



## Effects of Linear and Nonlinear Resistance Training on Skeletal Muscle Growth Regulators (Myostatin and Follistatin) in Elderly Women

Fahimeh Tadayonzadeh<sup>1</sup> , Forouzan Fattahi Masrouf<sup>2✉</sup> , Zahra Sarlak<sup>3</sup>

1. Department of Exercise Physiology, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: [Fahimehtadayonzadeh@iaau.ac.ir](mailto:Fahimehtadayonzadeh@iaau.ac.ir)

2. **Corresponding Author**, Department of Exercise Physiology, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: [f.fattahimasroor@iauctb.ac.ir](mailto:f.fattahimasroor@iauctb.ac.ir)

3. Department of Physical Education and Sport Sciences, Khod.C., Islamic Azad University, Khodabandeh, Iran.

E-mail: [Zahrasarlak60@iaau.ir](mailto:Zahrasarlak60@iaau.ir)

### Article Info

#### Article type:

Research

#### Article history:

Received:

23 Oct 2025

Received in revised form:

28 Dec 2025

Accepted:

10 Jan 2026

Published online:

14 Feb 2026

### ABSTRACT

**Introduction:** Aging is associated with unfavorable changes in hormonal status, which may increase the risk of chronic diseases. Resistance training is recognized as one of the most effective non-pharmacological strategies for counteracting the adverse consequences of aging. However, limited information is available regarding the effects of different resistance training periodization models on hormonal indices in elderly women. Therefore, the present study aimed to investigate the effects of linear and nonlinear resistance training programs on myostatin and follistatin levels in elderly women.

**Methods:** This quasi-experimental study employed a pretest–posttest design with three groups (two experimental groups and one control group). The statistical population consisted of women aged 65–70 years residing in Tehran. A total of 36 participants were selected through purposive and convenience sampling and were randomly assigned to one of three groups: linear resistance training (n=12), nonlinear resistance training (n=12), and control (n=12). The training intervention was conducted for 8 weeks, three sessions per week, with each session lasting 80 minutes. Data were analyzed using one-way analysis of variance (ANOVA) and Tukey's post hoc test.

**Results:** The findings demonstrated that both linear and nonlinear resistance training significantly decreased myostatin levels and significantly increased follistatin levels compared with the control group. Comparison of the two training models indicated that nonlinear resistance training was slightly more effective in reducing myostatin and increasing follistatin concentrations.

**Conclusion:** Overall, the results showed that both linear and nonlinear resistance training significantly improved biomarkers associated with muscle growth and regeneration in women aged 65–70 years. Specifically, myostatin, one of the most important inhibitors of muscle growth, decreased significantly, whereas follistatin, a key facilitator of muscle growth and hypertrophy, increased significantly. These findings suggest that both resistance training models can be effective strategies for enhancing muscle health in elderly women, with nonlinear periodization demonstrating a slightly greater anabolic effect.

#### Keywords:

Linear Resistance Training,  
Nonlinear Resistance Training,  
Myostatin,  
Follistatin,  
Elderly Women.

**Cite this article:** Tadayonzadeh F, Fattahi Masrouf F, Sarlak Z. Effects of Linear and Nonlinear Resistance Training on Skeletal Muscle Growth Regulators (Myostatin and Follistatin) in Elderly Women. Journal of Modern Approaches in Education Management and Health Sciences. 2026; 02 (04): 89-106. [Doi: 10.22034/edus.2026.588562.1116](https://doi.org/10.22034/edus.2026.588562.1116)

Journal of Modern Approaches in Education Management and Health Sciences is licensed under CC BY-NC 4.0.

| Web site: <https://www.eduhealthsci.ir> | Email: [eduhealthsci@gmail.com](mailto:eduhealthsci@gmail.com).

© The Author(s).



| Publisher: Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Mazandaran Branch, Mazandaran, Iran.



## Extended Abstract

### Introduction

Aging is a natural biological process characterized by progressive declines in physiological, metabolic, and functional capacities. One of the most prominent age-related changes is the gradual loss of skeletal muscle mass, strength, and function, commonly referred to as sarcopenia. Sarcopenia is associated with reduced mobility, impaired physical performance, increased risk of falls and fractures, loss of independence, and diminished quality of life among older adults. These adverse outcomes are particularly pronounced in elderly women, who experience accelerated declines in muscle mass and hormonal function following menopause. Consequently, identifying effective interventions that can preserve muscle health and functional capacity in aging women has become a major public health priority. The regulation of skeletal muscle growth and regeneration is influenced by several molecular factors, among which myostatin and follistatin play critical roles. Myostatin, a member of the transforming growth factor-beta (TGF- $\beta$ ) superfamily, is a potent negative regulator of muscle growth. Elevated levels of myostatin inhibit muscle protein synthesis, suppress satellite cell activation, and contribute to muscle atrophy. In contrast, follistatin acts as a natural antagonist of myostatin by binding to and neutralizing its activity, thereby promoting muscle hypertrophy and regeneration. The balance between myostatin and follistatin is therefore considered a key determinant of muscle mass maintenance and adaptation. Physical exercise, particularly resistance training, has been recognized as one of the most effective non-pharmacological strategies for combating age-related muscle loss. Resistance training stimulates muscle protein synthesis, enhances neuromuscular function, and improves muscular strength and functional performance. Recent evidence suggests that resistance exercise may also influence the expression and circulating concentrations of myostatin and follistatin, thereby contributing to favorable anabolic adaptations. However, the magnitude of these responses may depend on the specific design and periodization of the training program. Among resistance training approaches, linear and nonlinear periodization models are widely used. Linear periodization involves a gradual and systematic increase in training intensity accompanied by a decrease in volume over time. In contrast, nonlinear periodization incorporates more frequent variations in training intensity and volume, often within the same week. Although both models have demonstrated effectiveness in improving muscular fitness, their comparative effects on molecular regulators of muscle growth in elderly populations remain insufficiently understood. Furthermore, most previous studies have focused on younger adults or mixed-gender populations, leaving a significant gap in knowledge regarding elderly women. Given the increasing prevalence of sarcopenia and the importance of optimizing exercise interventions for healthy aging, further research is needed to determine the most effective resistance training strategy for improving anabolic and anti-catabolic markers in older women. Therefore, the present study aimed to investigate and compare the effects of eight weeks of linear and nonlinear resistance training on circulating levels of myostatin and follistatin in women aged 65 to 70 years. It was hypothesized that both training models would improve the hormonal profile associated with muscle growth, with nonlinear resistance training potentially producing greater adaptations due to its increased variability and training stimulus.

### Methods

This quasi-experimental study employed a pretest–posttest design with three groups (two experimental groups and one control group). The statistical population consisted of women aged 65–70 years residing in Tehran. A total of 36 participants were selected through purposive and convenience sampling and were randomly assigned to one of three groups: linear resistance training ( $n = 12$ ), nonlinear resistance training ( $n = 12$ ), and control ( $n = 12$ ). The training intervention was conducted for 8 weeks, three sessions per week, with each session lasting 80 minutes. Data were analyzed using one-way analysis of variance (ANOVA) and Tukey's post hoc test.

### Results

The findings demonstrated that both linear and nonlinear resistance training significantly decreased myostatin levels and significantly increased follistatin levels compared with the control group. Comparison of the two training models indicated that nonlinear resistance training was slightly more effective in reducing myostatin and increasing follistatin concentrations.

### Conclusion

The findings of the present study provide further evidence supporting the beneficial effects of resistance training on hormonal regulators of skeletal muscle growth in elderly women. Following eight weeks of intervention, both linear and nonlinear resistance training programs resulted in significant reductions in circulating myostatin levels and significant increases in follistatin concentrations compared with the control group. These changes indicate a favorable shift toward a more anabolic physiological environment, which may contribute to the preservation and enhancement of skeletal muscle



mass and function during aging. Myostatin is widely recognized as one of the most powerful inhibitors of muscle growth and regeneration. Elevated myostatin activity has been associated with muscle wasting, reduced muscle strength, and impaired functional capacity in older adults. Therefore, the observed reduction in myostatin following resistance training suggests a decrease in catabolic signaling and a greater potential for muscle maintenance and adaptation. At the same time, the increase in follistatin levels is particularly important because follistatin acts as a natural inhibitor of myostatin, promoting muscle hypertrophy, satellite cell activation, and tissue repair. The simultaneous reduction in myostatin and elevation in follistatin observed in this study reflects a coordinated anabolic response that may help counteract the detrimental effects of age-related muscle decline. Although both training models produced significant improvements, the nonlinear resistance training program demonstrated a slightly greater effect on reducing myostatin and increasing follistatin levels. This finding may be explained by the greater variation in training intensity and volume inherent in nonlinear periodization. Frequent alterations in training stimuli may enhance neuromuscular adaptation, reduce physiological accommodation, and provide a stronger anabolic signal compared with traditional linear progression. Consequently, nonlinear periodization may represent a particularly effective strategy for optimizing hormonal responses and promoting muscle health in older women. From a practical perspective, these findings have important implications for exercise prescription in aging populations. Given the increasing prevalence of sarcopenia and functional limitations among elderly individuals, resistance training should be considered an essential component of health promotion and disease prevention programs. Both linear and nonlinear resistance training models appear capable of inducing beneficial hormonal adaptations; however, nonlinear periodization may offer additional advantages in maximizing anabolic responses. Several limitations should be acknowledged. The relatively small sample size and the restriction of participants to healthy elderly women limit the generalizability of the findings to other populations. Future studies should examine larger and more diverse samples, include additional biomarkers related to muscle metabolism, and evaluate long-term training effects. Furthermore, assessing changes in muscle mass, strength, and functional performance alongside hormonal adaptations would provide a more comprehensive understanding of the mechanisms underlying exercise-induced improvements. In conclusion, eight weeks of both linear and nonlinear resistance training effectively improved key hormonal regulators of skeletal muscle growth by decreasing myostatin and increasing follistatin levels in women aged 65–70 years. These findings highlight the value of resistance exercise as a non-pharmacological intervention for promoting healthy aging and suggest that nonlinear resistance training may provide slightly superior anabolic benefits compared with linear training.

### Ethical Considerations

The present study was approved by the Ethics Committee of the Islamic Azad University, Sari Branch, under the ethical approval code IR.IAU.SARI.REC.1404.066.

### Funding

This research received no specific grant from any funding agency.

### Authors' contribution

Conceptualization, Forouzan Fattahi Masrou; Methodology, Fahimeh Tadayonzadeh; Software, Zahra Sarlak; Validation, Forouzan Fattahi Masrou; Formal analysis, Fahimeh Tadayonzadeh; Investigation Zahra Sarlak; Data curation, Forouzan Fattahi Masrou; Writing - original draft, Forouzan Fattahi Masrou; Supervision, , Forouzan Fattahi Masrou; Project administration, Forouzan Fattahi Masrou.

### Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding this article.

### Acknowledgments

This article is derived from a doctoral dissertation in Exercise Physiology entitled “The Effect of Two Different Resistance Training Programs on Hormonal Responses and Muscle Performance in Overweight Older Women,” which was approved by the Islamic Azad University, Tehran Central Branch. The authors would like to express their sincere appreciation to the administrators, faculty members, and staff of the Islamic Azad University, Tehran Central Branch for their cooperation and support in conducting this research. They also sincerely thank all the study participants whose responsible and valuable participation made this research possible.



