نقش تغذیه در فرگشت زیستی و فرهنگی انسان

چکیده

تغذیه به عنوان یک نیروی تکاملی پویا، از طریق تعامل پیچیده ی عوامل ژنتیکی، محیطی و فرهنگی، منجر به تغییر ویژگی های آناتومیکی و پیدایش بیماری ها در جمعیت های انسانی شده است.پرسش اصلی این پژوهش آن است که چگونه گذار از شکار و گردآوری به کشاورزی و سپس به رژیم‌های مدرن صنعتی، مسیر تکامل زیستی و فرهنگی انسان را شکل داده و چه پیامدهایی برای سلامت امروز بشر داشته است. روش پژوهش حاضر مبتنی بر مرور نظام‌مند مطالعات دیرین‌انسان‌شناسی، باستان‌شناسی و ژنتیکی است که شواهد مربوط به نوآوری‌های فرهنگی (ابزارسازی، پخت‌وپز، اهلی‌سازی گیاهان و حیوانات) و تغییرات ژنومی مرتبط با رژیم غذایی را گردآوری و تحلیل کرده است. نتایج نشان می‌دهد که درحالی‌که انسان‌های اولیه با رژیم‌های غنی از پروتئین و کم‌کربوهیدرات سازگار بودند، گذار به کشاورزی و سپس به رژیم‌های پرکالری و فرآوری‌شده صنعتی فشارهای انتخابی تازه‌ای ایجاد کرد. این ناسازگاری میان تاریخ تکاملی و محیط تغذیه‌ای جدید، در بروز بیماری‌های مزمن نظیر چاقی، دیابت نوع ۲ و اختلالات قلبی در دوران معاصر نقش داشته است. با توجه به چالش های تطبیق جمعیت های انسانی با محیط های تغذیه ای متغیر کنونی، باسازی تاریخی رژیم های غذایی انسان در سیر تکامل، می تواند بینش های علمی و کاربردی در زمینه ی ارتقاء سلامت و مدیریت بحران های تغذیه ای آینده فراهم آورد.

کلمات کلیدی: رژیم غذایی، فرگشت انسان، نوآوری های فرهنگی

مقدمه

تغذیه یکی از عوامل کلیدی در پاسخ های تطبیقی زیستی و فرهنگی انسان ها به محیط های در حال تغییر بوده است. رژیم های غذایی نه تنها تغییرات جسمانی، بلکه مسیرهای متابولیکی و حتی رفتار های اجتماعی را در طول میلیون ها سال تحت تاثیر قرار داده است (Jelenkovic et al., 2024). اجداد ما که عمدتا رژیم های ساده مبتنی بر میوه ها و گیاهان را مصرف می کردند، توانستند از طریق نوآوری های فرهنگی یعنی ساخت ابزارها، کنترل آتش، مهارت های فرآوری غذا، تکنیک های شکار و اهلی کردن گیاهان و حیوانات نظام های غذایی خود را گسترش داده و در محیط های متغیر و گاه بسیار دشوار زنده بمانند(Walker & Thomas, 2023). این تنوع الگوهای غذایی طی هزاران سال با ژنوم ما سازگار شده و تغییرات مهم ژنتیکی و فرهنگی(مانند افزایش اندازه ی نسبی مغز

ACCEPTED MANUSCRIPT

و ظهور تمدن مدرن از طریق کشاورزی)را در جمعیت های انسانی ایجاد کرده است(Luca et al., 2010; Lipson et al., 2017). تغییرات عمده رژیم غذایی که تحت تاثیر فرهنگ انباشتی و زیست بوم های متنوع در طول تکامل انسان به وجود آمده خود موجب پدید آمدن چالش هایی برای گونه ی انسان شده است. گذار از دوره ی گرد آوری غذا و شکار به تولید غذا از طریق کشاورزی و دامپروری به طور چشمگیری الگوهای غذایی را دگرگون ساخت و انسان را با پیامد های جدیدی مانند ناتوانی هضم نشاسته و لاکتوز مواجه کرد(Andrews & Johnson 2020; Bragazzi et al., 2024). همچنین تغییر از رژیم های غذایی سنتی به الگوهای مدرن و صنعتی منجر به ناسازگاری هایی بین تاریخ تکاملی گونه ی ما و محیط های تغذیه ای امروزی شده و به افزایش بیماری های مدرنیته مانند چاقی، مشکلات قلبی عروقی و دیابت نوع ۲ کمک کرده است(Tapsell & Probst, 2008; Ojo, 2019). با توجه به این ملاحظات، مقاله حاضر بر آن است که به بررسی ارتباط بین تغذیه و دستاوردهای فرهنگی و نقش آن در تحولات زیستی(مانند تغییرات در اندازه مغز، ساختار دندانی و مسیر های متابولیکی) بپرازد. همچنین بحث می کند که چگونه تغییرات رژیم غذایی از شکار و گردآوری تا کشاورزی و سپس به رژیم های مدرن صنعتی پیامد های تکاملی مهمی به همراه داشته است.

-ابزار سازی و گسترش رژیم غذایی در عصر پارینه سنگی۱

بر اساس داده های دیرین انسان شناسی و باستان شناسی، حدود ۹۹ درصد از تاریخ تکاملی بشر در عصر پارینه سنگی سپری شده است. در این دوره انسان به عنوان شکارگر و گرداورنده ی خوراک[۲] زندگی می کرده و رژیم غذایی او کاملا وابسته به منابع طبیعی موجود در محیط و تغییرات فصلی بوده است (Hublin & Richards, 2009; Alt et al., 2022). سوالات مهمی که توجه ما را جلب می کند آن است که اجداد ما چگونه رژیم غذایی خود را توسعه دادند و تنوع الگو های غذایی به چه نحوی بر فرگشت گونه ی ما یعنی انسان خردمند[۳] تاثیر گذاشته است؟ تحقیقات در دهه ی گذشته بسیاری از پرسش ها را پاسخ داده و به طور چشمگیری به آنچه میدانیم افزوده است. بر اساس یافته های پژوهش های پیشین، ساخت ابزار های سنگی اولین گام مهم در تکامل فرهنگی و همچنین به عنوان نقطه ی عطف بزرگ در تحول رژیم غذایی انسان بوده است(Harmand et al., 2015; Walker & Thomas, 2023). به عنوان نمونه انسان تباران اولیه[۴] مانند استرالوپیتکوس[۵] و هومو هابیلیس[۶] که عمدتا میوه خوار و گیاه خوار بودند از طریق توسعه ی فناوری ابزار سنگی اولدوان[۷] (مشت سنگی یا چکش های سنگی ابتدایی تک لبه) موفق به گسترش طیف رژیم غذایی خود شدند وتوانستند به منابع غذایی مغذی تری از جمله مغز استخوان و گوشت حیوانات بزرگ دسترسی پیدا کنند(Clarke, 2019).

