مجله دیابت و لیپید ایران. بهمن- اسفند ۱۳۹۰؛ دوره ۱۱ (شماره ۳) ۲۹۱-۲۸۲

مدل‌سازی تغذیه بهینه برای افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ با استفاده از برنامه‌ریزی خطی ریاضی

حسین اقبالی[۱]، محمدعلی اقبالی[۲*]، عبدالرضا نوروزی[۳]، حسین شیوا[۴]

چکیده

مقدمه: براساس مطالعات صورت گرفته، گام نخست در کنترل و درمان دیابت نوع ۲، برنامه غذایی مناسب می‌باشد. شیوه‌های متعددی جهت تعیین برنامه غذایی مناسب برای بیماران دیابتی وجود دارد که با درنظرگرفتن مصرف متعادل پروتئین و کربوهیدرات ها و همچنین مصرف کم قندهای ساده و چربی ایجاد می‌شوند. هدف این تحقیق، تعیین برنامه بهینه غذایی با استفاده از مدل‌سازی برنامه‌ریزی خطی ریاضی، با هدف کمینه‌سازی چربی‌های اشباع و قندهای ساده دریافتی از مواد غذایی است.

روش‌ها: به عنوان نمونه، یک زن ۵۵ ساله، کم تحرک، با نمایه توده بدنی (BMI) ۲۵ kg/m^2 و مبتلا به دیابت نوع ۲ درنظر گرفته شد. با استفاده از منابع کتابخانه‌ای، میزان مورد نیاز روزانه وهمچنین حداکثر میزان مجاز دریافت روزانه (Tolerable upper intake levels) از مواد مغذی برای این فرد، مشخص گردید. کمینه‌سازی چربی‌های اشباع و قندهای ساده به عنوان اهداف مدل برنامه‌ریزی خطی ریاضی و حداقل و حداکثر میزان مجاز دریافت از مواد مغذی به عنوان قیدهای مسأله درنظرگرفته شد. سپس برای حل این مدل از نرم افزار محاسباتی متلب (MATLAB) استفاده گردید.

یافته‌ها: باتوجه به توابع هدف، محدودیت‌های مسأله و تنوع غذایی در وعده‌ها و میان وعده‌ها، اعداد مربوط به میزان مصرف مواد موجود در برنامه غذایی بهینه که درآن کمترین میزان چربی‌های اشباع و قندهای ساده مشاهده می‌شد، به دست آمدند. همچنین میزان دریافت روزانه انواع مغذی‌ها در این برنامه غذایی، به گونه‌ای مناسب حاصل شدند.

نتیجه‌گیری: استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی ریاضی می‌تواند در بهینه سازی برنامه غذایی بیماران دیابتی نوع ۲ با اهداف کمینه‌سازی چربی‌های اشباع و قندهای ساده، موثر باشد. در برنامه حاصل از پیاده‌سازی مدل ریاضی، ضمن برخورداری از تمامی گروه‌های غذایی، شاهد کمترین میزان چربی‌های اشباع و قندهای ساده خواهیم بود.

واژگان کلیدی: تغذیه بهینه، دیابت نوع ۲، برنامه ریزی خطی ریاضی

۱- دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشگاه صنعتی بیرجند

۳- دانشکده علوم پزشکی دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران

***نشانی:** خراسان جنوبی، بیرجند، بولوار صنعت و معدن، دانشگاه صنعتی بیرجند، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی صنایع، تلفن: ۰۹۱۵۹۶۵۵۸۸۶، ۰۹۳۹۹۶۰۴۵۸۵، پست الکترونیک: Ma.Eghbal@Gmail.com

تاریخ دریافت:۹۰/۰۶/۱۵ تاریخ درخواست اصلاح: ۹۰/۰۸/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۰/۰۹/۲۴

مقدمه

از آغاز شناسایی بیماری دیابت، ضرورت رعایت برنامه غذایی به عنوان یک عامل با اهمیت در کنترل بیماری قند شناخته شده است. درمان تغذیه‌ای، یک جزء ضروری در برنامه درمانی مبتلایان به دیابت می‌باشد. اگرچه رهایی از این بیماری امری محال به نظر می‌رسد، لیکن فرد مبتلا چنانچه روش زندگی و نحوه تغذیه خود را به صورت مناسبی تغییر دهد، سالیان متمادی می‌تواند با دیابت، زندگی خوبی را تجربه کند، درحالی که از عوارض و آسیب‌های آن نظیر بیماری‌های قلبی، نابینایی، حوادث مغزی، نارسایی کلیه و غیره مصون بماند. استفاده از روش‌های تغذیه‌ای، راهکاری بصرفه از نظر اقتصادی در کاهش عوارض و مشکلات و مرگ و میر ناشی از دیابت است. از این‌رو، آموزش تغذیه به این بیماران با توجه به این که سهم عمده درمان و کنترل دیابت به عهده خود بیماران می‌باشد، یک ضرورت محسوب می‌شود [۱]. بنا به آخرین مطالعات صورت گرفته، برنامه غذایی کم کالری با کربوهیدرات نشاسته‌ای بالا، فیبر بالا و چربی پایین، بهترین راه کاهش وزن و کنترل بیماری دیابت نوع۲ است [۲]. خصوصا کاهش مصرف چربی‌های اشباع و همچنین کاهش مصرف قندهای ساده در برنامه غذایی روزانه، اکیدا توصیه شده است [۳]. لذا هدف این تحقیق، ارائه یک برنامه غذایی مطلوب برای افراد دیابتی نوع۲ براساس کمینه‌سازی چربی‌های اشباع و قندهای ساده می‌باشد. ضمن این‌که فرد با این برنامه غذایی به دریافت انواع مواد مغذی اعم از درشت مغذی‌ها، ویتامین‌ها، املاح و مواد معدنی، باتوجه به نیازهای جسمانی خویش، نائل آید. در این راستا از مدل برنامه‌ریزی خطی با معیارهای تصمیم‌گیری چند هدفه استفاده شده است. البته لازم به ذکراست مطالعات مشابهی در این زمینه صورت گرفته و مدل های برنامه غذایی بر مبنای برنامه‌ریزی خطی انجام شده است. به عنوان مثال می‌توان به مدل‌سازی برنامه غذایی بهینه انسان براساس کمینه‌سازی هزینه تمام شده آن توسط mustapha mamat و همکاران در سال ۲۰۱۱، اشاره کرد [۴]. محقیقین در این پژوهش تنها به کمینه‌کردن هزینه برنامه غذایی اکتفا نموده‌اند. مدل ارائه شده در این تحقیق دارای دو ویژگی خاص است که آن را از مطالعات قبلی متمایز می‌سازد. اول آن‌که مدل پیشنهادی یک مدل دو هدفه است که شامل کمینه‌سازی چربی‌های اشباع و قندهای ساده می‌باشد و دوم آنکه علاوه بر محدودیت‌های دریافتی روزانه از مواد مغذی، مبحث تنوع غذایی هم به عنوان محدودیت غذاهای موجود در وعده‌های غذایی روزانه در نظر گرفته شده است.