## اثر تمرینات مقاومتی خطی و غیر خطی بر تنظیم‌کننده‌های رشد عضله اسکلتی (میوستاتین و

### فولیستاتین) در زنان سالمند

فهیمة تدین‌زاده<sup>۱</sup> ID، فروزان فتاحی مسرور<sup>۲</sup> ID، زهرا سرلک<sup>۳</sup> ID

۱. گروه فیزیولوژی ورزشی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: [Fahimehtadayonzadeh@iau.ac.ir](mailto:Fahimehtadayonzadeh@iau.ac.ir)

۲. نویسنده مسئول، گروه فیزیولوژی ورزشی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: [f.fattahimasroor@iauctb.ac.ir](mailto:f.fattahimasroor@iauctb.ac.ir)

۳. گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد خدابنده، دانشگاه آزاد اسلامی، خدابنده، ایران. رایانامه: [Zahrasarlak60@iau.ir](mailto:Zahrasarlak60@iau.ir)

| اطلاعات مقاله           | چکیده  |
|-------------------------|--|
| نوع مقاله: مقاله پژوهشی | <b>مقدمه:</b> سالمندی با تغییرات نامطلوبی در وضعیت هورمونی همراه است که می‌تواند زمینه‌ساز افزایش خطر بیماری‌های مزمن شود. تمرینات مقاومتی به عنوان یکی از مؤثرترین راهکارهای غیردارویی برای مقابله با پیامدهای سالمندی شناخته می‌شوند. با این حال، اطلاعات محدودی درباره تأثیر الگوهای مختلف زمان‌بندی تمرین مقاومتی بر شاخص‌های هورمونی زنان سالمند وجود دارد. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر دو نوع تمرین مقاومتی با زمان‌بندی خطی و غیرخطی بر هورمون‌های میواستاتین و فولیستاتین و فولیستاتین زنان سالمند انجام شد.                               |
| تاریخ دریافت:           | <b>روش پژوهش:</b> این پژوهش از نوع نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون - پس‌آزمون و سه گروه (دو گروه آزمایشی و یک گروه کنترل) بود. جامعه آماری شامل زنان سالمند ۶۵ تا ۷۰ سال شهر تهران بود که تعداد ۳۶ نفر به روش نمونه‌گیری هدفمند و در دسترس انتخاب و به‌صورت تصادفی در سه گروه تمرین مقاومتی با زمان‌بندی خطی (۱۲ نفر)، تمرین مقاومتی با زمان‌بندی غیرخطی (۱۲ نفر) و گروه کنترل (۱۲ نفر) قرار گرفتند. برنامه تمرینی به مدت ۸ هفته، سه جلسه در هفته و هر جلسه به مدت ۸۰ دقیقه اجرا شد. داده‌ها با استفاده از تحلیل واریانس یک‌طرفه و آزمون تعقیبی توکی تحلیل شدند. |
| تاریخ بازنگری:          | <b>یافته‌ها:</b> نتایج نشان داد هر دو نوع تمرین مقاومتی خطی و غیرخطی موجب کاهش معنادار سطح میواستاتین و افزایش معنادار فولیستاتین نسبت به گروه کنترل شدند. مقایسه دو الگوی تمرینی نشان داد تمرین مقاومتی غیرخطی در کاهش میواستاتین و افزایش فولیستاتین اندکی مؤثرتر بود.   |
| تاریخ پذیرش:            | <b>نتیجه‌گیری:</b> در مجموع، نتایج پژوهش نشان داد که هر دو نوع تمرین مقاومتی خطی و غیرخطی موجب بهبود معنی‌دار شاخص‌های مرتبط با رشد و بازسازی عضلانی در زنان سالمند ۶۵ تا ۷۰ سال شهر تهران شدند. به‌گونه‌ای که سطح میواستاتین به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مهارکننده رشد عضلانی به طور معنی‌داری کاهش یافت و در مقابل، سطح فولیستاتین به عنوان عامل تسهیل‌کننده رشد و هایپرتروفی عضلانی افزایش معنی‌داری پیدا کرد.   |
| تاریخ انتشار:           |  |

**استناد:** تدین‌زاده، فهیمة؛ فتاحی مسرور، فروزان؛ سرلک، زهرا. اثر تمرینات مقاومتی خطی و غیرخطی بر تنظیم‌کننده‌های رشد عضله اسکلتی (میواستاتین و فولیستاتین) در زنان

سالمند. نشریه رویکردهای نوین در مدیریت آموزش و علوم سلامت. ۱۴۰۴؛ ۰۲ (۰۴): ۸۹-۱۰۶. Doi: [10.22034/edus.2026.588562.1116](https://doi.org/10.22034/edus.2026.588562.1116)



دسترسی به این نشریه علمی، رایگان است و حق مالکیت فکری خود را بر اساس لایسنس کرییتیو کامنز (CC BY-NC 4.0) به نویسندگان واگذار کرده است.

| آدرس نشریه: <https://www.eduhealthsci.ir/> | ایمیل: [eduhealthsci@gmail.com](mailto:eduhealthsci@gmail.com)

ناشر: جهاد دانشگاهی واحد استان مازندران.

## مقدمه

سالمندی با مجموعه‌ای از تغییرات فیزیولوژیک همراه است که یکی از مهم‌ترین آن‌ها کاهش تدریجی توده، قدرت و عملکرد عضلات اسکلتی است (۱). این فرایند که با عنوان سارکوپنی شناخته می‌شود، از مهم‌ترین عوامل کاهش استقلال عملکردی، افزایش خطر سقوط، ناتوانی جسمانی، بستری شدن و افت کیفیت زندگی در سالمندان محسوب می‌شود (۲). مطالعات نشان داده‌اند که زنان سالمند به دلیل تغییرات هورمونی ناشی از افزایش سن، کاهش فعالیت بدنی و افت ظرفیت بازسازی عضلانی، بیش از سایر گروه‌ها در معرض تحلیل عضلانی (۳) و پیامدهای ناشی از آن (۴) قرار دارند. از این‌رو شناسایی راهکارهای مؤثر برای حفظ توده و عملکرد عضلانی در این گروه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۵).

در سال‌های اخیر توجه پژوهشگران از بررسی صرف تغییرات عملکردی ناشی از تمرین ورزشی به مطالعه سازوکارهای سلولی و مولکولی مؤثر بر سازگاری عضلات اسکلتی معطوف شده است (۶). در این میان، میوستاتین (Myostatin) و فولیستاتین (Follistatin) به عنوان دو تنظیم‌کننده کلیدی رشد عضله اسکلتی شناخته می‌شوند (۷). میوستاتین که عضوی از خانواده فاکتورهای رشد تبدیل‌کننده بتا (TGF- $\beta$ : Transforming Growth Factor-beta) است، به عنوان یک تنظیم‌کننده منفی رشد عضلانی عمل کرده و با مهار تکثیر و تمایز سلول‌های ماهواره‌ای و کاهش سنتز پروتئین عضلانی، موجب محدود شدن هیپرتروفی عضلانی می‌شود (۸). افزایش بیان یا فعالیت این پروتئین با کاهش توده عضلانی (۹)، ضعف عملکردی (۱۰) و پیشرفت سارکوپنی (۱۱) در سالمندان ارتباط دارد. در مقابل، فولیستاتین با اتصال به میوستاتین و خنثی‌سازی اثرات آن، زمینه را برای افزایش رشد عضلانی (۱۲)، تحریک تمایز سلول‌های عضلانی (۱۳) و تقویت مسیرهای آنابولیک فراهم می‌کند (۱۴). بنابراین، تغییرات همزمان این دو عامل می‌تواند بازتاب‌دهنده وضعیت تعادل میان فرایندهای تحلیل و بازسازی عضله اسکلتی باشد (۱۵).

تمرین مقاومتی به عنوان مؤثرترین مداخله غیر دارویی برای مقابله با سارکوپنی شناخته می‌شود (۱۶) و شواهد فراوانی نشان داده‌اند که این نوع تمرین می‌تواند با افزایش سنتز پروتئین عضلانی (۱۷)، فعال‌سازی سلول‌های ماهواره‌ای (۱۸)، بهبود عملکرد نوروموسکولار (۱۹) و تعدیل فاکتورهای مولکولی مرتبط با رشد عضله (۲۰)، به حفظ و ارتقای سلامت عضلانی سالمندان کمک کند (۲۱). با این حال، پاسخ فیزیولوژیکی و مولکولی عضله به تمرین تا حد زیادی تحت تأثیر نحوه برنامه‌ریزی تمرین قرار دارد (۲۲). دو الگوی رایج برنامه‌ریزی تمرین مقاومتی شامل مدل خطی و مدل غیرخطی هستند. در الگوی خطی، شدت تمرین به صورت تدریجی افزایش یافته و حجم تمرین کاهش می‌یابد (۲۳)، در حالی که در الگوی غیرخطی، شدت و حجم تمرین به شکل متناوب و برنامه‌ریزی شده تغییر می‌کند (۲۴). این تفاوت در سازمان‌دهی بار تمرینی می‌تواند موجب تفاوت در پاسخ‌های هورمونی، سلولی و مولکولی ناشی از تمرین شود (۲۵).

در این راستا، شواهد جدید نشان می‌دهد تمرین مقاومتی به‌طور کلی موجب تعدیل مثبت در مسیرهای تنظیم‌کننده رشد عضله اسکلتی از جمله کاهش میوستاتین و افزایش فولیستاتین می‌شود، اما شدت و نوع برنامه‌ریزی تمرین می‌تواند میزان این سازگاری‌ها را تغییر دهد. به‌عنوان مثال، در یک فراتحلیل گسترده بر روی ۲۶ مطالعه تصادفی، خلفی (Khalafi) و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که تمرین مقاومتی موجب کاهش معنی‌دار میوستاتین و افزایش فولیستاتین در بزرگسالان می‌شود (۱). به‌طور خاص در جمعیت سالمندان و افراد مبتلا به سارکوپنی، چو (Chu) و همکاران (۲۰۲۶) در یک مرور نظام‌مند و متآنالیز نشان دادند که تمرین مقاومتی به‌طور معناداری باعث کاهش سطوح میوستاتین سرمی و بهبود شاخص‌های مرتبط با تحلیل عضلانی در سالمندان می‌شود (۲). همچنین در یک کارآزمایی تصادفی کنترل‌شده، کورزپا (Korzepa) و همکاران (۲۰۲۵) نشان دادند که تمرین مقاومتی در افراد میانسال و سالمند موجب افزایش نرخ سنتز پروتئین میوفیبریلی عضله و بهبود ظرفیت آنابولیک عضله اسکلتی می‌شود، که بیانگر حساسیت بالای عضله به محرک‌های تمرینی است (۳). علاوه بر این،

مطالعه جیونگ (Jeong) و همکاران (۲۰۲۶) نشان داد که تمرین مقاومتی، به‌ویژه هنگامی که با مداخله تغذیه‌ای همراه شود، موجب افزایش نسبت فولیستاتین به میوستاتین و بهبود شاخص‌های عملکرد عضلانی در زنان سالمند می‌شود (۴). این شواهد نشان می‌دهد که اگرچه تمرین مقاومتی در هر شکل خود اثرات مثبتی بر تنظیم‌کننده‌های رشد عضله دارد، اما تفاوت در ساختار بار تمرینی (خطی یا غیرخطی) می‌تواند منجر به تفاوت در شدت پاسخ‌های مولکولی و هورمونی در زنان سالمند شود. اگرچه مطالعات متعددی اثر تمرین مقاومتی بر شاخص‌های عملکردی و برخی نشانگرهای هورمونی را بررسی کرده‌اند، اما شواهد مربوط به مقایسه مستقیم اثر الگوهای خطی و غیرخطی تمرین مقاومتی بر تنظیم‌کننده‌های مولکولی رشد عضله اسکلتی در زنان سالمند همچنان محدود و گاه متناقض است. همچنین اطلاعات اندکی در خصوص پاسخ همزمان میوستاتین و فولیستاتین به این دو الگوی تمرینی در زنان سالمند ایرانی وجود دارد. از این رو، بررسی و مقایسه اثر تمرینات مقاومتی خطی و غیرخطی بر میوستاتین و فولیستاتین می‌تواند درک دقیق‌تری از سازوکارهای مولکولی سازگاری عضله اسکلتی به تمرین در دوران سالمندی فراهم سازد و مبنای علمی مناسبی برای طراحی برنامه‌های تمرینی مؤثر در پیشگیری یا کاهش روند سارکوپنی در زنان سالمند ارائه دهد. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر تمرینات مقاومتی خطی و غیرخطی بر تنظیم‌کننده‌های رشد عضله اسکلتی (میوستاتین و فولیستاتین) در زنان سالمند ۶۵ تا ۷۰ سال انجام شد.