ACCEPTED MANUSCRIPT

سپس، با ظهور گونه‌هایی مانند هومو ارکتوس[۸] در بازه ی زمانی تقریبا ۱.۶ میلیون سال پیش، پیچیدگی فناوری، مستقیماً بر موفقیت شکار و در نتیجه، تنوع رژیم غذایی تأثیر گذاشت .ابزارهای دوطرفه سبک آشولین[۹] مانند تبرهای دستی، توانایی شکار فعال حیوانات بزرگ را به آنان داد (Goren-Inbar et al., 2000; Scott& Gibert. 2009). این روند با توسعه ابزارهای تخصصی‌تر مانند سرنیزه‌های سنگی موستری[۱۰] توسط نئاندرتال‌ها[۱۱] و در نهایت، تیغه‌های استاندارد و ابزارهای ترکیبی هومو ساپینس به اوج خود رسید. این ابزارهای پیشرفته‌تر، نه تنها کارایی در قصابی و استخراج مغز استخوان را افزایش دادند، بلکه با ساخت نیزه‌های پرتابی با برد بالا، امنیت و موفقیت در شکار را بالا برده و به طور نظام‌مند، سهم گوشت را در سبد غذایی اجداد انسان افزایش دادند (Wood & Leakey, 2011). تنوع بیشتر در ابزارها، نیزه های چوبی و سرنیزه های ماهگیری با شاخک های تیز مربوط به ۸۰ هزار سال پیش، نشانه هایی از افزایش پیچیدگی فناوری و گستردگی رژیم غذایی در دوره پارینه سنگی هستند(Yellen et al., 1995; d'Errico et al., 2012) بنابراین، همان‌گونه که شواهد باستان‌شناسی نشان می‌دهد، تنوع و پیچیدگی فزاینده‌ی ابزارها در دوره پارینه‌سنگی، بازتاب مستقیمی از گسترش تدریجی و هدفمند رژیم غذایی به سوی منابع غذایی با ارزش غذایی بالاتر است.

نژاد آشپز (تاثیر پخت وپز بر فرگشت انسان در عصر پارینه سنگی)

کشف و کنترل آتش یکی از مهمترین نوآوری های فرهنگی در تاریخ زندگی بشر به شمار می رود. از ۱.۵میلیون سال پیش، برخی گونه ها گاه گاهی از آتش استفاده می کردند اما بهره گیری منظم از آتش در حدود ۴۰۰ هزار سال قبل، توسط انسان راست قامت، نئاندرتال ها و اسلاف انسان های خردمند توسعه پیدا کرد(Berna et al., 2012; Gowlett, 2016; Wrangham, 2017). اگرچه آتش برای انسان ها منبع نور و گرما و همچنین محافظتی در برابر شکارچیان فراهم میکرد، اما بهترین کاری که با آن می شد انجام داد پختن غذا بود و طبخ غذا بدون شک تاثیری عظیم بر رژیم غذایی و وضعیت تغذیه ای انسان گذاشته است. آتش نه تنها ترکیب شیمیایی غذا بلکه ترتیب زیستی آن را هم عوض می کرد. طبخ غذا میکروب ها و انگل ها ی آلاینده آن را از بین می برد وجذب مواد مغذی را افزایش میداد. مزیت دیگر پختن این بود که جویدن و هضم خوراکی های دلخواه دیرینه مثل میوه، دانه ها، ریشه ها و لاشه های حیوانات برای انسان آسانتر شد. در حالیکه شامپانزه ها و سایر نخستی ها زمان زیادی را صرف جویدن غذای خام می کردند، خوردن غذای پخته فقط چند دقیقه وقت انسان را می گرفت (نوح هراری، ۱۳۹۶: ۳۵). برمبنای تحقیقات پیشین (Koebnick et al., 1999)، انسان ها نمی توانند از غذای خام به تنهایی انرژی و مواد مغذی کافی را برای رشد مغز دریافت کنند و این موضوع حاکی از ان است که ما زیست شناسی مان را با پخت و پز سازگار کردیم. از غار کسِم[۱۲] در اسرائیل که اولین اجاق پخت

ACCEPTED MANUSCRIPT

و پز در آن کشف شد (Stiner et al., 2011; Shahack Gross et al., 2014) و همچنین، ریزوم های (ریشه های زیر زمینی) سوخته شده در غار بوردر[۱۳] در آفریقای جنوبی نشان می دهد که انسان ها دست کم از حدود ۴۰۰ هزار سال پیش ریشه ها، پیازها و سایر گیاهان زیر زمینی خوراکی را می پختند(Wadley et al., 2020). پخت و پز به انسان امکان داد غذاهای متنوعی بخورد، زمان کمتری را صرف خوردن غذا کند و با دندان های ریزتر و روده های کوتاه تر سر کند. برخی پژوهشگران بر این باورند که رابطه ی مستقیمی میان پیدایش پختن غذا، کوتاه شدن مجرای گوارش انسان و رشد مغز وجود دارد (Carmody et al., 2019; Walker& Thomas, 2023). بر اساس فرضیه بافت پر هزینه[۱۴] (Aiello & Wheeler, 1995)، مغز یک اندام بسیار پر هزینه از نظر انرژی است که حدود ۲۰ درصد از انرژی بدن را مصرف می کند، رشد مغز بزرگتر مستلزم کاهش اندازه برخی از اندام های پر هزینه ی دیگر مانند روده هاست تا تعادل انرژی حفظ شود. کاهش اندازه روده ها تنها در صورتی امکان پذیر می شود که رژیم غذایی با کیفیت بالاتر و مواد مغذی بیشتر در حجم کمتر برای انسان فراهم شده باشد. بنابراین افزایش مصرف گوشت و غذاهای پخته که فرآیند هضم آنها آسانتر بوده نیاز به روده های بزرگ را کاهش داده است و منجر به انسفالیزاسیون[۱۵] یا رشد مغز در اجداد ما شده است (Leonard & Robertson, 1994; Brenna & Carlson, 2014; Dufour & Piperata, 2018). نخستین افزایش در اندازه مغز، اندکی پس از ۳ میلیون سال پیش در هومو هابلیس دیده می شود. تحلیل ایزوتوپ های پایدار نیتروژن- ۱۵ (N^{15}) در دندان های او حاکی از مصرف منابع پروتئینی حیوانی مانند حشرات، تخم پرندگان یا لاشه خواری بوده است (Heinzelin et al., 1999; Domínguez Rodrigo & Barba, 2006). پیش از آن انسان تباران اولیه مغزهای کوچک همراه با دندان های آسیاب بزرگ و برجسته با مینای ضخیم داشتند که برای رژیم غذایی میوه محور سازگار شده بودند. غذاهایی که نخستی ها و هومینین های اولیه می خوردند شبیه به میوه ها و سبزیجات امروزی نبود، بلکه پوسته های سخت تری داشت که جویدن و هضم را دشوار می کرد. احتمالا با افزایش مصرف گوشت که نسبت به مواد سخت فیبری گیاهی قابلیت هضم بالاتری داشتند، اندازه ی طول روده ها کاهش یافت. با کاهش نیاز متابولیکی روده، انرژی مازاد می توانست به رشد مغز اختصاص یابد که در هومو هابلیس حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد افزایش اندازه مغز نسبت به گونه های قبل او رخ داده است(Fernández Jalvo et al., 1998; Andrews & Johnson 2020). با ظهور هومو ارکتوس اندکی پس از ۲ میلیون سال پیش، دگرگونی های اساسی در گونه ی انسان پدید آمد. اندازه ی بدن افزایش یافت و به انسان مدرن نزدیک شد، بخش پایینی قفسه ی سینه کمتر بیرون زدگی داشت که نشان دهنده ی کاهش اندازه ی روده در این گونه بود، اندازه مغز نسبت به هومو هابلیس ۴۰ درصد افزایش و همچنین طول دندان ها به طور چشمگیری کاهش یافت (Marzke, 1997). هومو ارکتوس نخستین هومینینی بود که نه تنها از آفریقا بیرون رفت، بلکه در مدت زمان بسیار

