

بهینه‌سازی الگوهای غذایی برای فرد متوسط ایرانی: یک رویکرد برنامه ریزی خطی

پوریا خداپرست

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
Pooriya.kh@aut.ac.ir

کیمیا رسولی‌کشور

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
Kimia.rasoulakeshvar@aut.ac.ir

سید عماد حسینی

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
Emad.hosseini@aut.ac.ir

چکیده

کلمات کلیدی: "بهینه‌سازی رژیم غذایی"، "برنامه‌ریزی خطی"، "پایداری زیست‌محیطی"، "محدودیت‌های فرهنگی و اقتصادی"، "مدل‌سازی ریاضی تغذیه"

۱. مقدمه

۱.۱ انگیزه

بهینه‌سازی الگوهای غذایی به یک دغدغه جهانی تبدیل شده است، به‌ویژه در زمینه چالش‌های فزاینده سلامت، محدودیت‌های اقتصادی و تخریب محیط‌زیست. در کشورهایی با درآمد متوسط مانند ایران، که عادات غذایی به‌شدت تحت تأثیر سنت‌های فرهنگی قرار دارند، ایجاد توازن میان کفایت تغذیه‌ای، مقرون‌به‌صرفه بودن و پذیرش فرهنگی، یک وظیفه پیچیده اما حیاتی است. رژیم غذایی فرد متوسط ایرانی، که تحت تأثیر عوامل مختلف اجتماعی-اقتصادی و فرهنگی شکل گرفته است، اغلب در تأمین نیازهای تغذیه‌ای توصیه‌شده، به‌ویژه در میان گروه‌های اقتصادی آسیب‌پذیر، ناکام می‌ماند. این پژوهش با هدف پر کردن شکاف میان برنامه‌ریزی رژیم غذایی مبتنی بر سلامت و ارائه راه‌حل‌های عملی و در دسترس که متناسب با فرد متوسط ایرانی باشد، انجام شده است. با بهره‌گیری از قدرت برنامه‌ریزی خطی، قصد داریم یک رویکرد سیستماتیک و کمی برای بهینه‌سازی رژیم غذایی ارائه دهیم. این رویکرد نه تنها نیازهای تغذیه‌ای فرد و محدودیت‌های بودجه را در نظر می‌گیرد، بلکه ملاحظات گسترده‌تری مانند تأثیرات زیست‌محیطی و ترجیحات فرهنگی را نیز ادغام می‌کند.

با توجه به تأکید روزافزون جهانی بر راه‌حل‌های غذایی پایدار و مقرون‌به‌صرفه، این مطالعه به حوزه در حال رشد بهینه‌سازی چندهدفه در علم تغذیه کمک می‌کند. این تحقیق چارچوبی عملی برای سیاست‌گذاران، متخصصان تغذیه و افراد فراهم می‌کند تا تصمیمات آگاهانه‌ای درباره رژیم غذایی اتخاذ کنند که با اولویت‌های سلامت، اقتصادی و فرهنگی همسو باشد. در نهایت، این کار در تلاش است تا مدلی مقیاس‌پذیر ارائه دهد که بتواند بر عادات غذایی فردی و استراتژی‌های کلان سلامت عمومی در ایران و شرایط مشابه تأثیر بگذارد.

۱.۲ مرور بر ادبیات

برنامه‌ریزی خطی (LP) به‌طور فزاینده‌ای به‌عنوان ابزاری کلیدی برای بهینه‌سازی رژیم‌های غذایی تحت محدودیت‌های متنوع از جمله هزینه، تغذیه، و پایداری محیطی شناخته شده است. مرور متون مرتبط روندها و الگوهای واضحی را در کاربرد این روش در فرهنگ‌ها و اهداف مختلف نشان می‌دهد. مطالعات متعدد انعطاف‌پذیری LP را در توازن بین اولویت‌های مختلف از جمله مقرون‌به‌صرفه بودن، تأمین نیازهای تغذیه‌ای و کاهش اثرات زیست‌محیطی برجسته می‌کنند. برای مثال، Van Dooren و همکاران (۲۰۱۵) رژیم‌های غذایی مقرون‌به‌صرفه و کم‌کربن را برای بزرگسالان هلندی طراحی کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که یک رژیم غذایی مبتنی بر گیاهان و غنی از فیبر می‌تواند به‌طور همزمان نیازهای تغذیه‌ای را برآورده کند و تأثیرات زیست‌محیطی را به‌طور قابل‌توجهی کاهش دهد، که توانایی LP در ترکیب اهداف سلامت و پایداری را نشان می‌دهد [۱]. در همین راستا، Okubo و همکاران (۲۰۱۵) از LP برای طراحی رژیم‌های غذایی که با الزامات تغذیه‌ای ژاپنی مطابقت داشته و در عین حال غذاهای فرهنگی و محلی را حفظ می‌کنند، استفاده کردند. این مطالعه قدرت LP در طراحی رژیم‌های غذایی متناسب با ویژگی‌های فرهنگی را به نمایش گذاشت [۲].