### روش‌شناسی

این تحقیق کاربردی و از نوع نیمه تجربی، همراه با دو گروه آزمایشی و یک گروه کنترل و با دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون بود که در کمیته کد اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری با کد IR.IAU.SARI.REC.1404.066 به تصویب رسید. جامعه آماری پژوهش حاضر را تمام زنان سالمند شهر تهران با دامنه سنی ۶۵ تا ۷۰ سال و با شاخص توده بدن ۲۵ تا ۲۸ کیلوگرم بر مربع تشکیل دادند که در بازه زمانی تابستان و پاییز سال ۱۴۰۴ در این مطالعه شرکت داشتند. نمونه آماری به تعداد ۳۶ نفر از زنان سالمند به صورت نمونه‌گیری هدفمند و در دسترس انتخاب شد. پس از ارائه توضیحات کامل درباره اهداف و روش پژوهش، فواید و ضررهای احتمالی آن، فرم‌های رضایت‌نامه شخصی، پرسش‌نامه سلامت تکمیل و افراد منتخب به صورت تصادفی در یکی از سه گروه ۱۲ نفری شامل: گروه تمرین مقاومتی با زمان‌بندی خطی، گروه تمرین مقاومتی با زمان‌بندی غیر خطی و گروه شاهد به روش تصادفی ساده تقسیم شدند. آزمودنی‌ها به طور داوطلبانه در تحقیق حاضر شرکت نموده و از آن‌ها رضایت‌نامه شرکت در پژوهش اخذ گردید و تأکید شد که اطلاعات شخصی آن‌ها کاملاً به طور محرمانه در نزد محقق باقی می‌ماند. معیارهای سلامت شامل عدم ابتلا به بیماری‌های قلبی-عروقی، کلیوی، تیروئیدی، اسکلتی-عضلانی و دیابت، عدم کم‌خونی، عدم مصرف داروهای مؤثر بر متابولیسم، خواب منظم و عدم استعمال دخانیات بود. ملاک خروج از مطالعه نیز داشتن بیماری‌های قلبی-عروقی، اسکلتی عضلانی و هرگونه مداخله درمانی مؤثر (بویژه عمل جراحی) بر نتایج پژوهش بود لذا برای این منظور در ابتدای پژوهش از آزمودنی‌ها نوار قلبی اخذ شد.

جهت ارزیابی سلامت از پرسشنامه سلامت عمومی گلدبرگ (Goldberg) که در سال ۲۰۰۰ ساخته شده استفاده گردید و این مقیاس از جمله شناخته شده ترین ابزارهای غربالگری اختلالات سلامت عمومی است که به صورت فرم‌های ۱۲، ۲۸، ۳۰ و ۶۰ در دسترس می‌باشد. در این مجموعه فرم ۲۸ سوالی آن ارائه گردیده است که سئوالات آن در بر گیرنده چهار خرده مقیاس می‌باشد که هر یک از آنها خود شامل ۷ سؤال می‌باشند. سئوالات ۷-۱ مربوط به مقیاس علائم جسمانی و وضعیت سلامت عمومی می‌باشد. از سوال ۱۴-۸ مربوط به مقیاس اضطراب، از سوال ۱۵ تا ۲۱ مربوط به مقیاس اختلال عملکرد

اجتماعی، و سئوالات ۲۲-۲۸ نیز مربوط به مقیاس افسردگی می باشند. شیوه نمره گذاری روش لیکرتی بود که گزینه ها بصورت (۰-۱-۲-۳) نمره داده می شوند. حداکثر نمره آزمودنی با این روش در پرسشنامه مذکور ۸۴ بود. برنامه تمرین مقاومتی بین هر ۲ گروه آزمودنی مشترک بود و هر جلسه تمرین حدود ۸۰ دقیقه به طول انجامید. برنامه تمرینی مقاومتی مورد استفاده در این مطالعه، به صورت ایستگاهی و دایره ای اجرا شد. در ابتدای پژوهش، یک تکرار بیشینه آزمودنی‌ها برای گروه‌های تجربی در حرکات مورد نظر محاسبه شد. در راستای تعیین یک تکرار بیشینه از فرمول برزسکی به صورت زیر، استفاده شد.

$$(\text{تکرار} \times 0.278) - (1/0.278) / \text{وزنه جابجا شده به کیلو گرم} = \text{یک تکرار بیشینه}$$

شدت تمرین در هر دو گروه تمرین مقاومتی بر اساس یک تکرار بیشینه بود. هر جلسه تمرین شامل ۱۰ دقیقه گرم کردن، انجام تمرینات اختصاصی به مدت ۶۰ دقیقه و برنامه تمرینی ویژه هر گروه و ۱۰ دقیقه سرد کردن بود. برنامه تمرین مقاومتی در هر دو گروه شامل پرس سینه، پرس پا، سیم کش از جلو دست باز، باز کردن زانو با دستگاه، جلو بازو با هالتر و اسکات بود (جدول شماره ۱) (۵).

جدول ۱- برنامه تمرین مقاومتی در هر دو گروه تجربی

| برنامه ۱:         | هفته‌ها   | هفته اول | هفته دوم | هفته سوم | هفته چهارم | هفته پنجم | هفته ششم | هفته هفتم | هفته هشتم |
|-------------------|---|----------|----------|----------|------------|-----------|----------|-----------|-----------|
| تمرین با شدت      | ۳۰  | ۳۵       | ۴۰       | ۵۰       | ۶۰         | ۶۰        | ۵۰       | ۶۰        | ۷۰        |
| برنامه‌ریزی تکرار | ۱۵  | ۱۵       | ۱۴       | ۱۳       | ۱۲         | ۱۲        | ۱۳       | ۱۲        | ۸         |
| خطی ست‌ها         | ۲   | ۳        | ۳        | ۴        | ۴          | ۴         | ۴        | ۴         | ۴         |
| استراحت           | زمان استراحت بین ایستگاه‌ها ۳۰ ثانیه و بین هر ست ۶۰ ثانیه |          |          |          |            |           |          |           |           |
| برنامه ۲:         | هفته‌ها   | هفته اول | هفته دوم | هفته سوم | هفته چهارم | هفته پنجم | هفته ششم | هفته هفتم | هفته هشتم |
| تمرین با شدت      | ۳۰  | ۴۰       | ۵۰       | ۶۰       | ۶۰-۵۰-۴۰   | ۶۰-۴۰-۶۰  | ۶۰-۴۰-۶۰ | ۴۰-۶۰-۵۰  | ۷۰-۵۰-۶۰  |
| برنامه‌ریزی تکرار | ۱۵  | ۱۴       | ۱۳       | ۱۲       | ۱۴-۱۳-۱۴   | ۱۴-۱۲-۱۴  | ۱۴-۱۲-۱۴ | ۱۳-۱۲-۱۳  | ۸-۱۳-۱۲   |
| غیر خطی ست‌ها     | ۲   | ۳        | ۴        | ۴        | ۴-۳-۴      | ۴-۳-۴     | ۴-۳-۴    | ۳-۴-۳     | ۴-۳-۴     |
| استراحت           | زمان استراحت بین ایستگاه‌ها ۳۰ ثانیه و بین هر ست ۶۰ ثانیه |          |          |          |            |           |          |           |           |

شدت در گروه برنامه تمرینی در هفته اول ۳۰ درصد، در هفته دوم ۳۵ درصد، در هفته سوم ۴۰ درصد، در هفته چهارم ۵۰ درصد، در هفته پنجم ۶۰ درصد، در هفته ششم ۵۰ درصد، در هفته هفتم ۶۰ درصد و هفته هشتم ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه بود. تکرارها از ۱۵ تکرار در هفته اول شروع و در هفته هشتم به ۸ تکرار رسید. تعداد ست‌ها نیز از ۲ ست در هفته اول به ۴ ست در هفته هشتم رسید. زمان استراحت بین ایستگاه‌ها، ۳۰ ثانیه و زمان استراحت بین هر ست (پایان هر دور)، ۶۰ ثانیه در هر دو گروه بود (۵).

در این مطالعه مدت برنامه تمرینی ۲ گروه تجربی به مدت هشت هفته بود. ضمن این که گروه شاهد در مدت این هشت هفته هیچ نوع فعالیت بدنی نداشت. افراد گروه آزمون در مدت پژوهش به اجرای تمرینات ورزشی تحت نظارت پژوهشگر و کمک پژوهشگران در سالن بدن‌سازی پرداختند. آزمودنی‌ها پس از تکمیل فرم‌های مورد نیاز و آمادگی شرکت در فعالیت بدنی و با توجه به شرایط گزینش داوطلبان که خود شامل رعایت رژیم غذایی، عدم مصرف اسپرین، انواع استروئیدها، دیکلوفناک و هر گونه دارو و مکمل، عدم استعمال دخانیات، نداشتن سابقه بیماری و عفونت اثرگذار بر فاکتورهای ایمنی و عدم مصرف هر گونه مکمل‌های پروتئینی و ویتامینی بود، پروتکل تمرینی اجرا شد. در این مطالعه وزن آزمودنی‌ها با حداقل پوشش و بدون کفش و با استفاده از ترازوی دیجیتالی (مارک سکا ساخت کشور آلمان) اندازه‌گیری و ثبت شد. قد افراد با استفاده از یک متر نواری در وضعیت ایستاده بدون کفش در حالی که کتف‌ها در شرایط عادی قرار داشتند اندازه‌گیری شد. شاخص توده بدنی از

رابطه وزن (به کیلوگرم) بر مجذور قد (به متر مربع) محاسبه شد. به منظور اندازه‌گیری متغیرهای پژوهش، در دو مرحله شامل ۴۸ ساعت قبل از شروع مداخله و ۲۴ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی، از آزمودنی‌ها پس از ۱۲ ساعت ناشتایی شبانه، ۵ میلی‌لیتر خون وریدی از سیاهرگ آنتی‌کوبیتال دست چپ گرفته شد. تمامی نمونه‌گیری‌ها در شرایط آزمایشگاهی یکسان از نظر دما، رطوبت، نور و زمان خون‌گیری انجام شد. نمونه‌های خونی پس از جمع‌آوری در لوله‌های مخصوص قرار گرفته و در جعبه حاوی یخ به آزمایشگاه منتقل شدند. میانگین دمای محل نمونه‌گیری در هر دو مرحله ۲۴ درجه سانتی‌گراد بود و تمامی خون‌گیری‌ها بین ساعات ۸ تا ۹ صبح انجام شد. پس از جداسازی سرم به وسیله سانتریفیوژ، نمونه‌ها تا زمان انجام آزمایش در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. سطوح سرمی میواستاتین و فولیستاتین با استفاده از کیت‌های الیزای انسانی و به روش الیزا (ELISA) اندازه‌گیری شد. برای سنجش سطوح سرمی میواستاتین و فولیستاتین زنان سالمند از از کیت الیزای انسانی شرکت مرکودیای سوئد با دقت ۰/۲ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر و با ضریب سنجش درونی تغییرات (CV) برابر با ۲/۰۷ درصد و روش الیزا استفاده شد. پس از بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها، برای مقایسه متغیرهای پژوهش بین گروه‌ها از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) استفاده شد. در مواردی که تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها مشاهده گردید، به منظور تعیین محل دقیق تفاوت‌ها از آزمون تعقیبی توکی (Tukey's post hoc test) بهره گرفته شد. تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام گرفت و سطح معنی‌داری آزمون‌ها  $p \leq 0.05$  در نظر گرفته شد.

