۴). میزان بالیدگی دستگاه بینایی نیز طوری است که در ۴ تا ۵ ماهگی تیزبینی سه بعدی کودک مشابه افراد بزرگسال می‌شود (۷) اما میلین‌دار شدن مسیرهای بینایی در ۲ سالگی و شبکیه در ۴ سالگی کامل و بالیده می شوند (۴). با این که مطالعات متعدد نشان داده اند که نوسانات قامتی با افزایش سن از کودکی تا بزرگسالی کاهش می یابد و همچنین کودکان وضعیت خود را با کارایی کمتری نسبت به بزرگسالان کنترل می کنند (۸) اما، بالیدگی نسبی دستگاه‌های حسی حاکی از این است که تفاوت‌های بین کنترل قامت کودکان و افراد بزرگسال احتمالا می‌تواند به عوامل دیگری مانند پردازش، یکپارچگی و سازماندهی متفاوت اطلاعات حسی دستگاه‌های بینایی، حس عمقی و دهلیزی نسبت داده شود.

مطالعات نشان داده که برخی تغییرات رشدی در کنترل قامت در همان سال‌های ابتدایی زندگی ظهور می‌یابد و برخی تغییرات نیز تا دوره نوجوانی و بلوغ ادامه می‌یابد (۹). با این وجود، سازوکارهای زیربنایی این تغییرات در کنترل قامت

1. Reweighting

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-07 ]
[ DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.27.12.7 ]
[ DOI: 10.61186/jsmt.22.27.219 ]

چه در سال‌های کودکی و چه در نوجوانی هنوز هم کاملا درک نشده است و در مورد زمان دستیابی کودکان به ارزش‌گذاری اطلاعات حسی همانند بزرگسالان اطلاعات کمی وجود دارد (۱۰). پترسون و دیگران (۲۰۰۶) با استفاده از دستگاه پاسچروگرافی روی کودکان ۶ تا ۱۲ ساله دریافتند که قابلیت استفاده از اطلاعات حسی مشابه با افراد بزرگسال در ۱۲ سالگی رخ می‌دهد (۴) اما، در مطالعات دیگر با وجود استفاده از گروه سنی مشابه و شیوه ارزیابی قامت، نتایج متفاوتی حاصل شده است. برای مثال، در مطالعه استیندل و دیگران (۲۰۰۶) کودکان ۳ تا ۱۶ ساله در ۷ گروه سنی با استفاده از دستگاه پاسچروگرافی مورد بررسی قرار گرفتند و مشخص شد که سازماندهی دستگاه‌های آوران بینایی، حس عمقی و دهلیزی در سن ۱۵-۱۶ سالگی مشابه افراد بزرگسال است (۶). این نتایج متفاوت موجب شد تا سایر پژوهشگران برای دستیابی به شواهد محکم به تکرار مطالعات قبلی بپردازند. با این حال بار دیگر مشخص گردید کودکان تا سنین ۱۴-۱۶ سالگی هنوز هم مانند افراد بزرگسال توانایی انتخاب و پردازش اطلاعات بینایی منحرف شده را ندارند (۱۱).

در برخی مطالعات مقطعی روی افراد ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ ساله و بزرگسالان جوان، از روش اتاق متحرک در دامنه نوسانی کوچک به سمت جلو و عقب استفاده شده است و نشان داده اند که بدن اطفال و کودکان به همراه حرکت اتاق نوسان می‌کند؛ به عبارت دیگر، آنها از جفت شدن حس-عمل[1] برخوردارند اما، قدرت جفت شدن آنها نسبت به بزرگسالان ضعیف‌تر و تغییرپذیرتر است. بنابراین، این فرضیه مطرح گردید که تفاوت موجود نشان دهندهٔ عدم توانایی کودکان در ارزش گذاری دقیق اطلاعات حسی است (۱). این موضوع با پژوهش‌های دیگر در زمینه کنترل قامت کودکان ۷-۱۱ ساله که از طریق ایجاد لرزش در قسمت مچ پا و دستکاری اطلاعات حسی عمقی صورت گرفت تأیید شد و مشخص گردید که کودکان در این سنین نمی‌توانند از اطلاعات این دستگاه‌ها، مشابه با افراد بزرگسال استفاده کنند (۱۲). اما، پژوهش‌های جدید در هنگام ارزیابی فرایندهای ارزش‌گذاری مجدد و تغییر حس عمقی با استفاده از ارتعاش حرکتی و ضمن مشاهده یکپارچگی حسی بهتر در کودکان ۱۰ ساله در مقایسه با کودکان خردسال‌تر، به رشد زودهنگام آن اشاره کرده اند (۳). مطالعات بعدی نیز ضمن ارائه شواهد بیشتر برای وابستگی اولیه بینایی- دهلیزی در کودکان استدلال کردند که ارزش‌گذاری مجدد کارآمد روش‌های حسی تا اوایل بزرگسالی همچنان بهبود می‌یابد (۱۳).

باتوجه‌به این که تغییرات سن و بالیدگی دستگاه عصبی مرکزی در دوران کودکی و نوجوانی یک عامل بسیار تأثیرگذار در کنترل حرکت و به‌ویژه در فرایندهای ارزش‌گذاری درگیر در کنترل قامت به شمار می‌رود، شاید یک دلیل پیشرفت محدود در این زمینه این باشد که مطالعات قبلی به مقایسه افراد در یک محدوده سنی کوچک تمرکز داشته‌اند (۱۴، ۱۵). علاوه براین، آنچه که در پیشینه این موضوع نادیده گرفته شده، نقش جنسیت است. در بیشتر پژوهش‌های انجام شده داده‌های هر دو گروه جنسیتی با یکدیگر تفسیر شده اند، در حالی که آنها در برخی دامنه‌های سنی به ویژه در زمان اوج جهش قد[2] (PHV) دوگانگی جنسیتی خود را در ابعاد آنتروپومتری تجربه می‌کنند که می تواند اثر مستقیمی بر کنترل قامت داشته باشد (۱۶، ۱۷). به نظر می‌رسد تفکیک اثر جنسیت بتواند به درک رشد کنترل قامت و تعدیل‌های قامتی در پاسخ به شرایط

1. Sensory-action Coupling
2. Peak height velocity

محیطی کمک بیشتری کند و امکان توسعه مداخلات بهتر برای بهبود کنترل قامت در کودکان با رشد عادی و غیر عادی را فراهم کند (۱۸). لذا، منطقی است که نتایج حاصل از یک گروه جنسیتی (دختران) تحلیل گردد. علاوه براین، تلاش مطالعات متعدد در زمینه شناسایی مکانیسم های خاص مرتبط با تفاوت های سنی نشان داده که تمرکز آنها به طور معمول بر یک دامنه سنی محدود و یک سازوکار کنترل بوده است. بنابراین، استدلال می شود که محدودیت پیشرفت در این زمینه به سه دلیل باشد. نخست، مطالعات مقایسه سنی بر یک محدوده سنی کوچک تمرکز داشته اند که معمولاً کودکان را با بزرگسالان جوان یا بزرگسالان جوان و مسن‌تر مقایسه می‌کردند. دوم، دستکاری‌های تجربی محدود به تکالیف هدف‌گیری بوده است و سرانجام این که در مطالعات قبلی، بیشتر از اطلاعات خلاصه مانند طول مسیر CoP یا مساحت CoP استفاده شده که فقط سهم مکانیسم‌های مجزا را بدون تعیین کارایی و مشارکت‌های متفاوت آنها منعکس می‌نماید (۱۹).