یک موضوع تکرارشونده در این حوزه، تمرکز همزمان بر مقرون‌به‌صرفه بودن و سلامت‌محوری رژیم‌های غذایی است. مطالعه Darmon و همکاران (۲۰۰۶) درباره تأثیر محدودیت‌های هزینه‌ای نشان داد که دستیابی به رژیم‌های غذایی مغذی با بودجه‌های محدود نیازمند تغییرات قابل‌توجهی در الگوهای مصرفی است. این مطالعه همچنین تضاد میان هزینه پایین و پذیرش اجتماعی رژیم‌های غذایی را برجسته کرد، که چالشی مهم در طراحی رژیم‌های غذایی مقرون‌به‌صرفه است [۳]. در حوزه‌های خاص‌تر، Ardestani و همکاران (۲۰۱۴) از برنامه‌ریزی خطی فازی برای بهینه‌سازی انرژی دریافتی و کاهش چربی در رژیم غذایی ورزشکاران استفاده کردند و نقش LP را در مواجهه با عدم قطعیت‌ها در نیازهای تغذیه‌ای نشان دادند. همچنین، Hoseinpour و همکاران (۲۰۱۸) از رویکرد بهینه‌سازی مقاوم برای تنظیم رژیم غذایی بیماران دیابتی بهره بردند که به کاهش بار گلیسمی و حفظ تعادل تغذیه‌ای کمک کرد [۴].

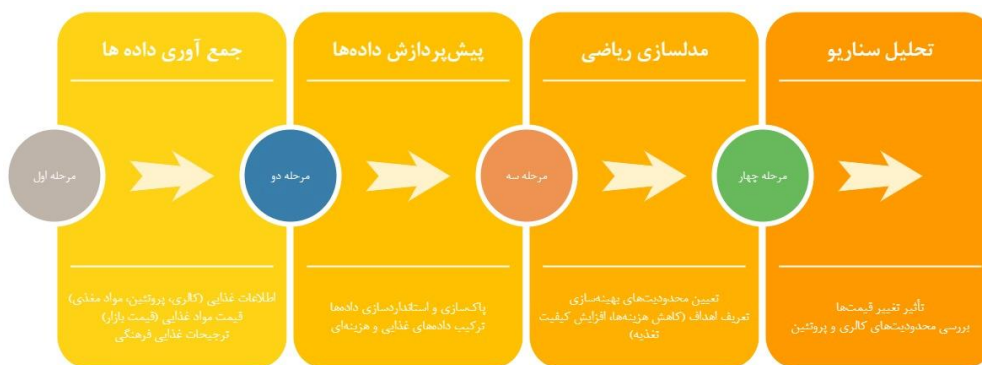
بحث‌ها و تناقض‌ها در تعامل میان هزینه، اثرات زیست‌محیطی، و نتایج سلامت در متون این حوزه مشاهده می‌شود. به‌عنوان مثال، در حالی که Van Dooren و همکاران (۲۰۱۵) موفق به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تأمین کفایت تغذیه‌ای شدند، Okubo و همکاران (۲۰۱۵) با چالش‌هایی مانند مصرف زیاد نمک مواجه شدند که نیازمند تغییرات اساسی در رژیم‌های غذایی سنتی بود. علاوه بر این، Darmon و همکاران (۲۰۰۶) دریافتند که هرچند رژیم‌های مقرون‌به‌صرفه ممکن است به الزامات تغذیه‌ای برسند، اما اغلب با ترجیحات و عادات غذایی رایج مغایرت دارند [۲]، [۳]، [۵].

چندین مطالعه تأثیرگذار این حوزه را شکل داده‌اند. مطالعات Van Dooren و همکاران (۲۰۱۵) و Okubo و همکاران (۲۰۱۵) به‌عنوان کارهای برجسته‌ای شناخته می‌شوند که LP را به‌عنوان ابزاری برای ادغام اهداف سلامت و پایداری در برنامه‌ریزی رژیم‌های غذایی معرفی کردند. در همین حال، تحقیقاتی مانند Ardestani و همکاران (۲۰۱۴) دامنه کاربرد LP را به تغذیه ورزشی گسترش دادند، و Hoseinpour و همکاران (۲۰۱۸) از این ابزار برای طراحی رژیم‌های غذایی متناسب با شرایط پزشکی خاص بهره بردند [۱]، [۲]، [۴].

با وجود مزایای قابل‌توجه برنامه‌ریزی خطی، شکاف‌هایی در تحقیقات فعلی وجود دارد که نیازمند بررسی بیشتر است. از جمله، مطالعات اندکی به مقبولیت روان‌شناختی و فرهنگی رژیم‌های غذایی بهینه‌شده با LP پرداخته‌اند، که عامل مهمی در اجرای عملی این رویکرد است. علاوه بر این، هرچند LP برای پرداختن به محدودیت‌های زیست‌محیطی و اقتصادی استفاده شده است، ادغام آن با داده‌های رفتاری مصرف‌کنندگان در زمان واقعی کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. تحقیقات آینده باید این شکاف‌ها را پر کنند تا قابلیت‌های عملی LP در بهینه‌سازی رژیم‌های غذایی افزایش یابد.

۲. روش‌شناسی

در این بخش به معرفی نیازهای یک فرد متوسط با استفاده از داده‌های جهانی پرداخته و بعد با توجه به مدل ریاضی تعریف شده برای مواد مغذی فرد با استفاده از رویکرد خطی آن را بهینه کرده و یک برنامه غذایی به صورت هفتگی به صورت خروجی تحویل داده خواهد شد، در ادامه بخش ۳ به مقایسه کلی این رژیم با رژیم یک فرد متوسط ایرانی در حال حاضر خواهیم پرداخت و یک مقایسه کلی از لحاظ کالری و مواد مغذی صورت خواهد گرفت.