## یافته‌ها

مقادیر میانگین، انحراف استاندارد، کمینه و بیشینه‌ی ویژگی‌های آنتوپومتریکی آزمودنی‌ها هر یک از گروه‌های تحقیق در جدول شماره ۲ گزارش شده است.

جدول ۲- مشخصات جمعیت‌شناختی آزمودنی‌ها به تفکیک گروه‌ها

| متغیر                              | گروه           | مرحله آزمون | میانگین | انحراف استاندارد | کمینه | بیشینه |
|------------------------------------|----------------|-------------|---------|------------------|-------|--------|
| سن (سال)                           | مقاومتی خطی    | -           | ۶۷/۰۰   | ۱/۲۷             | ۶۵    | ۶۹     |
|                                    | مقاومتی غیرخطی | -           | ۶۶/۲۵   | ۱/۲۱             | ۶۵    | ۶۸     |
|                                    | کنترل          | -           | ۶۶/۸۳   | ۱/۴۰             | ۶۵    | ۶۹     |
| قد (سانتی‌متر)                     | مقاومتی خطی    | -           | ۱۵۶/۷۵  | ۴/۸۰             | ۱۴۸   | ۱۶۴    |
|                                    | مقاومتی غیرخطی | -           | ۱۵۶/۳۳  | ۳/۲۹             | ۱۵۲   | ۱۶۴    |
|                                    | کنترل          | -           | ۱۵۵/۴۱  | ۱/۸۸             | ۱۵۲   | ۱۵۹    |
| وزن (کیلوگرم)                      | مقاومتی خطی    | پیش‌آزمون   | ۶۵/۵۹   | ۴/۶۱             | ۵۷/۲۰ | ۷۳/۳۰  |
|                                    |                | پس‌آزمون    | ۶۳/۷۵   | ۴/۴۵             | ۵۵/۸۰ | ۷۰/۲۰  |
|                                    | مقاومتی غیرخطی | پیش‌آزمون   | ۶۵/۲۰   | ۲/۸۸             | ۶۲    | ۷۲     |
|                                    |                | پس‌آزمون    | ۶۲/۰۸   | ۲/۳۵             | ۵۹    | ۶۸     |
|                                    | کنترل          | پیش‌آزمون   | ۶۳/۸۳   | ۰/۹۳             | ۶۲    | ۶۵     |
|                                    |                | پس‌آزمون    | ۶۴/۱۲   | ۱/۰۰             | ۶۳    | ۶۶     |
| شاخص توده بدن (کیلوگرم بر مترمربع) | مقاومتی خطی    | پیش‌آزمون   | ۲۶/۷۲   | ۱/۹۸             | ۲۳/۸۱ | ۲۹/۸۱  |
|                                    |                | پس‌آزمون    | ۲۵/۹۸   | ۲/۰۴             | ۲۳/۵۳ | ۲۹/۲۶  |
|                                    | مقاومتی غیرخطی | پیش‌آزمون   | ۲۶/۷۰   | ۱/۵۲             | ۲۴/۵۴ | ۳۰/۳۶  |
|                                    |                | پس‌آزمون    | ۲۵/۴۴   | ۱/۶۶             | ۲۲/۶۸ | ۲۸/۶۷  |
|                                    | کنترل          | پیش‌آزمون   | ۲۶/۶۲   | ۱/۴۹             | ۲۳/۸۱ | ۳۰/۳۶  |
|                                    |                | پس‌آزمون    | ۲۵/۹۹   | ۱/۶۰             | ۲۲/۶۸ | ۲۹/۲۶  |

در بررسی سطح سرمی هورمون‌ها در گروه‌های مطالعه، نتایج **جدول شماره ۳** نشان داد که پس از مداخله تمرینی، تغییرات محسوسی در گروه‌های مقاومتی خطی و غیرخطی نسبت به گروه کنترل رخ داد. میانگین سطح میواستاتین در گروه مقاومتی خطی از ۵/۱۵۳ نانوگرم بر میلی‌لیتر پیش‌آزمون به ۴/۲۵۳ نانوگرم بر میلی‌لیتر پس‌آزمون کاهش یافت و گروه غیرخطی نیز کاهش مشابهی از ۴/۲۶۶ به ۳/۲۱۸ نانوگرم بر میلی‌لیتر داشت، در حالی که گروه کنترل تغییر قابل توجهی نشان نداد. سطح فولیستاتین در هر دو گروه تمرینی افزایش یافت؛ میانگین آن در گروه خطی از ۸/۲۴۱ به ۹/۳۳۹ و در گروه غیرخطی از ۷/۲۷۷ به ۹/۳۱۴ نانوگرم بر میلی‌لیتر افزایش نشان داد، در حالی که گروه کنترل تقریباً ثابت ماند.

**جدول ۳- سطوح سرمی هورمون‌ها به تفکیک گروه‌ها**

| متغیر                                    | گروه           | مرحله آزمون | میانگین | انحراف استاندارد | کمینه | بیشینه |
|--|----------------|-------------|---------|------------------|-------|--------|
| هورمون میواستاتین (نانوگرم بر میلی‌لیتر) | مقاومتی خطی    | پیش‌آزمون   | ۵/۱۵۳   | ۰/۳۴۳            | ۴/۷۰  | ۵/۸۰   |
|  |                | پس‌آزمون    | ۴/۰۹۱   | ۰/۲۵۳            | ۳/۸۰  | ۴/۶۰   |
| هورمون فولیستاتین (نانوگرم بر میلی‌لیتر) | مقاومتی غیرخطی | پیش‌آزمون   | ۴/۲۲۵   | ۰/۲۶۶            | ۳/۸۰  | ۴/۷۰   |
|  |                | پس‌آزمون    | ۳/۲۳۳   | ۰/۲۱۸            | ۲/۹۰  | ۳/۷۰   |
|  | کنترل          | پیش‌آزمون   | ۵/۹۵۰   | ۰/۲۷۴            | ۵/۵۰  | ۶/۴۰   |
|  |                | پس‌آزمون    | ۵/۹۰۸   | ۰/۲۳۹            | ۵/۵۰  | ۶/۳۰   |
|  | مقاومتی خطی    | پیش‌آزمون   | ۸/۲۴۱   | ۰/۳۰۲            | ۷/۸۰  | ۸/۷۰   |
|  |                | پس‌آزمون    | ۹/۸۵۰   | ۰/۳۳۹            | ۹/۳۰  | ۱۰/۴۰  |
| هورمون فولیستاتین (نانوگرم بر میلی‌لیتر) | مقاومتی غیرخطی | پیش‌آزمون   | ۷/۷۳۳   | ۰/۲۷۷            | ۷/۳۰  | ۸/۲۰   |
|  |                | پس‌آزمون    | ۹/۵۵۸   | ۰/۳۱۴            | ۹/۱۰  | ۱۰/۱۰  |
|  | کنترل          | پیش‌آزمون   | ۸/۳۳۳   | ۰/۲۰۱            | ۸/۰۰  | ۸/۶۰   |
|  |                | پس‌آزمون    | ۸/۳۸۳   | ۰/۱۸۹            | ۸/۰۰  | ۸/۸۰   |
|  |                | پس‌آزمون    | ۴۵/۴۱۶  | ۱/۰۸۳            | ۴۶/۰۰ | ۴۸/۰۰  |

در گام نخست، جهت انجام آزمون‌های پارامتریک، می‌بایست به بررسی پیش‌شرط‌های انجام این آزمون‌ها در نمونه مورد بررسی پرداخت. یکی از مهم‌ترین پیش‌شرط‌های انجام آزمون‌های پارامتریک، بررسی نرمال (طبیعی) بودن توزیع داده‌ها در متغیر وابسته است. برای این منظور، برای هر یک از متغیرهای مورد بررسی به تفکیک هر یک از گروه‌ها، آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها انجام گرفته است. نتایج حاصل از بررسی نرمال بودن توزیع متغیرهای وابسته نشان داد، میزان سطح معنی‌داری برای تمامی متغیرها در درون هر یک از گروه‌ها بالاتر از ۰/۰۵ می‌باشد. به عبارت دیگر، توزیع تمامی متغیرها در تمام گروه‌ها نرمال می‌باشند. همچنین با توجه به نتایج معناداری مشخص شد که تمام متغیرهای پژوهش دارای برابری واریانس و شرط استفاده از آزمون‌های پارامتریک بودند. نتایج آزمون t همبسته برای بررسی تغییرات درون‌گروهی سطح سرمی میواستاتین در **جدول شماره ۴** نشان داد که هر دو گروه تمرین مقاومتی خطی و مقاومتی غیرخطی پس از دوره تمرینی کاهش معناداری در میزان میواستاتین نشان دادند. در گروه تمرین مقاومتی خطی، میانگین سطح میواستاتین از  $5/153 \pm 0/343$  نانوگرم بر میلی‌لیتر در پیش‌آزمون به  $4/091 \pm 0/253$  در پس‌آزمون کاهش یافت که این کاهش با مقدار t برابر با ۳۷/۹۶۱ و سطح معنی‌داری  $p \leq 0/001$ ، از نظر آماری بسیار معنادار بود. میزان تغییرات این گروه حدود ۲۰/۶ درصد کاهش را نشان می‌دهد. در گروه مقاومتی غیرخطی نیز سطح میواستاتین از میانگین  $4/225 \pm 0/266$  در پیش‌آزمون به  $3/233 \pm 0/218$  در پس‌آزمون رسید که این کاهش با مقدار t برابر با ۴۳/۳۲۲ و سطح معنی‌داری  $p \leq 0/001$ ، معنادار گزارش شد. درصد تغییرات این گروه نیز حدود ۲۳/۵ درصد کاهش بوده است که نشان‌دهنده اثر قابل توجه تمرینات غیرخطی بر کاهش میواستاتین است. در مقابل، در گروه کنترل که هیچ‌گونه مداخله تمرینی دریافت نکرده بود، میانگین میواستاتین از  $5/950 \pm 0/274$  به  $5/908 \pm 0/239$

تغییر یافت که این تغییر با مقدار  $t$  برابر  $۱/۸۲۰$  و سطح معنی داری  $p=۰/۰۹۶$  معنادار نبود. بنابراین، کاهش بسیار جزئی ( $۰/۷$  درصد) در این گروه فاقد ارزش آماری است و نشان می‌دهد که تغییرات طبیعی بدن و عوامل محیطی بدون تمرین تأثیر قابل توجهی بر سطح میواستاتین نداشته‌اند.

همچنین نتایج آزمون  $t$  همبسته برای بررسی تغییرات درون گروهی سطح سرمی فولیستاتین در **جدول شماره ۴** نشان داد که هر دو گروه تمرین مقاومتی خطی و مقاومتی غیرخطی پس از دوره تمرینی افزایش معناداری در میزان فولیستاتین تجربه کرده‌اند. در گروه تمرین مقاومتی خطی، میانگین سطح فولیستاتین از  $۸/۲۴۱ \pm ۰/۳۰۲$  نانوگرم بر میلی‌لیتر در پیش‌آزمون به  $۹/۰ \pm ۸۵۰/۳۳۹$  در پس‌آزمون کاهش یافت که این افزایش با مقدار  $t$  برابر با  $۸۳/۳۳۸$  و سطح معنی داری  $p \leq ۰/۰۰۱$ ، از نظر آماری بسیار معنادار بود. میزان تغییرات این گروه حدود  $۱۹/۵$  درصد افزایش را نشان می‌دهد. در گروه مقاومتی غیرخطی نیز سطح فولیستاتین از میانگین  $۷/۷۳۳ \pm ۰/۲۷۷$  در پیش‌آزمون به  $۹/۵۵۸ \pm ۰/۳۱۴$  در پس‌آزمون رسید که این افزایش با مقدار  $t$  برابر با  $۱۳۹/۷۸۴$  و سطح معنی داری  $p \leq ۰/۰۰۱$ ، معنادار گزارش شد. درصد تغییرات این گروه نیز حدود  $۲۳/۶$  درصد افزایش بوده است که نشان‌دهنده اثر قابل توجه تمرینات غیرخطی بر افزایش فولیستاتین است. در مقابل، در گروه کنترل که هیچ‌گونه مداخله تمرینی دریافت نکرده بود، میانگین فولیستاتین از  $۸/۳۳۳ \pm ۰/۲۰۱$  به  $۸/۳۸۳ \pm ۰/۱۸۹$  تغییر یافت که این تغییر با مقدار  $t$  برابر  $۳/۳۱۷$  و سطح معنی داری  $p=۰/۰۷۶$  معنادار نبود. بنابراین، کاهش بسیار جزئی ( $۰/۶$  درصد) در این گروه فاقد ارزش آماری است و نشان می‌دهد که تغییرات طبیعی بدن و عوامل محیطی بدون تمرین تأثیر قابل توجهی بر سطح فولیستاتین نداشته‌اند.