برنامه‌ریزی خطی[1] به عنوان یک مدل ریاضی در زمان جنگ جهانی دوم شکل گرفت تا هزینه‌ها و بازگشت‌های مالی را طوری سامان بخشد که به کاهش هزینه‌های ارتش و افزایش خسارات دشمن بینجامد. برنامه‌ریزی خطی به سرعت مورد توجه اقتصاددانان، ریاضی‌دانان، آماردانان و موسسات دولتی قرار گرفت. پایه‌گذاران این حوزه George Dantzig منتشرکنندهٔ روش سیمپلکس[2] درسال ۱۹۴۷، John Newman مطرح‌کننده نظریه دوگانگی[3] در همان سال، و لئونید Leonid Kantorovich ریاضیدان روس که از تکنیک‌های مشابهی استفاده کرد، هستند [۵]. در ریاضیات، مسائل برنامه‌ریزی خطی شامل بهینه‌سازی تابع هدف (هدف‌ها) خطی است که باید یکسری محدودیت در فرم تساوی و نامساوی‌های خطی برقرار شوند. به طور غیر رسمی برنامه‌ریزی خطی استفاده از مدل ریاضی خطی برای به دست آوردن بهترین خروجی (به طور مثال حداکثر سود، حداقل کار) با توجه به شرط‌های داده شده (برای مثال فقط ۳۰ ساعت کار در هفته، کار غیر قانونی انجام ندادن وغیره) است. به طور رسمی‌تر در یک چند سقفی (مانند چند ضلعی یا چند وجهی) که تابعی با مقدار حقیقی بر روی آن تعریف شده است، هدف یافتن نقطه‌ای در این چند سقفی است که تابع هدف بیشترین یا کمترین مقدار را دارا باشد. برنامه‌ریزی خطی در شکل استاندارد به صورت زیر نمایش داده می‌شود [۶]:

$$\text{Minimize (maximize) } cx$$
$$\textit{Subject to}$$
$$Ax \left(\begin{matrix}\geq\\=\\\leq\end{matrix}\right) b$$
$$x \geq 0$$

1-. Linear programming
2- Simplex method
3- Duality theory

X بیانگر بردارمتغیرها و همچنین c و b بردار ضرایب و A ماتریس ضرایب می‌باشد و عبارتی که باید حداکثر یا حداقل شود تابع هدف نام دارد (در این جا cx). عبارت $Ax \leq b$ شرایطی هستند که یک چند وجهی محدب را نمایش می‌دهند که تابع هدف روی آن باید بهینه شود. بنا به نوع کاربرد، یک برنامه‌ریزی خطی می‌تواند دارای اهداف متعدد باشد. کم بودن چربی‌های اشباع و قندهای ساده دو عامل مهم در برنامه غذایی بیماران دیابتی نوع ۲ است. با تعریف یک مدل برنامه‌ریزی خطی دو هدفه به شکل کمینه سازی، سعی می‌شود ضمن برخورداری بیمار از موادمغذی به اندازه کافی، شاهد به حداقل رسیدن چربی‌های اشباع و قندهای ساده باشیم.

روش‌ها

همان گونه که قبلا اشاره شد، ابتدا بایدها و نبایدهای مربوط به تغذیه سالم یک بیماردیابتی نوع ۲ با استفاده از منابع کتابخانه‌ای و اعداد و ارقام موجود در جداول و مراجع پزشکی مشخص می‌گردد. ازآنجا که سن بیمار، جنسیت و نمایه توده بدنی، از عوامل مهم در تشخیص کمیت و کیفیت استفاده وی از مواد مغذی می‌باشد، فرض می‌شود، بیمار یک زن مبتلا به دیابت با ۵۵ سال سن، کم تحرک، ۱۷۰ سانتی‌متر قد، ۷۳ کیلو وزن ($BMI=25kg/m^2$) می‌باشد. این شخص باید روزانه به ازای هر کیلوگرم وزن، حدود ۲۸ کیلو کالری انرژی مصرف کند [۷]. حدود ۵۵٪ این انرژی از کربوهیدرات‌ها (عمدتا از نوع پیچیده)، ۳۰٪ آن از چربی‌ها (حدود۲۰٪ از چربی‌های غیراشباع و کمتر از ۱۰٪از چربی‌های اشباع) و حدود ۱۵٪ آن از پروتئین‌ها (در صورت نارسایی کلیه حدود ۱۰٪) می‌بایست تامین گردد [۷]. تفاوت چندانی درمورد میزان استفاده بیماران دیابتی از انواع ویتامین‌ها ومواد معدنی، با افراد عادی جامعه مشاهده نمی‌شود [۸]. البته در صورت داشتن فشارخون بالا، مصرف سدیم روزانه کمتر از ۲۰۰۰ میلی‌گرم توصیه شده است [۸]. در جدول ۱ میزان مورد نیاز RDA و همچنین حداکثر میزان مجاز دریافتی UL از مواد مغذی آورده شده است. برنامه غذایی حاصل ازحل مدل برنامه‌ریزی خطی، باید در این محدودیت‌ها صدق کند. به عنوان مثال، فیبر دریافتی از برنامه غذایی بهینه بایستی بین ۲۰ تا ۳۵ گرم درروز باشد ویا حداقل میزان دریافت ویتامین E باید ۱۲ و حداکثر میزان دریافت آن ۴۰۰ میلی‌گرم درروز باشد. پس قیدهای مدل برنامه‌ریزی خطی با استفاده از اطلاعات مندرج در جدول ۱ مشخص می‌شود.