۲.۱ مدل ریاضی

برای توسعه یک مدل بهینه‌سازی رژیم غذایی برای یک مرد ایرانی با جثه متوسط، محدودیت‌های زیر بر اساس توصیه‌های تغذیه‌ای معتبر تعیین شده‌اند:

مصرف کالری:

مجموع کالری دریافتی از تمام مواد غذایی انتخاب‌شده باید حداقل ۲,۰۰۰ کیلوکالری در روز باشد تا انرژی لازم برای فعالیت‌های روزانه و فرآیندهای متابولیک بدن تأمین شود. این مقدار بر اساس نیازهای انرژی یک فرد بالغ با سطح فعالیت متوسط تعیین شده است [۶]

$$\sum_{i=1}^n \text{Cal}_i \cdot x_i \geq 2000, \forall i$$

مصرف پروتئین:

برای حمایت از ترمیم عضلات، عملکرد سیستم ایمنی و سلامت سلولی، مصرف حداقل ۵۰ گرم پروتئین در روز توصیه می‌شود. این مقدار معادل ۱۰ تا ۳۵ درصد از کل کالری دریافتی روزانه است که برای یک رژیم ۲,۰۰۰ کیلوکالری، حدود ۵۰ گرم پروتئین را شامل می‌شود [۶]

$$\sum_{i=1}^n \text{Prot}_i \cdot x_i \geq 50, \forall i$$

مصرف چربی:

برای جلوگیری از مشکلات سلامتی مانند چاقی و بیماری‌های قلبی، مصرف چربی نباید از ۷۸ گرم در روز تجاوز کند. این مقدار بر اساس توصیه مصرف ۲۰ تا ۳۵ درصد از کل کالری روزانه از منابع چربی تعیین شده است [۶]

$$\sum_{i=1}^n \text{Fat}_i \cdot x_i \leq 78, \forall i$$

مصرف کربوهیدرات:

برای کنترل دریافت انرژی اضافی، مصرف کربوهیدرات‌ها به حداکثر ۲۷۵ گرم در روز محدود می‌شود. این مقدار معادل ۴۵ تا ۶۵ درصد از کل کالری دریافتی روزانه است [۶]

$$\sum_{i=1}^n \text{Carb}_i \cdot x_i \leq 275, \forall i$$

مصرف ویتامین A:

برای حفظ سلامت بینایی و عملکرد سیستم ایمنی، دریافت حداقل ۹۰۰ میکروگرم ویتامین A در روز ضروری است. این مقدار بر اساس نیازهای تغذیه‌ای مردان بالغ تعیین شده است [۷]

$$\sum_{i=1}^n \text{VitA}_i \cdot x_i \geq 900, \forall i$$

مصرف ویتامین C:

برای حمایت از سلامت سیستم ایمنی و عملکرد آنتی‌اکسیدانی، مصرف حداقل ۹۰ میلی‌گرم ویتامین C در روز توصیه می‌شود. این مقدار بر اساس نیازهای تغذیه‌ای مردان بالغ تعیین شده است [۷]

$$\sum_{i=1}^n \text{VitC}_i \cdot x_i \geq 90, \forall i$$

مصرف کلسیم:

برای حفظ سلامت استخوان‌ها و عملکرد متابولیک، دریافت حداقل ۱,۳۰۰ میلی‌گرم کلسیم در روز ضروری است. این مقدار بر اساس نیازهای تغذیه‌ای مردان بالغ تعیین شده است [۷]

$$\sum_{i=1}^n \text{Ca}_i \cdot x_i \geq 1300, \forall i$$

مصرف آهن:

برای حمایت از انتقال اکسیژن و فرآیندهای متابولیک، مصرف حداقل ۱۸ میلی‌گرم آهن در روز توصیه می‌شود. این مقدار بر اساس نیازهای تغذیه‌ای مردان بالغ تعیین شده است [۷]

$$\sum_{i=1}^n \text{Fe}_i \cdot x_i \geq 18, \forall i$$

مصرف فیبر غذایی:

برای حمایت از سلامت دستگاه گوارش و کاهش خطر بیماری‌های مزمن، دریافت حداقل ۲۸ گرم فیبر در روز ضروری است. این مقدار بر اساس نیازهای تغذیه‌ای مردان بالغ تعیین شده است [۶]

$$\sum_{i=1}^n \text{Fiber}_i \cdot x_i \geq 28, \forall i$$

مصرف قندهای افزوده:

برای محدود کردن خطرات مرتبط با مصرف بیش از حد قند، مصرف قندهای افزوده نباید از ۵۰ گرم در روز تجاوز کند. این مقدار معادل کمتر از ۱۰ درصد از کل کالری دریافتی روزانه است [۸]

$$\sum_{i=1}^n \text{Sugar}_i \cdot x_i \leq 50, \forall i$$

محدودیت سهم غذایی:

با توجه به الگوی غذایی فرهنگ ایرانی که در آن ناهار به عنوان وعده اصلی و سنگین تر روز شناخته می شود، برای هر وعده غذایی محدودیت های زیر در نظر گرفته شده است. برای ناهار حداقل سهم غذایی ۲۰۰ گرم (معادل ۲ واحد) و برای سایر وعده های غذایی (صبحانه، شام و میان وعده) حداقل سهم غذایی ۱۰۰ گرم (معادل ۱ واحد) تعیین شده است. این محدودیت ها به صورت زیر فرمول بندی می شوند:

برای ناهار:

$$\sum_{i \in M_l} p_i \cdot x_i \geq 2, \forall i$$

برای سایر وعده ها (صبحانه، شام و میان وعده):

$$\sum_{i \in M_j} p_i \cdot x_i \geq 1, \forall i, j \in \{b, d, s\}$$

که در آن:

