# ارائه یک مدل ریاضی چند هدفه برای برنامه ریزی رژیم غذایی پایدار ورزشکاران

امید بویرحسنی [۱،*]، ندا صادقی [۲]

**اطلاعات مقاله**

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۲۰
پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۱۶

**واژگان کلیدی:**
پایداری،
مدلسازی ریاضی چندهدفه،
برنامه ریزی رژیم غذایی
پایدار،
بهینه سازی،
روش اپسیلون محدودیت.

**چکیده**

رژیم‌های غذایی پایدار به دلیل تأثیر کمتر بر محیط زیست و همچنین داشتن ریز مغذی‌های لازم برای زندگی سالم در نسل‌های حال حاضر و آینده حائز اهمیت هستند. از طرفی ورزشکاران نیز همیشه به برنامه‌های غذایی خاص برای نگهداری سطح عمکلرد خود احتیاج دارند. بنابراین در این تحقیق، یک مدل ریاضی با سه تابع هدف برای برنامه‌ریزی رژیم غذایی ورزشکاران با در نظر گرفتن اصول پایداری شامل اهداف ۱- کمینه‌سازی هزینه خرید مواد غذایی، هزینه میزان آب مصرفی و هزینه میزان تولید کربن دی اکسید برای مواد غذایی،۲- بیشینه سازی میزان پروتئین دریافتی و۳- کمینه‌سازی مقدار قند و چربی پیشنهاد شده است. برای اعتبار سنجی مدل از اطلاعات واقعی برای مواد مغذی و مکمل‌های مورد نیاز بدن ورزشکاران استفاده شده است. برای حل این مدل از نرم‌افزار محاسباتی گمز(GAMS) استفاده گردید. خروجی‌های مدل نشان دهنده کارایی مدل در مثال واقعی می‌باشند.

## ۱- مقدمه

غذاهای مصرفی و الگوهای غذایی از جمله فاکتورهای اصلی سلامت در طول زندگی انسان‌ها می‌باشند. اولین بحث در مورد رژیم‌های غذایی دوست‌دار محیط زیست در سال ۱۹۸۶ توسط گاسو وکلنسی[۳] [۱] با در نظر گرفتن اثرات غذا بر محیط زیست و همچنین ریز مغذی‌های غذا انجام شد. آنچه که انسان‌ها برای خوردن و نوشیدن انتخاب می‌کنند، اثرات زیادی بر روی محیط زیست و منابع مالی دارد [۲]. کشاورزی و بخش‌های تولیدی مواد غذایی، تولید کننده بیش از ۲۵ درصد از گازهای گلخانه‌ای هستند، همچنین باعث آلودگی آب‌های آزاد و استفاده از نیمی از زمین‌های غیر یخبندان به عنوان مراتع و گندم زار می‌باشند [۳]. در حال حاضر تأمین مواد غذایی، به هکتارها زمین و مقادیر بسیاری آب نیاز دارد و باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز می‌شود. غذاهایی که از منابع حیوانی به دست می‌آیند، نسبت به منابع گیاهی، به زمین و آب بیشتری نیاز دارند و موجب انتشار گازهای گلخانه‌ای بیشتری می‌شوند. بنابراین منابع غذایی با منشا حیوانی نسبت به میوه و سبزیجات، اثرات بیشتری بر محیط زیست دارند [۴]. اخیراً سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل (فائو[۴]) [۵] یک تعریف جدید در رابطه با در نظر داشتن نقش الگوهای غذایی بر توسعه پایدار و حذف فقر و ناامنی غذایی ارائه داده است که عبارت است از: "رژیم‌های غذایی پایدار آن دسته از رژیم‌ها هستند که با کمترین اثر بر محیط زیست برای تغذیه و برآورده کردن ریز مغذی ها استفاده می شوند و نقش مهمی در داشتن زندگی سالم در نسل های حال حاضر و آینده ایفا می کنند". رژیم‌های غذایی پایدار نه تنها حفاظت کننده محیط زیست، دارای مقبولیت فرهنگی، قابلیت دسترسی، مقرون به صرفه از لحاظ اقتصادی، دارای مواد مغذی کافی، ایمن و سالم می‌باشند، بلکه استفاده از منابع

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: omidboyer@gmail.com
۱. استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران
۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی صنایع، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

[3] Gussow and Clancy
[4] FAO(Food and Agriculture Organization)

انسانی و طبیعی را بهینه می‌کنند. از طرفی دنیای واقعی با این مشکل مواجه است که کشورهای توسعه یافته در سیستم جهانی سازی غذا به دنبال توسعه غذاهای ارزان‌تر با انرژی بیشتر و با ریزمغذی‌های کمتر هستند [۶].

در حوزه برنامه‌ریزی رژیم‌های غذایی سالم و مقرون به صرفه، مدل‌های ریاضی زیادی که اکثر آنها از نوع خطی هستند، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. متعاقباً، محققین مختلف از تکنیک‌های متفاوت برای بهینه سازی رژیم‌های غذایی استفاده کرده‌اند [۷]. بنابراین نتیجه می‌گیریم برنامه‌ریزی ریاضی ابزاری کاربردی در این حوزه است.

با توجه به اهمیت ذکر شده در مورد رژیم‌های غذایی و همچنین با تأمین ریزمغذی‌های بدن بر مبنای یک رژیم مناسب می‌توان گفت که ورزشکاران نیز از این امر مستثنی نیستند. بر اساس تحقیقات انجام شده توسط ماغان ، بورک[1] [۸] در کتاب تغذیه برای قهرمانان در سال ۲۰۱۲ ، نیازهای غذایی ورزشکاران شامل مواردی مانند پروتئین، کربوهیدرات، ویتأمین ، مواد معدنی، مکمل‌های ورزشی، چربی‌های غیر اشباع، مصرف زیاد آب و ... می‌باشد، از طرفی ورزشکاران همیشه باید از کم شدن بیش از اندازه وزن خود اجتناب کنند که این موارد، خود باعث داشتن رژیم غذایی خاصی می‌گردد. همچنین یکی از اصلی‌ترین منابع غذایی برای تأمین نیاز ورزشکاران از قبیل پروتئین غذاهایی با منبع حیوانی مانند گوشت، ماهی و لبنیات می‌باشند. با توجه به نکاتی که در بالا ذکر شد مواد غذایی با منبع حیوانی در مقایسه با داشتن رژیم غذایی بر مبنای ساختار گیاهی که اثر کمتری بر محیط زیست دارد ناسازگاری مشهودی پیدا می‌کند.

در پاسخ به این نیاز، پژوهش حاضر یک مدل ریاضی برای برنامه‌ریزی رژیم غذایی پایدار ورزشکاران ارائه می‌دهد، که با انتخاب غذاهایی به صرفه از لحاظ اقتصادی و همچنین حداقل‌سازی اثرات این غذاها بر محیط زیست، نیاز بدن ورزشکاران را نیز برآورده کند. مدل پیشنهادی شامل سه تابع هدف است، که این اهداف عبارتند از کمینه‌سازی هزینه خرید مواد غذایی، میزان آب مصرفی و میزان دی اکسید کربن منتشر شده در تولید مواد غذایی جهت داشتن یک رژیم غذایی پایدار و همچنین بیشینه‌سازی میزان پروتئین مصرفی و کمینه‌سازی مقدار قند و چربی مصرفی جهت رفع نیاز بدن ورزشکاران. از طرفی کاملاً مشخص است که ورزشکاران دارای نیازهای تغذیه‌ای خاصی می‌باشند و این نیازها باعث استفاده از رژیم‌های غذایی پر پروتئین می‌گردد، این نکته موجب ناسازگاری رژیم‌های غذایی ورزشکاران با رژیم‌های غذایی دوست‌دار محیط زیست می‌گردد، در نتیجه محدودیت‌های خاص این نوع رژیم‌ها باید در مدل لحاظ شود. با استفاده از خروجی‌های این تحقیق می توان بر اساس مواد غذایی در دسترس و در نظر گرفتن اطلاعات ریز مغذی‌های هر ماده غذایی و همچنین قیمت منابع غذایی مختلف و تأثیراتی که بر روی محیط زیست از لحاظ میزان مصرف آب و تولید کربن دی اکسید دارند، نوع ماده غذایی و مقدار آن را با در نظر گرفتن شاخص‌های اصلی برای ورزشکاران پیشنهاد داد.