تنوع غذایی: مطلب دیگری که بهتر است در برنامه غذایی روزانه افراد مدنظر قرار گیرد، مبحث تنوع غذایی است. برنامه غذایی باید به گونه‌ای طراحی شود که تمامی گروه‌های غذایی طبق محدودیت‌های مشخص را در برگیرد. به عنوان نمونه، در یک برنامه غذایی تعریف شده متوسط [۱۰]، می‌بایست روزانه حدود ۱۱ واحد از گروه نشاسته (نان و غلات)، ۳ واحد از گروه میوه‌ها، ۲ واحد از گروه گوشت و جانشین‌ها، ۳ واحد از گروه لبنیات، ۵ واحد ازگروه سبزی‌ها و حدود ۶ واحد از چربی‌ها، مصرف شود. هر واحد نشاسته حدود ۳۰ گرم نان یا نصف لیوان (۱۲۰گرم) غلات و سبزی‌های نشاسته‌ای را شامل می‌شود و هر واحد میوه معادل یک میوه متوسط یا کوچک است و برای سایر گروه‌های غذایی هم به طریق مشابه [۱۱]، مقدار هر واحد از آن گروه مشخص می‌گردد. برای اعمال تنوع غذایی در برنامه روزانه و پیاده‌سازی آن در مدل برنامه‌ریزی خطی به صورت زیر عمل می‌شود: فرض کنید غذاهای i و j و k از بین غذاهای انتخابی، متعلق به گروه سبزی‌ها باشد. ازآنجایی که هر واحد از این گروه معادل ۲۴۰ گرم سبزی خام است، لذا وزن این ۳ غذا بایستی حدود ۱۲۰۰ گرم باشد و چون مسأله برنامه‌ریزی خطی به صورت کمینه‌سازی است، محدودیت $x_k+x_j+x_i \geq 1/2$ به مسأله اضافه می‌شود (x_i مبین مقدار غذای iام برحسب ۱۰۰ گرم است). برای مابقی گروه‌ها نیز به همین ترتیب عمل می‌شود. درحالت کلی مدل برنامه‌ریزی خطی با دو تابع هدف به صورت زیر تعریف می‌گردد.

$$(1)\ \sum_{j=1}^{n} c_j^1 x_j z_1 = Minimum$$

$$\sum_{j=1}^{n} c_j^2 x_j z_2 = Minimum$$

Subject to

$$i = 1,2,\dots,m \quad \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \geq b_i$$

$$i = 1,2,\dots,m \quad \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \leq d_i$$

$$\mathcal{A} \subseteq \{1,2,\dots,n\} \quad \sum_{k \in \mathcal{A}} x_k \geq S$$

$$\mathcal{B} \subseteq \{1,2,\dots,n\} \quad \sum_{k \in \mathcal{B}} x_k \geq F_1$$

$\mathcal{C} \subseteq \{1,2,\dots,n\}$ $\quad \sum_{k\in\mathcal{C}} x_k \geq M$

$\mathcal{D} \subseteq \{1,2,\dots,n\}$ $\quad \sum_{k\in\mathcal{D}} x_k \geq D$

$\mathcal{G} \subseteq \{1,2,\dots,n\}$ $\quad \sum_{k\in\mathcal{G}} x_k \geq V$

$\mathcal{T} \subseteq \{1,2,\dots,n\}$ $\quad \sum_{k\in\mathcal{T}} x_k \geq F_1$

$x_j \geq 0$ $\quad j = 1,2,\dots,n$

که پارامترهای آن عبارتند از:

x_j : مقدار بر حسب ۱۰۰گرم از ماده غذایی j ام.

c_j^1: مقدار قند موجود در ۱۰۰گرم از ماده j ام.

c_j^2 : مقدار چربی اشباع در ۱۰۰گرم از ماده j ام.

a_{ij} : مقدارماده مغذی i ام در۱۰۰گرم از مادهj ام.

b_i : مقدارمورد نیاز روزانه ازماده مغذی i ام.

d_i : حداکثر میزان دریافت روزانه از ماده مغذیj ام.

S : مقدارمصرف برحسب۱۰۰گرم ازگروه نشاسته.

F_1 : مقدارمصرف برحسب۱۰۰گرم ازگروه میوه‌ها.

M: مقدارمصرف برحسب۱۰۰گرم از گوشت ها.

D : مقدارمصرف برحسب۱۰۰گرم ازگروه لبنیات.

V: مقدارمصرف برحسب۱۰۰گرم ازسبزی ها.

F_2: مقدارمصرف برحسب ۱۰۰گرم از چربی‌ها.

m : تعداد مواد مغذی به کار گرفته شده در برنامه غذایی.

n : تعداد مواد غذایی به کارگرفته شده در برنامه غذایی.

$\mathcal{B}, \mathcal{C}, \mathcal{D}, \mathcal{G}, \mathcal{T}\mathcal{A}$: مجموعه‌ای از اندیس‌ها.