**جدول ۴- نتایج بررسی تغییرات درون گروهی سطح متغیرها در گروه‌های مطالعه**

| متغیر                                | گروه           | پیش‌آزمون<br>M $\pm$ SD | پس‌آزمون<br>M $\pm$ SD | مقادیر $t$ | درصد تغییرات | P درون<br>گروهی |
|--------------------------------------|----------------|-------------------------|------------------------|------------|--------------|-----------------|
| میواستاتین<br>(نانوگرم بر میلی‌لیتر) | مقاومتی خطی    | $۵/۰ \pm ۱۵۳/۳۴۳$       | $۴/۰ \pm ۰۹۱/۲۵۳$      | $۳۷/۹۶۱$   | $۲۰/۶$       | $* ۰/۰۰۰$       |
|                                      | مقاومتی غیرخطی | $۴/۰ \pm ۲۲۵/۲۶۶$       | $۳/۰ \pm ۲۳۳/۲۱۸$      | $۴۳/۳۲۲$   | $۲۳/۵$       | $* ۰/۰۰۰$       |
|                                      | کنترل          | $۵/۰ \pm ۹۵۰/۲۷۴$       | $۵/۰ \pm ۹۰۸/۲۳۹$      | $۱/۸۲۰$    | $۰/۷$        | $۰/۰۹۶$         |
| فولیستاتین (نانوگرم بر<br>میلی‌لیتر) | مقاومتی خطی    | $۸/۰ \pm ۲۴۱/۳۰۲$       | $۹/۰ \pm ۸۵۰/۳۳۹$      | $-۸۳/۳۳۵$  | $۱۹/۵$       | $* ۰/۰۰۰$       |
|                                      | مقاومتی غیرخطی | $۷/۰ \pm ۷۳۳/۲۷۷$       | $۹/۰ \pm ۵۵۸/۳۱۴$      | $-۱۳۹/۷۸۴$ | $۲۳/۶$       | $* ۰/۰۰۰$       |
|                                      | کنترل          | $۸/۰ \pm ۳۳۳/۲۰۱$       | $۸/۰ \pm ۳۸۳/۱۸۹$      | $-۳/۳۱۷$   | $۰/۶$        | $۰/۰۷۲$         |

M  $\pm$  SD: انحراف استاندارد  $\pm$  میانگین؛ \* سطح معناداری کمتر از  $۰/۰۵$  در تغییرات درون گروهی

نتایج آزمون تحلیل واریانس کوواریانس (ANCOVA) برای بررسی اثر گروه‌های تمرینی بر سطح سرمی میواستاتین با کنترل پیش‌آزمون در جدول شماره ۵ نشان داد که مدل کلی از برازش بسیار مناسبی برخوردار است. مقدار  $F$  مدل کلی برابر  $۴۷۶۶/۷۰۸$  و سطح معنی داری  $p \leq ۰/۰۰۱$  بود که نشان می‌دهد متغیرهای وارد شده در مدل قادرند تغییرات پس‌آزمون را به‌طور بسیار معناداری پیش‌بینی کنند. همچنین مقدار  $R^2=۰/۹۹۸$  و  $\text{Adjusted } R^2=۰/۹۹۸$  نشان می‌دهد که حدود  $۹۹/۸$  درصد از واریانس میواستاتین پس‌آزمون توسط مدل تبیین شده است که بیانگر قدرت بسیار بالای مدل است. اثر مقدار ثابت مدل نیز با مقدار  $F=۶/۲۳۵$  و  $p=۰/۰۱۸$  معنادار بود. مهم‌تر از آن، متغیر کوواریانس (سطح پیش‌آزمون) اثر معنادار و بسیار قوی بر نتایج پس‌آزمون داشت ( $F=۵۴۱/۱۵۵$ ؛  $p \leq ۰/۰۰۱$ ) و اندازه اثر آن  $\text{Eta}^2=۰/۹۴۴$  نشان داد که پیش‌آزمون سهم بسیار بزرگی در تبیین تغییرات پس‌آزمون دارد. پس از کنترل اثر پیش‌آزمون، اثر اصلی گروه نیز بسیار معنادار بود ( $F=۶۹۶/۴۵۵$ ؛  $p \leq ۰/۰۰۱$ ) و اندازه اثر مربوط به عامل گروه برابر  $\text{Eta}^2=۰/۹۷۸$  نشان داد که نوع مداخله تمرینی تأثیر بسیار قوی و چشمگیری بر سطح سرمی میواستاتین داشته است. این مقدار اندازه اثر نشان‌دهنده یک اثر بسیار بزرگ طبق معیارهای کوهن است. از

سوی دیگر، مقدار خطای مدل بسیار پایین (۰/۰۰۳) نشان‌دهنده پایداری و دقت بسیار بالای مدل آماری است. همچنین نتایج آزمون تحلیل واریانس کوواریانس در **جدول شماره ۵** نشان داد که مدل کلی برای بررسی اثر نوع تمرین بر سطح سرمی فولیستاتین پس از کنترل پیش‌آزمون از برازش بسیار بالایی برخوردار است. مقدار  $F$  مدل کلی برابر ۲۰۷۱/۳۲۴ و سطح معنی‌داری  $p \leq 0/001$  بود، که نشان می‌دهد متغیرهای واردشده در مدل تغییرات پس‌آزمون فولیستاتین را به‌طور معناداری توضیح می‌دهند. مقادیر  $R^2 = 0/995$  و  $\text{Adjusted } R = 0/994$  نیز نشان داد که بیش از ۹۹ درصد تغییرات فولیستاتین پس‌آزمون توسط مدل تبیین شده است. اثر مقدار ثابت مدل با  $F = 3/737$  و  $p = 0/062$  معنادار نبود، اما اثر کوواریانس (پیش‌آزمون فولیستاتین) با  $F = 967/408$  و  $p \leq 0/001$  کاملاً معنادار بود و اندازه اثر آن  $\text{Eta}^2 = 0/968$  نشان می‌دهد که سطح اولیه فولیستاتین سهم بسیار بزرگی در تبیین تغییرات پس‌آزمون داشته است. پس از کنترل اثر پیش‌آزمون، اثر اصلی گروه نیز بسیار معنادار بود ( $F = 3103/893$ ;  $p \leq 0/001$ ) و اندازه اثر بسیار بزرگ ( $\text{Eta}^2 = 0/995$ ) نشان می‌دهد که نوع تمرین مقاومتی تأثیر فوق‌العاده قوی بر افزایش سطح سرمی فولیستاتین داشته است. علاوه بر این، خطای مدل بسیار کوچک (۰/۰۰۳) نشان‌دهنده دقت بالای برآوردهای مدل است. به‌طور کلی، نتایج این آزمون تأکید می‌کند که پس از کنترل سطح پیش‌آزمون فولیستاتین، نوع مداخله تمرینی (خطی یا غیرخطی) به شکل چشمگیری بر افزایش سطح این هورمون مؤثر بوده است. در ادامه، با توجه به معنادار بودن اثر گروه در آزمون آنکوا و تأیید وجود تفاوت بین گروه‌ها پس از کنترل پیش‌آزمون، برای تعیین اینکه اختلاف‌ها دقیقاً بین کدام گروه‌ها رخ داده‌اند، از آزمون تعقیبی بنفرونی استفاده شد. در ادامه، با توجه به معنادار بودن اثر گروه در آزمون آنکوا و تأیید وجود تفاوت بین گروه‌ها پس از کنترل پیش‌آزمون، جهت تعیین اینکه این تفاوت‌ها بین کدام گروه‌ها رخ داده است، از آزمون تعقیبی بنفرونی استفاده شد.

**جدول ۵- نتایج آزمون تحلیل واریانس آنکوا سطح سرمی متغیرهای تحقیق**

| متغیر      | منبع تغییرات   | مجموع مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات | $f$      | سطح معنی‌داری | اندازه اثر* |
|------------|----------------|--------------|------------|----------------|----------|---------------|-------------|
| میواستاتین | اثر کلی مدل    | ۴۶/۵۳۱       | ۳          | ۱۵/۵۱۰         | ۴۷۶۶/۷۰۸ | ** ۰/۰۰۰      | ۰/۹۹۸       |
|            | مقدار ثابت مدل | ۰/۰۲۰        | ۱          | ۰/۰۲۰          | ۶/۳۳۵    | ** ۰/۰۱۸      | ۰/۱۶۳       |
|            | اثر کوواریت    | ۱/۷۶۱        | ۱          | ۱/۷۶۱          | ۵۴۱/۱۵۵  | ** ۰/۰۰۰      | ۰/۹۴۴       |
|            | گروه           | ۴/۵۳۲        | ۲          | ۲/۲۶۶          | ۶۹۶/۴۵۵  | ** ۰/۰۰۰      | ۰/۹۷۸       |
|            | خطای مدل       | ۰/۱۰۴        | ۳۲         | ۰/۰۰۳          |          |               |             |
|            | مجموع          | ۷۴۷/۱۲۰      | ۳۶         |                |          |               |             |
| فولیستاتین | اثر کلی مدل    | ۱۷/۱۳۵       | ۳          | ۵/۷۱۲          | ۲۰۷۱/۳۲۴ | ** ۰/۰۰۰      | ۰/۹۹۵       |
|            | مقدار ثابت مدل | ۰/۰۱۰        | ۱          | ۰/۰۱۰          | ۳/۷۳۷    | ۰/۰۶۲         | ۰/۱۰۵       |
|            | اثر کوواریت    | ۲/۶۶۸        | ۱          | ۲/۶۶۸          | ۹۶۷/۴۰۸  | ** ۰/۰۰۰      | ۰/۹۶۸       |
|            | گروه           | ۱۷/۱۱۸       | ۲          | ۸/۵۵۹          | ۳۱۰۳/۸۹۳ | ** ۰/۰۰۰      | ۰/۹۹۵       |
|            | خطای مدل       | ۰/۰۸۸        | ۳۲         | ۰/۰۰۳          |          |               |             |
|            | مجموع          | ۳۱۰۶/۷۳۰     | ۳۶         |                |          |               |             |

\*  $R^2 = 0/998$ ;  $\text{Adjusted } R^2 = 0/998$ ;  $\text{Eta Squared} = 0/998$ ; \*\* سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵

نتایج آزمون تعقیبی بنفرونی در **جدول شماره ۶** نشان داد که بین گروه‌های تمرینی و گروه کنترل اختلافات معنی‌داری در سطح سرمی میواستاتین پس از مداخله وجود دارد. مقایسه بین گروه مقاومتی خطی و مقاومتی غیرخطی نشان داد که اگرچه میانگین میواستاتین در گروه مقاومتی خطی کمی بالاتر از گروه مقاومتی غیرخطی بود (۰/۱۱۳ واحد)، این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار بود ( $p = 0/023$ ). مقایسه گروه مقاومتی خطی با گروه کنترل نشان داد که سطح میواستاتین در گروه تمرین خطی به میزان ۱/۲۲۰ واحد کمتر از گروه کنترل بود و این اختلاف با مقدار  $p \leq 0/001$  به لحاظ آماری معنی‌دار است.