در ادامه در بخش دوم به پیشینه تحقیق پرداخته می‌شود. در بخش سوم مواد و روش ها بیان می‌گردد. در بخش چهارم به تشریح مدل ریاضی چند هدفه برای برنامه‌ریزی رژیم غذایی پایدار ورزشکاران و بیان روش اپسیلون محدودیت می‌پردازیم و در بخش پنجم به حل مدل با استفاده از روش اپسیلون محدودیت و مقایسه آن با روش جمع اوزان پرداخته می‌شود و مرحله به مرحله، مسئله با روش بیان شده، بهینه‌سازی می‌گردد. بخش ششم به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات و تشکر و قدردانی از اساتید محترم اختصاص داده شده است.

## ۲- پیشینه تحقیق

رژیم غذایی یکی از مسائل مهم در تغذیه افراد می‌باشد. الگوهای رژیم غذایی نقش کلیدی در ارتقاء سلامت و حفظ محیط زیست ایفا می‌کنند. تعداد روزافزون مطالعات نشان می‌دهد، تأثیر عوامل فردی مانند وضعیت اجتماعی و اقتصادی، متغیرهای شیوه زندگی و عوامل محیطی و اجتماعی بر انتخاب مصرف مواد غذایی تأثیر به سزایی دارند. در پژوهشی که بابیک و پریک[2] (۲۰۱۱) انجام دادند، یک مدل برای تعیین ترکیب مطلوب مواد تشکیل دهنده خوراک دام را مورد ارزیابی قرار دادند. برای مواد مغذی پایه، هزینه‌ها و میزان آب مصرفی مینیمم شده و به طور عمده توسط برنامه‌نویسی خطی حل شده است. مدل توسعه یافته می‌تواند با موفقیت در حل مسائل مشابه مورد استفاده قرار گیرد [۹].

[1] Maughan and Burke

[2] Babić and Perić

مکدیارمید و همکاران[1] (۲۰۱۲) در مقاله خود تحت عنوان رژیم پایدار برای آینده، به ارائه مدلی برای حداقل کردن انتشار گازهای گلخانه‌ای پرداختند. هدف این مطالعه انتخاب رژیم غذایی بود که با توجه به برآورده کردن نیاز بدن و سلامت آن باعث کاهش گازهای گلخانه‌ای نیز شود. آنها در پایان به این نتیجه رسیدند که امکان تعیین یک رژیم غذایی پایدار با توجه به شاخص‌های سلامتی و در نظر گرفتن گازهای گلخانه‌ای با استفاده از گوشت و محصولات لبنی در رژیم غذایی با هزینه مناسب وجود دارد [۱۰].

ویلسون و همکاران[2] (۲۰۱۳) در مقاله خود از روش مدل‌سازی ریاضی خطی برای ارائه مدلی با در نظر گرفتن معیارهای هزینه، سلامت و محیط زیست استفاده کرده‌اند. هدف آن‌ها در نظر گرفتن راه‌حل بهینه‌سازی شده در ترکیبی از مواد غذایی در رژیم غذایی روزانه برای کشور نیوزلند می‌باشد [۱۱].

باس[3] (۲۰۱۴) در مقاله خود به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط پرداخته و از رویکرد بهینه‌سازی استوار برای عدم قطعیت در مقادیر قند از مواد غذایی استفاده می‌کند. بر مبنای این تحقیق نتیجه گرفته شد هیچ عامل دیگری مانند تعداد ترکیب مواد غذایی و عوارض مختلف در سطوح قند خون در نظر گرفته نمی‌شود [۱۲].

گفارت و همکاران[4] (۲۰۱۶) در مطالعه خود بر اساس تغذیه و داده‌های جمعیت ایالات متحده، رژیم‌های غذایی را شناسایی و اثرات زیست محیطی را به حداقل رساندند. در این مقاله اثرات زیست محیطی از جمله انتشار کربن، میزان آب مصرفی، میزان نیتروژن آزاد شده و میزان استفاده از زمین(خاک) کاهش یافت و کربوهیدرات و کالری مصرفی نیز افزایش پیدا کرد [۱۳].

دوناتی و همکاران[5] (۲۰۱۶) یک مدل ریاضی پایدار را با سه تابع هدف هم زمان برای بهینه‌سازی هزینه، معیار محیط زیست و مواد مغذی ارائه داده‌اند. این مدل در مدارس ایتالیا بر اساس جمع‌آوری اطلاعات تغذیه ای ۱۰۴ نفر از نوجوانان در طول ۷ روز ارائه شد. و در نتیجه آن رژیم غذایی مناسب با توجه به سه فاکتور بیان شده بدست آمد.

هایلند و همکاران[6] (۲۰۱۷) در مطالعه خود، نقش گوشت در استراتژی‌های دستیابی به رژیم پایدار با توجه به انتشار گازهای گلخانه‌ای را مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها رژیم غذایی را به این‌گونه تعریف کردند:" رژیم غذایی شامل غذاهای فردی است که به شکل الگوهای غذایی تشکیل می‌شود."در نتیجه تلاش برای کاهش انتشار مواد غذایی را هدف قرار دادند[۱۴].

المنصور و ججکیک[7] (۲۰۱۷) به محاسبه انتشار کل گازهای گلخانه‌ای حاصل در طی تولیدات، از ابتدای فرایند تولید تا ذخیره‌سازی و تحویل به مصرف کننده نهایی پرداخته‌اند. سهم انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از کودهای مورد استفاده، نشان دهنده ۴۲٪ تا ۷۶٪ از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از تولید محصول است. در مدل به کار رفته در این مقاله اثرات زیست محیطی به خوبی بررسی شده و درصدد کاهش هزینه ها می‌باشد [۱۵].

هدف مقاله اقبالی زرچ و همکاران (۲۰۱۷) طراحی مواد مغذی مناسب، متنوع و مقرون به صرفه برای رژیم غذایی بیماران دیابتی است. این مدل به دنبال به حداقل رساندن مقدار کل چربی اشباع، قند و کلسترول و کل هزینه‌های مربوط به آنها می‌باشد. برای حل مدل از روش اپسیلون-محدودیت استفاده شده است. در این مطالعه به این نتیجه رسیدند که مدل‌سازی ریاضی برنامه‌ریزی رژیم غذایی و مطالعه راه‌حل‌های بهینه آن می‌تواند به عنوان یک ابزار پشتیبانی در تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شود [۱۶].

تیسن و همکاران[8] (۲۰۱۷) بهره‌وری و پایداری زیست محیطی سیستم برداشت برنج در جنوب برزیل را مورد مطالعه قرار دادند که نشان داده شد تغییرات سیستم‌های برداشت می‌تواند منجر به بهبود همزمان در عملکرد، بهره‌وری منابع و پایداری زیست محیطی شود. اثرات زیست محیطی، به عنوان گازهای گلخانه‌ای منتشر شده در هر کیلوگرم تولید مواد غذایی بیان می‌شود. نتیجه کار آنها میزان عملکرد بهتر در مجموعه‌ای متنوع از شاخص‌ها از جمله موارد زیر بود:

تولید دانه (۱۸٪+)، کربن به عنوان مواد آلی خاک محصور شده است(۱۲٪+)، کربن دی اکسید (اثرات گرمایش جهانی، ٪۴۶+)، بهره‌وری آب برای ذرات (۴۳٪+)، بهره‌وری تابش خورشید برای ذرات (۳۶٪+)، انرژی تولید شده در غذا(٪۱۹+) و پروتئین تولید شده در غذا (۲۷٪+) [۱۷].

[1] Macdiarmid et.
[2] Wilson et.
[3] Bas
[4] Gephart et.
[5] Donati et.
[6] Hyland et.
[7] Al-Mansour and Jejcic
[8] Theisen et.

بندتی، لارتی و سکندی[1] (۲۰۱۸) در مقاله خود به بررسی انتخاب رژیم سالم و پایدار با یک رویکرد سه‌گانه برای درک رژیم غذایی رانندگان ایتالیایی پرداخته‌اند. هدف این مقاله تعیین الگوهای غذایی غالب ایتالیایی‌ها با استفاده از رژیم مدیترانه‌ای در این کشور است. نتایج نشان می‌دهد انتخاب‌های غذایی افراد دارای تأثیر قابل ملاحظه‌ای در سلامت عمومی و محیط زیست می‌باشد. گوشت و محصولات حیوانی دارای نسبت بالای انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند [۱۸].

هی و همکاران[2] (۲۰۱۸) عنوان کردند که ارزیابی طراحی مفهومی محصول یک پیشرفت برای ارزیابی پایداری آن محصول به شمار می‌آید. در یک تکنولوژی پایدار، روش طراحی برای محصول باعث کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای در کل چرخه زندگی آن محصول در صنعت می‌شود [۱۹].