ACCEPTED MANUSCRIPT

کوتاهی قلمروی خود را به اروپا و آسیا تا جزیره جاوه گسترش داد. به نظر می رسد این تغییرات احتمالا با یک سازگاری تکاملی مهم، یعنی مهار آتش در ارتباط بوده است. آتش نه تنها به عنوان سپری در برابر شکارچیان عمل می کرد، بلکه امکان مهاجرت و گسترش به قاره های دیگر را فراهم ساخت و منجر به طبخ غذا در این دوره شد. بنابراین فرآیند پخت و پز با بهینه سازی جذب انرژی از غذا و سهولت هضم آن، محرک اصلی تکامل مغز بزرگتر و دستگاه گوارش کوچکتر در گونه ی ارکتوس بوده است (Stahlet al., 1984; Wrangham et al., 1999; Wrangham & Conklin Brittain, 2003). این تغییرات اساسی در هومو ارکتوس علاوه بر بهبود کیفیت رژیم غذایی ناشی از پختن با پیشرفت فناوری ابزارهای سنگی در همان دوره مرتبط است. بر اساس شواهد باستان شناسی وضعیت تکامل مغز در انسان مدرن کمی متفاوت بوده است. علاوه بر مسائل پیشین، گسترش قابل توجه نسبت اندازه ی مغز به بدن در انتقال از هومو ارکتوس به هومو ساپینس (۶۲ درصد)، همراه با نقش حیاتی منابع غذایی دریایی و اکوسیستم های آبی در تکامل شناختی و توسعه حجم مغز انسان مدرن بوده است. (Cunnane & Stewart, 2010:132) استدلال کردند که توسعه و عملکرد طبیعی مغز بزرگ انسانی وابسته به منابع غنی و نسبتا پایدار انرژی (به ویژه چربی ها) و مواد مغذی کلیدی مانند ید، سلنیوم، روی، آهن، مس و اسید های چرب خاص (اسید دوکوزاهگزانوئیک[۱۶] ، اسید آراشیدونیک[۱۷]) است. با اشاره به اینکه صدف ها و ماهی ها از اکوسیستم های در یاچه ای، رودخانه ای و دریایی ترکیب بهینه ای از مواد مغذی مورد نیاز را تامین می کنند، آنها یک « سناریوی ساحلی» از تکامل انسان را پیشنهاد می کنند. در مدل آنها صدف، ماهی ها و سایر غذاهای آبی نه تنها مغذی بودند، بلکه به طور چشمگیری به تکامل شناختی و موفقیت بلند مدت نیاکان ما کمک کرده اند. مدارک قطعی باستان شناسی برای بهره برداری از منابع آبی توسط هومو هابلیس و ارکتوس هنوز بسیار محدود است. اما دانشمندان شواهد بیشتری در مورد استفاده از منابع دریایی توسط نئاندرتالها که حدود ۳۰۰ هزار سال پیش در غرب اوراسیا زندگی می کردند، ارائه می دهند (Cunnane et al., 1993; Stringer et al., 2008). با ظهور انسان های مدرن، مستندات مربوط به بهره وری از منابع آبی گسترش یافته است. تحقیقات دیرین انسان شناسی درآفریقای جنوبی بر روی چندین تپه تمرکز داشته است که بقایای صدف های دریایی، فوک ها و دیگر پرندگان دریایی را به همراه شواهد قابل توجهی از دانه های مروارید صدفی، ابزارهای سنگی و سایر آثار فرهنگی از تکامل شناختی انسان مدرن را نشان می دهد که به حدود ۱۲۵۰۰۰ تا ۷۵۰۰۰ سال پیش تعلق دارند (Parkington, 2003; Klein et al., 2004; Marean et al., 2007). انطباق با زیست بوم های مرطوب، قابل قبول ترین توضیح برای تکامل مغز انسان بوده است، اجداد ما برای ورود به مسیر تکامل مغز انسانی، به این زیست بوم ها نیاز داشتند. ابزارسازی، مهار آتش و مصرف غذاهای پرانرژی مانند گوشت و صدف، کیفیت رژیم غذایی را بهبود بخشید و به رشد مغز و کاهش اندازه دستگاه گوارش کمک کرد. این تغییرات نه‌تنها نقطه عطفی در فرگشت

ACCEPTED MANUSCRIPT

انسان بودند، بلکه الگوی پایه‌ای از مصرف غذاهای پرکیفیت و کم‌حجم را ایجاد کردند که بدن انسان با آن سازگار شد. همین سازگاری اولیه، توضیح می‌دهد که چرا بدن ما در عصر حاضر با رژیم‌های پرکربوهیدرات و کم‌کیفیت صنعتی ناسازگار است و دچار بیماری‌های متابولیکی می‌شود

-گذار تغذیه ای عصر نوسنگی[۱۸]

شکار و جمع آوری گیاهان بر زندگی انسان در سراسر دوران پلیستوسن مسلط بود. پس از پایان آخرین عصر یخبندان و با آغاز دوران نوسنگی (حدود ۱۲ هزار سال قبل از میلاد)، گذار از سبک زندگی شکارچی_گردآورنده به کشاورزی و نگهداری حیوانات، یکی از مهمترین دگرگونی های رژیمی در تارخ بشر بود، دگرگونی هایی که با فناوری های فرآوری، تولید وذخیره سازی غذا سرعت گرفت(Copeland et al., 2009). انسان ها با کشت گیاهان و اهلی کردن حیوانات توانستند به منابع غذایی با ثبات تر و قابل پیش بینی تری دست یابند. این دگرگونی های رژیم غذایی در عصر نوسنگی، منجر به تحولات عمیقی در ابعاد زیستی و فرهنگی زندگی انسان شد. حقوق مالکیت، انبار کردن غذا، سفال سازی، مدیریت دام، شکل گیری خانه های دائمی ناشی از یکجا نشینی و نهادهای اجتماعی از جمله نوآوری های فرهنگی مرتبط با ظهور کشاورزی بودند (Fuller, 2007, 2018). همچنین تکنیک های متنوعی مانند کوبیدن، مالت سازی، آسیاب کردن، خیساندن، الک کردن، دودی کردن، تخمیر و عمل آوری به منظور فرآوری غذا در این دوران تکامل یافت که باعث کاهش هزینه های متابولیکی مصرف غذا شده و توانسته بر ارزش تغذیه ای، ماندگاری و طعم غذاها تاثیر بگذارد (Walker & Thomas, 2023). مجموعه ای بزرگی از ادبیات منتشر شده در ۴۰ تا ۵۰ سال گذشته نشان می دهند درحالیکه کشاورزی و دامپروری امنیت غذایی بیشتری را فراهم می کرد چالش های قابل توجهی را نیز برای سلامت انسان به همراه داشته است؛ از جمله این پیامد ها می توان به شیوع ناهنجاری های اسکلتی (آرتروز) بر اثر کشت، افزایش پوسیدگی دندان، اختلات متابولیکی و مقاومت به انسولین اشاره کرد (Larsen, 2006; Eshed et al., 2010; Dufour & Piperata, 2018). بنابراین گذار از رژیم غذایی متنوع پروتئینی و گیاهی شکارگران و گردآوران به رژیم متمرکز بر کشت تک محصولی غلات مانند گندم، برنج و ذرت منجر به کمبود های تغذیه ای و کاهش سلامت عمومی گردید. (Mummert et al., 2014) در تحقیقات خود نتیجه گیری کردند که دامداری و کشت گیاهان تاثیر منفی بر قد و مفصل های بزرگسالان داشته است. در دوره ی پیشا کشاورزی فعالیت های بدنی به دلیل شکار، جستجوی غذا و کوچ های فصلی متنوع بوده است، پس از انقلاب فرهنگی کشاورزی، یکجا نشینی و فعالیت های تکراری(مانند خم شدن برای کشت و برداشت محصولات) خطر ابتلا به آرتروز را افزایش داده وموجب سائیدگی مهره ها ی کمر و زانوها گردیده است. همچنین کاهش نسبی تحرک درکنار مصرف رژیم‌های غذایی پرکربوهیدرات مرتبط با این دوره، مقاومت به انسولین را