ازاین‌رو هدف پژوهشگر تعیین سازوکارهای زیربنایی تفاوت‌های وابسته سن در کنترل قامت دختران ۷–۱۸ ساله از طریق تفاوت‌های احتمالی بین رده‌های سنی مختلف و بزرگسالان بود تا بتواند نحوه سازماندهی اطلاعات آوران از دستگاه‌های حسی و اسکلتی عضلانی در رشد کنترل قامت در سنین مختلف را دقیق‌تر پاسخ دهد.

## روش‌شناسی

پژوهش حاضر از نوع کاربردی و روش آن بالینی آزمایشگاهی بود که به‌صورت نیمه‌تجربی و با دست‌کاری اطلاعات دستگاه‌های حسی درگیر در کنترل قامت در ۵ گروه مستقل از یکدیگر انجام شد.

### جامعه و نمونه آماری

در این مطالعه، ۱۱۸ دانش آموز دختر ۱۸–۷ سال از مدارس شمال تهران به صورت در دسترس و هدفمند انتخاب و در چهار گروه سنی ۷– ۹ (۳۱ نفر)، ۱۰– ۱۲ (۳۲ نفر)، ۱۳–۱۵ (۲۸ نفر) و ۱۶–۱۸ (۲۷ نفر) قرار گرفتند. همچنین، ۲۸ نفر بزرگسال (با میانگین سنی ۲۷/۹ سال) نیز به عنوان گروه مرجع و به منظور مقایسه مورد بررسی قرار گرفتند. تعداد کل افراد مورد ارزیابی در پژوهش ۱۴۶ نفر بود.

### معیارهای ورود و خروج

معیارهای ورود به مطالعه با سه روش پرسش‌نامه، معاینه (اندازه‌گیری) و نظر پزشک متخصص مرکز توان‌بخشی هلال‌احمر بررسی شد و شامل موارد زیر بود: الف) دارابودن قد، وزن و شاخص توده بدنی (BMI) منطبق با منحنی‌های طبیعی قد، وزن و شاخص توده‌بندی گروه سنی خود، ب) عدم مشکل در دستگاه عصبی یا نقص نورولوژیکی، دستگاه دهلیزی و حس عمقی و دستگاه بینایی، پ) نداشتن نقص‌عضو در اندام بالاتنه و پایین‌تنه و یا انحراف در ستون فقرات و اندام تحتانی، ت) عدم سابقه جراحی و یا آسیب در مفاصل مچ پا، زانو و ران، ث) عدم مصرف داروی بیهوشی و نداشتن سابقه بیهوشی در ۶ ماه گذشته و ج) نداشتن سابقه ورزش و فعالیت بدنی منظم.



[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-07 ]
[ DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.27.12.7 ]
[ DOI: 10.61186/jsmt.22.27.219 ]

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-07 ]

[ DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.27.12.7 ]

[ DOI: 10.61186/jsmt.22.27.219 ]

## روش اجرا

نخست یک رضایت‌نامه اخلاقی از کمیته اخلاق سازمان هلال‌احمر تهران تهیه گردید و از شرکت‌کنندگان خواسته شد تا در صورت رضایت، آن را امضا کنند. اهداف و مراحل پژوهش به طور کامل برای آنها توجیه شد. در ضمن این اطمینان داده شد که تمام اطلاعات شخصی آنها محرمانه باقی می‌ماند و صرفاً نتایج کلی در پژوهش گزارش می‌شود. علاوه بر این، سایر اطلاعات شخصی (مانند تلفن، آدرس، ایمیل، سن و سابقه پزشکی...) آنها ثبت گردید و موارد مشکوک از لحاظ آسیب‌دیدگی یا بیماری مجدداً توسط پزشک متخصص واقع در مرکز توان‌بخشی هلال‌احمر بررسی شد. محیط اجرای آزمون دارای نور، تهویه کافی و درجه حرارت مناسب و کنترل شده برای اجرای آزمون‌ها بود. در حین اجرای پژوهش سکوت کامل برقرار بود و شرایط یکسان آزمون‌ها برای تمام شرکت‌کنندگان رعایت شد.

پیش از اجرای آزمون، میزان قوس کف پای افراد از طریق روش برودی[1] و ارزیابی ترسیم خط بررسی شد و افرادی که دارای ساختار کف پای سالم و طبیعی بودند غربال شدند. همچنین، شاخص توده بدنی (BMI) با اندازه‌گیری قد و وزن محاسبه شد تا افراد خارج از دامنه طبیعی حذف شوند. پس از غربالگری ۳۲۶ داوطلب، سرانجام ۱۷۲ نفر واجد شرایط برای ورود به مرحله پژوهش انتخاب شدند که از این تعداد، ۲۶ نفر دیگر در حین اجرای آزمون به دلایل مختلفی چون ترس از قرارگیری در داخل دستگاه، از ادامه حضور انصراف دادند.

برای ارزیابی کنترل قامت از دستگاه پاسچروگرافی پویای کامپیوتری مدل Equiest (دستگاه EQO356) ساخت شرکت آمریکایی NeuroCom که از پیشرفته‌ترین دستگاه‌های مطالعه و دست‌کاری دستگاه‌های حسی مؤثر بر کنترل قامت است، استفاده شد (شکل ۱). این دستگاه دارای تسمه‌های ایمنی مخصوصی است که به سینه و لگن آزمودنی (۴ساله تا افراد سالمند) متصل می‌شود تا از افتادن و هرگونه آسیب احتمالی آنها جلوگیری کند. همچنین دارای دو سکوی نیروی متحرک ۱۸/۸ × ۱۸/۸ اینچ (۴۷/۷ × ۴۷/۷ سانتی‌متر) و ۸ کانال حسی برای بررسی متغیرهای سینتیکی کنترل قامت است. در طی اجرای آزمون، از افراد خواسته می‌شود با هر دو پا بر روی سکو بایستند تا قامت عمودی خود را در پاسخ به جابه‌جایی‌های ناگهانی بازیابی کنند. از نیروهای عمودی و قدامی - خلفی (A-P) برای محاسبه مکان افقی مرکز فشار، گشتاورهای عضلات فلکسور و اکستنسور مچ پا و نیروهای برشی اعمال شده از هر پا استفاده می‌شود. جابه‌جایی خطی مرکز فشار پا، نوسانات زاویه‌ای مرکز جرم بدن تخمین زده شده و باتوجه‌به قد افراد و محور مچ پا مقیاس‌بندی می‌شود (اطلاعات سن و قد شرکت‌کنندگان از قبل وارد برنامه دستگاه می‌شود). تکلیف حرکتی به این صورت است که آزمودنی باید تحت شرایط مختلف، تا حد ممکن بدون حرکت بایستد. این دستگاه دارای آزمون‌های مختلفی است که در این پژوهش از آزمون سازماندهی حسی[2] استفاده شد.