- M_l : مجموعه غذاهای مربوط به وعده ناهار
- M_j : مجموعه غذاهای مربوط به وعده های دیگر
- p_i : تعداد سهم های غذایی برای غذا
- x_i : متغیر تصمیم برای انتخاب غذای

محدودیت غیرمنفی بودن:

مقدار تمام مواد غذایی باید غیرمنفی باشد، زیرا مقادیر منفی از نظر فیزیکی معنا ندارند.

$$x_i \geq 0, \forall i$$

تابع هدف:

در مدل بهینه سازی رژیم غذایی برای یک مرد ایرانی با جثه متوسط، تابع هدف به صورت زیر تعریف می شود:

$$\min Z = \sum_{i=1}^n c_i \cdot x_i$$

که در آن:

- Z : هزینه کل رژیم غذایی روزانه.
- c_i : هزینه هر واحد (مثلاً هر گرم) از ماده غذایی i .
- x_i : مقدار مصرفی از ماده غذایی i در رژیم غذایی روزانه.
- n : تعداد کل مواد غذایی مورد بررسی.

هدف این تابع، کمینه‌سازی هزینه کل رژیم غذایی روزانه است، به‌طوری‌که تمامی نیازهای تغذیه‌ای فرد برآورده شوند.
ملاحظات:

- هزینه مواد غذایی C_i می‌تواند بر اساس قیمت‌های بازار محلی تعیین شود.
 - مقادیر مصرفی x_i نشان‌دهنده وزن یا حجم هر ماده غذایی در رژیم روزانه هستند.
 - این تابع هدف با در نظر گرفتن محدودیت‌های تغذیه‌ای (مانند کالری، پروتئین، ویتامین‌ها و مواد معدنی) و محدودیت‌های فرهنگی و سلیقه‌ای، به تعیین ترکیب بهینه‌ای از مواد غذایی می‌پردازد که هم نیازهای تغذیه‌ای را برآورده کند و هم هزینه را به حداقل برساند.
- با استفاده از این مدل، می‌توان رژیم غذایی مناسبی را طراحی کرد که ضمن تأمین نیازهای تغذیه‌ای، از نظر اقتصادی نیز مقرون‌به‌صرفه باشد.

۲.۲ جمع‌آوری داده

در این قسمت به نحوه جمع‌آوری داده می‌پردازیم، داده‌های جمع‌آوری شده باید دارای حالت خاصی باشند که در خود فرهنگ خرد و خوراک ایرانی را دارا باشد به این معنا که دیتابیس تشکیل شده باید دارای غذاهایی از انواع اقشار مختلف ایرانی باشد، داده‌ها باید کلیت مواد مغذی تمام غذاهای وارد شده را دارا باشد تا بتوان بهینه‌سازی مطلق انجام داد (بدون اجازه پناستی به تابع هدف).

منابع	توضیحات	داده
[9], [10], [11]	داده‌هایی که برای نسبت دادن هر ماده مغذی (کالری، فیبر، شکر و ...)	مواد مغذی
[12], [13]	داده‌های تولید مواد مغذی به ازای هر فرد ایرانی در سال.	تولید مواد مغذی در ایران
[14]	داده‌ها برای مقایسه قیمت خروجی مدل بهینه با قیمت‌های حال حاضر	داده‌های اقتصادی
[15], [16], [17], [18], [19], [20]	تنظیم کردن عملکرد قیود خطی با توجه به بازه سلامتی دنیا	قیدهای سلامتی (با توجه به نوع ماده مغذی)

۲.۲.۱ پردازش داده‌ها

داده‌ها از منابع مختلف جمع‌آوری شده و تلاش بر این بوده که با توجه به محدودیت وجود دیتابیس موثق برای غذاهای فرهنگ ایران، تنوع فرهنگ‌های مختلف رعایت شود، پس از جمع‌آوری برای غذاهای مختلف برای ایجاد یک رویکرد خطی تمامی داده‌های مربوط به غذاها از جمله مقدار بر حسب گرم و کالری و فیبر و ... بر روی صد گرم مقدار نرمالایز شده و با توجه به قیود تعریف شده، مدل دارای انتخاب بین مقدارهایی بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ گرم را داراست تا بتوان درجه آزادی مدل را با مقدار معقولی تعریف کرد.

روز	یک شنبه				مجموع
	صبحانه	میان وعده	ناهار	شام	
نام غذا	نان تافتون و پنیر و چایی	پنیر و انگور	املت ایرانی	ته چین	
وزن (g)	۲۰۰	۲۰۰	۴۰۰	۲۰۰	۱۰۰۰
کالری	۵۰۰	۳۰۰	۷۲۰	۶۰۰	۲۱۲۰
پروتئین (g)	۲۰	۱۴	۴۰	۱۸	۹۲
چربی (g)	۲۰	۱۶	۵۶	۲۰	۱۱۲
کربوهیدرات (g)	۶۰	۳۰	۱۶	۸۰	۱۸۶
فیبر (g)	۴	۲	۴	۴	۱۴
قند (g)	۱۰	۲۰	۸	۴	۴۲
ویتامین آ (μg)	۰	۴۰	۰	۰	۴۰
ویتامین ث (mg)	۰	۶	۰	۰	۶
کلسیم (mg)	۳۰۰	۳۰۰	۲۰۰	۷۰	۸۷۰
آهن (mg)	۳	۱	۶	۴	۱۴
هزینه (ریال)	۱۶۰,۰۰۰	۳۴۰,۰۰۰	۶۰۰,۰۰۰	۶۰۰,۰۰۰	۱,۷۰۰,۰۰۰