مایتون و همکاران[3] (۲۰۲۰) در مطالعه خود، به مفهوم سازی رژیم‌های غذایی پایدار در ویتنام پرداختند. این مقاله امکان شناسایی نقاط کلیدی که مزایای زیادی در مقادیر مختلف رژیم‌های پایدار، از جمله کیفیت و ایمنی مواد غذایی، استفاده از مواد شیمیایی کشاورزی ، اتلاف مواد غذایی و مدیریت منابع آب بوجود می‌آورند را ارائه می‌دهد [۲۰].

اقبالی و همکاران (۱۳۹۰) یک مدل تغذیه بهینه برای افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ با استفاده از برنامه‌ریزی خطی ریاضی ارئه دادند. گام نخست در کنترل و درمان دیابت نوع ۲، برنامه غذایی مناسب می‌باشد. هدف تحقیق انجام شده، تعیین برنامه بهینه غذایی با استفاده از مدلسازی برنامه ریزی خطی ریاضی، با هدف کمینه‌سازی چربی‌های اشباع و قندهای ساده دریافتی از مواد غذایی است [۲۱].

بعضی از تحقیقات نیز در حوزه برنامه‌ریزی غذایی برای ورزشکاران انجام شده است.

فیستر و همکاران[4] (۲۰۱۶) در مقاله خود به تولید بهینه برنامه‌های اتوماتیک غذایی برای ورزشکاران می‌پردازند. خروجی الگوریتم لیستی از مواد غذایی را نشان می‌دهد که باید توسط ورزشکاران مصرف می‌شود [۲۲].

طبق تحقیقاتی که اقبالی و احمدوند (۲۰۱۹) انجام داده‌اند، برای ورزشکاران باید از یک رژیم غذایی سالم شامل کالری، کربوهیدرات، پروتئین کافی و چربی کم استفاده شود. هدف این مقاله عبارت است از: حداکثر کردن میزان کالری و به حداقل رساندن چربی جهت دستیابی به برنامه‌ریزی خطی با در نظر گرفتن کمترین و بیشترین میزان مجاز مواد مغذی [۲۳].

در تحقیق دیگری که توسط اقبالی (۲۰۲۰) ارائه شده است، مشخص شده که کالری مورد نیاز بدن یک ورزشکار باید از طریق یک رژیم غذایی سالم ، غنی از کربوهیدرات، کم چربی و با پروتئین کافی حاصل شود[۲۴].

با توجه به مقالات بررسی شده می‌توان نتیجه گرفت مدل‌های ریاضی چند هدفه می‌توانند برای برنامه‌ریزی رژیم غذایی پایدار ورزشکاران با اهداف مختلفی مانند کمینه سازی هزینه خرید، میزان آب مصرفی برای تولید مواد غذایی و میزان کربن دی اکسید تولیدی، بیشینه‌سازی میزان پروتئین مصرفی و کمینه سازی مقدار قند و چربی مصرفی مورد استفاده قرار بگیرند. همچنین این هدف‌ها در بعضی از مدل‌ها با یکدیگر ناسازگار هستند.

مطالعات پیشین بیانگر این موضوع است که در حوزه‌ی رژیم غذایی و بخصوص رژیم غذایی ورزشکاران، مقالات فقط به برنامه‌ریزی رژیم غذایی توجه داشته‌اند. در حالی که در این تحقیق به حوزه پایداری در کنار نیاز ریز مغذی‌های بدن ورزشکاران توجه شده است. به عبارت دیگر با مدل پیشنهادی، مواد غذایی انتخاب می‌شوند که اثر کمتری بر محیط زیست داشته و اصول پایداری برای کمک به آینده را در نظر می‌گیرد و در نهایت با توجه به محدودیت‌های منطقی نیازهای اصلی ورزشکاران را نیز مد نظر قرار می‌دهد.

## ۳- مواد و روش ها

در این تحقیق به دنبال ارائه یک مدل ریاضی پایدار برای رژیم غذایی ورزشکاران می‌باشیم که توابع هدف آن عبارتند از کمینه‌سازی هزینه خرید، میزان آب مصرفی برای تولید مواد غذایی و میزان کربن دی اکسید تولیدی، بیشینه‌سازی میزان پروتئین مصرفی و کمینه‌سازی مقدار قند و چربی مصرفی. این مدل شامل فرضیات زیر است:

۱) در این مدل دسته‌ها ، انواع مواد غذایی و مکمل‌ها سطوح مختلف مدل را تشکیل می‌دهند.

۲) میزان حداکثر و حداقل مصرف مواد غذایی ثابت و از قبل مشخص است.

[1] Benedetti and Laureti, and Secondi
[2] He et.
[3] Mayton et.
[4] Fister et.

۳) ورزشکار، مواد مغذی مورد نیاز خود را از غذاهای مصرفی و مکمل‌ها بدست می‌آورد.
۴) مدل قطعی می‌باشد. یعنی تمام پارامترهای هزینه و قیمت‌ها قطعی هستند.
۵) دسته، انواع مواد غذایی و مکمل‌ها برای حل مدل به تعداد محدود تعریف شده است ولی می‌توان تعداد را بیشتر کرد.

| نمادها | |
|---|---|
| i : دسته ارگانیک یا غیرارگانیک | i= 1… I |
| k : انواع غذا | k= 1... K |
| m : انواع مکمل | m= 1...M |

پارامترها

$C1_{ik}$ : هزینه خرید هر گرم مواد غذایی نوع k از دسته i
$C2_m$ : هزینه خرید هر گرم مکمل نوع m از تأمین کننده مکمل
$Wa1_{ik}$ : درصد آب مصرفی برای تولید هر گرم مواد غذایی نوع k از دسته i
$Wa2_m$ : درصد آب مصرفی برای تولید هر گرم مکمل نوع m
$Co1_{ik}$ : درصد co2 تولیدی از هر گرم مواد غذایی از نوع k از دسته i
$Co2_m$ : درصد co2 تولیدی از هر گرم مکمل از نوع m
$Fa1_{ik}$ : درصد چربی در هر گرم مواد غذایی از نوع k از دسته i
$Fa2_m$ : درصد چربی در هر گرم مکمل از نوع m
$Su1_{ik}$ : درصد قند در هر گرم مواد غذایی از نوع k از دسته i
$Su2_m$ : درصد قند در هر گرم مکمل از نوع m
$Pr1_{ik}$ : درصد پروتئین در هر گرم مواد غذایی از نوع k از دسته i
$Pr2_m$ : درصد پروتئین در هر گرم مکمل از نوع m
$Cr1_{ik}$ : درصد کربوهیدرات در هر گرم مواد غذایی از نوع k از دسته i
$Cr2_m$ : درصد کربوهیدرات موجود در هر گرم مکمل از نوع m
$ka1_{ik}$ : درصد کلسیم موجود در هر گرم مواد غذایی از نوع k از دسته i
$ka2_m$ : درصد کلسیم موجود در هر گرم مکمل از نوع m
$Fb1_{ik}$ : درصد فیبر موجود در هر گرم مواد غذایی از نوع k از دسته i
$Fb2_m$ : درصد فیبر موجود در هر گرم مکمل از نوع m
prl : مقدار حداقل پروتئین مورد نیاز به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن
Crl : مقدار حداقل کربوهیدرات مورد نیاز بدن به ازای هر کیلوگرم
kal : مقدار حداقل کلسیم مورد نیاز روزانه
Fbl : مقدار حداقل فیبر مورد نیاز روزانه
Cal : مقدار حداقل کالری مورد نیاز روزانه
$P_1$ : میزان کالری بدست آمده از چربی مصرفی
$P_2$: میزان کالری بدست آمده از کربوهیدرات مصرفی
$P_3$: میزان کالری بدست آمده از پروتئین مصرفی
$PL_k$ : حداقل مقدار غذای مصرف شده در یک روز بر حسب گرم
$PU_k$ : حداکثر مقدار غذای مصرف شده در یک روز بر حسب گرم
$SL_k$ : حداقل مقدار مکمل مصرف شده در یک روز بر حسب گرم
$SU_k$ : حداکثر مقدار مکمل مصرف شده در یک روز بر حسب گرم
$V_s$ : حداقل تنوعی که ورزشکار در انتخاب نوع مکمل دارد
$V_f$ : حداقل تنوعی که ورزشکار در انتخاب نوع مواد غذایی دارد
Wg : وزن فرد ورزشکار(کیلوگرم)
We : دور کمر ورزشکار( سانتی متر)
Ne : دور گردن ورزشکار (سانتی متر)
Hi : قد ورزشکار (سانتی متر)
gpf : میزان درصد چربی بدن مورد هدف برای ورزشکار(آرمان)
Mn : عدد بزرگ
$\alpha P$ : درصدی از پروتئین که ورزشکار ترجیح می‌دهد از غذا دریافت کند
$\alpha Cr$ : درصدی از کربوهیدرات که ورزشکار ترجیح می‌دهد از غذا دریافت کند
$\alpha K$ : درصدی از کلسیم که ورزشکار ترجیح می‌دهد از غذا دریافت کند
$\alpha F$ : درصدی از فیبر که ورزشکار ترجیح می‌دهد از غذا دریافت کند