1. Brody 1982
2. Sensory organization test (SOT)

این آزمون دارای شش وضعیت است. در سه وضعیت اول سکوهای نیرو ثابت و در سه وضعیت دیگر در جهت‌های قدامی و خلفی حرکت می‌کنند. در وضعیت اول، تمام اطلاعات حسی درگیر در کنترل قامت در دسترس فرد هستند. در وضعیت دوم، اطلاعات دستگاه بینایی با استفاده از چشم‌بند حذف می‌شود. در وضعیت سوم، چشم‌ها باز اما محیط بینایی متحرک است که این منجر به ارائه آرایه‌های نادرست بینایی می‌شود. در وضعیت چهارم، سکوهای نیرو متحرک هستند و اطلاعات حس عمقی حذف می‌شود. در وضعیت پنجم، بینایی با چشم‌بند مسدود می‌شود و سکوی نیروی متحرک نیز باعث حذف اطلاعات حس عمقی می‌شود. در این وضعیت اطلاعات دستگاه دهلیزی در کنترل قامت مورد آزمون قرار می‌گیرند. در وضعیت ششم، هر سه دسته اطلاعات بینایی، شنوایی و حس عمقی حذف می‌شوند. مدت‌زمان هر وضعیت ۲۰ ثانیه است که سه بار تکرار می‌شود. در شکل ۲، طرح شرایط آزمون و دستگاه‌های حسی درگیر برای دستگاه پاسچروگرافی پویای کامپیوتری ارائه شده است.

برای اجرای آزمون SOT با انتخاب نوع آزمون تعبیه شده در دستگاه، شرکت‌کننده با پاهای برهنه بر روی سکوی نیروی دستگاه پاسچروگرافی می‌ایستاد به‌گونه‌ای که فاصله پاها به‌اندازه عرض لگن معادل ۵۰ درصد فاصله هیپ تا هیپ[1] (خارهای خاصره قدامی – فوقانی[2])، دست‌ها در کنار بدن و نگاه به روبرو باشد. شرکت‌کنندگان در شش وضعیت مذکور مورد آزمون قرار گرفتند. طبق پروتکل تعریف شده، هر یک از این آزمون‌ها ۳ بار انجام شد و میانگین حاصل از سه بار به‌عنوان شاخص کنترل قامت (از صفر تا ۱۰۰) مورد استفاده قرار گرفت.

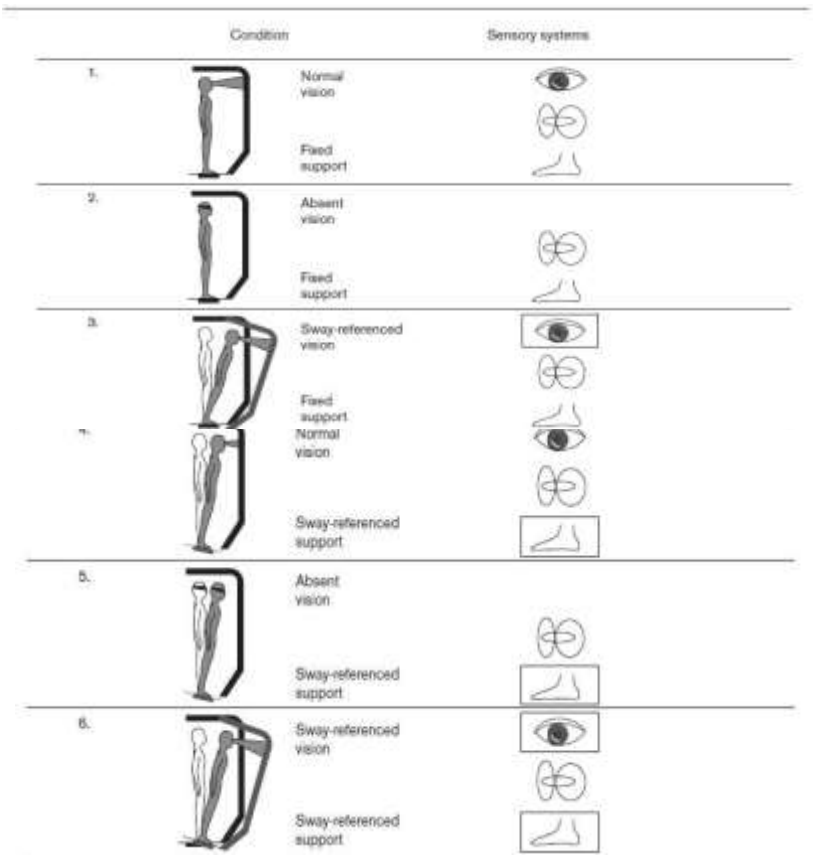


شکل ۱. دستگاه پاسچروگرافی پویای کامپیوتری.

1. Hip to hip distance
2. Anterior Superior Iliac spine (ASIS)



[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-07 ]
[ DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.27.12.7 ]
[ DOI: 10.61186/jsmt.22.27.219 ]




شکل ۲. طرح شرایط آزمون SOT و دستگاه های حسی درگیر بر روی دستگاه پاسچروگرافی پویای کامپیوتری.

خلاصه‌ای از شش شرایط حسی (ستون سمت چپ صفحه، در هر ردیف یکی از شرایط). برای هر ردیف در هر ستون از بالا به پایین به‌این‌ترتیب است: دستگاه بینایی، دهلیزی و حس عمقی. موارد داخل کادر نشان‌دهنده دست‌کاری آن دستگاه است (۲۰).

## تجزیه و تحلیل آماری

پیش از تحلیل داده‌های متغیرهای سینتیک کنترل قامت در هر چهار گروه سنی و گروه بزرگسالان، از آزمون شاپیرو – ویلک برای بررسی طبیعی بودن داده‌ها و از آزمون لون برای همگنی واریانس‌ها استفاده شد. برای آزمون فرضیه‌ها از تحلیل واریانس یک‌راهه و در صورت وجود اختلاف معنی‌دار بین گروه‌ها از آزمون تعقیبی (توکی) استفاده شد. تمام تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS 21 در سطح معناداری $P< ۰/۰۵$ انجام شد.