ACCEPTED MANUSCRIPT

۲تا ۳ برابر افزایش داده و منجر به فشار های انتخابی قابل توجهی بر متابولیسم انسان در عصر حاضر گردیده است (Brand Miller & Colagiuri, 1994; Colagiuri & Miller, 2002). یافته های پژوهشی در ژاپن نشان داد که دندان های گروه کشاورز در مقابل جوامع شکارچی و گردآورنده از پوسیدگی بیشتری برخوردار بوده است(Temple & Larsen, 2007). داده هایی که توسط (May& Ruff, 2016) در مورد مورفولوژی استخوان ران بین شکارچیان ناتوفیان[۱۹] و کشاورزان نوسنگی در لوانت[۲۰] جمع آوری شده است، از مطالعات قبلی حمایت می کند و نشان می دهد با انتقال به کشاورزی، استحکام اسکلت کاهش یافته است. اهلی شدن محصولات زراعی و دام به انسان این امکان را داد که زندگی متحرک را کنار بگذارد و ساکن شود. برای اولین با در تاریخ بشر، مردم در تماس نزدیک دائمی با حیوانات بودند و حتی در یک محل مشترک زندگی می کردند. این امر منجر به ظهور زئونوزهای[۲۱] متعددی شد. زئونوزها بیماری های عفونی (مانند سل، وبا، طاعون، مالاریا و..) هستند که از حیوانات به انسان و بین انسان ها توسط باکتری ها، ویروس ها ویا انگل ها منتقل می شوند و همچنان سلامت ما را تهدید می کنند (Bos et al., 2019). چهار عامل اساسی عمدتا مسئول افزایش این بیماری ها در دوران نوسنگی بودند: یک رژیم غذایی نامتعادل که از نظر ریز مغذی ها کم و سرشار از کربوهیدرات با شاخص گلیسمی بالا بود و سیستم ایمنی را تضعیف می کرد، تماس نزدیک با حیوانات اهلی که وقوع بیماری های مشترک دام را تسهیل می کرد، عدم رعایت بهداشت و نبود سیستم فاضلاب در دهکده ها که زمینه ی رشد بسیاری از عوامل بیماری زا را فراهم می کرد و افزایش تراکم جمعیت که منجر به افزایش خطر ابتلا شد (Luca et al., 2010).

اکنون این پرسش مطرح می شود که با وجود تاثیرات منفی کشاورزی و دامپروی بر سلامت انسان ها، فرآیند های سازگاری بیولوژیکی با این تحولات غذایی چگونه اتفاق افتاده است؟

انسان ها از طریق انتخاب طبیعی با تغییرات غذایی ناشی از کشاورزی تطابق یافتند که این سازگاری منجر به تنوع ژنی در ساختار جمعیت ها شد. انتخاب طبیعی فرآیندی است که در آن ویژگی های مفید که به ارث می رسند به تدریج در طول زمان افزایش می یابند، در حالیکه ویژگی های نامطلوب ارثی، کمتر شایع می شوند. انسان ها در گستره ی وسیعی از زیستگاهها زندگی می کنند که از نظر مواد مغذی و منابع تفاوت دارند و این امر رژیم غذایی ممکن را در هر مکان خاص محدود می کند؛ به این معنا که فشارهای انتخابی مرتبط با رژیم غذایی در فضای جغرافیایی متغیر بوده اند، زیرا جمعیت ها به مناطق مختلف جهان گسترش یافته و با استفاده از اجزای رژیمی موجود در آن محیط ها سازگار شده اند . تغییرات ناگهانی رژیم غذایی ناشی از اهلی کردن حیوانات و گیاهان، فشار های تکاملی جدیدی را برژنوم جمعیت های انسانی ایجاد کرده است. پاسخ های تطبیقی به فشارهای انتخابی جدید تنها با سازگاری

ACCEPTED MANUSCRIPT

های ژنتیکی ممکن شده است. تغییرات در نسخه های ژن آمیلاز بزاقی[۲۲] (AMY1)، پایداری یا تداوم لاکتوز[۲۳] (ژن LCT) و افزایش تنوع در ژن های مرتبط با سیستم ایمنی بدن[۲۴] (HLA) از جمله سازگاری های ژنتیکی کلیدی در فرگشت انسان محسوب می شوند.

تغییرات در نسخه های ژن آمیلاز بزاقی:

ژن آمیلاز مسئول تولید آنزیمی است که به هضم کارآمدتر نشاسته کمک می کند. جمعیت هایی که رژیم های غنی از نشاسته دارند (مثلاً ذرت، ارزن، برنج، ریشه‌ها و گندم)، مانند ژاپنی‌ها، اروپاییان آمریکایی و شکارچی-گردآورنده‌های هادزا[۲۵]، بطور میانگین بر اثر انتخاب طبیعی تعداد بیشتری کپی از ژن آمیلاز را دارا هستند. درمقابل جوامعی مانند گروه های دامدار داتوک[۲۶] و یاکوت[۲۷] که رژیم غذایی سرشار از منابع پروتئینی داشته و کمتر به مصرف کربوهیدارات های نشاسته ای می پردازند، عموما دارای نسخه های کمتری از ژن آمیلاز می باشند (Perry et al., 2007).

تفاوت در تعداد نسخه های ژن آمیلاژ با تاریخچه مصرف نشاسته در جمعیت های مختلف مرتبط است. به عنوان مثال سرخ پوستان آمریکا با تغییر ناگهانی در مصرف رژیم های کشاورزی مواجه شدند بدون اینکه فرصت کافی در جهت سازگاری ژنتیکی داشته باشند. این ناهماهنگی بین پیش زمینه ی ژنتیکی آنها و محیط تغذیه ای جدید، احتمالا به شیوع بالای بیماری های متابولیکی(مانند چاقی، دیابت،..) در این جمعیت ها کمک کرده است (Mathieson & Mathieson, 2018). در مقابل جمعیت های اروپایی که گذار به رژیم کشاورزی در آنها به تدریج و طی هزاران سال رخ داده، فرصت بیشتری برای سازگاری ژنتیکی (تکامل نسخه های متعدد ژن آمیلاز) با تغییرات غذایی داشتند. این گذار تدریجی ممکن است توضیح دهنده ی شیوع کمتر اختلالات متابولیکی در این جوامع، در مقایسه با جمعیت هایی باشد که با تغییرات سریع غذایی مواجه شدند (Ma & Chan, 2013; Cooperet et al., 2017). به طور خلاصه، گذار به کشاورزی و تغییرات رژیمی مرتبط با آن ممکن است در جوامعی که سابقه ی طولانی تری در کشاورزی داشته اند، باعث کاهش فشارهای انتخاب طبیعی شده باشد. درحالیکه در جوامعی که تجربه کمتری از کشاورزی داشتند با چاش های بیشتری مواجه بودند و این فشار ها شدید تر باقی مانده است.