متغیرهای تصمیم

$U_k$ : متغیر باینری، اگر غذا نوع k انتخاب شود ۱ و در غیر اینصورت ۰
$V_m$ : متغیر باینری، اگر مکمل نوع m انتخاب شود ۱ و در غیر اینصورت ۰
$X_{ik}$ : مقدار مصرف مواد غذایی از نوع k از دسته i بر حسب گرم
$Y_m$ : مقدار مصرف مکمل غذایی از نوع m بر حسب گرم
bfa : درصد چربی بدن ورزشکار بر مبنای قد و دور کمر
$nu^+$ : میزان انحراف مثبت از آرمان
$nu^-$ : میزان انحراف منفی از آرمان

ما در این تحقیق به دنبال توسعه یک مدل هستیم که شامل سه هدف می‌باشد و این اهداف عبارتند از کمینه‌سازی هزینه خرید، میزان آب مصرفی برای تولید مواد غذایی و میزان کربن دی اکسید تولیدی، بیشینه‌سازی میزان پروتئین مصرفی و کمینه‌سازی مقدار قند و چربی مصرفی. مدل سه هدفه پیشنهادی برای رژیم غذایی ورزشکاران می‌باشد. با توجه به مقالات بررسی شده آنچه که در بدن ورزشکاران حائز اهمیت است و به عملکرد آنها کمک می‌کند میزان پروتئین و کربوهیدرات می‌باشد زیرا پروتئین‌ها ساز و کار سلول را تشکیل می‌دهند و کربوهیدرات‌ها و چربی‌ها، انرژی مورد نیاز برای انجام این کار را تأمین می‌کنند. از طرفی کلسیم به دلیل کمک به عملکرد صحیح عضلات و روند انعقاد خون دارای اهمیت است و از طرفی فیبر به دلیل کمک به هضم غذا و همچنین تأثیر آن بر وزن ورزشکار دارای اهمیت می باشد. موارد بیان

شده (پروتئین، کربوهیدرات،کلسیم و فیبر) باید بتوانند کالری مورد نیاز بدن یک ورزشکار را تأمین کنند. تمام این مباحث بر اساس وزن بدن ورزشکار است. بنابراین ما سعی کردیم همه این موارد را در مدل در نظر بگیریم. میزان مواد مغذی مصرفی ورزشکاران بر اساس نیاز بدنشان محاسبه می شود. به عنوان مثال یک فرد عادی به ازای هرکیلوگرم وزن بدنش به ۱ گرم پروتئین نیاز دارد ولی یک ورزشکار به دلیل نیاز بدنی و فعالیت‌هایی که دارد به ۲ گرم پروتئین به ازای هر کیلوگرم وزن بدن خود نیاز دارد. بنابراین در مدل ذکر شده وزن بدن ورزشکار به عنوان یک مبنا برای محاسبه نیاز به مواد مغذی در نظر گرفته شده است. از طرفی شاخص‌های متفاوتی برای اندازه‌گیری تناسب اندام وجود دارد، مانند شاخص توده بدن، شاخص نسبت دور کمر به قد و .... بین تمام شاخص‌ها، شاخص چربی بدن ( Body Fat) یکی از بهترین شاخص‌ها برای بررسی میزان چربی بدن ورزشکاران می‌باشد، چرا که بقیه شاخص‌ها برای افراد عادی (غیر ورزشکار) کاربرد بیشتری دارند. یکی از فرمول‌هایی که برای محاسبه این شاخص در یکی از تحقیقات جدید در سال ۲۰۱۸ بدست آمده به محاسبه چربی بدن بر اساس اندازه قد، دور گردن و دور کمر می‌پردازد[۲۵]. انجمن تغذیه آمریکا توصیه می‌کند که مردان دارای ۱۵ تا ۱۸ درصد چربی بدن باشند و زنان نیز دارای ۲۰ تا ۲۵ درصد چربی بدن داشته باشند. ورزشکاران مرد سالم ممکن است ۵ تا ۱۲ درصد چربی بدن را پایین آورند و ورزشکاران زن سالم نیز می‌توانند۱۰تا۲۰ درصد چربی بدن خود را پایین آورند. درصد چربی بدن برای مردان با فرمول

{(دورگردن)۰,۵-(دورکمر)۰,۸+قد(۰,۲۳۹)-۱۰,۱}

و برای زنان با

{(دورگردن)۰,۵-(دورکمر)۰,۸+قد(۰,۲۳۹)-۱۹,۲}

محاسبه می‌شود[۲۵].

در مدل پیشنهادی از فرمول چربی بدن برای مردان استفاده شده است و بر مبنای برنامه‌ریزی آرمانی در مدل در نظر گرفته می‌شود. برای استفاده از این روش درصد چربی بدن ورزشکار با فرمول مورد نظر محاسبه می‌شود و همچنین هدف ورزشکار(آرمان) در رسیدن به درصد چربی مشخص تعیین می‌شود و انحراف از این مقدار در تابع هدف سوم برای حداقل‌سازی میزان چربی قرار می‌گیرد که در صورت انحراف، مواد غذایی با درصد چربی خاص برای ورزشکار انتخاب شود. با توجه به موارد بیان شده، در حالت کلی مدل برنامه‌ریزی خطی با سه تابع هدف به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\min f_1(x)=\sum_i^I\sum_k^K C1_{ik}*X_{ik}+\sum_m^M C2_m*Y_m +\sum_i^I\sum_k^K Wa1_{ik}*X_{ik}+\sum_m^M Wa2_m*Y_m +\sum_i^I\sum_k^K Co1_{ik}*X_{ik}+\sum_m^M Co2_m*Y_m \quad (۱)$$

$$\max f_2(x)=\sum_i^I\sum_k^K Pr1_{ik}*X_{ik}+\sum_m^M Pr2_m*Y_m \quad (۲)$$

$$\min f_3(x)=\sum_i^I\sum_k^K Fa1_{ik}*X_{ik}+\sum_m^M Fa2_m*Y_m +\sum_i^I\sum_k^K Su1_{ik}*X_{ik}+\sum_m^M Su2_m*Y_m -nu^+wg+nu^-wg \quad (۳)$$