نمونه برنامه غذایی بهینه برای روز یکشنبه

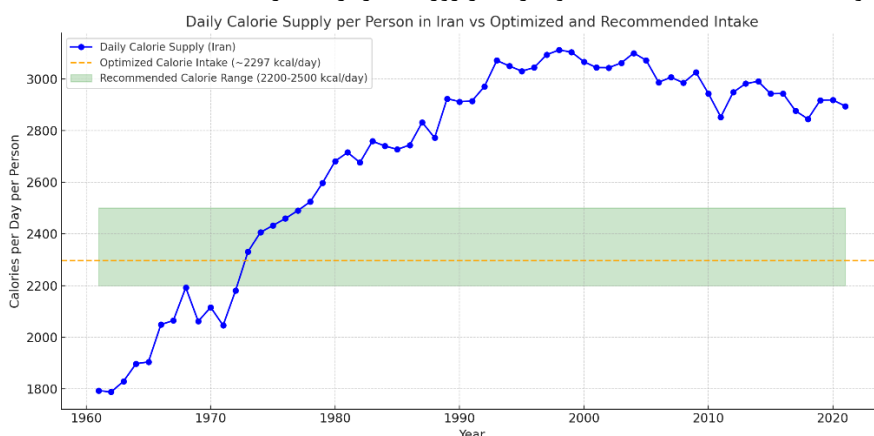
۳. نتایج

در این بخش، نتایج مدل بهینه‌سازی رژیم غذایی که برای فرد متوسط ایرانی طراحی شده است، ارائه می‌شود. این نتایج شامل تحلیل مقایسه‌ای بین مصرف کالری، هزینه‌های غذایی تاریخی و هزینه‌های بهینه شده است. همچنین به بررسی پیامدهای این بهینه‌سازی در کاهش هزینه‌ها و بهبود کیفیت تغذیه پرداخته شده است.

۳.۱ مصرف کالری

مقایسه‌ای میان مصرف کالری تاریخی و کالری بهینه نشان می‌دهد که:

- مصرف تاریخی کالری در ایران بر اساس داده‌های تاریخی، میانگین مصرف کالری روزانه از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۱ حدود ۲۶۹۷ کیلوکالری در روز بوده است. این میزان نشان‌دهنده فراوانی نسبی عرضه کالری است، اما لزوماً به معنای مصرف واقعی نیست، زیرا هدررفت مواد غذایی در این آمار لحاظ نشده است.
- مصرف بهینه کالری: میانگین کالری بهینه پیشنهادی بر اساس مدل، حدود ۲۲۹۷ کیلوکالری در روز است که به محدوده توصیه‌شده (۲۲۰۰ تا ۲۵۰۰ کیلوکالری در روز) بسیار نزدیک‌تر است.

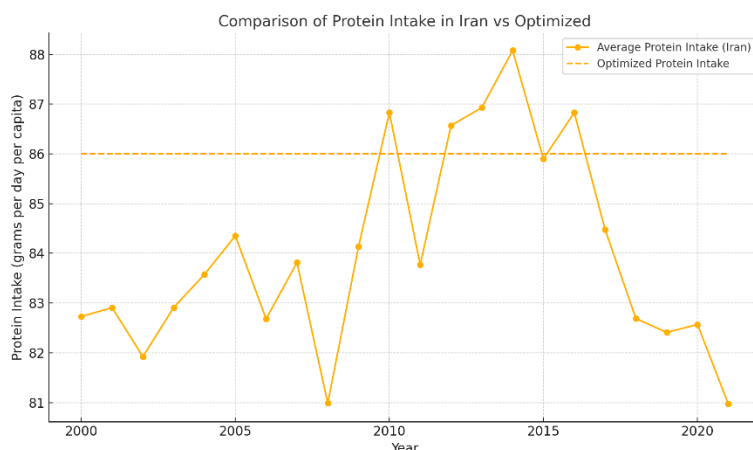


نمودار ۱: مقایسه مصرف کالری تاریخی ایران، مصرف بهینه و محدوده توصیه‌شده.

۳.۲ مصرف پروتئین

تحلیل مصرف پروتئین نشان می‌دهد که:

- مصرف تاریخی پروتئین در ایران: میانگین مصرف پروتئین در ایران در بازه ۲۰ سال گذشته حدود ۸۲ گرم در روز بوده است که در برخی سال‌ها به دلیل افزایش هزینه‌ها و تغییرات اقتصادی کاهش یافته است.
 - مصرف بهینه پروتئین: بر اساس مدل بهینه، مصرف پروتئین به ۸۶ گرم در روز افزایش یافته است که این مقدار مطابق با استانداردهای جهانی بوده و نیازهای تغذیه‌ای را به‌طور کامل تأمین می‌کند.
- این بهبود در مصرف پروتئین نشان‌دهنده تأثیر مثبت بهینه‌سازی رژیم غذایی بر تأمین نیازهای ضروری بدن است.