پایداری یا تداوم لاکتوز:

ژن (LCT) مسئول تولید آنزیم لاکتوز(برای هضم لاکتوز موجود در شیر) هستند. با افزایش سن، این ژن ها غیر فعال می شوند، به همین دلیل بیشتر بزرگسالان در جهان امروز عدم تحمل لاکتوز دارند. با این حال، در برخی جوامع انسانی جهش های ژنتیکی در ژن (LCT) باعث می شود که تولید لاکتوز در بزرگسالی ادامه پیدا کند. این ویژگی به نام پایداری لاکتوز[۲۸] شناخته می شود (Evershed et al., 2022). تحقیقات پیشین نشان داده اند که این ویژگی بطور مستقل و جداگانه در چند نقطه ی جغرافیایی مختلف از جمله در

ACCEPTED MANUSCRIPT

اروپا، آفریقا و جنوب آسیا فرگشت یافته است، شواهد ژنتیکی نشان می دهند که در ابتدا، جمعیت هایی که تازه شروع به دامپروری کرده بودند، به جای مصرف شیر تازه، از فرآورده هایی مانند ماست، پنیر یا کره استفاده می کردند که میزان لاکتور پایین تری دارند. به مرور زمان، با ادامه مصرف و مزایای تغذیه ای شیر، جهش های پایداری لاکتوز و تدام آن در این جمعیت ها افزایش یافت (Inchley et al., 2016). (Tishkoff et al., 2007) تفاوت‌های قابل توجهی در پایداری تولید لاکتاز در ۴۳ گروه قومی مختلف از کنیا، سودان و تانزانیا پیدا کردند که بر اساس وابستگی تاریخی آن‌ها به دامداری بود. بنابراین مصرف طولانی مدت یک ماده ی غذایی خاص می تواند منجر به انتخاب ژن ها ی مرتبط با متابولیسم آن شود. تنوع در تعداد کپی های ژن آمیلاز و تداوم لاکتوز نمونه های جذاب از هم فرگشتی ژن و فرهنگ هستند که نشان می دهند چگونه فرهنگ (کشاورزی و دامپروری) می تواند مسیر تکامل زیستی (ژنوم) ما را تغییر دهد.

افزایش تنوع در ژن های مرتبط با سیستم ایمنی بدن:

ژن های HLA که نقش حیاتی در سیستم ایمنی بدن و شناسایی پاتوژن ها (عوامل بیماری زا) ایفا می کنند، در جوامع کشاورز از تنوع آللی بالاتری برخوردارند. رشد فزاینده ی جمعیت و ارتباط دائمی با حیوانات اهلی، انسان ها را در معرض انواع بیماری عفونی (مانند مالاریا، طاعون، سرخک،..) قرار داده است. در این شرایط افرادی که نسخه های متفاوت از این ژن ها را داشتند، شانس بیشتری برای بقاء و مقابله با عفونت ها پیدا کردند. بنابراین تنوع بیشتر ژن های HLA در جمعیت های با پیشینه ی کشاورزی می تواند بازتابی از فشار تکاملی برای مقابله با پاتوژن های متعدد باشد(Hancock et al., 2008). برای مثال، برخی آلل های MHC (کمپلکس اصلی سازگاری بافتی مربوط به سیستم ایمنی بدن) که در غرب آفریقا به دلیل فشارهای انتخابی ناشی از شیوع کشاورزی برنج رایج می باشند، با حفاظت در برابر مالاریا مرتبط هستند، درحالیکه این آلل ها در گروهای قومی دیگر نادر هستند (Hill, 2012). مطالعات اپیدمیو لوژیک نشان می دهند که شیوع بیماری سلیاک[۲۹] (یک مشکل خود ایمنی با وجود یکی یا هر دو ژن خاص HLA-DQ2 و HLA-DQ8) همگام با گسترش مصرف گندم در جوامع کشاورز افزایش یافته است و این روند با توجه به استفاده گندم های اصلاح شده صنعتی در دوران معاصر تشدید شده است (Pronin et al., 2021). علیرغم اثرات مضراین بیماری بر سلامت انسان، با گذشت زمان از بین نرفته است. نظریه تکاملی فعلی این است که بیماری سلیاک در مناطقی که انقلاب کشاورزی دیرتر به آنجا رسیده‌اند، نسبت به کشورهایی که زودتر مصرف گندم را آغاز کرده‌اند و زمان کافی برای سازگاری تدریجی با تغییرات رژیم غذایی را داشتند ، شایع‌تر است و این به دلیل انتخاب منفی ناشی از بیماری سلیاک است که باعث کاهش بروز آن در نسل‌های بعدی شده است. (Lionetti & Catassi, 2014).

ACCEPTED MANUSCRIPT

اگرچه انقلاب کشاورزی موجب امنیت غذایی و رشد جمعیت شد، اما همزمان کاهش تنوع غذایی، بروز بیماری‌های اسکلتی و افزایش پوسیدگی دندان را به‌دنبال داشت. فشارهای انتخابی این دوره باعث تغییرات ژنتیکی مانند افزایش کپی‌های ژن آمیلاز و پایداری لاکتوز شد. این داده‌ها نشان می‌دهند که تغییرات ژنی در واکنش به رژیم‌های کشاورزی شکل گرفتند، اما در بلندمدت زمینه‌ساز مشکلاتی شدند که امروز به‌صورت مقاومت به انسولین و اختلالات متابولیکی بروز می‌کنند. بدین ترتیب، ریشه بسیاری از بیماری‌های مزمن معاصر را باید در همان تحولات نوسنگی جست‌وجو کرد

_صنعتی شدن، انتقال رژیم های غذایی و چالش های مدرن

انقلاب صنعتی که با شهر نشینی، پیشرفت های فناورانه و تغییر در روش های کار و تولید همراه بود، منجر به تغییرات عمیق در الگوهای تغذیه ای و عادات غذایی شد. افزایش صنعتی سازی، رشد چشمگیر غذاهای فرآوری شده و آماده را به همراه داشت، مانند غذاهای کنسروی بسته بندی شده و نیمه آماده که ماندگاری بیشتری داشتند و با سبک زندگی پر شتاب شهری سازگارتر بودند. اما این تحولات موجب تغییر رژیم های غذایی از الگوهای غنی و مقوی به رژیم های کم مغذی شد، رژیمی که سرشار از کربوهیدرات های تصفیه شده ، قند های افزوده شده و چربی های اشباع شده بود (Crane Kramer & Buckberry, 2023). از نظر فرگشتی، بدن ما با چنین رژیم هایی تطابق نیافته و نمی تواند به خوبی با این حجم از کالری و چربی های ناسالم کنار بیاید. این مساله به ظهور آنچه که بیماری های مدرن یا ناسازگار ی فرگشتی نامیده می شود منجر شده است. سوتغذیه، چاقی، دیابت نوع ۲، بیماری های قلبی، سرطان ها و مشکلات دندانی از جمله امراض نوظهوری هستند که ریشه در تغییرات رژیم غذایی و سبک زندگی دوران صنعتی دارند (Sonnenburg & Sonnenburg, 2019). انتقال تغذیه‌ای "در حال پیشرفت" (Piperata, 2007; Piperata et al., 2011) را در جوامع روستایی آمازون برزیل مستند کرده‌اند .از نظر وضعیت تغذیه‌ای، اولین تغییر مشاهده‌شده تغییر در ترکیب بدن بود—به‌ویژه افزایش درصد چربی بدن در میان گروه‌های سنی و جنسیتی که نشان‌دهنده کاهش فعالیت فیزیکی و رژیم های کم مغذی دوران صنعتی بوده است. رژیم غذایی مختلف می توانند ترکیب و عملکرد میکروبیوم روده را تحت تاثیر قرار دهند که این تغییرات به نوبه خود بر فرآیند های جذب مواد مغذی، متابولیسم، عملکرد ایمنی و وضعیت کلی سلامت تاثیز گذار است. به عنوان مثال برخی از گونه های باکتریایی مفید و مهم (مانند Prevotella و Bifidobacterium) در جوامع شکارچی و کشاورز به علت مصرف فیبر و غلات فراوان بسیار رایج بودند ولی در جوامع صنعتی شده امروزی بشدت کمیاب شدند. در مقابل سایر گونه های باکتریایی (مانند Firmicutes) الگوهای معکوسی دارند و با شیوع بیماری های متابولیکی(چاقی) و بیماری های التهابی روده (کرون) در دوران صنعتی مرتبط هستند. به طور کلی میکروبیوم روده ای در جوامع غیر صنعتی تنوع میکروبی بالاتری را نشان می دهند.