*Subject to*

$$\sum_i^I\sum_k^K Pr1_{ik}*X_{ik}\geq \alpha P*Prl*Wg \quad (۴)$$

$$\sum_i^I\sum_k^K Pr1_{ik}*X_{ik}+\sum_m^M Pr2_m*Y_m\geq Prl*Wg \quad (۵)$$

$$\sum_i^I\sum_k^K Cr1_{ik}*X_{ik}\geq \alpha Cr*Crl*Wg \quad (۶)$$

$$\sum_i^I\sum_k^K Cr1_{ik}*X_{ik}+\sum_m^M Cr2_m*Y_m\geq Crl*Wg \quad (۷)$$

$$\sum_i^I\sum_k^K Ka1_{ik}*X_{ik}\geq \alpha K*Kal \quad (۸)$$

$$\sum_i^I\sum_k^K Ka1_{ik}*X_{ik}+\sum_m^M Ka2_m*Y_m\geq Kal \quad (۹)$$

$$\sum_i^I\sum_k^K Fb1_{ik}*X_{ik}\geq \alpha F*Fbl \quad (۱۰)$$

$$\sum_i^I\sum_k^K Fb1_{ik}*X_{ik}+\sum_m^M Fb2_m*Y_m\geq Fbl \quad (۱۱)$$

$$\sum_i^I\sum_k^K 9*X_{ik}*Fa1_{ik}\geq P_1*Cal \quad (۱۲)$$

$$\sum_i^I\sum_k^K 4*X_{ik}*Cr1_{ik}\geq P_2*Cal \quad (۱۳)$$

$$\sum_i^I\sum_k^K 4*X_{ik}*Pr1_{ik}\geq P_3*Cal \quad (۱۴)$$

$$X_{ik}\geq PL_K*U_k \qquad \forall i,k \quad (۱۵)$$

$$X_{ik} \le PU_k * U_k \qquad \forall i,k \qquad (۱۶)$$

$$X_{ik} \le U_k * Mn \qquad \forall i \qquad (۱۷)$$

$$X_{ik} \ge (1-U_k) * Mn \qquad \forall i,k \qquad (۱۸)$$

$$Y_m \le V_m * SU_m \qquad \forall m \qquad (۱۹)$$

$$Y_m \ge V_m * SL_m \qquad \forall m \qquad (۲۰)$$

$$Y_m \le V_m * Mn \qquad \forall m \qquad (۲۱)$$

$$Y_m \ge (1-V_m) * Mn \qquad \forall m \qquad (۲۲)$$

$$\sum_{m}^{M} V_m \ge Vs \qquad (۲۳)$$

$$\sum_{k}^{K} U_k \ge Vf \qquad (۲۴)$$

$$bfa = 10.1 - 0.239Hi + 0.8We - 0.5Ne \qquad (۲۵)$$

$$bfa + nu^+ - nu^- = gpf \qquad (۲۶)$$

$$U_k, V_m \in \{0,1\} \qquad (۲۷)$$

$$X_{ik}, Y_m \ge 0 \qquad (۲۸)$$

تابع هدف ۱ به دنبال حداقل‌سازی هزینه‌هاست که شامل هزینه‌های خرید، میزان آب مصرفی و میزان کربن دی اکسید تولیدی می‌باشد. تابع هدف ۲ بیانگر حداکثر کردن میزان پروتئین مصرفی می‌باشد. تابع هدف ۳ بیانگر کمینه سازی میزان قند و چربی است و همچین متغیرهای انحراف از درصد چربی مورد نظر ورزشکار نیز در کنار وزن ورزشکار در مدل قرار گرفته که هرچه این انحراف بیشتر باشد جریمه بیشتری در هدف در نظر گرفته شود.

محدودیت ۴ و ۵ نشان دهنده میزان پروتئین مصرفی است. اصولا ورزشکاران سعی می‌کنند بیشترین درصد پروتئین مورد نیاز بدن خود را از غذا دریافت کنند. میزان پروتئین مصرفی برمبنای وزن ورزشکار می‌باشد. محدودیت ۶ و ۷ نشان دهنده میزان کربوهیدرات مصرفی می‌باشد. چون کربوهیدرات کالری مورد نیاز برای تمرین ورزشکاران را تأمین می‌کند یکی از مواد مغذی مهم برای آنها می‌باشد بنابراین محدودیت ۶ و ۷ برای تأمین این ماده مغذی از غذا و مکمل مصرفی در بدنسازی درنظر گرفته شده است. محدودیت ۸ و ۹ نشان‌دهنده میزان کلسیم مصرفی است. به این دلیل که وجود کلسیم برای عملکرد صحیح عضلات، ضروری است. کلسیم نیز مانند بقیه ریز مغذی ها باید درصد بیشتر آن از غذای مصرفی خود دریافت شود. محدودیت ۱۰ و ۱۱ نشان‌دهنده میزان فیبر مصرفی است. به دلیل اینکه فیبر مصرفی با چربی موجود در رژیم غذایی مبارزه کرده و از جذب کالری اضافی جلوگیری می‌کند و باعث هضم غذا می‌شود یکی از مواد مغذی مهم برای تمرین ورزشکاران می‌باشد بنابراین محدودیت ۱۰ و ۱۱ برای تأمین این ماده مغذی از غذا و مکمل مصرفی در بدنسازی درنظر گرفته شده است. کالری مورد نیاز بدن از این سه منبع پروتئین، کربوهیدرات و چربی تأمین شود که به ترتیب چهار، چهار و نه کیلوکالری در بدن تولید می‌کنند. محدودیت‌های ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ به ترتیب نشان‌دهنده میزان کالری دریافتی از هرکدام از این منابع می‌باشد. محدودیت‌های ۱۵ و ۱۶ میزان حداقل و حداکثر مواد غذایی مصرفی را نشان می‌دهند. محدودیت ۱۷ و ۱۸ باعث می‌شوند که اگر غذا از نوع $k$ انتخاب شود حتماً مقداری به آن تخصیص یابد. محدودیت‌های ۱۹ و ۲۰ میزان حداقل و حداکثر مکمل مصرفی را نشان می‌دهند. محدودیت ۲۱ و ۲۲ باعث می‌شود که اگر مکمل از نوع $m$ انتخاب شود حتما مقداری به آن تخصیص یابد. محدودیت ۲۳ برای انتخاب مکمل است و تنوع مکمل را مشخص می‌کند. محدودیت ۲۴ باعث انتخاب مواد غذایی می‌شود و تنوع آن در تعداد مشخص می‌شود. رابطه ۲۵ درصد چربی بدن ورزشکار مرد را بر مبنای قد و اندازه دور کمر محاسبه می‌کند، و رابطه ۲۶ انحراف از هدف درصد چربی مورد نظر ورزشکار برمبنای رابطه ۲۵ در نظر گرفته تا ورزشکار بتواند به تناسب مورد نظر با توجه به رژیم غذایی انتخابی برسد. روابط ۲۷ و ۲۸ بیانگر محدودیت‌های باینری و منطقی مدل هستند.

## ۴- روش حل

برای اعتبار سنجی و حل مدل به اطلاعات زیادی برای پارامترهای ورودی نیاز است، اطلاعات واقعی از سایت ها و منابع معتبر یا مصاحبه با ورزشکاران مرد بدست آمده است. برای کد نویسی و حل مدل از نرم افزار گمز، حل کننده سیپلکس استفاده شده است. داده‌های ورودی مساله فقط برای دسته ارگانیک در نظر گرفته شده است. میزان پروتئین در ۱۰۰ گرم از مواد غذایی بر حسب گرم ، میزان آب مصرفی در تولید مواد غذایی بر حسب لیتر ، میزان قند در ۱۰۰ گرم از مکمل ها بر حسب گرم و میزان کربوهیدرات در ۱۰۰ گرم از مکمل‌ها بر حسب گرم به ترتیب در جداول ۱، ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است:

جدول (۱) میزان گرم پروتئین در ۱۰۰ گرم از مواد غذایی

| گوشت گوساله | شیر | ماست | سیب | موز | بروکلی |
|---|---|---|---|---|---|
| ۲۴ | ۳/۴ | ۱۰ | ۰/۳ | ۱/۱ | ۲/۸ |
| نان | برنج | سیب زمینی | تخم مرغ | ماهی | مرغ |
| ۹ | ۲۸ | ۲ | ۱۳ | ۲۲ | ۳۵ |

جدول (۲) میزان لیتر آب مورد نیاز برای تولید مواد غذایی

| مقادیر معمول حجم آب مورد نیاز برای تولید مواد غذایی | | |
|---|---|---|
| مواد غذایی | مقدار | مقدار مصرف آب، لیتر |
| گوشت گوساله | ۱ کیلو گرم | ۱۵۴۱۵ |
| گوشت گوسفند | ۱ کیلو گرم | ۱۰۴۱۲ |
| گوشت مرغ | ۱ کیلو گرم | ۴۳۲۵ |
| پنیر | ۱ کیلو گرم | ۳۱۷۸ |
| نان | ۱ کیلو گرم | ۱۶۰۸ |
| موز | ۱ کیلو گرم | ۷۹۰ |

جدول(۳) میزان گرم قند در ۱۰۰ گرم از مکمل ها

| | پروتئین وی | گلوتأمین | کراتین |
|---|---|---|---|
| پروتئین ها | ۶/۲۵ | ۰ | ۰ |
| آمینو اسیدها | ۰ | ۱۲/۵ | ۱۵/۵ |

جدول(۴) میزان گرم کربوهیدرات در ۱۰۰ گرم از مکمل ها

| | پروتئین وی | گلوتأمین | کراتین |
|---|---|---|---|
| پروتئین ها | ۱ | ۰ | ۰ |
| آمینو اسیدها | ۰ | ۱۲ | ۱۵ |

**الگوریتم اپسیلون محدودیت:** این روش برای حل مسئله بهینه‌سازی چندهدفه و تبدیل آن به یک مسئله بهینه سازی تک هدفه استفاده می‌شود. ابتدا یک تابع هدف انتخاب می‌گردد و بهینه می‌شود، هم زمان مقدار تابع هدف دیگر نیز به دست می‌آید که بدترین مقدار نامیده می‌شود، آنگاه توابع هدف روش به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