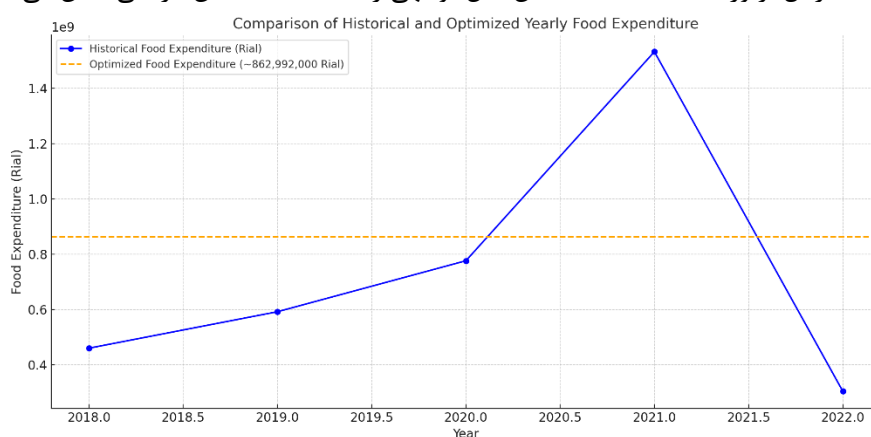


نمودار ۲: مقایسه میانگین مصرف پروتئین تاریخی ایران و مصرف بهینه.

۳.۳ هزینه‌های غذایی

تحلیل هزینه‌های غذایی نشان می‌دهد که:

- هزینه تاریخی غذا: داده‌های تاریخی نشان می‌دهد که میانگین هزینه‌های سالانه غذا برای هر فرد در ایران (بر اساس داده‌های ارائه‌شده به ریال تبدیل شده) روندی افزایشی داشته است و در سال‌های اخیر به بیش از ۱.۴ میلیارد ریال در سال رسیده است.
- هزینه بهینه غذا: هزینه سالانه بهینه شده بر اساس مدل پیشنهادی و داده‌های برنامه غذایی هفتگی حدود ۸۶۲,۹۹۲,۰۰۰ ریال برآورد شده است که کاهش قابل توجهی را نسبت به میانگین تاریخی نشان می‌دهد.



نمودار ۳: مقایسه هزینه تاریخی و هزینه بهینه سالانه غذا به ریال.

۳.۴ پیامدهای سیاست‌گذاری

- این نتایج نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی می‌تواند راه‌حل‌های مؤثری برای کاهش هزینه‌ها و بهبود تغذیه ارائه دهد:
- کاهش هزینه‌ها: با اجرای مدل بهینه‌سازی، دولت می‌تواند از فشار اقتصادی بر خانواده‌ها کاسته و الگوهای مصرفی مؤثرتری را ترویج دهد.
 - بهبود کیفیت تغذیه: تطابق بیشتر رژیم بهینه با محدوده توصیه‌شده کالری و تأمین تمامی نیازهای تغذیه‌ای.

• پایداری اقتصادی و اجتماعی: کاهش هزینه‌ها و بهبود شاخص‌های سلامت می‌تواند منجر به افزایش رفاه عمومی شود. این تحلیل نشان می‌دهد که رویکردهای مبتنی بر بهینه‌سازی رژیم غذایی می‌توانند راه‌حلهایی عملی و اثربخش برای بهبود تغذیه و کاهش هزینه‌های غذایی در ایران ارائه دهند. همچنین، استفاده از داده‌های محلی و فرهنگی می‌تواند به پذیرش بیشتر این راه‌حل‌ها کمک کند.

۴. بررسی کلی خروجی مدل بهینه

در این بخش به تحلیل و تفسیر نتایج به دست آمده و بررسی ارتباط آن‌ها با سیاست‌گذاری‌های ملی، اجتماعی و اقتصادی پرداخته می‌شود.

۴.۱. تفسیر نتایج

این قسمت به بررسی نتایج مدل بهینه‌سازی و مقایسه آن با داده‌های تاریخی پرداخته و تأثیر آن بر مصرف کالری، پروتئین و هزینه‌های غذایی را تحلیل می‌کند

۴.۱.۱. مصرف کالری و پروتئین

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که مدل بهینه‌سازی شده توانسته است مصرف کالری و پروتئین را در محدوده‌های توصیه‌شده حفظ کند. به طور خاص، مصرف کالری به میانگین ۲۲۹۷ کیلوکالری در روز کاهش یافته است که در مقایسه با میانگین تاریخی ۲۶۹۷ کیلوکالری در روز بسیار نزدیک‌تر به مقادیر توصیه‌شده جهانی است. همچنین، مصرف پروتئین از ۸۲ گرم در روز به ۸۶ گرم در روز افزایش یافته است که نیازهای اساسی بدن را به‌طور کامل تأمین می‌کند و به بهبود کیفیت تغذیه کمک می‌کند.

۴.۱.۲. کاهش هزینه‌ها

کاهش هزینه‌های سالانه غذا یکی دیگر از نتایج کلیدی این مطالعه است. مدل پیشنهادی نشان داده است که هزینه‌های بهینه شده می‌تواند به ۸۶۲،۹۹۲،۰۰۰ ریال در سال برسد که در مقایسه با میانگین هزینه‌های تاریخی، کاهش قابل توجهی را نشان می‌دهد. این کاهش هزینه‌ها می‌تواند فشار اقتصادی بر خانوارها، به ویژه در میان اقشار کم‌درآمد، را به میزان زیادی کاهش دهد.

۴.۲. چالش‌ها و محدودیت‌ها

این قسمت چالش‌ها و محدودیت‌هایی را بررسی می‌کند که ممکن است در اجرای مدل بهینه‌سازی و تحلیل داده‌ها وجود داشته باشد.