[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-07 ]
[ DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.27.12.7 ]
[ DOI: 10.61186/jsmt.22.27.219 ]

## یافته‌ها

مشخصات هریک از گروه‌های سنی از جمله سن، قد، وزن، شاخص توده بدنی (BMI)، تعادل ایستا و تعادل پویا به تفکیک در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. میانگین (انحراف استاندارد) متغیرهای جمعیت شناختی آزمودنی‌ها در گروه‌های سنی متفاوت

| گروه‌ها / متغیرها | ۹-۷ ساله (۳۱ نفر) | ۱۲-۱۰ ساله (۳۲ نفر) | ۱۵-۱۳ ساله (۲۸ نفر) | ۱۸-۱۶ (۲۷ نفر) | بزرگسالان (۲۸ نفر) |
|---|---|---|---|---|---|
| **سن** (سال) | ۷/۸۰ (۰/۹۳) | ۱۰/۸۹ (۰/۸۵) | ۱۳/۸۳ (۰/۷۷) | ۱۷/۳۱ (۰/۹۱) | ۲۷/۹۰ (۴/۵۵) |
| **قد** (m) | ۱/۲۶ (۰/۰۸) | ۱/۴۸ (۰/۱۱) | ۱/۶۱ (۰/۰۵) | ۱/۶۱ (۰/۷) | ۱/۶۲ (۰/۰۷) |
| **وزن** (kg) | ۲۶/۵۴ (۷/۶۱) | ۴۵/۷۵ (۱۳/۷۱) | ۵۵/۹۸ (۱۰/۵۹) | ۵۷/۲۹ (۱۳/۸۲) | ۶۱/۶۴ (۱۳/۷۲) |
| **BMI** ($kg/m^2$) | ۱۶/۲۲ (۳/۲۴) | ۲۰/۵۴ (۴/۶۳) | ۲۱/۵۲ (۳/۴۴) | ۲۱/۷۹ (۴/۳۴) | ۲۳/۳۳ (۴/۵۹) |
| **تعادل ایستا** (امتیاز) | ۸۶/۶۷ (۱۳/۸۴) | ۹۰/۴۳ (۳/۷۸) | ۹۲/۰۷ (۱/۸۶) | ۹۱/۲۳ (۳/۲۹) | ۹۱/۷۵ (۲/۳۳) |
| **تعادل پویا** (امتیاز) | ۴۹/۹۷ (۱۳/۸۴) | ۵۷/۳۷ (۱۳/۴۳) | ۶۱/۶۱ (۱۰/۴۹) | ۶۱/۹۸ (۹/۵۱) | ۶۴/۱۷ (۱۰/۱۷) |

جدول ۲. نتایج تحلیل واریانس برای مقایسه تفاوت کنترل قامت گروه‌ها با دسترسی به اطلاعات هر سه دستگاه حسی

| واریانس | مجموع مجذورات | درجه آزادی | میانگین مجذورات | F محاسبه شده | *P* |
|---|---|---|---|---|---|
| **بین‌گروهی** | ۳۳۰/۸۰ | ۴ | ۸۲/۷۰ | ۸/۱۹ | *۰/۰۰ |
| **درون‌گروهی** | ۱۴۲۳/۶۳ | ۱۴۱ | ۱۰/۰۹ | | |
| **کل** | ۱۷۵۴/۴۴ | ۱۴۵ | | | |

نتایج تحلیل واریانس نشان داد بین میانگین نمرات کنترل قامت رده‌های سنی مختلف و بزرگسالان در شرایط دسترسی به اطلاعات هر سه دستگاه حسی تفاوت معناداری وجود دارد ($P \leq ۰/۰۵$ ، ۸=۱۹ = (۱۴۱، ۴ )F) (جدول ۲).

جدول ۳. آزمون تعقیبی توکی برای تعیین محل اختلاف بین گروه‌ها

| گروه (I) | گروه (J) | اختلاف میانگین (I-J) | خطای استاندارد | *P* |
|---|---|---|---|---|
| ۹-۷ | ۱۵-۱۳ | -۴/۰۲۵ | ۰/۸۲۸ | *۰/۰۰۰ |
| | ۱۸-۱۶ | -۲/۸۷۹ | ۰/۸۳۶ | *۰/۰۰۷ |
| | بزرگسال | -۳/۹۱۶ | ۰/۸۲۸ | *۰/۰۰۰ |



[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-07 ]
[ DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.27.12.7 ]
[ DOI: 10.61186/jsmt.22.27.219 ]

برای یافتن محل تفاوت گروه‌ها از آزمون تعقیبی توکی استفاده شد. طبق نتایج حاصل از آزمون توکی، این تفاوت بین گروه‌های سنی ۷–۹ ساله با ۱۳–۱۵ ساله ($P$= ۰/۰۰۰) و ۱۸–۱۶ ساله ($P$=۰/۰۰۷) و بزرگسالان ($P$=۰/۰۰۰) معنی‌دار بود و بین سایر گروه‌های سنی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

جدول ۴. نتایج آزمون تحلیل واریانس برای مقایسه تفاوت گروه‌ها در استفاده از درونداده‌ای حسی پیکری

| | مجموع مجذورات | درجه آزادی | میانگین مجذورات | F محاسبه شده | P |
|---|---|---|---|---|---|
| بین‌گروهی | ۰/۰۱۸ | ۴ | ۰/۰۰۵ | ۱/۸۹۸ | ۰/۱۱۴ |
| درون‌گروهی | ۰/۳۴۳ | ۱۴۱ | ۰/۰۰۲ | | |
| کل | ۰/۳۶۱ | ۱۴۵ | | | |

نتایج تحلیل واریانس نشان داد بین میانگین نمرات کنترل قامت رده‌های سنی مختلف و بزرگسالان در شرایط استفاده از درونداده‌ای حسی پیکری تفاوت معناداری وجود ندارد ($P$=۰/۱۱، F(۴ ،۱۴۱) = ۱/۸۹) (جدول ۴). بدین معنی که نسبت استفاده از درونداده‌ای حسی پیکری برای حفظ تعادل در گروه‌های سنی مختلف یکسان است.