برای تابع هدف حداقل‌سازی از رابطه ۲۹ استفاده می‌کنیم.

$$f_i^{SN} - (f_i^{SN} - f_i^U / q_i) * n_i \qquad (۲۹)$$

برای تابع هدف حداکثرسازی از رابطه ۳۰ استفاده می‌کنیم.

$$f_i^{SN} + (f_i^{SN} - f_i^U / q_i) * n_i \qquad (۳۰)$$

و همچنین روش به دست آوردن اپسیلون به صورت رابطه ۳۱ می‌باشد:

$$(f_i^{SN} - f_i^U / q_i) * n_i \qquad n_i = 0,1,2,\ldots,q_i \qquad (۳۱)$$

$f_i^{SN}$ = بدترین مقدار

$f_i^U$ = مقدار بهینه

q = دفعات اجرای مدل

n = تعداد عدد طبیعی (از ۱ تا تعداد اجرا)

روش اپسیلون محدودیت یکی از روش‌های کلاسیک مؤثر در بهینه‌سازی چند هدفه است. دلیل استفاده از این روش در بیشتر تحقیقات، مزیت‌هایی است که این روش در مقایسه با روش‌های دیگر دارد. از جمله این مزیت‌ها به دست آوردن نقاط پارتو مختلف با استفاده از مقدارهای متفاوت اپسیلون می‌باشد، از طرفی این روش قابلیت استفاده بر روی مسائلی با فضای تابع هدف محدب، غیر محدب یا حتی گسسته را دارد[۲۶]. قابل ذکر است که مدل این تحقیق فضای جوابی گسسته دارد به این دلیل که دارای متغیرهای صفر و یک در کنار متغیرهای پیوسته می‌باشد. بنابراین روش اپسیلون محدودیت روشی مناسب برای مدل پیشنهادی است. همچنین برای نشان دادن کارایی این روش، از یک روش کلاسیک دیگر نیز به نام جمع اوزان استفاده شده است.

## ۵- یافته ها

بهینه‌سازی مدل به روش اپسیلون محدودیت: مدل مورد بررسی دارای سه تابع هدف می‌باشد که با استفاده از روش اپسیلون محدودیت در نرم افزار گمز حل می‌گردد و مقادیر اپسیلون جهت به دست آوردن مجموعه جواب‌های بهینه مورد استفاده قرار می‌گیرند. در اینجا توابع هدف را تک تک بهینه کرده و مقادیر هر یک از تابع‌های هدف نشان داده شده است.

- تابع هدف بهینه $z_1^*$= ۵۶۹۳۹۱/۶۸۶ و مقدار تابع هدف $z_2$= ۲۷۴/۵۷۲ و مقدار تابع هدف $z_3$= ۳۱۰/۲۳۵
- مقدار تابع هدف $z_1$= ۶۹۸۱۲۱/۷۹۰ و تابع هدف بهینه $z_2^*$= ۳۱۲/۷۶۰ و مقدار تابع هدف $z_3$= ۳۱۸/۰۵۱
- مقدار تابع هدف $z_1$=۶۵۷۵۳۱/۵۰۷ و مقدار تابع هدف $z_2$ = ۳۰۹/۴۹۷ و تابع هدف بهینه $z_3^*$= ۲۹۳/۴۹۹

بعد از بهینه‌سازی تابع هدف اول که در بالا ذکر شده است، برای مثال متغیرهای x و y (مقدار مصرف مواد غذایی و مکمل بر حسب گرم) در جدول ۵ و۶ نشان داده شده‌اند. در مثال عددی مورد استفاده، تنوع مواد غذایی بیشتر از ۳ انتخاب شده است (پارامتر Vf) در نتیجه نرم افزار گمز

بیشتر از ۳ نوع از مواد غذایی را برای مصرف روزانه انتخاب کرده است، که با افزایش یا کاهش این عدد در محدودیت مورد نظر می‌توان تنوع مواد غذایی را بیشتر یا کمتر کرد. جداول ۵ و ۶ نمایانگر این مقادیر می‌باشند:

جدول(۵) میزان مواد غذایی پیشنهادی در مدل بهینه

| میزان مصرف موادغذایی برحسب گرم | لیست مواد غذایی پیشنهاد شده | میزان مصرف موادغذایی برحسب گرم | لیست مواد غذایی پیشنهاد شده |
|---|---|---|---|
| ۱۰۰ | مرغ | ۲۰۰ | بروکلی |
| ۱۴۰ | ماهی | ۶۰ | موز |
| ۷۰ | تخم مرغ | ۳۰۰ | سیب |
| ۳۰۰ | سیب زمینی | ۲۰۰ | ماست |
| ۳۰۰ | برنج | ۲۵۰ | شیر |
| ۲۰۰ | نان | ۳۰ | گوشت گوساله |

با توجه به مدل حل شده و خروجی‌های آن در جدول (۵) مشخص است که مواد غذایی پیشنهاد شده برای ورزشکار در دسته میوه و سبزیجات،۲۰۰ گرم بروکلی ،۶۰ گرم موز و۳۰۰ گرم سیب است. در دسته لبنیات نیز ۲۰۰ گرم ماست و ۲۵۰ گرم شیر موردنیاز است. از طرفی در دسته پروتئین‌های مورد استفاده، ۳۰ گرم گوشت گوساله، ۱۰۰ گرم مرغ، ۱۴۰ گرم ماهی، ۷۰ گرم تخم مرغ و ۳۰۰ گرم سیب زمینی و در دسته غلات نیز ۳۰۰ گرم برنج و ۲۰۰ گرم نان پیشنهاد شده است.

جدول(۶) میزان مکمل پیشنهادی در مدل بهینه

| میزان مصرف مکمل برحسب گرم | لیست مکمل های پیشنهاد شده |
|---|---|
| ۶۵/۰۸۳ | پروتئین وی |
| ۵ | گلوتأمین |
| ۵ | کراتین |

در تحقیق حاضر تابع هدف اول به عنوان هدف اصلی و دو تابع دیگر در محدودیت ها قرار گرفته‌اند و پنج نقطه اپسیلون در نظر گرفته شده است، به ازای هر نقطه (هر اپسیلون) می‌بایست مدل در نرم‌افزار گمز اجرا شود و جواب‌های بهینه ثبت گردند. جدول ۷ مقادیر مختلف اپسیلون را برای تابع هدف های دوم و سوم نشان می‌دهد. از آنجا که تابع هدف $z_2$ ماکزیمم می‌باشد پس هر بار بدترین مقدار را به اضافه مقدار $\varepsilon$ می‌کنیم تا بعد از ۵ بار تکرار به مقدار بهینه برسیم. همچنین به صورت برعکس چون تابع هدف $z_3$ مینیمم است باید هر بار بدترین مقدار را منهای مقدار $\varepsilon$ کنیم تا بعد از ۵ بار تکرار به مقدار بهینه دست پیدا کنیم. به عبارت بهتر می‌توان گفت در تابع هدف دوم سیر صعودی و در تابع هدف سوم سیر نزولی داریم. اکنون مقادیر هر سه تابع هدف را با استفاده از $\varepsilon$های مختلف طی ۵ بار تکرار به دست می‌آوریم. جدول (۸) مقادیر $z_1$ و$z_2$ و $z_3$ به ازای مقادیر مختلف اپسیلون را نشان می‌دهد.