این یافته نشان می‌دهد که تمرینات مقاومتی خطی اثر قوی و چشمگیری در کاهش میوآستاتین نسبت به عدم مداخله دارد. همچنین، مقایسه گروه مقاومتی غیرخطی با گروه کنترل نشان داد که کاهش سطح میوآستاتین در گروه غیرخطی حتی بیشتر بوده و این گروه به میزان ۱/۳۳۳ واحد کمتر از گروه کنترل بوده است. این اختلاف نیز کاملاً معنی‌دار بود ( $p \leq 0/001$ ). در مجموع، نتایج آزمون بنفرونی نشان می‌دهد که هر دو نوع تمرین مقاومتی (خطی و غیرخطی) باعث کاهش معنی‌دار و قابل توجه سطح میوآستاتین می‌شوند و هر دو گروه نسبت به کنترل برتری آشکار دارند؛ با این تفاوت که مداخله غیرخطی کاهش کمی بیشتری نسبت به خطی ایجاد کرده است. همچنین نتایج آزمون تعقیبی بنفرونی در [جدول شماره ۶](#) نشان داد که بین گروه‌های مداخله و گروه کنترل در سطح سرمی فولیستاتین پس‌آزمون اختلافات بسیار معناداری وجود دارد. مقایسه بین گروه مقاومتی خطی و مقاومتی غیرخطی نشان داد که میانگین فولیستاتین در گروه مقاومتی خطی به‌طور معناداری کمتر از گروه مقاومتی غیرخطی بود ( $p \leq 0/001$ ،  $-0/255$ ). دامنه فاصله اطمینان ( $-0/326$  تا  $-0/185$ ) نشان می‌دهد که این اختلاف قطعی و قابل اعتماد است. همچنین مقایسه گروه مقاومتی خطی با گروه کنترل نشان داد که سطح فولیستاتین در گروه خطی ۱/۵۶۵ واحد بیشتر از گروه کنترل بود و این اختلاف با  $p \leq 0/001$  بسیار معنادار بود. فاصله اطمینان (۱/۵۱۱ تا ۱/۶۲۰) نیز قدرت این تفاوت را تأیید می‌کند. مقایسه گروه مقاومتی غیرخطی با گروه کنترل نیز نشان داد که این گروه ۱/۸۲۱ واحد افزایش معنی‌دار در سطح فولیستاتین نسبت به گروه کنترل داشته است ( $p \leq 0/001$ ). فاصله اطمینان (۱/۷۵۴ تا ۱/۸۹۶) نشان‌دهنده اندازه اثر بسیار بزرگ و قابل اتکای این مداخله است. به‌طور کلی، نتایج بیانگر آن است که هر دو نوع تمرین مقاومتی (خطی و غیرخطی) سبب افزایش معنادار سطح فولیستاتین شده‌اند، اما افزایش در گروه مقاومتی غیرخطی نسبت به خطی بیشتر بوده است.

**جدول ۶- نتایج آزمون بنفرونی برای مقایسه اختلاف بین گروهی در پس‌آزمون مقادیر متغیرهای تحقیق**

| متغیر      | گروه (I)       | گروه (J)       | اختلاف میانگین (I-J) | خطای استاندارد | سطح معنی‌داری بنفرونی | فاصله اطمینان %۹۵ |
|------------|----------------|----------------|----------------------|----------------|-----------------------|-------------------|
| میوآستاتین | مقاومتی خطی    | مقاومتی غیرخطی | ۰/۱۱۳                | ۰/۰۴۰          | ** ۰/۰۲۳              | ۰/۰۱۳-۰/۲۱۳       |
|            | مقاومتی خطی    | کنترل          | -۱/۲۲۰               | ۰/۰۳۵          | ** ۰/۰۰۰              | -۱/۳۰۸-۱/۱۳۳      |
|            | مقاومتی غیرخطی | کنترل          | -۱/۳۳۳               | ۰/۰۶۲          | ** ۰/۰۰۰              | -۱/۴۹۰-۱/۱۷۶      |
| فولیستاتین | مقاومتی خطی    | مقاومتی غیرخطی | -۰/۲۵۵               | ۰/۰۲۸          | ** ۰/۰۰۰              | -۰/۳۲۶-۰/۱۸۵      |
|            | مقاومتی خطی    | کنترل          | ۱/۵۶۵                | ۰/۰۲۲          | ** ۰/۰۰۰              | ۱/۵۱۱-۱/۶۲۰       |
|            | مقاومتی غیرخطی | کنترل          | ۱/۸۲۱                | ۰/۰۳۰          | ** ۰/۰۰۰              | ۱/۷۵۴-۱/۸۹۶       |

## بحث

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که هشت هفته تمرین مقاومتی با الگوی خطی و غیرخطی موجب کاهش معنی‌دار سطوح سرمی میوآستاتین در زنان سالمند ۶۵ تا ۷۰ سال شد. همچنین هر دو شیوه تمرینی در مقایسه با گروه کنترل اثربخشی قابل توجهی داشتند، هرچند میزان کاهش میوآستاتین در گروه تمرین مقاومتی غیرخطی اندکی بیشتر از گروه تمرین مقاومتی خطی بود. این یافته بیانگر آن است که تمرین مقاومتی، صرف‌نظر از نوع برنامه‌ریزی، می‌تواند از طریق تعدیل عوامل بازدارنده رشد عضلانی، شرایط مناسبی را برای حفظ یا افزایش توده و عملکرد عضلانی در سالمندان فراهم کند. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج مطالعات متعددی در زمینه اثر تمرین مقاومتی بر میوآستاتین همسو است. برای مثال، راث (Roth) و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند که ۹ هفته تمرین مقاومتی سنگین موجب کاهش معنی‌دار بیان ژن میوآستاتین در عضله اسکلتی مردان و زنان جوان و سالمند می‌شود. پژوهشگران نتیجه گرفتند که کاهش میوآستاتین یکی از سازوکارهای مهم سازگاری عضله به تمرین مقاومتی و افزایش ظرفیت رشد عضلانی است. این یافته با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد؛ زیرا در هر دو مطالعه تمرین مقاومتی با کاهش میوآستاتین همراه بود و نشان می‌دهد که حتی در سنین سالمندی نیز عضله اسکلتی توانایی تعدیل عوامل

مهارکننده رشد را در پاسخ به بار تمرینی حفظ می‌کند (۵). همچنین، کیم (Kim) و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که بارگذاری مقاومتی موجب کاهش بیان میوآستاتین و همزمان افزایش عوامل مرتبط با تکثیر و فعالیت سلول‌های ماهواره‌ای می‌شود. آنان پیشنهاد کردند که کاهش میوآستاتین می‌تواند شرایط لازم برای بازسازی و هیپرتروفی عضلانی را فراهم کند. این تبیین با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد و احتمالاً بخشی از کاهش میوآستاتین مشاهده‌شده در زنان سالمند مورد مطالعه ناشی از فعال شدن مسیرهای آنابولیک و سازگاری‌های سلولی ناشی از تمرین بوده است (۶). نتایج پژوهش حاضر همچنین توسط فراتحلیل خلیفی (Khalafi) و همکاران (۲۰۲۳) حمایت می‌شود. این پژوهش که ۲۶ مطالعه و ۷۶۸ آزمودنی ۱۸ تا ۸۲ ساله را بررسی کرد، نشان داد تمرین مقاومتی به طور معناداری باعث کاهش میوآستاتین و افزایش فولیستاتین می‌شود و این اثر مستقل از سن افراد است. نویسندگان نتیجه گرفتند که تغییرات میوآستاتین و فولیستاتین احتمالاً یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌های بهبود توده عضلانی و عملکرد متابولیکی در اثر تمرین مقاومتی است. یافته‌های مطالعه حاضر نیز دقیقاً در همین راستا قرار دارد و نشان می‌دهد زنان سالمند نیز از این پاسخ فیزیولوژیک سود می‌برند (۱). در مطالعه‌ای دیگر بر سالمندان، گری (Gray) (۲۰۱۷) نشان داد تمرینات مقاومتی سرعتی طی ۲۰ هفته با کاهش سطح سرمی میوآستاتین و بهبود توده بدون چربی همراه بود. پژوهشگران بیان کردند که کاهش میوآستاتین با بهبود وضعیت عضلانی و مقابله با روند سارکوپنی ارتباط دارد. این یافته با نتایج پژوهش حاضر همسو است و تأیید می‌کند که تمرین مقاومتی، صرف‌نظر از نوع اجرا، می‌تواند یکی از راهکارهای مؤثر برای تعدیل شاخص‌های زیستی مرتبط با تحلیل عضلانی در سالمندی باشد (۷).

در خصوص برتری نسبی برنامه غیرخطی نسبت به برنامه خطی، اگرچه مطالعات مستقیمی که به مقایسه تأثیر دوره‌بندی خطی و غیرخطی بر میوآستاتین پرداخته باشند محدود است، اما پژوهش‌های مرتبط با دوره‌بندی تمرین توسط بینز (Binns) و همکاران (۲۰۱۷) نشان داده که برنامه‌های غیرخطی به دلیل ایجاد تنوع بیشتر در شدت و حجم تمرین، از سازگاری زود هنگام جلوگیری کرده و محرک‌های عصبی-عضلانی و متابولیکی متنوع‌تری ایجاد می‌کنند. بنابراین، کاهش بیشتر میوآستاتین در گروه غیرخطی احتمالاً ناشی از تنش مکانیکی و متابولیکی متغیر و گسترده‌تر در طول دوره تمرین بوده است (۸). از این رو، هرچند هر دو شیوه تمرینی در کاهش میوآستاتین مؤثر بودند، اما الگوی غیرخطی ممکن است ظرفیت بیشتری برای تحریک پاسخ‌های آنابولیک در زنان سالمند داشته باشد. یافته حاضر با نتایج بسیاری از مطالعات انجام‌شده در زمینه تمرینات مقاومتی و شاخص‌های مرتبط با سارکوپنی همسو است (۶، ۱۰). پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که تمرین مقاومتی منظم می‌تواند سطح میوآستاتین را کاهش داده و هم‌زمان موجب افزایش قدرت و توده عضلانی شود. این همسویی نشان می‌دهد که کاهش میوآستاتین یکی از مکانیسم‌های مهم اثرگذاری تمرین مقاومتی در مقابله با تغییرات ناشی از سالمندی است. با این حال، تفاوت در میزان کاهش میوآستاتین بین مطالعات مختلف می‌تواند ناشی از تفاوت در سن آزمودنی‌ها، مدت مداخله، شدت تمرین، وضعیت آمادگی جسمانی اولیه و روش اندازه‌گیری متغیرها باشد. میوآستاتین به عنوان یکی از مهم‌ترین تنظیم‌کننده‌های منفی رشد عضله اسکلتی شناخته می‌شود و افزایش آن با تحلیل عضلانی، سارکوپنی و کاهش عملکرد جسمانی در سالمندان ارتباط دارد. کاهش سطح میوآستاتین در پاسخ به تمرین مقاومتی احتمالاً ناشی از افزایش تحریک مکانیکی فیبرهای عضلانی، فعال شدن سلول‌های ماهواره‌ای، افزایش سنتز پروتئین و تقویت مسیرهای آنابولیک به ویژه مسیر PI3K/Akt/mTOR است (۲۱). فعال شدن این مسیرها می‌تواند بیان ژن میوآستاتین را مهار کرده و در نتیجه محیطی مناسب برای رشد و بازسازی بافت عضلانی ایجاد کند. از سوی دیگر، تمرین مقاومتی با افزایش ترشح فاکتورهای رشد عضلانی نظیر IGF-1 و بهبود حساسیت عضله به محرک‌های آنابولیک، موجب کاهش اثرات کاتابولیک ناشی از افزایش سن می‌شود. یکی دیگر از دلایل احتمالی کاهش میوآستاتین در سالمندان، افزایش نیاز عضله به سازگاری با بار تمرینی است (۲۳). در پژوهش حاضر شدت تمرین به تدریج تا ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه افزایش یافت که این امر می‌تواند محرک کافی برای ایجاد