ACCEPTED MANUSCRIPT

پژوهش هایی در جوامعی که هنوز به روش های سنتی تامین غذا متکی هستند مانند مردم یانومی[۳۰] این یافته ها را تائید کردند (Sánchez-Quinto et al., 2020). تحلیل DNA میکروبی باستانی از دندان های جمجه های جوامع شکارچی اروپایی تغییر در میکروبیوم دهانی را نشان می دهد. درحالیکه پلاک دندانی گروه های شکارچی گونه های میکروبی کمتری مرتبط با بیماری های لثه، تحلیل استخوان فک و پوسیدگی داشتند، نمونه های مدرن امروزی تحت سلطه با کتری های مولد پوسیدگی (مانند Streptococus _ mutans) هستند (Raoult et al., 2013). با کتری های پوسیدگی مانند (S_mutans و Lactobacillus) از قند ها تغذیه می کنند و اسید تولید می کنند که باعث تخریب مینای دندان و التهاب لثه ها می شوند. بنابراین صنعتی شدن با معرفی قند و غذاهای فرآوری شده تنوع میکروبی را کاهش داده و باعث شیوع بیماری های دهانی شده است (Raoult, 2010).

رژیم‌های صنعتی سرشار از قند و چربی‌های اشباع، به‌طور بی‌سابقه‌ای از رژیم‌های تکاملی فاصله دارند. تحلیل میکروبیوم‌های باستانی و مقایسه آن با جمعیت‌های سنتی امروزی نشان می‌دهد که تنوع میکروبی کاهش یافته و گونه‌های بیماری‌زا افزایش یافته‌اند. این داده‌ها پیوند مستقیمی میان شواهد زیست‌باستان‌شناسی و بیماری‌های مدرن مانند چاقی، دیابت نوع ۲ و بیماری‌های قلبی ایجاد می‌کنند. انتقال تغذیه ای مدرن احتمالا سریع ترین انتقال رژیمی هستند که ما تجربه کردیم به ویژه از نظر دسترس بودن غذا. ژن های ما هنوز در عصر حجر زندگی می کنند در حالیکه غذاهایمان به آینده تعلق دارد.

برای روشن‌تر شدن نقش تغذیه در فرگشت زیستی و فرهنگی انسان، جدول (۱) تحولات اصلی رژیم‌های غذایی را در سه دوره‌ی تاریخی خلاصه می‌کند. این جدول به‌طور مقایسه‌ای نشان می‌دهد که چگونه تغییرات تغذیه‌ای در هر مرحله، هم‌زمان بر جنبه‌های زیستی و فرهنگی انسان اثر گذاشته و در نهایت مسیر سلامت امروز بشر را شکل داده است

جدول ۱: نقش تحولات تغذیه‌ای در فرگشت زیستی و فرهنگی انسان و پیامدهای آن

Tab.1: The role of nutritional changes in human biological and cultural evolution and their consequences

دوره تاریخی	ویژگی‌های تغذیه‌ای	فرگشت فرهنگی(نوآوری ها)	فرگشت زیستی (شواهد ژنتیکی/زیستی)	پیامدها
پارینه‌سنگی	رژیم پرپروتئین و کم‌کربوهیدرات	شکار و گردآوری؛ ابزارسازی؛ مهار آتش و پخت‌وپز	سازگاری متابولیکی با پروتئین؛ رشد مغز؛ کاهش طول روده و اندازه دندان ها	ارتقاء توانایی شناختی؛ بهبود بقا

ACCEPTED MANUSCRIPT

نوسنگی	افزایش مصرف غلات؛ کاهش تنوع غذایی	کشاورزی و اهلی‌سازی؛ یکجانشینی؛ سفالگری	افزایش کپی ژن آمیلاز؛ پایداری لاکتوز؛ تغییرات HLA	کاهش تنوع غذایی؛ بیماری‌های اسکلتی؛ پوسیدگی دندان، تغییر ساختار اجتماعی
عصر صنعتی	مصرف غذاهای فرآوری شده و پر کالری؛ قند وچربی زیاد ؛ کم فیبر	تولید انبوه؛ صنعتی سازی غذا؛ شهرنشینی	ناسازگاری ژنوم با رژیم مدرن؛ کاهش تنوع میکروبیوم روده	چاقی؛ دیابت؛ بیماری‌های قلبی–عروقی

نتیجه گیری

بررسی حاضر نشان می‌دهد که دینامیک پیچیده‌ای میان فرهنگ، تغذیه و زیست‌شناسی انسان، مسیر فرگشت ما را رقم زده است. از نوآوری‌های فرهنگی بنیادین مانند ساخت ابزار و مهار آتش که دسترسی به منابع غذایی غنی‌تر را ممکن ساخت، تا انقلاب نوسنگی که اساس معیشت و الگوهای سکونت انسان را دگرگون کرد، رژیم غذایی همواره یک نیروی فشار تکاملی قوی بوده است. این گذارهای غذایی موفقیت‌های بزرگی را برای گونه ما به ارمغان آورد، اما در عین حال، ناسازگاری‌هایی را نیز بین تاریخ تکاملی ژنوم ما و محیط‌های تغذیه‌ای جدید ایجاد کرد. متعاقباً، صنعتی‌شدن و ظهور رژیم‌های غذایی مدرن، این شکاف تکاملی را عمیق‌تر کرده است. سرعت و ماهیت تغییر در الگوهای غذایی در دوران معاصر، فراتر از توانایی سازگاری زیستی طبیعی گونه ما پیش رفته و این ناسازگاری، خود را در قالب شیوع همه‌گیر بیماری‌های مزمن غیرواگیر مرتبط با سبک زندگی، از جمله چاقی، دیابت نوع ۲ و اختلالات قلبی–عروقی نشان می‌دهد. بنابراین، درک ریشه‌های تکاملی رابطه ما با غذا ، نه تنها برای شناخت گذشته مان حیاتی است، بلکه برای یافتن راه حل های موثر جهت سلامت عمومی و امنیت غذایی در آینده نیز ضروری خواهد بود. شرایط زندگی مدرن و کیفیت زندگی بشر امروز بهتر از هر زمان دیگر است. با این حال نه از نظر جسمی و نه از نظر روانی و اجتماعی این تعدیل را انجام نداده ایم و بهای سنگینی از نظر سلامت متحمل می شویم. سبک زندگی و رژیم غذایی اخیر ما اساسا توسط فرهنگ ما تعیین می شود نه میراث میلیون ها سال تکامل زیستی. فرهنگ همواره جایگا هی مسلط نسبت به تکامل طبیعی دارد؛ نه در تقابل با طبیعت ، بلکه نتیجه ی آن است. تردیدی نیست که ما از نظر زیستی تا حد زیادی با فرهنگ سازگار شده ایم. اما این پرسش باقی می ماند که انسان تا چه اندازه می تواند با توجه به محدودیت های بیولوژیکی اش با تحولات سریع فرهنگی تطابق پیدا کند.