در ادامه تعداد ۲۰ غذای مفید ازگروه‌های مختلف غذایی برای بیماران دیابتی، درنظر گرفته می‌شود [۱۴،۱۲]. این غذاها به ترتیب عبارتند از: سیب، نان، سینه مرغ، ماهی، سیر، عسل، کاهو، پنیر کم چرب، ماست کم چرب، شیرکم چرب، روغن زیتون، پرتقال، انار، سیب‌زمینی، سویای آب پز، اسفناج، نارنگی، گوجه فرنگی، گردو، برنج سفید. جداول ۳ و۴ حاوی میزان مواد مغذی موجود در۱۰۰ گرم از هریک از این غذاها است (به پیوست مراجعه شود). با توجه به تنوع غذایی ذکر شده و همچنین مواد غذایی موجود داریم:

$\mathcal{A}$ =5 S={2,14,20}

$\mathcal{B}$ ={1,12,13,17} $\quad F_1$ =4

$\mathcal{C}$ ={3,4,8,15} $\quad$ M =1

$\mathcal{G}$ ={5,7,16,18} $\quad$ V =2/5

$\mathcal{T}$ ={11,19} $\quad F_2$ =0/2

$\mathcal{D}$ ={9,10} $\quad$ D =5/3

مقادیر b_i, d_i $(i=1,2,\dots,m)$ با استفاده از جدول ۱ تعیین می‌گردد. مقادیر a_{ij} همان اعداد ارائه شده در جداول ۳ و ۴ می‌باشند. ازآنجا کـه مدل برنامه‌ریزی خطی ساخته شده دارای دو تابع هدف است، با استفاده از روش تبدیل تابع هدف به محدودیت [۱۳]، مسأله (1) به یک مدل برنامه‌ریزی خطی با یک تابع هدف تبدیل می‌شود. در این راستا ابتدا (1) را به صورت رابطه (۲) تبدیل و سپس با حل آن کران پایینی برای تابع هدف z_2 (چربی اشباع) بدست می‌آید.

(2) $\sum_{j=1}^{20} c_j^2 x_j \; z_2 = Minimum$

Subject to

$i = 1,2,\dots,19$ $\quad \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \geq b_i$

$i = 1,2,\dots,19$ $\quad \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \leq d_i$

$\mathcal{A} = \{2,14,20\}$ $\quad \sum_{k\in\mathcal{A}} x_k \geq S$

$\mathcal{B} = \{1,12,13,17\}$ $\quad \sum_{k\in\mathcal{B}} x_k \geq F_1$

$\mathcal{C} \subseteq \{3,4,8,15\}$ $\quad \sum_{k\in\mathcal{C}} x_k \geq M$

$\mathcal{D} \subseteq \{9,10\}$ $\quad \sum_{k\in\mathcal{D}} x_k \geq D$

$\mathcal{G} \subseteq \{5,7,16,18\}$ $\quad \sum_{k\in\mathcal{G}} x_k \geq V$

$\mathcal{T} \subseteq \{11,19\}$ $\quad \sum_{k\in\mathcal{T}} x_k \geq F_2$

$x_j \geq 0$ $\quad j = 1,2,\dots,20$

جواب بهینه (2) عبارت است از $z_2 = 11/3086$. اکنون تابع هدف (2) به صورت محدودیت $z_2 \geq 11$ جایگزین محدودیت‌های مربوط به حداقل و حداکثر میزان مصرف روزانه از چربی اشباع در (1) می‌گردد. لذا مدل برنامه‌ریزی خطی مد نظر یعنی (1) به مدل برنامه‌ریزی خطی با یک تابع هدف به صورت رابطه [۳] تبدیل خواهد شد.

(3) $\sum_{j=1}^{n} c_j^1 x_j \; z_1 = Minimum$

Subject to

$\sum_{j=1}^{n} c_j^2 x_j \geq 11$

$\neq 0, il = 1,2,\dots,19$ $\quad \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \geq b_i$

$\neq 0, il = 1,2,\dots,19$ $\quad \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \leq d_i$

$\mathcal{A} \subseteq \{1,2,\dots,n\}$ $\quad \sum_{k\in\mathcal{A}} x_k \geq S$

$\mathcal{B} = \{1,12,13,17\}$ $\quad \sum_{k\in\mathcal{B}} x_k \geq F_1$

$\mathcal{C} \subseteq \{3,4,8,15\}$ $\quad \sum_{k\in\mathcal{C}} x_k \geq M$

$\mathcal{D} \subseteq \{9,10\}$ $\quad \sum_{k\in\mathcal{D}} x_k \geq D$

$\mathcal{G} \subseteq \{5,7,16,18\}$ $\quad \sum_{k\in\mathcal{G}} x_k \geq V$

$\mathcal{T} \subseteq \{11,19\}$ $\quad \sum_{k\in\mathcal{T}} x_k \geq F_1$

$x_j \geq 0$ $\quad j = 1,2,\dots,20$

اکنون مدل برنامه‌ریزی خطی (3) بـا اسـتفاده از نـرم افـزار محاسباتی متلب حل می شود.

یافته‌ها

همان طور که در بخش قبلی اشاره شد، ابتدا مدل برنامه‌ریزی خطی دوهدفه به مدل یک هدفه تبدیل شد. در واقع با حل (2) یک کران پایین برای میزان استفاده روزانه از "چربی‌های اشباع" به دست آمد، بدین معنی که با توجه به شرایط بیمار ومیزان نیازهای جمعی او از مواد مغذی، دریافت روزانه وی از "چربی‌های اشباع" نمی‌تواند کمتر از ۱۱/۳۰۸۶ باشد. سپس با حل (3) مقادیر مواد غذایی برحسب ۱۰۰گرم به صورت زیر مشخص می‌گردد.

x_1 =۳/۶۷۲ x_2 =۲/۴۵۶

x_3 =۰ x_4 =۰/۵۲۴

x_5 =۰/۰۷۷ x_6 =۰

x_7 =۰/۲۳۱ x_8 =۰

x_9 =۲/۶۴۳ x_{10} =۰/۸۵۷

x_{11} =۰/۴۳۷ x_{12} =۰/۳۲۸

x_{13} =۰ x_{14} =۱/۴۹۷

x_{15} =۰/۵۲۶ x_{16} =۰/۴۶۶

x_{17} =۰ x_{18} =۵/۸۸۸

x_{19} =۰ x_{20} =۲/۵۴۴

همان‌طور که مشاهده می‌شود عدد مربوط به ۸ غذا برابرصفر است و این بدین معنی است که این مواد با توجه به شرایط و محدودیت‌های مسأله، در برنامه غذایی جای نمی‌گیرند. این مقادیر برحسب ۱۰۰ گرم می‌باشند. میزان مواد غذایی به دست آمده در برنامه غذایی بهینه برحسب گرم، در جدول ۲ نشان داده شده است.