جدول ۵. نتایج آزمون تحلیل واریانس برای مقایسه تفاوت گروه‌ها در استفاده از درونداده‌ای بینایی

| | مجموع مجذورات | درجه آزادی | میانگین مجذورات | F محاسبه شده | P |
|---|---|---|---|---|---|
| بین‌گروهی | ۰/۳۱۶ | ۴ | ۰/۰۷۹ | ۴/۲۹۸ | *۰/۰۰۳ |
| درون‌گروهی | ۲/۵۹۱ | ۱۴۱ | ۰/۰۱۸ | | |
| کل | ۲/۹۰۷ | ۱۴۵ | | | |

نتایج تحلیل واریانس نشان داد بین میانگین نمرات کنترل قامت رده‌های سنی مختلف و بزرگسالان در شرایط استفاده از درونداده‌ای بینایی تفاوت معناداری وجود دارد ($P$=۰/۰۰۳ ، F(۴،۱۴۱) =۴/۲۹) (جدول ۵). بدین معنی که نسبت استفاده از درونداده‌ای بینایی برای حفظ تعادل در گروه‌های سنی مختلف یکسان است.

جدول ۶. آزمون تعقیبی توکی برای تعیین محل تفاوت گروه‌ها در استفاده از بینایی

| گروه | | اختلاف میانگین (I-J) | خطای استاندارد | P |
|---|---|---|---|---|
| (I) | (J) | | | |
| ۷–۹ | ۱۳–۱۵ | -۰/۱۱۲۶۴ | ۰/۰۳۵۳۴ | *۰/۰۱۵ |
| | ۱۶–۱۸ | -۰/۱۲۱۴۸ | ۰/۰۳۵۶۹ | *۰/۰۰۸ |
| | بزرگسال | -۰/۱۱۹۲۱ | ۰/۰۳۵۳۴ | *۰/۰۰۸ |



[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-07 ]

[ DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.27.12.7 ]

[ DOI: 10.61186/jsmt.22.27.219 ]

برای یافتن محل تفاوت گروه‌ها از آزمون تعقیبی توکی استفاده شد. طبق نتایج حاصل از آزمون توکی، این تفاوت بین گروه‌های سنی ۷–۹ ساله با ۱۳–۱۵ ساله ($P$=۰/۰۱۵) و ۱۸–۱۶ ساله ($P$=۰/۰۰۸) و بزرگسالان ($P$=۰/۰۰۸) معنی‌دار است و بین سایر گروه‌های سنی تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود (جدول ۶).

جدول ۷. نتایج آزمون تحلیل واریانس برای مقایسه تفاوت گروه‌ها در استفاده از دروندادهای دهلیزی

| | مجموع مجذورات | درجه آزادی | میانگین مجذورات | F محاسبه شده | P |
|---|---|---|---|---|---|
| بین‌گروهی | ۰/۳۳۲ | ۴ | ۰/۰۸۳ | ۲/۲۲ | ۰/۰۶۹ |
| درون‌گروهی | ۵/۲۶۳ | ۱۴۱ | ۰/۰۳۷ | | |
| کل | ۵/۵۹۶ | ۱۴۵ | | | |

نتایج تحلیل واریانس نشان داد بین میانگین نمرات کنترل قامت رده‌های سنی مختلف و بزرگسالان در شرایط استفاده از دروندادهای دهلیزی تفاوت معناداری وجود ندارد ($P$=۰/۰۶ ، ۲.۲۲= (۴،۱۴۱)F) (جدول ۷). بدین معنی که استفاده از دروندادهای دهلیزی برای حفظ تعادل در گروه‌های سنی مختلف یکسان است.

جدول ۸. نتایج تحلیل واریانس برای مقایسه تفاوت گروه‌ها در شاخص اولویت بینایی

| | مجموع مجذورات | درجه آزادی | میانگین مجذورات | F محاسبه شده | P |
|---|---|---|---|---|---|
| بین‌گروهی | ۰/۰۱۴ | ۴ | ۰/۰۰۴ | ۰/۱۲۸ | ۰/۹۷۲ |
| درون‌گروهی | ۳/۹۵۳ | ۱۴۱ | ۰/۰۲۸ | | |
| کل | ۳/۹۶۸ | ۱۴۵ | | | |

نتایج تحلیل واریانس نشان داد بین میانگین نمرات کنترل قامت رده‌های سنی مختلف و بزرگسالان در شاخص اولویت بینایی تفاوت معناداری وجود ندارد ($P$ =۰/۹۷ ، ۰/۱۲۸= (۴،۱۴۱)F) (جدول ۸). بدین معنی که شاخص اولویت بینایی در گروه‌های سنی مختلف یکسان است.

## بحث و نتیجه‌گیری

هدف کلی این پژوهش تعیین سازوکارهای زیربنایی تفاوت‌های وابسته سن در کنترل قامت دختران ۷–۱۸ ساله و نیز تعیین تفاوت‌های احتمالی بین رده‌های سنی مختلف و بزرگسالان بود. نتایج نشان داد کنترل قامت افراد از ۷ سالگی تا بزرگسالی در تمام شرایط دستکاری دستگاه‌های حسی متفاوت است. گروه ۷ تا ۹ ساله در مقایسه با گروه‌های سنی بزرگتر از خود تفاوت معنی‌داری داشتند. این بدین معنی است که دختران هنوز تا ۹ سالگی هم توانایی سازماندهی حسی کنترل قامت همانند بزرگسالان ندارند. از طرفی، بین عملکرد گروه ۱۰ تا ۱۲ساله با گروه‌های بزرگتر و همچنین



[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-07 ]
[ DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.27.12.7 ]
[ DOI: 10.61186/jsmt.22.27.219 ]

کوچکتر از خود تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بنابراین، می‌توان سن ۱۰ تا ۱۲ سالگی را سن انتقال دختران در کنترل قامت دانست چون از سن ۱۳ تا ۱۵ سالگی اختلاف بارزی با بزرگسالان مشاهده نشده است.

بر اساس رویکرد سیستم های پویا، تفاوت بین کودکان و بزرگسالان، احتمالاً شامل تفاوت آنها در نحوهٔ سازگاری دقیق دستگاه کنترل قامت هنگام تعارض اطلاعات حسی با یکدیگر است. در بزرگسالان اگر یک دستگاه حسی اطلاعات غیر قابل اطمینان فراهم کند، دستگاه‌های کنترل قامت آنها می‌تواند تاکید بر اطلاعات حاصل از این دستگاه را کاهش و تاکید بر اطلاعات حاصل از دستگاهی دیگر را که مطمئن‌تر است، افزایش دهد (۱). احتمالاً کودکان نمی‌توانند اطلاعات حسی را به اندازهٔ بزرگسالان، به طور دقیق ارزش‌گذاری کنند. در پژوهش حاضر شرکت‌کنندگان تا سن ۱۳ سالگی به دقتی مشابه با دقت بزرگسالان دست نیافتند.