تنش مکانیکی و پاسخ‌های سازگاری عضلانی باشد. چنین سازگاری‌هایی معمولاً با کاهش بیان عوامل مهارکننده رشد عضله از جمله میواستاتین همراه هستند و به حفظ توده بدون چربی و بهبود عملکرد عضلانی کمک می‌کنند. هرچند هر دو شیوه تمرینی موجب کاهش میواستاتین شدند، اما کاهش بیشتر مشاهده شده در گروه تمرین غیرخطی را می‌توان به تنوع بیشتر محرک‌های تمرینی نسبت داد (۲۴). در الگوی غیرخطی، شدت، حجم و تعداد تکرارها به صورت متناوب تغییر می‌کنند و این ویژگی از سازگاری زود هنگام دستگاه عصبی - عضلانی جلوگیری کرده و محرک‌های فیزیولوژیکی متنوع‌تری را برای عضله فراهم می‌سازد. تغییرات مداوم بار تمرینی احتمالاً موجب فعال‌سازی گسترده‌تر واحدهای حرکتی، افزایش تنش متابولیکی و مکانیکی و در نتیجه سرکوب بیشتر بیان میواستاتین شده است.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که هشت هفته تمرین مقاومتی با هر دو الگوی خطی و غیرخطی موجب افزایش معنی‌دار سطح سرمی فولیستاتین در زنان سالمند ۶۵ تا ۷۰ سال شد. همچنین مقایسه بین دو شیوه تمرینی نشان داد که میزان افزایش فولیستاتین در گروه تمرین مقاومتی غیرخطی بیشتر از گروه تمرین مقاومتی خطی بوده است. این یافته بیانگر آن است که تمرین مقاومتی، صرف‌نظر از نوع برنامه‌ریزی، قادر است از طریق تعدیل عوامل تنظیم‌کننده رشد عضلانی، شرایط فیزیولوژیکی مطلوبی را برای مقابله با تغییرات وابسته به سالمندی فراهم کند، اما به نظر می‌رسد برنامه‌ریزی غیرخطی به دلیل تنوع بیشتر در شدت و حجم تمرین، اثربخشی بیشتری در تحریک پاسخ‌های آنابولیک داشته باشد. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج مطالعه هانسن (Hansen) و همکاران (۲۰۱۱) همخوانی دارد. آنان نشان دادند که تمرینات مقاومتی منظم موجب افزایش بیان ژن فولیستاتین در عضله اسکلتی و بهبود پاسخ‌های هیپرتروفیک می‌شود. پژوهشگران بیان کردند که افزایش فولیستاتین از طریق مهار مسیرهای وابسته به میواستاتین می‌تواند رشد و بازسازی عضلات را تسهیل کند (۹). در پژوهش حاضر نیز همزمان با افزایش فولیستاتین و کاهش میواستاتین، شرایط مطلوبی برای افزایش ظرفیت آنابولیکی عضله فراهم شده است که این موضوع نشان‌دهنده همسویی نتایج دو مطالعه است. از سوی دیگر، واکر (Walker) و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی پاسخ‌های حاد هورمونی به تمرین مقاومتی گزارش کردند که فولیستاتین پس از تمرین افزایش می‌یابد و این افزایش با شدت و حجم تمرین ارتباط دارد (۱۰). این یافته می‌تواند توضیح‌دهنده افزایش بیشتر فولیستاتین در گروه غیرخطی پژوهش حاضر باشد؛ زیرا در برنامه غیرخطی، نوسان شدت و حجم تمرین در هفته‌های پایانی بیشتر بود و احتمالاً همین تنوع تمرینی موجب تحریک گسترده‌تر مسیرهای آنابولیک و ترشح بیشتر فولیستاتین شده است. فولیستاتین یک گلیکوپروتئین تنظیمی مهم در بافت عضلانی است که نقش اساسی در کنترل رشد و تمایز عضلات ایفا می‌کند. مهم‌ترین عملکرد این هورمون، مهار فعالیت میواستاتین است؛ عاملی که به عنوان یکی از قوی‌ترین تنظیم‌کننده‌های منفی رشد عضله شناخته می‌شود (۱۵). افزایش فولیستاتین می‌تواند با اتصال به میواستاتین و جلوگیری از اتصال آن به گیرنده‌های اختصاصی، اثرات مهارکننده این پروتئین را کاهش دهد و در نتیجه شرایط را برای افزایش سنتز پروتئین، رشد فیبرهای عضلانی و بهبود عملکرد عضله فراهم سازد. از آنجا که سالمندی معمولاً با افزایش تدریجی میواستاتین و کاهش ظرفیت بازسازی عضلات همراه است، افزایش فولیستاتین در پاسخ به تمرین مقاومتی می‌تواند به عنوان یک سازوکار جبرانی و محافظتی در برابر سارکوپنی و تحلیل عضلانی وابسته به سن تلقی شود (۱۷).

یکی از مکانیسم‌های احتمالی افزایش فولیستاتین در پژوهش حاضر، تنش مکانیکی ایجاد شده در عضلات طی تمرینات مقاومتی است. برنامه تمرینی مورد استفاده شامل حرکات چندمفصلی و درگیرکننده گروه‌های عضلانی بزرگ نظیر پرس پا، اسکات و پرس سینه بود که با افزایش تدریجی شدت تمرین تا ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه همراه شد (۲۶). این میزان بار تمرینی احتمالاً موجب فعال شدن مسیرهای پیام‌رسانی درون سلولی مرتبط با رشد عضله، از جمله مسیر Akt/mTOR و

افزایش بیان ژن‌های مرتبط با آنابولیسم عضلانی شده است. در نتیجه، تولید فولیستاتین به عنوان یکی از عوامل تسهیل‌کننده رشد عضله افزایش یافته و زمینه لازم برای بهبود تعادل بین عوامل آنابولیک و کاتابولیک فراهم شده است (۲۷). از سوی دیگر، افزایش فولیستاتین ممکن است با فعال شدن سلول‌های ماهواره‌ای نیز مرتبط باشد. مطالعات نشان داده‌اند که تمرین مقاومتی با تحریک سلول‌های ماهواره‌ای و افزایش ظرفیت ترمیم و بازسازی عضلات همراه است. فولیستاتین علاوه بر مهار میوآستاتین، در تنظیم تکثیر و تمایز این سلول‌ها نیز نقش دارد. بنابراین افزایش این هورمون در زنان سالمند مورد مطالعه احتمالاً نشان‌دهنده فعال شدن فرآیندهای بازسازی عضلانی و افزایش ظرفیت سازگاری عضله در پاسخ به تمرین بوده است (۲۸). در مقایسه با برخی مطالعات که تغییر معنی‌داری در فولیستاتین مشاهده نکرده‌اند، باید به تفاوت در ویژگی‌های آزمودنی‌ها، مدت زمان مداخله، نوع تمرین و سطح آمادگی جسمانی اولیه اشاره کرد. در برخی پژوهش‌ها مانند لی (Lee) و همکاران (۲۰۱۰) شدت تمرین پایین‌تر یا مدت مداخله کوتاه‌تر بوده است و احتمالاً محرک کافی برای ایجاد تغییرات پایدار در فولیستاتین فراهم نشده است (۱۱). در حالی که در پژوهش حاضر شدت تمرین به تدریج تا ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه افزایش یافت و تمرینات چندمفصلی بزرگ مانند اسکات، پرس پا و پرس سینه بخش عمده برنامه را تشکیل می‌دادند که می‌توانند محرک مؤثرتری برای افزایش فولیستاتین باشند. در تبیین افزایش بیشتر فولیستاتین در گروه تمرین غیرخطی نسبت به گروه خطی می‌توان به ویژگی‌های اختصاصی این نوع برنامه‌ریزی اشاره کرد. در دوره‌بندی غیرخطی، شدت، حجم و تعداد تکرارها به طور مداوم تغییر می‌کنند و عضله با محرک‌های متفاوتی مواجه می‌شود (۲۹). این تنوع تمرینی از سازگاری زودرس جلوگیری کرده و موجب حفظ پاسخ‌های فیزیولوژیکی در طول دوره تمرین می‌شود. در برنامه مورد استفاده در این پژوهش، از هفته پنجم به بعد تغییرات مکرر در شدت و حجم تمرین اعمال شد که احتمالاً باعث افزایش فشار متابولیکی و مکانیکی بر عضله و تحریک بیشتر مسیرهای آنابولیک گردید. در نتیجه، پاسخ فولیستاتین در گروه غیرخطی قوی‌تر از گروه خطی بود (۳۰). تغییرات مشاهده‌شده را می‌توان از منظر سالمندی نیز تفسیر کرد. با افزایش سن، سطح هورمون‌های آنابولیک کاهش یافته و حساسیت عضلات به محرک‌های رشد محدود می‌شود. با این حال، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که حتی در زنان سالمند نیز عضله اسکلتی همچنان توانایی پاسخگویی به تمرین مقاومتی را حفظ کرده است (۲۲).

افزایش فولیستاتین در هر دو گروه بیانگر آن است که تمرین مقاومتی می‌تواند بخشی از افت عملکرد سیستم‌های تنظیم‌کننده رشد عضله را جبران کرده و از طریق بهبود محیط آنابولیک عضله، روند تحلیل عضلانی ناشی از افزایش سن را کند سازد (۲۴). به طور کلی یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که هشت هفته تمرین مقاومتی با هر دو الگوی خطی و غیرخطی موجب افزایش معنی‌دار فولیستاتین در زنان سالمند می‌شود. همچنین برتری نسبی تمرین غیرخطی نشان می‌دهد که استفاده از الگوهای متنوع‌تر بار تمرینی می‌تواند پاسخ‌های هورمونی مطلوب‌تری ایجاد کند و در طراحی برنامه‌های تمرینی ویژه سالمندان برای پیشگیری از سارکوپنی و حفظ سلامت عضلانی مورد توجه قرار گیرد. مطالعات نشان داده‌اند که تحریک سلول‌های ماهواره‌ای و افزایش ظرفیت ترمیم و بازسازی عضلات توسط تمرین مقاومتی ایجاد می‌گردد.

## نتیجه‌گیری

در مجموع، نتایج پژوهش نشان داد که هر دو نوع تمرین مقاومتی خطی و غیرخطی موجب بهبود معنی‌دار شاخص‌های مرتبط با رشد و بازسازی عضلانی در زنان سالمند ۶۵ تا ۷۰ سال شهر تهران شدند. به‌گونه‌ای که سطح میوآستاتین به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مهارکننده رشد عضلانی به طور معنی‌داری کاهش یافت و در مقابل، سطح فولیستاتین به عنوان عامل تسهیل‌کننده رشد و هایپرتروفی عضلانی افزایش معنی‌داری پیدا کرد. همچنین هر دو شیوه تمرینی در مقایسه با گروه کنترل

اثر بخشی مطلوبی نشان دادند، اما تمرین مقاومتی غیرخطی در کاهش میواستاتین و افزایش فولیستاتین تأثیر بیشتری نسبت به تمرین مقاومتی خطی داشت. این یافته‌ها بیانگر آن است که هر دو الگوی تمرینی می‌توانند به عنوان راهکارهای مؤثر برای مقابله با کاهش توده و عملکرد عضلانی ناشی از سالمندی مورد استفاده قرار گیرند، هرچند الگوی غیرخطی احتمالاً به دلیل تنوع بیشتر در شدت و حجم تمرین، سازگاری‌های آنابولیکی مطلوب‌تری را در زنان سالمند ایجاد می‌کند.