۴.۲.۱. داده‌های ناقص یا متغیر

تغییرات در قیمت مواد غذایی یا عدم دقت در داده‌های موجود یکی از چالش‌های اصلی در این مطالعه بوده است. این تغییرات می‌تواند بر پایداری و دقت نتایج تأثیر بگذارد و نیاز به به‌روزرسانی مداوم داده‌ها را نشان می‌دهد.

۴.۲.۲. تطابق فرهنگی

یکی دیگر از چالش‌ها، پذیرش رژیم‌های بهینه‌سازی شده در میان مردم است. عادات غذایی و ترجیحات فرهنگی ممکن است با توصیه‌های بهینه‌سازی شده همخوانی نداشته باشد. مدل پیشنهادی تلاش کرده است تا با حفظ مواد غذایی فرهنگی مانند نان، پذیرش بیشتری را تضمین کند.

۴.۲.۳. هزینه‌های اجرایی

پیاده‌سازی این مدل‌ها نیازمند منابع و زیرساخت‌های مدیریتی است که ممکن است برای همه مناطق کشور در دسترس نباشد. این چالش می‌تواند مانع اجرای گسترده این مدل‌ها شود.

۴.۳. پیامدهای سیاست‌گذاری

۴.۳.۱. سیاست‌های حمایتی

دولت می‌تواند با اعمال سیاست‌های حمایتی مانند یارانه‌دهی به مواد غذایی اساسی و کاهش قیمت منابع پروتئینی، دسترسی خانوارها به رژیم‌های بهینه را بهبود بخشد.

۴.۳.۲. آموزش تغذیه‌ای

برنامه‌های آموزشی می‌توانند به پذیرش رژیم‌های بهینه کمک کرده و آگاهی عمومی درباره اهمیت تغذیه سالم را افزایش دهند. این امر می‌تواند تأثیرات بلندمدتی بر سلامت جامعه داشته باشد.

۴.۳.۳. تقویت پایداری

رویکردهای بهینه‌سازی می‌توانند با کاهش اتلاف منابع و تقویت پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی، در سیاست‌گذاری‌های بلندمدت کشور تأثیرگذار باشند.

۴.۴. نقش نان در تغذیه و بهینه‌سازی مصرف آن

یکی از دلایل بالا بودن مصرف کالری در ایران، سهم بالای نان در رژیم غذایی روزانه است. اگرچه نان یکی از اصلی‌ترین منابع غذایی خانوارهای ایرانی است و نقش فرهنگی مهمی دارد، اما مدل بهینه‌سازی تلاش کرده است تا این ماده غذایی را در رژیم غذایی متعادل نگه دارد. در مدل بهینه، مصرف نان به شکلی مدیریت شده است که ضمن حفظ جایگاه فرهنگی آن، با منابع پروتئینی و سبزیجات تکمیل شود. این تعادل به تأمین نیازهای تغذیه‌ای و کاهش وابستگی به کربوهیدرات‌های ساده کمک می‌کند و از مشکلاتی مانند چاقی و سوءتغذیه جلوگیری می‌کند. [۲۱][۲۲]

۴.۵. عدم توازن در داده‌های سرانه به دلیل نابرابری ثروت

یکی از محدودیت‌های استفاده از داده‌های سرانه در این مطالعه، عدم توجه به نابرابری ثروت در میان اقشار مختلف جامعه است. در ایران، تفاوت قابل توجهی در قدرت خرید و دسترسی به مواد غذایی وجود دارد که می‌تواند بر دقت تحلیل تأثیر بگذارد. به عنوان مثال، ممکن است سرانه مصرف کالری یا پروتئین برای خانوارهای کم‌درآمد بسیار پایین‌تر از میانگین سرانه گزارش شده باشد. این موضوع نشان‌دهنده نیاز به داده‌های تفصیلی‌تر است تا نتایج به دست آمده را واقع‌بینانه‌تر نماید [۲۳]. این بخش تأکید دارد که بهره‌گیری از مدل‌های بهینه‌سازی تغذیه‌ای نه تنها به بهبود وضعیت سلامت و کاهش هزینه‌ها کمک می‌کند، بلکه می‌تواند نقش کلیدی در ارتقای رفاه عمومی و دستیابی به اهداف توسعه پایدار ایفا کند.