پی نوشت

1. Paleolithic period
2. Hunter-gatherers

3. Homo sapiens
4. Early Hominins
5. Australopithecus
6. Homo habilis
7. Oldowan
8. Homo Erectus
9. Acheulean
10. Mosterian
11. Neanderthals
12. Qesem
13. Border
14. Expensive Tissue Hypothesis
15. Encephalization
16. Docosahexaenoic acid
17. Arachidonic acid
18. Neolithic
19. Natufian
20. Levant
21. Zoonosis
22. Amylase
23. Lactose
24. Human Leukocyte Antigen
25. Hadza
26. Datog
27. Yakut
28. Lactase persistence
29. Coeliac
30. Yanomami

تضاد منافع

نویسنده ضمن رعایت اخلاق نشر در ارجاع دهی، نبود تضاد منافع را اعلام می دارد.

کتاب نامه

-هراری، یووال نوح (۱۳۹۶).« انسان خردمند: تاریخ مختصر بشر».(گرگین، نیک، مترجم). تهران: فرهنگ نشر نو.(اثر اصلی منتشر شده ۲۰۱۱)

-Aiello, L. C., & Wheeler, P., (1995).” The expensive-tissue hypothesis: the brain and the digestive system in human and primate evolution”. *Current anthropology*, 36(2): 199-221. http://www.jstor.org/stable/2744104

-Alt, K. W., Al-Ahmad, A., & Woelber, J. P., (2022). “Nutrition and health in human evolution–past to present”. *Nutrients*, 14(17): 3594. https://doi.org/10.3390/nu14173594

-Andrews, P., & Johnson, R. J., (2020). “Evolutionary basis for the human diet: consequences for human health”. *Journal of internal medicine*, 287(3): 226-237. https://doi.org/10.1111/joim.13011

ACCEPTED MANUSCRIPT

-Berna, F., Goldberg, P., Horwitz, L. K., Brink, J., Holt, S., Bamford, M., & Chazan, M., (2012). "Microstratigraphic evidence of in situ fire in the Acheulean strata of Wonderwerk Cave, Northern Cape province, South Africa". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(20): E1215-E1220. https://doi.org/10.1073/pnas.1117620109

-Bos, K. I., Kühnert, D., Herbig, A., Esquivel-Gomez, L. R., Andrades Valtueña, A., Barquera, R., ... & Krause, J., (2019). "Paleomicrobiology: diagnosis and evolution of ancient pathogens". *Annual review of microbiology*, 73(1): 639-666. http://doi.org/10.1146/annurev-micro-090817-062436

-Bragazzi, N. L., Del Rio, D., Mayer, E. A., & Mena, P., (2024). "We are what, when, and how we eat: the evolutionary impact of dietary shifts on physical and cognitive development, health, and disease". *Advances in Nutrition*, 100280. https://doi.org/10.1016/j.advnut.2024.100280

-Brand Miller, J. C., & Colagiuri, S., (1994). "The carnivore connection: dietary carbohydrate in the evolution of NIDDM". *Diabetologia*, 37: 1280-1286. https://doi.org/10.1007/BF00399803

-Brenna, J. T., & Carlson, S. E., (2014). "Docosahexaenoic acid and human brain development: evidence that a dietary supply is needed for optimal development". *Journal of human evolution*, 77: 99-106. https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2014.02.017

-Carmody, R. N., Bisanz, J. E., Bowen, B. P., Maurice, C. F., Lyalina, S., Louie, K. B., ... & Turnbaugh, P. J., (2019). "Cooking shapes the structure and function of the gut microbiome". *Nat -Microbiol* 4*: 2052–2063*. https://doi.org/10.1038/s41564-019-0569-4

-Clarke, R. J., (2019). "Excavation, reconstruction and taphonomy of the StW 573 Australopithecus prometheus skeleton from Sterkfontein Caves, South Africa". *Journal of Human Evolution*, 127: 41-53. https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2018.11.010

-Colagiuri, S., & Miller, J. B., (2002). "The 'carnivore connection'—evolutionary aspects of insulin resistance". *European journal of clinical nutrition*, 56(1): 30-35. https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601351

-Cooper, A., Burger, J., Bánffy, E., Alt, K. W., Lalueza-Fox, C., Haak, W., & Reich, D., (2017) "Parallel paleogenomic transects reveal complex genetic history of early European farmers". *Nature*, 551(7680): 368–372. http://doi.org/10.1038/nature24476

-Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., & Tang, M. C., (2009). "Form and functionality of starch". *Food hydrocolloids*, 23(6): 1527-1534. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.09.016

-Crane-Kramer, G., & Buckberry, J., (2023). "Changes in health with the rise of industry". *International Journal of Paleopathology*, 40: 99-102. https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2022.12.005

-Cunnane, S. C., Harbige, L. S., & Crawford, M. A., (1993). "The importance of energy and nutrient supply in human brain evolution". *Nutrition and Health*, 9(3): 219-235. http://doi.org/10.1177/026010609300900307

-Cunnane, S., & Stewart, K. (Eds.)., (2010). “Human brain evolution: the influence of freshwater and marine food resources”. John Wiley & Sons.

-d’Errico, F., Backwell, L. R., & Wadley, L., (2012). “Identifying regional variability in Middle Stone Age bone technology: The case of Sibudu Cave”. *Journal of Archaeological Science*, 39(7): 2479–2495. https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.01.040

-Domínguez-Rodrigo, M., & Barba, R., (2006). “New estimates of tooth mark and percussion mark frequencies at the FLK Zinj site: the carnivore-hominid-carnivore hypothesis falsified”. *Journal of Human Evolution*, 50(2): 170-194. https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2005.09.005

-Dufour, D. L., & Piperata, B. A., (2018). “Reflections on nutrition in biological anthropology”. *American journal of physical anthropology*, 165(4): 855-864. https://doi.org/10.1002/ajpa.23370

-Eshed, V., Gopher, A., Pinhasi, R., & Hershkovitz, I., (2010). “Paleopathology and the origin of agriculture in the Levant”. *American Journal of Physical Anthropology*, 143(1): 121-133. http://doi.org/10.1002/ajpa.21301

-Evershed, R. P., Davey Smith, G., Roffet-Salque, M., Timpson, A., Diekmann, Y., Lyon, M. S., ... & Thomas, M. G., (2022). “Dairying, diseases and the evolution of lactase persistence in Europe”. *Nature*, 608(7922): 336-345. https://doi.org/10.1038/s41586-022-05010-7

-Fernández-Jalvo, Y., Denys, C., Andrews, P., Williams, T., Dauphin, Y., & Humphrey, L., (1998). “Taphonomy and palaeoecology of Olduvai bed-I (Pleistocene, Tanzania)”. *Journal of human evolution*, 34(2): 137-172. https://doi.org/10.1006/jhev.1997.0188

-Fuller, D. Q., & Gonzalez Carretero, L., (2018). “The archaeology of Neolithic cooking traditions: archaeobotanical approaches to baking, boiling and fermenting”. *Archaeology International*, 21(1): 109-121. https://doi.org/10.5334/ai-391

-Fuller, D. Q., (2007). “Contrasting patterns in crop domestication and domestication rates: recent archaeobotanical insights from the Old World”. *Annals of Botany*, 100(5): 903-924. https://doi.org/10.1093/aob/mcm048

-Goren-Inbar, N., Feibel, C. S., Verosub, K. L., Melamed, Y., Kislev, M. E., Tchernov, E., & Saragusti, I., (2000). “Pleistocene milestones on the out-of-Africa corridor at Gesher Benot Ya’aqov, Israel”. *Science*, 289(5481): 944–947. http://doi.org/10.1126/science.289.5481.944

-Gowlett, J. A., (2016). “The discovery of fire by humans: a long and convoluted process”. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1696): 20150164. http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2015.0164