در جدول ۲ فقط لیست غذاهایی که در برنامه غذایی بهینه مقدار غیرصفر دارند، آورده شده است. نکته‌ای که ضروری است مطرح شود این است که اگر فرد دیابتی، روزانه از مواد غذایی به همان اندازه‌ای که در جدول ۲ قید شده مصرف کند، چه میزان از مواد مغذی دریافت می‌کند. جهت روشن شدن این مطلب، از حاصل‌ضرب اعداد موجود در جدول ۲ با ماده مغذی نظیر در جداول ۳و۴ ، نمودارهای ۱، ۲ و ۳ حاصل شدند.

تذکر: ترتیب غذاها در کیفیت برنامه غذایی حاصل بی‌تأثیر است و مهم نیست که x_i معرف چه غذایی باشد. همچنین مقدار (بر حسب گرم) غذای موجود در برنامه غذایی بهینه حاصل را می‌توان در وعده‌های غذایی مختلف پخش کرد. اگر به جای ۲۰ غذای انتخابی موجود در برنامه غذایی فوق، ۲۰ گونه دیگر هم در نظر گرفته شود باز هم متناسب با میزان مواد مغذی موجود در آن غذاها، اهداف رژیم که کمینه‌سازی چربی‌های اشباع و قندهای ساده است، برآورده می‌شود، ولی در این مدل غذاهایی گنجانده شده‌اند که معمولا برای بیماران دیابتی توصیه شده است.

جدول۱ - میزان نیازروزانه به مواد مغذی وانرژی [۹]

ماده مغذی	min	max	ماده مغذی	min	max
انرژی(Kcal)	۱۸۰۰	۲۱۰۰	ویتامین E (mg)	۱۲	۴۰۰
کربوهیدرات(g)	۱۳۰	۳۲۲	تیامین (mg)	۱	N.D
فیبر(g)	۲۰	۳۵	فولات (µg)	۴۰۰	۱۰۰۰
قند(g)	۴۷	۱۲۴	(µg) B_{12}	۲/۴	N.D
چربی اشباع(g)	N.D	۲۱/۱۱	کلسیم (mg)	۱۲۰۰	۲۵۰۰
چربی غیر اشباع(g)	۴۲/۲	۵۲/۷۷	آهن (mg)	۱۸	۴۵
اسید چرب امگا ۳(mg)	۱۳۰۰	N.D	منیزیم (mg)	۳۲۰	۳۵۰
پروتئین(g)	۴۶	۷۱	سلنیم (µg)	۵۵	۴۰۰
ویتامین A (IU)	۲۳۳۳	۱۰۰۰۰	سدیم (mg)	۱۵۰۰	۲۰۰۰
ویتامین C (mg)	۷۵	۲۰۰۰			

*مطالعه روی یک زن مبتلا به دیابت نوع ۲، ۵۵ ساله، کم تحرک، قد ^{CM}۱۷۰، وزن Kg ۷۳، نمایه توده بدنی ($BMI=25kg/m^2$)

* **N.D** به معنای آن است که مقدار مورد نظر مشخص نیست و یا مورد بررسی قرارنگرفته است.

جدول ۲- میزان مواد غذایی موجود در برنامه غذایی(برحسب گرم) حاوی چربی های اشباع و قند های ساده پایین

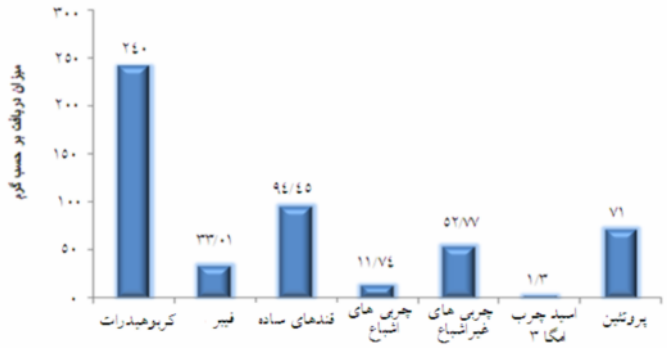
ماده غذایی	سیب	نان	ماهی	سیر	کاهو	ماست کم چرب	شیر کم چرب	روغن زیتون	پرتقال	سیب زمینی	سویا	اسفناج	گوجه فرنگی	برنج سفید
مقدار (گرم)	۳۶۷/۲	۲۴۵/۶	۵۲/۴	۷/۷	۲۳/۱	۲۶۴/۳	۸۵/۷	۴۳/۷	۳۲/۸	۱۴۹/۷	۵۲/۶	۴۶/۶	۵۸۸/۸	۲۵۴/۴

جدول ۳ - میزان مواد مغذی موجود در ۱۰۰ گرم از ۱۰ ماده غذایی [۱۵]