جدول(۷) مقادیر مختلف اپسیلون برای $z_2$ و$z_3$

| | $\varepsilon_1$ | $\varepsilon_2$ | $\varepsilon_3$ | $\varepsilon_4$ | $\varepsilon_5$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $z_2$ | ۷/۶۳۷۶ | ۱۵/۲۷۵۲ | ۲۲/۹۱۲۸ | ۳۰/۵۵۰۴ | ۳۸/۱۸۸ |
| $z_3$ | ۳/۳۴۷۲ | ۶/۶۹۴ | ۱۰/۰۴۱۶ | ۱۳/۳۸۸۸ | ۱۶/۷۳۶ |

جدول(۸) بهینه پارتو به روش اپسیلون محدودیت

| | $Z_1$ | $Z_2$ | $Z_3$ |
|---|---|---|---|
| $\varepsilon_0$ | ۵۶۹۳۹۱/۶۸۶ | ۲۷۴/۵۷۲ | ۳۱۰/۲۳۵ |
| $\varepsilon_1$ | ۵۸۴۴۱۷/۳۷۸ | ۲۸۲/۲۰۹۶ | ۳۰۶/۸۸۸ |
| $\varepsilon_2$ | ۵۹۹۴۴۵/۱۴۴ | ۲۸۹/۸۴۷۲ | ۳۰۳/۵۴۰۶ |
| $\varepsilon_3$ | ۶۱۴۴۷۲/۹۰۹ | ۲۹۷/۴۸۴۸ | ۳۰۰/۱۹۳۴ |
| $\varepsilon_4$ | ۶۲۹۵۰۰/۶۷۴ | ۳۰۵/۱۲۲۴ | ۲۹۶/۸۴۶۲ |
| $\varepsilon_5$ | ۶۴۸۸۴۲/۵۶۴ | ۳۱۰ | ۲۹۴ |

به عنوان نمونه در جدول ۸ می‌توان دید با $\varepsilon_0$، میزان تابع هدف اول مقدار ۵۶۹۳۹۱/۶۸۶ ، هدف دوم ۲۷۴/۵۷۲ و در نهایت هدف سوم برابر ۳۱۰/۲۳۵ است. در این جدول ناسازگاری مقادیر توابع هدف با تغییرات اپسیلون کاملاً مشخص است و نشان از کارایی روش اپسیلون محدودیت در بدست آوردن نقاط پارتو مختلف دارد.

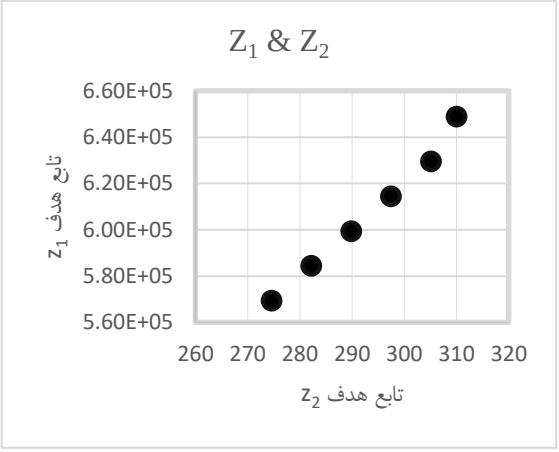
همچنین در این تحقیق از روش قطعی جمع اوزان نیز استفاده شده است تا با قیاس نتایج تفاوت دو روش و مزیت های روش اپسیلون محدودیت نشان داده شود. برای استفاده از روش جمع اوزان بعد از بهینه سازی هر هدف به صورت جداگانه و نرمال سازی آنها، اهداف با وزن های متفاوت با یکدیگر جمع می‌شوند، با تغییرات اوزان سعی می گردد نقاط پارتو متفاوت بدست آید. نتایج روش جمع اوزان در جدول ۹ قابل مشاهده است.

جدول(۹) بهینه پارتو به روش جمع اوزان

| مقدار توابع هدف | | | وزن ها | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $Z_3$ | $Z_2$ | $Z_1$ | $W_3$ | $W_2$ | $W_1$ |
| ۳۱/۲۳۵۰ | ۲۷/۵۷۲۴ | ۵۶۹۳۹/۶۸۶۱ | ۰ | ۰ | ۱ |
| ۳۱/۰۵۱۸ | ۳۱/۷۶۰۲ | ۶۹۸۱۲/۷۹۰۱ | ۰ | ۱ | ۰ |
| ۲۹/۴۹۹۳ | ۳۰/۴۹۷۹ | ۶۵۷۵۳/۵۰۷۱ | ۱ | ۰ | ۰ |
| ۳۰/۸۲۳۷ | ۲۴/۳۰۹۸ | ۵۷۸۸۰/۹۳۷۲ | /۲۵۰ | /۲۵۰ | ۰/۵ |
| ۳۰/۸۲۳۷ | ۲۴/۳۰۹۸ | ۵۷۸۸۰/۹۳۷۲ | /۲۵۰ | ۰/۵ | /۲۵۰ |
| ۳۰/۸۲۳۷ | ۲۴/۳۰۹۸ | ۵۷۸۸۰/۹۳۷۲ | ۰/۵ | /۲۵۰ | /۲۵۰ |
| ۳۱/۲۳۵۰ | ۲۷/۵۷۳۴ | ۵۶۹۳۹/۶۸۶۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۸ |
| ۳۰/۱۸۱۹ | ۲۴/۹۵۱۳ | ۶۱۴۲۴/۴۳۵۳ | ۰/۱ | ۰/۸ | ۰/۱ |
| ۲۹/۹۲۸۴ | ۲۹/۴۷۳۳ | ۶۴۰۹۶/۸۸۶۱ | ۰/۸ | ۰/۱ | ۰/۱ |

با توجه به جدول ۸ و ۹ نتیجه می‌گیریم که روش اپسیلون محدودیت فقط با ۵ اپسیلون، نقاط پارتو متفاوتی به دست می‌آورد در صورتی که در روش جمع اوزان، بعضی از نتایج به عوض کردن وزن اهداف حساس نبوده است و مقادیر توابع هدف تغییری نمی‌کند. می‌توان نتیجه گرفت که با تعداد اجرای کمتر نرم افزار در روش اپسیلون محدودیت نقاط پارتو بیشتری به دست آمد.

با توجه به جدول ۸، ناسازگاری اهداف با یکدیگر کاملاً مشخص است. به عنوان مثال مقادیر توابع هدف یک و دو در شکل (۱) نشان داده شده است.




شکل(۱) نمودار جواب‌های بهینه توابع هدف $Z_1$ و $Z_2$

با توجه به نمودار کاملاً آشکار است که با افزایش میزان پروتئین، هزینهی انتخاب رژیم مواد غذایی بالا می‌رود که این نشان دهنده افزایش هزینه در خرید مواد غذایی و هم چنین تولید مقدار $co_2$ و مصرف آب بیشتر برای تولید مواد غذایی است پس برای رژیم غذایی پر پروتئین مدل در بحث پایداری پاسخ مناسبی می‌دهد. همچنین با توجه به جدول (۸) این نتیجه حاصل می‌شود که با افزایش مقدار تابع هدف دوم $Z_2$ مقدار تابع هدف سوم $Z_3$ کاهش می‌یابد. با افزایش میزان پروتئین، میزان قند و چربی دریافتی در رژیم مواد غذایی کاهش پیدا می‌کند که این نشان دهنده افزایش سلامت در رژیم غذایی و برطرف ساختن میزان پروتئین مورد نیاز بدن ورزشکار بدون دریافت قند و چربی اضافی است. همچنین با افزایش مقدار تابع هدف اول $Z_1$ مقدار تابع هدف سوم $Z_3$ نیز کاهش می‌یابد با افزایش میزان هزینه‌ی انتخاب رژیم مواد غذایی، میزان $co_2$ و آب مصرفی، شاهد کاهش میزان قند و چربی دریافتی بدن هستیم که این نشان دهنده افزایش هزینه در خرید مواد غذایی و هم چنین تولید مقدار کربن دی اکسید و مصرف آب بیشتر به ازای مصرف قند و چربی کمتر است. یا به عبارت بهتر می-توان گفت با کاهش مقدار قند و چربی اضافی، هزینه خرید، میزان کربن دی اکسید تولیدی و آب مصرفی افزایش پیدا می‌کند.

## ۶- نتیجه گیری

این تحقیق به دنبال یک مدل ریاضی است که شامل مباحث پایداری برای ورزشکاران می‌باشد. مدل پیشنهادی توانست رژیم غذایی بهینه برای ورزشکاران ارائه دهد. مدلسازی ریاضی رژیم غذایی، باعث مشخص کردن مقدار دقیق موادغذایی دریافتی بدن به صورتی که سلامت بدن ورزشکار حفظ گردد می‌شود. مدل ریاضی با سه تابع هدف مد نظر قرار گرفت که این اهداف عبارتند از ۱-کمینه سازی هزینه خرید، میزان آب مصرفی برای تولید مواد غذایی و میزان کربن دی اکسید تولیدی، ۲-بیشینه‌سازی میزان پروتئین مصرفی و ۳-کمینه‌سازی مقدار قند و چربی مصرفی. به دلیل پایدار بودن مدل، نتیجه این پژوهش با توجه به خروجی‌ها به این صورت بود که هر سه تابع هدف با یکدیگر ناسازگار می‌باشند و همچنین با توجه به داده‌های ورودی، میزان مصرف انواع غذاها با توجه به نیاز بدن ورزشکاران برای یک روز به دست آمد. برای نمونه در یک روز ورزشکار باید ۲۰۰ گرم بروکلی، ۶۰ گرم موز، ۳۰۰ گرم