نتایج دو گروه دیگر از پژوهشگران یعنی استیندل و دیگران (۲۰۰۶)، فربر – ویارت و دیگران (۲۰۰۷) با نتایج این پژوهش در زمینه سنِ بروز تفاوت‌های کنترل قامت ناهمخوان بود (۶، ۱۱). یک دلیل ناهمسو بودن پژوهش آنها با پژوهش حاضر ممکن است استفاده از ابزار متفاوت ارزیابی کنترل قامت باشد. همان‌طور که می‌دانیم سکوهای نیروی متداول در آزمایشگاه‌های علم حرکت و بیومکانیک برخلاف دستگاه پاسچروگرافی پویای کامپیوتری، متحرک نیستند و اگرچه برای تعیین الگوهای نیرو و فشار در زیر پا در طول زمان سودمند هستند؛ اما قادر به تعیین مقادیر مؤلفه‌های افقی و برشی نیروهای اعمال شده نیستند (۲۱). از دلایل دیگر این تناقض ممکن است استفاده از هر دو گروه جنسیتی در این پژوهش‌ها باشد.

شمس و دیگران (۱۳۹۳) نیز با استفاده از دستگاه پاسچروگرافی پویای کامپیوتری عملکرد کنترل قامت را در پسران ۴ تا ۱۶ سال با شاخص توده بدنی طبیعی مورد مطالعه قرار دادند. آنها گزارش دادند که افراد از سن ۱۶ سالگی به بعد قادر به ارایه کنترل قامتی مشابه افراد بزرگسال در تمام متغیرهای سینتیک مورد ارزیابی هستند (۲۲). به نظر می‌رسد تفاوت‌های جنسیتی در کنترل قامت از دلایل احتمالی ناهمسو بودن نتایج آنها با پژوهش حاضر باشد. تمام شرکت‌کنندگان مطالعه وی پسر بودند. اما، بر اساس دیدگاه سیستم های پویا، ساختار بدنی می‌تواند یکی از مهم‌ترین مولفه‌های مرتبط با کنترل قامت محسوب شود. با توجه به این‌که ساختار بدنی دختران نسبت به پسران متفاوت است، یکی از دلایلی که اختلافات جزیی در تعادل دختران نسبت به پسران را توجیه می‌کند، مرکز ثقل است. مرکز ثقل دختران نسبت به پسران کمی پایین‌تر می‌باشد و طبق اصول بیومکانیکی حاکم بر تعادل، هر چه مرکز ثقل فرد پایین‌تر باشد پایداری او حتی در شرایط همراه با آشفتگی بیشتر خواهد بود (۲۳). همچنین، همان‌گونه که ماسو و دیگران (۲۰۲۲) اشاره داشته اند سایر متغیرهای مرتبط با حرکت شناسی یا فعالیت عضلانی در طول ایستادن آرام می توانند به افزایش درک چگونگی بلوغ کنترل قامت در دوران کودکی و نوجوانی کمک کنند (۱۸).

نتایج ما نشان داد که بین رده‌های سنی مختلف و بزرگسالان، در زمینه استفاده از دروندادهای حسی پیکری برای حفظ تعادل تفاوت معنی‌داری وجود ندارد؛ بنابراین، ضمن این که روند رشدی بارزی در استفاده از دستگاه حسی پیکری از سن ۷ تا ۱۸ سالگی مشاهده نشد، به نظر می‌رسد که این دستگاه تا حد زیادی در سال‌های اولیه زندگی و قبل از سن ۷



[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-07 ]

[ DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.27.12.7 ]

[ DOI: 10.61186/jsmt.22.27.219 ]

سالگی به تکامل می‌رسد. اما، مطالعه زیپوری و دیگران (۲۰۱۸) در خصوص مکانیسم ثبات قامتی در کودکان با مشکلات بینایی به عنوان یک منبع اصلی یکپارچگی حسی نشان داد که کودکان بین ۱۲ تا ۱۴ سال، الگوهای پاسخ کنترل قامت شبیه به بزرگسالان را نشان می دهند، که حاکی از وقوع فرآیند بالیدگی ساختاری مورد نیاز برای یکپارچگی ورودی های حسی در آن محدوده سنی است (۲۴). همسو با یافته‌های پژوهش حاضر، آسیانت و دیگران (۲۰۰۵) و گولم و دیگران (۲۰۱۴) نشان دادند که تنها کودکان ۷ ساله و بزرگتر می‌توانند در هنگام حذف اطلاعات بینایی، کنترل قامت ایستادهٔ خود را با تکیه بر دروندادهای حسی پیکری حفظ کنند (۲۵، ۲۶). در حقیقت مانند پژوهش وان هامبیک و دیگران (۲۰۲۳) روی کودکان و سالمندان، در اینجا نیز کودکان کمتر تحت تأثیر حذف اطلاعات بینایی قرار گرفتند، که احتمالا حاکی از چالش‌های کمتر کنترل قامت برای آنها است و می تواند با تنظیمات اصلاحی سریع برای کودکان و افزایش زمان جبران قامتی برای افراد بزرگسال توضیح داده شود (۱۹).

شدلر و دیگران (۲۰۱۹) نیز با محاسبه دقیق‌تر عملکرد کنترل قامت شرکت‌کنندگان خود (با تقسیم شرایط دو بر یک) به چنین نتایج مشابهی دست یافته‌اند (۱۵). در مقابل، اسپارتو و دیگران (۲۰۰۶) کنترل قامت کودکان ۷ تا ۱۲ساله را با استفاده از سکوی نیرو موردمطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که آنها نمی‌توانند از نشانه‌های حسی پیکری برای کنترل قامت در دامنه مشابهی با افراد بزرگسال استفاده کنند (۲۷). استفاده از ابزار ارزیابی متفاوت می‌تواند دلیل محکمی بر ناهمسو بودن پژوهش آنها با پژوهش حاضر باشد. پیش از آن نیز چرنگ و دیگران (۲۰۰۳) اظهار داشتند که افراد تا سن ۱۳ الی ۱۴ سالگی در غیاب اطلاعات بینایی، توانایی انتخاب راهکارهای مناسب با اتکا بر اطلاعات حسی پیکری برای کنترل قامتی مشابه با افراد بزرگسال را ندارند (۲۸).

برخلاف یافته‌های مطالعه حاضر، هسو و دیگران (۲۰۰۹) و پترسون و دیگران (۲۰۰۶) اشاره کردند که افراد تا سن ۱۲ سالگی به‌شدت به اطلاعات حس بینایی برای کنترل قامت وابسته‌اند و آنها تا رسیدن به این سن توانایی یکپارچه کردن اطلاعات حاصل از حس عمقی را ندارند (۲۹ و ۴). از بین دلایل ناهمسویی این پژوهش‌ها با این مطالعه، احتمالاً تلفیق داده‌های حاصل از هر دو گروه جنسیتی و نیز شیوه متفاوت محاسبات (تفاوت در روش‌شناسی) مشهودتر است.