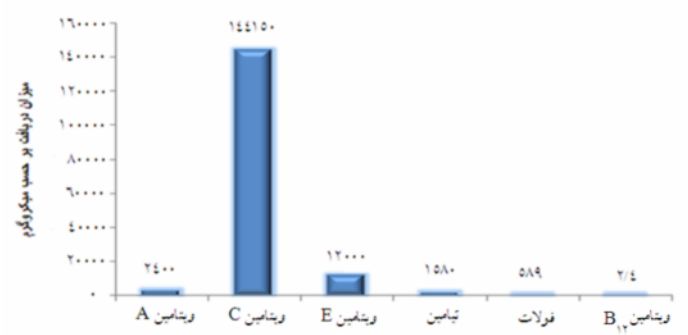
ماده غذایی / مغذی‌ها	سیب	نان	مرغ	ماهی	کاهو	سیر	عسل	پنیر کم چرب	ماست کم چرب	شیر کم چرب
قند(g)	۱۰/۴	۴/۳	۰	۰	۲	۱	۳۰۴	۱/۳	۷	۵/۲
کالری(g)	۵۲	۲۶۶	۱۶۵	۸۲	۱۴	۱۴۹	۸۲/۴	۱۷۹	۶۳	۴۲
کربوهیدرات(g)	۱۳/۸	۵۰/۶	۰	۰	۳/۲	۳۳/۱	۰/۲	۳/۴	۷	۵/۲
فیبر(g)	۲/۴	۲/۴	۰	۰	۱/۲	۲/۱	۰	۰	۰	۰
چربی اشباع(g)	۰	۰/۷	۱	۰/۱	۰	۰/۱	۰	۳/۳	۱	۰/۷
چربی غیراشباع(g)	۰/۲	۲/۶	۲/۶	۰/۵	۰/۱	۰/۴	۰	۱/۸	۰/۵	۰/۳
امگا ۳(mg)	۹	۱۳۹	۷۰	۲۲۱	۵۲	۲۰	۰/۳	۶۵	۱۳	۴
پروتئین(g)	۰/۳	۷/۶	۳۱	۱۷/۹	۰/۹	۶/۴	۰	۲۸/۴	۵/۲	۳/۴
ویتامین A(IU)	۵۴	۰	۲۱	۲۷	۵۰۲	۹	۰/۵	۱۵۲	۵۱	۱۹۶
ویتامین C(mg)	۴/۶	۰	۰	۲/۹	۲/۸	۳۱/۲	۰	۰	۰/۸	۰
ویتامین E(mg)	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۶	۰/۲	۰/۱	۰	۰/۱	۰	۰
تیامین(mg)	۰	۰/۵	۰/۱	۰	۰	۰/۲	۲	۰	۰	۰
فولات(µg)	۳	۱۱۱	۴	۷	۲۹	۳	۰	۶	۱۱	۵
ویتامین B_{12}(µg)	۰	۰	۰/۳	۰/۹	۰	۰	۶	۱/۷	۰/۶	۰/۴
کلسیم(mg)	۶	۱۵۱	۱۵	۷	۱۸	۱۸۱	۰/۴	۹۶۱	۱۸۳	۱۱۹
آهن(mg)	۰/۱	۳/۷	۱	۰/۳	۰/۴	۱/۷	۲	۰/۲	۰/۱	۰
منیزیم(mg)	۵	۲۳	۲۹	۲۴	۷	۲۵	۰/۸	۳۶	۱۷	۱۱
سلنیم(µg)	۰	۱۷/۳	۲۷/۶	۳۶/۵	۰/۱	۱۴/۲	۴	۱۲/۷	۳/۳	۳/۳
سدیم(mg)	۱	۶۸۱	۷۴	۷۱	۱۰	۱۷		۲۶۰	۷۰	۴

جدول ۴- میزان مواد مغذی موجود در ۱۰۰ گرم از ۱۰ ماده غذایی دیگر [۱۵]

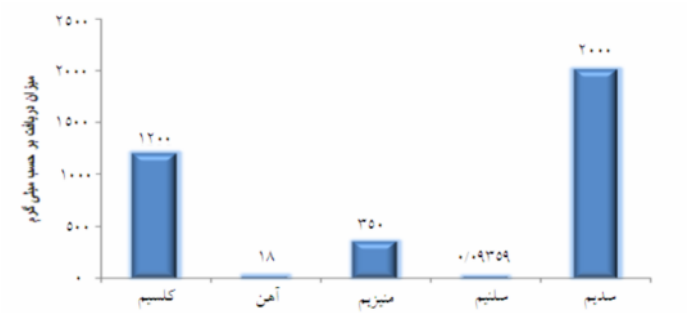
ماده غذایی / مغذی‌ها	روغن زیتون	پرتقال	انار	سیب زمینی	سویا آب پز	اسفناج	نارنگی	گوجه فرنگی	گردو	برنج
قند(g)	۰	۹/۴	۱۳/۷	۱/۲	۳	۰/۴	۱۰/۶	۲/۶	۲/۶	۰/۱
کالری(g)	۸۸۴	۴۷	۸۳	۹۳	۱۷۳	۲۳	۵۳	۱۸	۶۵۴	۹۷
کربوهیدرات(g)	۰	۱۱/۷	۱۸/۷	۲۱/۲	۹/۹	۳/۶	۱۳/۳	۳/۹	۱۳/۷	۲۱/۱
فیبر(g)	۰	۲/۴	۴	۲/۲	۶	۲/۲	۱/۸	۱/۲	۶/۷	۱
چربی اشباع(g)	۱۳/۷	۰	۰/۱	۰	۱/۳	۰/۱	۰	۰	۶/۱	۰
چربی غیراشباع(g)	۸۶/۲	۰/۱	۱/۱	۰/۱	۷/۷	۰/۳	۰/۳	۰/۲	۵۹/۱	۰/۲
امگا ۳(mg)	۷۶۱	۷	۰	۱۳	۵۹۸	۱۳۸	۱۸	۳	۹۰۷۹	۳
پروتئین(g)	۰	۰/۹	۱/۷	۲/۵	۱۶/۶	۲/۹	۰/۸	۰/۹	۱۵/۲	۲
ویتامین A(IU)	۰	۲۲۵	۰	۱۰	۹	۹۳۷۶	۶۸۱	۸۳۳	۲۰	۰
ویتامین C(mg)	۰	۵۳/۲	۱۰/۲	۹/۶	۱/۷	۲۸/۱	۲۶/۷	۱۲/۷	۱/۳	۰
ویتامین E(mg)	۱۴/۳	۰/۲	۰/۶	۰	۰/۴	۲	۰/۲	۰/۵	۰/۷	۰
تیامین(mg)	۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰	۰/۳	۰
فولات(µg)	۰	۳۰	۳۸	۲۸	۵۴	۱۹۴	۱۶	۱۵	۹۸	۱
ویتامین B_{12}(µg)	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
کلسیم(mg)	۱	۴۰	۱۰	۱۵	۱۰۲	۹۹	۳۷	۱۰	۹۸	۲
آهن(mg)	۰/۶	۰/۱	۰/۳	۱/۱	۵/۱	۲/۷	۰/۲	۰/۳	۲/۹	۰/۱
منیزیم(mg)	۰	۱۰	۱۲	۲۸	۸۶	۷۹	۱۲	۱۱	۱۵۸	۵
سلنیم(µg)	۰	۰/۵	۰/۵	۰/۴	۷/۳	۱	۰/۱	۰	۴/۹	۵/۶
سدیم(mg)	۰	۰	۳	۱۰	۱	۷۹	۲	۵	۲	۵