سیب، ۲۰۰ گرم ماست، ۲۵۰ میلی لیتر شیر، ۳۰ گرم گوشت گوساله، ۱۰۰ گرم مرغ، ۱۴۰ گرم ماهی، ۷۰ گرم تخم مرغ، ۳۰۰ گرم سیب زمینی، ۳۰۰ گرم برنج و ۲۰۰ گرم نان مصرف کند که بتواند نیازهای بدن خود را تأمین کند. از نقاط تمایز این تحقیق با تحقیقات دیگر بکار بردن موارد زیر در قالب یک مدل پایدار به طور همزمان است، در نظر گرفتن تابع هزینه شامل: مینیمم سازی هزینه خرید (تابع اقتصادی) و تأمین کننده و همچنین توجه به میزان مصرف آب و انتشار کربن و چربی و قند مواد دریافتی می‌باشد. از طرفی ماکزیمم‌سازی پروتئین دریافتی نیز در نظر گرفته شده است. برای داشتن مدلی کامل تر محدودیت‌های مناسب با توجه به توابع هدف تعریف شده است. مهمترین محدودیت های موجود در این پژوهش عبارتند از:

۱-اطلاعات وارد شده کاملاً قطعی هستند.

۲- از روش bfa برای محاسبات شاخص بدنی استفاده شده است.

۳- استفاده از روش‌های دقیق و نرم‌افزار گمز برای حل مدل که باعث از دست دادن برخی از جواب‌های پارتو می‌شود.

برای تحقیقات آینده نیز موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

از روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری برای حل مدل استفاده گردد و نتایج آن با نتایج مدل پیشنهادی از لحاظ زمان حل و مقادیر تابع هدف مقایسه شود. محققان می‌توانند مدل را برای گروه‌های سنی متفاوت و هم چنین گروه‌بندی بر اساس زنان و مردان بنویسند و حتی می‌توان زنان باردار را مورد بررسی قرار داد. مدل بر اساس ریز مغذی‌های اصلی مورد نیاز نوشته شده است و می‌توان موارد دیگری مانند انواع املاح و ویتامین‌ها را نیز به مدل اضافه کرد.

**تقدیر و تشکر**

از اساتید محترم دانشکده فنی و مهندسی، دپارتمان مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد قدردانی و تشکر می‌شود.

## ۷-مراجع

[1] J. D. Gussow, and K. L. Clancy, "Dietary guidelines for sustainability", Journal of Nutrition Education, Vol. 18, Issue 1, pp. 1-5, 1986.

[2] WHO, "European action plan for food and nutrition policy", WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2007-2012.

[3] D. Tilman, and M. Clark, "Global diets link environmental sustainability and Human health", Nature, Vol. 515, pp. 518-522, 2014.

[4] A. De Marco, M. Velardi, C. Camporeale, A. Screpanti, and M. Vitale, "The adherence of the diet to Mediterranean principle and its impacts on human and environmental health", International Journal of Environmental Protection andPolicy, pp. 64-75, 2014.

[5] FAO, The State of food insecurity in the world. How does international price volatility affect domestic economies and food security? Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy, 2011.

[6] J. L. Johnston, J. C. Fanzo, and B. Cogill, "Understanding sustainable diets: a descriptive analysis of the determinants and processes that influence diets and their impact on health, food security, and environmental sustainability", Advancesin Nutrition, Vol. 5, No.4 , pp. 418-429, 2014.

[7] M. Donati, D. Menozzi, C. Zighetti, A. Rosi, A. Zinetti, and F. Scazzina, "Towards a sustainable diet combining economic, environmental and nutritional objectives", Appetite xxx, pp. 1-10, 2016.

[8] R. Maughan , and L. Burke, "Nutrition for athletes:A practical guide to eating for health and performance", Nutrition working group of the International Olympic Committee, 2012.

[9] Z. Babić, and T. Perić, "Optimization of livestock feed blend by use of goal programming", International journal of production economics130, pp. 218-223, 2011.

[10] J. I. Macdiarmid, J. Kyle, G. W. Horgan, J. Loe, C. Fyfe, A. Johnstone, and G. McNeill, "Sustainable diets for the future: can we contribute to reducing greenhouse gas emissions by eating a healthy diet? ", The American journal of clinical nutrition, Vol. 96, No.3 , pp. 632-639, 2012.

[11] N. Wilson, N. Nghiem, C. N. Mhurchu, H. Eyles, Baker M.G, and T. Blakely, "Foods and Dietary Patterns That Are Healthy, Low-Cost, and Environmentally Sustainable: A Case Study of Optimization Modeling for New Zealand, Optimized Diets: Health", Cost and Sustainability, Vol. 8, Issue 3, PP. 1-10, 2013.

[12] E. Bas, "A robust optimization approach to diet problem with overall glycemic load as objective function", Applied Mathematical Modelling, Vol. 38, Issue 19-20, pp. 4926-4940, 2014.

[13] J. A. Gephart, K. F. Davis, K. A. Emery, A. M. Leach, J. N. Galloway, and M. L. Pace, "The environmental cost of subsistence: optimizing diets to minimize footprints", Science of the Total Environment, Vol. 553, pp. 120-127, 2016.

[14] J. J. Hyland, M. Henchion, M. McCarthy, and S. N. McCarthy, "The role of meat in strategies to achieve a sustainable diet lower in greenhouse gas emissions: A review", Meat science, Vol. 132, pp. 189-195, 2017.

[15] F. Al-Mansour, and V. Jejcic, "A model calculation of the carbon footprint of agricultural products: The case of Slovenia", Energy, Vol. 136, pp. 7-15, 2017.

[16] M. Eghbali-Zarch, R. Tavakkoli-Moghaddam, F. Esfahanian, A. Azaron, and M. Mehdi Sepehri, "A New Multi-objective Optimization Model for Diet Planning of Diabetes Patients under Uncertainty", Health Education and Health Promotion (HEHP), Vol. 5, No.3, pp. 37-55, 2017.

[17] G. Theisen, J.J.C. da. Silva, J. Silva-Dias, A. Andres, N.P.R. Anten, and L. Bastiaans, "The birth of a new cropping system: towards sustainability in the sub-tropical lowland agriculture", Field Crops Research, Vol. 212, ISSN 0378-4290, pp. 82-94, 2017.

[18] I. Benedetti, T. Laureti, and L. Secondi, "Choosing a healthy and sustainable diet: A three-level approach for understanding the drivers of the Italians' dietary regime over time", Appetite, Vol. 123, pp. 357-366, 2018.

[19] B. He, J. Xiao, and Zh. Deng, "Product design evaluation for product environmental footprint", Journal of Cleaner Production, Vol. 172, pp. 3066-3080, 2018.

[20] H. Mayton,T. Beal, J. Rubin, A. Sanchez, M. Heller, L. Hoey, S. Haan, T. T. Duong, T. Huynh, D. D.Burra, C. K. Khoury, and A. D. Jones, "Conceptualizing sustainable diets in Vietnam: Minimum metrics and potential leverage points", Food Policy, Vol. 91, pp. 101836, 2020.

[۲۱] حسین اقبالی و محمدعلی اقبالی، عبدالرضا نوروزی و حسین شیوا،"مدلسازی تغذیه بهینه برای افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ با استفاده از برنامه ریزی خطی ریاضی"، نشریه دیابت و لیپید ایران، دوره ۱۱، شماره ۳، اسفند۱۳۹۰، صفحه ۲۸۲-۲۹۱.

[22] D. Fister, I. Fister, and S. Rauter, "Generating eating plans for athletes using the particle swarm optimization", CINTI 2016 • 17th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, pp. 17–19, 2016.

[23] H. Eghbali, and M. ahmadvand, "Optimizing the receipt of energy and consumption of fat in the athletes' diet by Using Fuzzy Linear Programming", Available at SSRN 3476278, pp. 19-28, 2019.

[24] H. Eghbali, "Implement a proper nutrition model for athletes using the linear optimization model", Available at SSRN 3568367, 2020.

[25] Y. Lahav, Y. Epstein, R. Kedem, and H. Schermann, "A novel body circumferences-based estimation of percentage body fat", British Journal of Nutrition, Vol. 119, No. 6, pp.720-725, 2018.

[26] K. Deb, "Multi-objective Optimisation Using Evolutionary Algorithms: An Introduction", Vol. 16, No.3, pp. 3-34, 2011.

[27] https://www.imeche.org/policy-and-press/environment-theme