### ملاحظات اخلاقی

مطالعه حاضر در کمیته اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری به کد اخلاق IR.IAU.SARI.REC.1404.066 به تصویب رسید.

### حامی مالی

این تحقیق هیچ بودجه‌ای دریافت نکرده است.

### مشارکت نویسندگان

مفهوم سازی، فروزان فتاحی مسرور؛ روش شناسی، فهیمة تدین‌زاده؛ نرم افزار، زهرا سرلک؛ اعتبارسنجی، روزان فتاحی مسرور؛ تحلیل صوری، فهیمة تدین‌زاده؛ تحقیق، زهرا سرلک؛ مدیریت داده‌ها، فروزان فتاحی مسرور؛ نگارش - پیش نویس اصلی، ، فروزان فتاحی مسرور؛ سرپرست، فروزان فتاحی مسرور؛ مدیریت پروژه، فروزان فتاحی مسرور.

### تعارض منافع

بنابر اظهار نویسنده، این مقاله تعارض منافع ندارد.

### تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از رساله دکتری رشته فیزیولوژی ورزشی با عنوان «اثر دو برنامه متفاوت مقاومتی بر پاسخ‌های هورمونی و عملکرد عضلانی زنان سالمند دارای اضافه وزن» است که در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی به تصویب رسیده است. نویسندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را از مسئولان، اعضای هیأت علمی و کارکنان دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی که در اجرای این پژوهش همکاری و حمایت‌های لازم را به عمل آوردند، ابراز می‌دارند. همچنین از تمامی شرکت‌کنندگان پژوهش که با مشارکت مسئولانه و ارزشمند خود امکان انجام این مطالعه را فراهم ساختند، صمیمانه تشکر می‌شود.

### References

1. Khalafi M, Aria B, Symonds ME, Rosenkranz SK. The effects of resistance training on myostatin and follistatin in adults: A systematic review and meta-analysis. *Physiol Behav.* 2023;269:114272. doi: [10.1016/j.physbeh.2023.114272](https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2023.114272)
2. Chu R, Li M, Zhu C, Du Y, Xie Y, Ni T, et al. The effects of resistance training on myostatin in older adults with frailty and/or sarcopenia: a systematic review and meta analysis. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2026;18(1):222. doi: [10.1186/s13102-026-01655-3](https://doi.org/10.1186/s13102-026-01655-3)

3. Korzepa M, Quinlan JI, Marshall RN, Rogers LM, Belfield AE, Elhassan YS, et al. Resistance training increases myofibrillar protein synthesis in middle-to-older aged adults consuming a typical diet with no influence of protein source: a randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr.* 2025;122(1):122-136. doi: [10.1016/j.ajcnut.2025.04.019](https://doi.org/10.1016/j.ajcnut.2025.04.019)
4. Jeong D, Valentine RJ, Jeong H, Sung JY, Lim H, Kang S. Combined resistance exercise and essential amino acid intake enhance follistatin/myostatin ratio and muscle fitness in older women: a randomized controlled trial. *J Int Soc Sports Nutr.* 2026 Dec 31;23(1):2646626. doi: [10.1080/15502783.2026.2646626](https://doi.org/10.1080/15502783.2026.2646626)
5. Roth SM, Martel GF, Ferrell RE, Metter EJ, Hurley BF, Rogers MA. Myostatin gene expression is reduced in humans with heavy-resistance strength training: a brief communication. *Exp Biol Med (Maywood).* 2003;228(6):706-9. doi: [10.1177/153537020322800609](https://doi.org/10.1177/153537020322800609)
6. Kim JS, Cross JM, Bamman MM. Impact of resistance loading on myostatin expression and cell cycle regulation in young and older men and women. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2005;288(6):E1110-9. doi: [10.1152/ajpendo.00464.2004](https://doi.org/10.1152/ajpendo.00464.2004)
7. Gray M, Binns A, Glenn J. MYOSTATIN, STRENGTH, AND POWER AMONG OLDER ADULTS FOLLOWING A 20-WEEK, RESISTANCE TRAINING PROGRAM. *Innov Aging.* 2017;1(Suppl 1):898-9. doi: [10.1093/geroni/igx004.3223](https://doi.org/10.1093/geroni/igx004.3223)
8. Binns A, Gray M, Henson AC, Fort IL. Changes in Lean Mass and Serum Myostatin with Habitual Protein Intake and High-Velocity Resistance Training. *J Nutr Health Aging.* 2017;21(10):1111-1117. doi: [10.1007/s12603-017-0883-6](https://doi.org/10.1007/s12603-017-0883-6)
9. Hansen J, Brandt C, Nielsen AR, Hojman P, Whitham M, Febbraio MA, Pedersen BK, Plomgaard P. Exercise induces a marked increase in plasma follistatin: evidence that follistatin is a contraction-induced hepatokine. *Endocrinology.* 2011;152(1):164-71. doi: [10.1210/en.2010-0868](https://doi.org/10.1210/en.2010-0868)
10. Walker RG, Czepnik M, Goebel EJ, McCoy JC, Vujic A, Cho M, et al. Structural basis for potency differences between GDF8 and GDF11. *BMC Biol.* 2017;15(1):19. doi: [10.1186/s12915-017-0350-1](https://doi.org/10.1186/s12915-017-0350-1)
11. Lee SJ, McPherron AC. Regulation of myostatin activity and muscle growth. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2001;98(16):9306-11. doi: [10.1073/pnas.151270098](https://doi.org/10.1073/pnas.151270098)
12. Jiang Q, Lou K, Hou L, Lu Y, Sun L, Tan SC, et al. The effect of resistance training on serum insulin-like growth factor 1(IGF-1): A systematic review and meta-analysis. *Complement Ther Med.* 2020;50:102360. doi: [10.1016/j.ctim.2020.102360](https://doi.org/10.1016/j.ctim.2020.102360)
13. Amiri N, Fathei M, Mosafieri Ziaaldini M. Effects of resistance training on muscle strength, insulin-like growth factor-1, and insulin-like growth factor-binding protein-3 in healthy elderly subjects: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Hormones (Athens).* 2021;20(2):247-257. doi: [10.1007/s42000-020-00250-6](https://doi.org/10.1007/s42000-020-00250-6)
14. Allsopp GL, Addinsall AB, Hoffmann SM, Russell AP, Wright CR. Hormonal and metabolic responses of older adults to resistance training in normobaric hypoxia. *Eur J Appl Physiol.* 2022;122(4):1007-1017. doi: [10.1007/s00421-022-04897-4](https://doi.org/10.1007/s00421-022-04897-4)
15. Schaupp A, Bidlingmaier M, Martini S, Reincke M, Schluessel S, et al. Resistance training-induced improvement in physical function is not associated to changes in endocrine somatotrophic activity in prefrail older adults. *Arch Gerontol Geriatr.* 2022;103:104792. doi: [10.1016/j.archger.2022.104792](https://doi.org/10.1016/j.archger.2022.104792)
16. Buskard ANL, Petrella RJ. Resistance Training and Weight Loss in Older Adults: A Scoping Review. *Sports Med Open.* 2023;9(1):67. doi: [10.1186/s40798-023-00613-4](https://doi.org/10.1186/s40798-023-00613-4)
17. Nilsson S, Hammar M, West J, Borga M, Thorell S, Spetz Holm AC. Resistance training decreased abdominal adiposity in postmenopausal women. *Maturitas.* 2023;176:107794. doi: [10.16/j.tas.2023.107794](https://doi.org/10.16/j.tas.2023.107794)
18. Hernández-Lepe MA, Ortiz-Ortiz M, Hernández-Ontiveros DA, Mejía-Rangel MJ. Inflammatory Profile of Older Adults in Response to Physical Activity and Diet Supplementation: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2023;20(5):4111. doi: [10.3390/ijerph20054111](https://doi.org/10.3390/ijerph20054111)
19. Chen YC, Chen WC, Liu CW, Huang WY, Lu I, Lin CW, et al. Is moderate resistance training adequate for older adults with sarcopenia? A systematic review and network meta-analysis of RCTs. *Eur Rev Aging Phys Act.* 2023;20(1):22. doi: [10.1186/s11556-023-00333-4](https://doi.org/10.1186/s11556-023-00333-4)

20. Kelley GA, Kelley KS, Stauffer BL. Effects of resistance training on body weight and body composition in older adults: An inter-individual response difference meta-analysis of randomized controlled trials. *Sci Prog*. 2023;106(2):368504231179062. doi: [10.1177/00368504231179062](https://doi.org/10.1177/00368504231179062)
21. Bouassida A, Chamari K, Zaouali M, Feki Y, Zbidi A, Tabka Z. Review on leptin and adiponectin responses and adaptations to acute and chronic exercise. *Br J Sports Med*. 2010;44(9):620-30. doi: [10.1136/bjism.2008.046151](https://doi.org/10.1136/bjism.2008.046151)
22. Cheng X, Yang Z. Effect of resistance training on inflammatory markers in middle-aged and older adults: A meta-analysis. *Arch Gerontol Geriatr*. 2024;126:105536. doi: [10.1016/j.archger.2024.105536](https://doi.org/10.1016/j.archger.2024.105536)
23. Wewege MA, Thom JM, Rye KA, Parmenter BJ. Aerobic, resistance or combined training: A systematic review and meta-analysis of exercise to reduce cardiovascular risk in adults with metabolic syndrome. *Atherosclerosis*. 2018;274:162-171. doi: [10.1016/j.atherosclerosis.2018.05.002](https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2018.05.002)
24. Moro T, Brightwell CR, Volpi E, Rasmussen BB, Fry CS. Resistance exercise training promotes fiber type-specific myonuclear adaptations in older adults. *J Appl Physiol (1985)*. 2020;128(4):795-804. doi: [10.1152/jappphysiol.00723.2019](https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00723.2019)
25. Pérez-Castillo ÍM, Ruiz-Caride SR, Rueda R, López-Chicharro J, Segura-Ortiz F, Bouzamondo H. Skeletal muscle memory: implications for sports, aging and nutrition. *Front Nutr*. 2025;12:1701520. doi: [10.3389/fnut.2025.1701520](https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1701520)
26. McGlory C, Devries MC, Phillips SM. Skeletal muscle and resistance exercise training; the role of protein synthesis in recovery and remodeling. *J Appl Physiol (1985)*. 2017;122(3):541-548. doi: [10.1152/jappphysiol.00613.2016](https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00613.2016)
27. Drummond MJ, Conlee RK, Mack GW, Sudweeks S, Schaalje GB, Parcell AC. Myogenic regulatory factor response to resistance exercise volume in skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol*. 2010;108(4):771-8. doi: [10.1007/s00421-009-1279-z](https://doi.org/10.1007/s00421-009-1279-z)
28. Thompson LV. Effects of age and training on skeletal muscle physiology and performance. *Phys Ther*. 1994;74(1):71-81. doi: [10.1093/ptj/74.1.71](https://doi.org/10.1093/ptj/74.1.71)
29. Hart PD, Buck DJ. The effect of resistance training on health-related quality of life in older adults: Systematic review and meta-analysis. *Health Promot Perspect*. 2019;9(1):1-12. doi: [10.15171/hpp.2019.01](https://doi.org/10.15171/hpp.2019.01)
30. Chou CH, Hwang CL, Wu YT. Effect of exercise on physical function, daily living activities, and quality of life in the frail older adults: a meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2012;93(2):237-44. doi: [10.1016/j.apmr.2011.08.042](https://doi.org/10.1016/j.apmr.2011.08.042)