شکل ۱- نمودار میزان دریافت روزانه از درشت مغذی ها بر حسب گرم



شکل ۲- نمودار میزان دریافت روزانه از ویتامین ها بر حسب میکروگرم



شکل۳ - نمودار میزان دریافت روزانه از املاح و مواد معدنی برحسب میلی گرم

بحث

مدل‌سازی برنامه غذایی توسط برنامه‌ریزی خطی و سپس حل آن با نرم‌افزار متلب، فقط به عنوان یک روش بهینه‌سازی براساس اهداف مورد نظر مطرح می‌باشد، به گونه‌ای که محدودیت‌های دریافت از انواع مغذی‌ها نیز در برنامه مربوطه، گنجانده شود. لذا با اطمینان کامل نمی‌توان، خروجی مدل را بهترین برنامه غذایی به حساب آورد. مزیت این روش به این دلیل است که فرد مذکور می‌تواند ضمن استفاده از مواد غذایی به مقدار ارائه شده در مدل، مطمئن باشد که محدودیت‌های مربوط به میزان استفاده از مغذی‌ها را رعایت کرده و همچنین اهداف مورد نظر(دراینجا مینیمم کردن چربی‌های اشباع و قندهای ساده) برای وی محقق گردیده است. در واقع در این تحقیق، یکی از کاربردهای برنامه‌ریزی خطی چند هدفه در مدل سازی تغذیه بهینه بیماران دیابتی معرفی گردید. همان طور که اشاره شد، نوع و مقدار ماده غذایی که در برنامه بهینه بایستی مصرف شود در جدول ۲ آمده است. با نگاهی به شکل‌های ۱ و۲ و۳ موارد زیر قابل بیان هستند.

درشت مغذی‌ها: میزان انرژی حاصل از دریافت این رژیم ۲۱۰۰ کیلوکالری است. باتوجه به شکل ۱ میزان کربوهیدرات حاصل از به کارگیری این برنامه حدود ۲۴۰ گرم است. در این برنامه غذایی، میزان دریافت قند حدود ۹۴/۴۵ گرم، فیبر به مقدار ۳۳/۰۱ گرم، چربی‌های اشباع به میزان ۱۱/۷۴ گرم، چربی‌های غیر اشباع به مقدار ۵۲/۷۷ گرم و پروتئین به مقدار۷۱ گرم است. ازآنجا که برای بیماران دیابتی، مصرف کربوهیدرات‌های پیچیده به جای ترکیبات ساده‌تر آنها و همچنین مصرف زیاد فیبر پیشنهاد می‌شود، لذا این تحقیق تا حدودی به این مهم دست یافته است. میزان دریافت اسید چرب امگا ۳ در این برنامه حدود ۱۳۰۰ میلی‌گرم است که به اندازه مورد نیاز روزانه است. در این برنامه حدود ۵٪ کل انرژی دریافتی از چربی‌های اشباع تامین می‌شود.

ویتامین‌ها: با به کار بستن این برنامه غذایی دریافت ویتامین A حدود ۲۴۰۰ میکروگرم است که با تبدیل به واحد بین‌المللی حدود IU ۷۹۲۰ ویتامین A توسط این برنامه دریافت می‌شود. میزان دریافت ویتامین C حدود ۱۴۴/۱۵ میلی‌گرم است که این مقدار به دلیل نقش موثر ویتامینC در بهبود سیستم دفاعی بدن، مقدار مطلوبی است. مقدار دریافتی

ویتامین E، حدود ۱۲ میلی‌گرم می‌باشد که به اندازه مقدار نیاز روزانه است. میزان دریافتی تیامین حدود ۱/۵۸ میلی‌گرم است. با به کارگیری این برنامه حدود ۵۸۹ میکروگرم فولات، دریافت می‌شود که به دلیل نقش مصرف فولات در پیشگیری ازبرخی سرطان‌ها، حائز اهمیت است. میزان دریافتی ویتامین B_{12} حدود ۲/۴ میکروگرم است که به اندازه مقدار نیاز روزانه است (شکل ۲).

املاح و مواد معدنی: باتوجه به نمودار شکل ۳ مشخص می‌شود که میزان دریافتی کلسیم حدود ۱۲۰۰ میلی‌گرم است که به اندازه موردنیاز روزانه می‌باشد. میزان دریافت آهن ۱۸ میلی‌گرم و هم‌چنین میزان دریافت منیزیم حدود ۳۵۰ میلی‌گرم است که حداکثر مقدار مجاز برای دریافت روزانه از این ماده معدنی است. با به کار بستن این برنامه، حدود ۹۳/۵۹ میکروگرم سلنیم دریافت می‌شود که به دلیل نقش عمده این ماده معدنی کمیاب در درمان و پیشگیری بسیاری از بیماری‌ها، مقدار مطلوبی است. در این برنامه حدود ۲۰۰۰ میلی‌گرم سدیم وجود دارد که برای کنترل فشار خون وجلوگیری از بیماری‌های قلبی عروقی، مقدار مناسبی است.