- [1] C. van Dooren, M. Tyszler, G. F. H. Kramer, and H. Aiking, "Combining low price, low climate impact and high nutritional value in one shopping basket through diet optimization by linear programming," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 7, no. 9, pp. 12837–12855, 2015, doi: 10.3390/su70912837.
- [2] H. Okubo *et al.*, "Designing optimal food intake patterns to achieve nutritional goals for Japanese adults through the use of linear programming optimization models," *Nutr J*, vol. 14, no. 1, Jun. 2015, doi: 10.1186/s12937-015-0047-7.
- [3] N. Darmon, E. L. Ferguson, and A. Briend, "Impact of a Cost Constraint on Nutritionally Adequate Food Choices for French Women: An Analysis by Linear Programming," *J Nutr Educ Behav*, vol. 38, no. 2, pp. 82–90, Apr. 2006, doi: 10.1016/j.jneb.2005.11.028.
- [4] چند هدفه فازی بهینه سازی دریافت انرژی و مصرف چربی در برنامه غذایی ورزشکاران با استفاده، اقبالی حسین خطی ریزی برنامه از مدل.
- [5] C. van Dooren, "A Review of the Use of Linear Programming to Optimize Diets, Nutritiously, Economically and Environmentally," Jun. 21, 2018, *Frontiers Media S.A.* doi: 10.3389/fnut.2018.00048.
- [6] "Current Dietary Guidelines | odphp.health.gov." Accessed: Dec. 01, 2024. [Online]. Available: https://odphp.health.gov/our-work/nutrition-physical-activity/dietary-guidelines/current-dietary-guidelines?utm_source=chatgpt.com
- [7] "Nutrient Recommendations and Databases." Accessed: Dec. 01, 2024. [Online]. Available: https://ods.od.nih.gov/HealthInformation/nutrientrecommendations.aspx?utm_source=chatgpt.com
- [8] "Nutrition Facts Label and Your Health | Healthy Weight and Growth | CDC." Accessed: Dec. 01, 2024. [Online]. Available: https://www.cdc.gov/healthy-weight-growth/healthy-eating/nutrition-label.html?utm_source=chatgpt.com
- [9] "سایت کرفس." Accessed: Dec. 27, 2024. [Online]. Available: <https://karafsapp.com/>
- [10] "Welcome to the Global Dietary Database | Global Dietary Database." Accessed: Dec. 27, 2024. [Online]. Available: <https://globaldietarydatabase.org/>
- [11] C. van Dooren, "A Review of the Use of Linear Programming to Optimize Diets, Nutritiously, Economically and Environmentally," *Front Nutr*, vol. 5, p. 352128, Jun. 2018, doi: 10.3389/FNUT.2018.00048/BIBTEX.
- [12] B. Harris, R. Floud, and S. C. Hong, "How many calories? Food availability in England and Wales in the eighteenth and nineteenth centuries," *Res Econ Hist*, vol. 31, pp. 111–191, 2015, doi: 10.1108/S0363-326820150000031003/FULL/HTML.
- [13] "Daily per capita protein supply, 2000 to 2021." Accessed: Dec. 27, 2024. [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/grapher/daily-per-capita-protein-supply?tab=chart&time=2000..latest&country=~IRN>

- [14] "Food expenditure per person, 2018 to 2022." Accessed: Dec. 27, 2024. [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/grapher/food-expenditure-per-person-per-year?tab=chart&country=~IRN>
- [15] P. M. Soden and L. R. Fletcher, "Modifying diets to satisfy nutritional requirements using linear programming," *British Journal of Nutrition*, vol. 68, no. 3, pp. 565–572, Nov. 1992, doi: 10.1079/BJN19920115.
- [16] "Welcome to the Global Dietary Database | Global Dietary Database." Accessed: Dec. 27, 2024. [Online]. Available: <https://globaldietarydatabase.org/>
- [17] H. Okubo *et al.*, "Designing optimal food intake patterns to achieve nutritional goals for Japanese adults through the use of linear programming optimization models," *Nutr J*, vol. 14, no. 1, pp. 1–10, Jun. 2015, doi: 10.1186/S12937-015-0047-7/TABLES/4.
- [18] P. M. Soden and L. R. Fletcher, "Modifying diets to satisfy nutritional requirements using linear programming," *British Journal of Nutrition*, vol. 68, no. 3, pp. 565–572, Nov. 1992, doi: 10.1079/BJN19920115.
- [19] "Current Dietary Guidelines | odphp.health.gov." Accessed: Dec. 27, 2024. [Online]. Available: <https://odphp.health.gov/our-work/nutrition-physical-activity/dietary-guidelines/current-dietary-guidelines?>
- [20] "Health Calculators." Accessed: Dec. 27, 2024. [Online]. Available: <https://www.omnicalculator.com/health>
- [21] "دانشگاه علوم پزشکی کاشان | رژیم غذایی مناسب، راهی برای جلوگیری از چاقی و بیماری‌های مزمن." Accessed: Dec. 27, 2024. [Online]. Available: <https://kaums.ac.ir/%D8%A7%D8%AE%D8%A8%D8%A7%D8%B1/%D8%B1%DA%98%DB%8C%D9%85-%D8%BA%D8%B0%D8%A7%DB%8C%DB%8C-%D9%85%D9%86%D8%A7%D8%B3%D8%A8%D8%8C-%D8%B1%D8%A7%D9%87%DB%8C-%D8%A8%D8%B1%D8%A7%DB%8C-%D8%AC%D9%84%D9%88%DA%AF%DB%8C%D8%B1%DB%8C-%D8%A7%D8%B2-%DA%86%D8%A7%D9%82%DB%8C-%D9%88-%D8%A8%DB%8C%D9%85%D8%A7%D8%B1%DB%8C%E2%80%8C%D9%87%D8%A7%DB%8C-%D9%85%D8%B2%D9%85%D9%86>
- [22] "سرانه مصرف نان در ایران و جهان." Accessed: Dec. 27, 2024. [Online]. Available: <https://sarvmarket.co/article-37/%D8%B3%D8%B1%D8%A7%D9%86%D9%87-%D9%85%D8%B5%D8%B1%D9%81-%D9%86%D8%A7%D9%86-%D8%AF%D8%B1-%D8%A7%DB%8C%D8%B1%D8%A7%D9%86-%D9%88-%D8%AC%D9%87%D8%A7%D9%86>
- [23] "د. محمدیان، "نقش نامتقارن نابرابری درآمد و تورم بر رفاه اقتصادی در ایران و م. موتمنی، ش. زروکی فصلنامه تحقیقات اقتصادی" vol. 58, no. 2, Aug. 1402, Accessed: Dec. 27, 2024. [Online]. Available: <https://civilica.com/doc/1786962/certificate/print/>