همان‌طور که می‌دانیم بینایی به‌ویژه زمانی که فرد در شرایط ناپایدار (حذف اطلاعات حس عمقی) قرار می‌گیرد نقش مهمی در کنترل قامت ایفا می‌کند. نتایج این پژوهش نشان داد که بین گروه ۷ تا ۹ ساله با گروه‌های ۱۳–۱۵ ساله، ۱۶–۱۸ ساله و بزرگسالان تفاوت معنی‌داری وجود داشت. این بدین معنی است که دختران در سن ۷ تا ۹ سالگی هنوز هم توانایی استفاده از دروندادهای بینایی برای حفظ تعادل مانند افراد بزرگسال را ندارند. از طرفی، بین عملکرد گروه ۱۰ تا ۱۲ ساله با گروه‌های بزرگسال‌تر و خردسال‌تر از خود تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بنابراین، می‌توان سن ۱۰ تا ۱۲ سالگی را سن انتقال دختران در استفاده از دروندادهای بینایی در کنترل قامت دانست چون از سن ۱۳ تا ۱۵ سالگی نیز اختلاف بارزی با بزرگسالان مشاهده نشده است. به‌طور کلی، نقطه بُرش این تفاوت‌ها همان سن ۹ سالگی است و بعد از آن یک دوره‌ی انتقال به بزرگسالی اتفاق می‌افتد.



[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-07 ]
[ DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.27.12.7 ]
[ DOI: 10.61186/jsmt.22.27.219 ]

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-07 ]

[ DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.27.12.7 ]

[ DOI: 10.61186/jsmt.22.27.219 ]

یکی دیگر از یافته‌های این پژوهش این بود که در شرایط ارائه نادرست اطلاعات هر دو دستگاه بینایی و حسی پیکری، بین رده‌های سنی مختلف و بزرگسالان دررابطه‌با استفاده از دروندادهای دهلیزی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. این نکته قابل‌ذکر است که احتمالاً تحریکات حاصل از پاسچروگرافی چندان به تغییرات مرتبط با سن در برونداد دهلیزی حساس نیستند یا دستگاه دهلیزی چندان دستخوش تغییرات نمی‌شود. همچنین، بین رده‌های سنی مختلف و بزرگسالان، در زمینه شاخص اولویت بینایی برای حفظ تعادل تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. یعنی دختران ۷ساله در اولویت‌بندی دستگاه‌های حسی در شرایط مختلف مانند بزرگسالان عمل می‌کنند؛ بنابراین درک بینایی افراد از محیط خود با کنترل قامت ارتباط دارد. به همین دلیل دی فراتیس (۲۰۱۶) معتقد بود که درک متفاوت کودکان از محیط باعث شده است که در مقایسه با بزرگسالان بر اطلاعات حاصل از بینایی اتکا بیشتری داشته باشند (۳۰). همان‌گونه که برخی پژوهش‌ها نشان داده این امکان وجود دارد که سنینی که در آن هیچ تغییری در کنترل قامت ارائه نشده است با تغییرات در راهبردهای کنترل قامت مطابقت داشته باشد (مثلاً، ۱۸).

به‌طورکلی تفاوت‌های موجود بین رده‌های سنی در استفاده از دروندادهای مختلف حین کنترل قامت می‌تواند به دلیل تفاوت در عوامل بیومکانیکی و عصبی بین کودکان و بزرگسالان باشد (۳۱). احتمالا کسب تجربه در تکالیف تعادلی با افزایش سن منجر به تغییر راهبرد جبرانی مورد نیاز برای مقابله با آشفتگی‌های بیرونی یا دستکاری‌های حسی می‌شود. با این حال، همان‌گونه که تورمن و کوربتا (۲۰۱۹) اشاره داشته اند، هنوز زمان تنظیم اطلاعات حسی- حرکتی یا به عبارتی زمان رسیدن به یک الگوی کنترل قامتی مشابه با افراد بزرگسال تا حدودی نامشخص است (۳۲). علاوه براین، پردازش هیجانات اساسی تاثیرگذار بر کنترل قامت ممکن است از دوران کودکی به نوجوانی با افزایش تدریجی کنترل ناحیه پیشانی بر مناطق قشری، تغییر کند (۳۰) که این به نوبه خود راهبرد کنترل قامت در مواجه با آشفتگی‌های مختلف را تحت تاثیر قرار می دهد. با جمع بندی نتایج و با توجه به این که معناداری دستگاه دهلیزی نسبت به دستگاه حسی پیکری در سطح پایین‌تری بوده است می‌توان استدلال کرد که ابتدا دستگاه حسی پیکری، سپس دستگاه دهلیزی و در آخر دستگاه بینایی در جهت کنترل قامت بهینه به بالیدگی می‌رسند. در این مورد که آیا این اولویت بندی به علت ادراک و پردازش احساسی متفاوت و یا سایر عوامل متفاوت با بزرگسالان هست یا خیر به پژوهش های بیشتری نیاز است.

باتوجه‌به این که پژوهش حاضر روی دختران انجام شد شاید یک محدودیت قابل‌توجه عدم امکان تشخیص و تفکیک الگوهای بالیدگی و تغییرات هورمونی مؤثر بر کنترل قامت باشد. علاوه بر این، توصیه می‌شود میزان فعالیت جسمانی شرکت‌کنندگان به روشی عینی و دقیق‌تر بررسی و کنترل گردد، متغیری که در اینجا صرفاً از طریق پرسش‌نامه لحاظ گردید درحالی‌که ارتباط آن با رشد کنترل قامت تأیید شده است (۳). همچنین، توصیه می شود که در مطالعات آینده به سایر متغیرهای مهم توصیف کننده کنترل قامت مانند الگوهای فعال سازی عضلانی توجه شود.

## تشکر و قدردانی

پژوهشگر بر خود لازم می‌داند از مسئولان مرکز توان‌بخشی هلال‌احمر تهران به‌ویژه جناب آقای محسن قسامی و سرکار خانم دکتر رشیدزاده به خاطر همکاری در انجام این مطالعه تشکر و قدردانی نماید.