به طور کلی تغذیه درمانی، جزء جدا نشدنی از مدیریت دیابت به ویژه دیابت نوع ۲ می‌باشد. و در درمان آن نقش اساسی را به عهده دارد. از طریق برقراری تغذیه مناسب، فعالیت فیزیکی و استفاده ازداروهای جدید به بیماران دیابتی نوع ۲، می‌توان به میزان قابل توجهی از گسترش اپیدمیک این بیماری جلوگیری نموده و کیفیت زندگی آنان را روز به روز ارتقا بخشید. به طور خلاصه نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که اگرچه برنامه‌های متنوع و وسیع‌تری برای بیماران دیابتی وجود دارد ولی زمانی که بخواهیم اهداف خاصی را در برنامه غذایی بگنجانیم، استفاده از برنامه‌ریزی خطی چند هدفه مفید است. همان طورکه اشاره شد، هدف از این مدل برنامه ریزی خطی، تبیین یک برنامه غذایی برخوردار از انواع گروه های غذایی است که درآن مصرف چربی‌های اشباع و همچنین قندهای ساده به حداقل برسد. امکان دارد با درنظرگرفتن اهدافی همچون کمینه شدن و یا بیشینه شدن برخی دیگر ازمواد مغذی، برنامه متفاوتی حاصل گردد ولی با اهداف ذکرشده، این یک برنامه بهینه غذایی است. به طور کلی آنچه که در این مقاله به آن پرداخته شد، تغذیه بهینه بیماران دیابتی نوع ۲ با اهداف کمینه‌سازی چربی‌های اشباع و قندهای ساده بود، به گونه‌ای که از تمامی مواد مغذی، حداقل به میزان مورد نیاز استفاده گردد. بر اساس مطالعات صورت گرفته در تغذیه درمانی بیماران دیابتی، بیشینه نمودن کربوهیدرات‌های پیچیده و همچنین فیبردریافتی، می تواند سهم عمده‌ای در بهبود وضعیت بیمار داشته باشد. علاوه بر این موارد، جهت تنوع بهتر برنامه، می توان از عامل "مزه و طعم" مواد غذایی بهره گرفت. بیشینه سازی آن به عنوان یکی ازاهداف مدل برنامه غذایی، پیشنهاد می‌گردد. عامل دیگری که می‌توان از آن به عنوان یک عامل تاثیر گذار در برقراری برنامه غذایی مطلوب نام برد، مبحث "قیمت" مواد غذایی است. هزینه‌ای که افراد می‌توانند برای مصرف مواد غذایی روزانه خود بپردازند، تابع درآمد آن ها است. لذا کمینه کردن هزینه تمام شده مواد غذایی نیز می تواند به عنوان یکی از اهداف مدل برنامه غذایی، مدنظر قرار گیرد.

سپاسگزاری

از اساتید محترم دانشکده علوم پزشکی و همچنین دانشکده ریاضی دانشگاه فردوسی مشهد به ویژه از جناب آقای دکتر علی وحیدیان کامیاد که انجام این تحقیق بدون راهنمایی‌های ارزشمند ایشان امکان‌پذیر نبود قدردانی می‌شود.

منابع

۱. شریفی راد، غلامرضا؛ انتظاری، محمد حسن؛ کامران، عزیز؛ آزاد بخت، لیلا. اثر بخشی آموزش تغذیه به بیماران دیابتی نوع۲: کاربرد مدل اعتقاد بهداشتی. *مجله دیابت و لیپید ایران*، تابستان ۱۳۸۷؛ دوره ۷ (شماره۴):۳۸۶-۳۷۹.

2. American Diabetes Association;, Screening for type 2 diabetes; *Diabetes care* 1998; 21, S20-S22.

۳. شیری، محمد تقی؛ زوار رضا، فاطمه؛ *پیشگیری، کنترل و درمان دیابت*؛چاپ سوم، مشهد، نشر سخن گستر؛ ۱۳۸۷.

4. B.Jana and T.Kumar Roy, *Multi-objective Fuzzy Linear Programming and Application in Transportation Model*. Oxford *Journal of Mathematical Scieces* 2005; 21(2), 243-268.

۵. فردریک س.هیلیر- جرالد ج. لیبرمن، ترجمه محمد مدرس واردوان آصف‌وزیری، *تحقیق در عملیات*، چاپ دهم تهران: نشر جوان،۱۳۸۲.

6. Mokhtar S. Bazaraa, John J. Jarvis, Hanif D. Sherali, Linear Programming, A John Wiley & SoncINC. Publication, Third Edition 1941.

۷. عزیزی ف، حاتمی ح، جانقربانی م؛ *اپیدمیولوژی و کنترل بیماری‌های شایع در ایران*؛ چاپ اول،تهران، نشر اشتیاق؛ ۱۳۷۹.

8. Anderson YW. *Nutritional management of diabetes mellitus, In: Shills ME, Olson YA, Shike M, Ross AC. Modern nutrition in Health and disease*; 9th ed, Philadelphia: lipincott Williams & Wilkins, 1999; p.1365-1386.

9. Dietary Reference Intakes (DRIs): Recommended Intakes for Individuals, Food and *Nutrition Board, Institute of Medicine, National Academies*, 2004; 2009-06-09.

۱۰. میرمیران پ؛ *اصول تنظیم برنامه‌های غذایی*؛ بنیاد امور بیماری های خاص، ویرایش دوم؛۱۳۸۲.

۱۱. شیخ ف؛ *راهنمای رژیم درمانی*؛گروه مولفان انجمن تغذیه ایران،ویرایش دوم،تهران،نشر سالمی؛۱۳۸۲.

12. Dey L, Attele AS, Yuan CS. Alternative therapies for type 2 diabetes. *Altern Med Rev* 2002; 7: 45-58.

۱۳. مومنی، منصور؛ *مباحث نوین تحقیق در عملیات*، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشکده مدیریت دانشگاه تهران؛ ۱۳۸۵.

14. Nuttall FQ, Chasuk RM. Nutrition and the management of type 2 diabetes. *J Fam Pract* 1998; 47: 45-53.

15. USDA National Nutrient Database [http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/]