## References


1. Haywood KM, Roberton MA, Getchell N. Advanced analysis of motor development. Human Kinetics; 2011 Dec 30.
2. Shumway-Cook A, Woollacott MH. Motor control: translating research into clinical practice. Lippincott Williams & Wilkins; 2017.
3. García-Liñeira J, Leirós-Rodríguez R, Chinchilla-Minguet JL, García-Soidán JL. Influence of visual information and sex on postural control in children aged 6–12 years assessed with accelerometric technology. Diagnostics. 2021 Apr 1;11(4):637. https://doi.org/10.3390/diagnostics11040637
4. Peterson ML, Christou E, Rosengren KS. Children achieve adult-like sensory integration during stance at 12-years-old. Gait & posture. 2006 Jun 1;23(4):455-63. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2005.05.003
5. Fong SS, Ng GY. Sensory integration and standing balance in adolescent taekwondo practitioners. Pediatric exercise science. 2012 Feb 1;24(1):142-51. https://doi.org/10.1123/pes.24.1.142
6. Steindl R, Kunz K, Schrott-Fischer A, Scholtz AW. Effect of age and sex on maturation of sensory systems and balance control. Developmental medicine and child neurology. 2006 Jun;48(6):477-82. https://doi.org/10.1017/S0012162206001022
7. Seyedi M, Seidi F, Minoonejad H. An Investigation of the efficiency of sensory systems involved in postural control in deaf athletes and non-athletes. Sport Sciences and Health Research. 2015 May 22;7(1):111-27. 10.22059/JSMED.2015.53806
8. Bustillo-Casero, P., Villarrasa-Sapiña, I., & García-Massó, X. (2017). Effects of dual task difficulty in motor and cognitive performance: Differences between adults and adolescents. Human Movement Science, 55, 8–17. https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.07.004
9. Opala-Berdzik A, Głowacka M, Juras G. Postural sway in young female artistic and acrobatic gymnasts according to training experience and anthropometric characteristics. BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation. 2021 Dec;13:1-1. 10.1186/s13102-021-00236-w
10. Rinaldi NM, Polastri PF, Barela JA. Age-related changes in postural control sensory reweighting. Neuroscience letters. 2009 Dec 31;467(3):225-9. https://doi.org/10.1016/j.neulet.2009.10.042
11. Ferber-Viart C, Ionescu E, Morlet T, Froehlich P, Dubreuil C. Balance in healthy individuals assessed with Equitest: maturation and normative data for children and young adults. International journal of pediatric otorhinolaryngology. 2007 Jul 1;71(7):1041-6. https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2007.03.012
12. Cuisinier R, Olivier I, Vaugoyeau M, Nougier V, Assaiante C. Reweighting of sensory inputs to control quiet standing in children from 7 to 11 and in adults. PLoS One. 2011 May 9;6(5):e19697. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019697
13. Sinno S, Dumas G, Mallinson A, Najem F, Abouchacra KS, Nashner L, Perrin P. Changes in the sensory weighting strategies in balance control throughout maturation in children. Journal of the American Academy of Audiology. 2020 Dec 9;32(02):122-36. https://doi.org/10.1055/s-0040-1718706
14. Cumberworth VL, Patel NN, Rogers W, Kenyon GS. The maturation of balance in children. The Journal of Laryngology & Otology. 2007 May;121(5):449-54. https://doi.org/10.1017/S0022215106004051
15. Schedler S, Kiss R, Muehlbauer T. Age and sex differences in human balance performance from 6-18 years of age: a systematic review and meta-analysis. PLoS one. 2019 Apr 9;14(4):e0214434. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214434
16. Payne VG, Isaacs LD. Human motor development: A lifespan approach. Routledge; 2017 Apr 25.
17. Malina RM, Bouchard C, Bar-Or O. Growth, maturation, and physical activity. Human kinetics; 2004.
18. Massó XG, Sapiña IV, Chenoll MP, Ruiz JL, Torres GM, Ahulló AM. Sex differences in postural control maturation during childhood and adolescence: a cross-sectional study in children between 4 and 17 years old. Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación. 2022(45):1099-104. https://recyt.fecyt.es/index.php/retos/index
19. Van Humbeeck N, Kliegl R, Krampe RT. Lifespan changes in postural control. Scientific Reports. 2023 Jan 11;13(1):541. https://doi.org/10.1038/s41598-022-26934-0




[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-07 ]
[ DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.27.12.7 ]
[ DOI: 10.61186/jsmt.22.27.219 ]

20. Tesio L, Rota V, Longo S, Grzeda MT. Measuring standing balance in adults: reliability and minimal real difference of 14 instrumental measures. International journal of rehabilitation research. 2013 Dec 1;36(4):362-74. https://doi.org/10.1097/MRR.0000000000000037
21. Bartlett, R. (2002). *Introduction to sports biomechanics*. London: E & FN Spon.
22. Shams A, Aslankhani MA, Abdoli B, Ashayeri H, Namazizadeh M. The effect of visual, proprioception and vestibular systems manipulation on postural control in boys with 4-16 years-old. Journal of Shahrekord University of Medical Sciences. 2014 Jul 1;16(3). http://journal.skums.ac.ir/article-1-1802-fa.html
23. Plandowska M, Lichota M, Górniak K. Postural stability of 5-year-old girls and boys with different body heights. PLoS One. 2019 Dec 30;14(12):e0227119. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227119
24. Zipori, A.B.; Colpa, L.; Wong, A.M.F.; Cushing, S.L.; Gordon, K.A. Postural stability and visual impairment: Assessing balance in children with strabismus and amblyopia. PLoS ONE 2018, 13, e0205857. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205857
25. Assaiante C, Mallau S, Viel S, Jover M, Schmitz C. Development of postural control in healthy children: a functional approach. Neural plasticity. 2005 Jan 1;12(2-3):109-18. https://doi.org/10.1155/NP.2005.109
26. Gouleme N, Ezane MD, Wiener-Vacher S, Bucci MP. Spatial and temporal postural analysis: a developmental study in healthy children. International Journal of Developmental Neuroscience. 2014 Nov 1;38:169-77. https://doi.org/10.1016/j.ijdevneu.2014.08.011
27. Sparto PJ, Redfern MS, Jasko JG, Casselbrant ML, Mandel EM, Furman JM. The influence of dynamic visual cues for postural control in children aged 7–12 years. Experimental Brain Research. 2006 Jan;168:505-16. https://doi.org/10.1007/s00221-005-0109-8
28. Cherng RJ, Lee HY, Su FC. Frequency spectral characteristics of standing balance in children and young adults. Medical engineering & physics. 2003 Jul 1;25(6):509-15. https://doi.org/10.1016/S1350-4533(03)00049-3
29. Hsu YS, Kuan CC, Young YH. Assessing the development of balance function in children using stabilometry. International journal of pediatric otorhinolaryngology. 2009 May 1;73(5):737-40. https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2009.01.016
30. de Freitas Brandão A, Palluel E, Olivier I, Nougier V. Effects of emotional videos on postural control in children. Gait & Posture. 2016 Mar 1;45:175-80. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.01.017
31. Oba N, Sasagawa S, Yamamoto A, Nakazawa K. Difference in postural control during quiet standing between young children and adults: assessment with center of mass acceleration. PLoS One. 2015 Oct 8;10(10):e0140235. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140235
32. Thurman SL, Corbetta D. Changes in posture and interactive behaviors as infants progress from sitting to walking: A longitudinal study. Frontiers in psychology. 2019 Apr 12;10:822. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00822

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-07 ]
[ DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.27.12.7 ]
[ DOI: 10.61186/jsmt.22.27.219 ]