-Hancock, A. M., & Di Rienzo, A., (2008). “Detecting the genetic signature of natural selection in human populations: models, methods, and data”. *Annual review of anthropology*, 37(1): 197-217. https://doi.org/10.1146/annurev.anthro.37.081407.085141

ACCEPTED MANUSCRIPT

-Harmand, S., Lewis, J. E., Feibel, C. S., Lepre, C. J., Prat, S., Lenoble, A., ... & Roche, H., (2015). "3.3-million-year-old stone tools from Lomekwi 3, West Turkana, Kenya". *Nature*, 521(7552): 310-315. https://doi.org/10.1038/nature14464

-Heinzelin, J. D., Clark, J. D., White, T., Hart, W., Renne, P., WoldeGabriel, G., ... & Vrba, E., (1999). "Environment and behavior of 2.5-million-year-old Bouri hominids". *Science*, 284(5414): 625-629. http://doi.org/10.1126/science.284.5414.625

-Hill, A. V., (2012). "Evolution, revolution and heresy in the genetics of infectious disease susceptibility". *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1590): 840-849. https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0275

-Hublin, J. J., & Richards, M. P. (Eds.)., (2009). "The evolution of hominin diets: integrating approaches to the study of palaeolithic subsistence". *Dordrecht*: Springer.

-Inchley, C. E., Larbey, C. D., Shwan, N. A., Pagani, L., Saag, L., Antão, T., ... & Kivisild, T., (2016). "Selective sweep on human amylase genes postdates the split with Neanderthals". *Scientific reports*, 6(1): 37198. https://doi.org/10.1038/srep37198

-Jelenkovic, A., Ibáñez-Zamacona, M. E., & Rebato, E., (2024). "Human adaptations to diet: Biological and cultural coevolution". *Advances in Genetics*, 111: 117-147. https://doi.org/10.1016/bs.adgen.2024.01.004

-Klein, R. G., Avery, G., Cruz-Uribe, K., Halkett, D., Parkington, J. E., Steele, T., ... & Yates, R., (2004). "The Ysterfontein 1 Middle Stone Age site, South Africa, and early human exploitation of coastal resources". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(16): 5708-5715. https://doi.org/10.1073/pnas.0400528101

-Koebnick, C., Strassner, C., Hoffmann, I., & Leitzmann, C., (1999). "Consequences of a long-term raw food diet on body weight and menstruation: results of a questionnaire survey". *Annals of Nutrition and Metabolism*, 43(2): 69-79. https://doi.org/10.1159/000012770

-Larsen, C. S., (2006). "The agricultural revolution as environmental catastrophe: Implications for health and lifestyle in the Holocene". *Quaternary International*, 150(1): 12-20. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2006.01.004

-Leonard, W. R., & Robertson, M. L., (1994). "Evolutionary perspectives on human nutrition: the influence of brain and body size on diet and metabolism". *American Journal of Human Biology*, 6(1): 77-88. https://doi.org/10.1002/ajhb.1310060111

-Lionetti, E., & Catassi, C., (2014). "Co-localization of gluten consumption and HLA-DQ2 and-DQ8 genotypes, a clue to the history of celiac disease". *Digestive and Liver Disease*, 46(12): 1057-1063. https://doi.org/10.1016/j.dld.2014.08.002

-Lipson, M., Szécsényi-Nagy, A., Mallick, S., Pósa, A., Stégmár, B., Keerl, V., ... & Reich, D., (2017). "Parallel palaeogenomic transects reveal complex genetic history of early European farmers". *Nature*, 551(7680): 368-372. https://doi.org/10.1038/nature24476

-Luca, F., Perry, G. H., & Di Rienzo, A. (2010). Evolutionary adaptations to dietary changes. *Annual review of nutrition*, *30*(1), 291-314. https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-080508-141048

-Ma, R. C., & Chan, J. C., (2013). "Type 2 diabetes in East Asians: similarities and differences with populations in Europe and the United States". *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1281(1): 64-91. http://doi.org/10.1111/nyas.12098

-Marean, C. W., Bar-Matthews, M., Bernatchez, J., Fisher, E., Goldberg, P., Herries, A. I., ... & Williams, H. M., (2007). "Early human use of marine resources and pigment in South Africa during the Middle Pleistocene". *Nature*, 449(7164): 905-908.https://doi.org/10.1038/nature06204

-Marzke, M. W., (1997). "Precision grips, hand morphology, and tools". *American Journal of Physica l Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists*, 102(1): 91-110. https://doi.org/10.1002/(sici)1096-8644(199701)102:1%3C91::aid-ajpa8%3E3.0.co;2-g

-Mathieson, S., & Mathieson, I., (2018). "FADS1 and the timing of human adaptation to agriculture". *Molecular biology and evolution*, 35(12): 2957-2970. https://doi.org/10.1093/molbev/msy180

-May, H., & Ruff, C., (2016). "Physical burden and lower limb bone structure at the origin of agriculture in the levant". *American journal of physical anthropology*, 161(1): 26-36. http://doi.org/10.1002/ajpa.23003

-McPherron, S. P., Alemseged, Z., Marean, C. W., Wynn, J. G., Reed, D., Geraads, D., ... & Béarat, H. A., (2010). "Evidence for stone-tool-assisted consumption of animal tissues before 3.39 million years ago at Dikika, Ethiopia". *Nature*, 466(7308): 857-860. https://doi.org/10.1038/nature09248

-Mummert, A., Esche, E., Robinson, J., & Armelagos, G. J., (2011). "Stature and robusticity during the agricultural transition: Evidence from the bioarchaeological record". *Economics & Human Biology*, 9(3): 284-301. https://doi.org/10.1016/j.ehb.2011.03.004

-Ojo, O., (2019)." Nutrition and chronic conditions". *Nutrients*, 11(2): 459. https://doi.org/10.3390/nu11020459

-Parkington, J., (2003)." Middens and moderns: Shellfishing and the Middle Stone Age of the Western Cape, South Africa: Reviews of current issues and research findings: Human origins research in South Africa". *South African Journal of Science*, 99(5): 243-247. http://hdl.handle.net/11427/27321

-Perry, G. H., Dominy, N. J., Claw, K. G., Lee, A. S., Fiegler, H., Redon, R., ... & Stone, A. C., (2007). "Diet and the evolution of human amylase gene copy number variation". *Nature genetics*, 39(10): 1256-1260. https://doi.org/10.1038/ng2123

-Piperata, B. A., (2007). “Nutritional status of Ribeirinhos in Brazil and the nutrition transition”. *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists*, 133(2): 868-878. https://doi.org/10.1002/ajpa.20579

-Piperata, B. A., Spence, J. E., Da-Gloria, P., & Hubbe, M., (2011). “The nutrition transition in Amazonia: rapid economic change and its impact on growth and development in Ribeirinhos”. *American journal of physical anthropology*, 146(1): 1-13. https://doi.org/10.1002/ajpa.21459

-Pronin, D., Börner, A., & Scherf, K. A., (2021). “Old and modern wheat (Triticum aestivum L.) cultivars and their potential to elicit celiac disease”. *Food Chemistry*, *339*:127952. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127952

-Raoult, D., Foti, B., & Aboudharam, G., (2013). “Historical and geographical parallelism between the incidence of dental caries, Streptococcus mutans and sugar intake". *European journal of epidemiology*, 28(8): 709-710. https://doi.org/10.1007/s10654-013-9826-7

-Raoult, D.و (2010). “The globalization of intestinal microbiota”. *European journal of clinical microbiology & infectious diseases*, 29: 1049-1050. https://doi.org/10.1007/s10096-010-0977-0

-Sánchez-Quinto, A., Cerqueda-García, D., Falcón, L. I., Gaona, O., Martínez-Correa, S., Nieto, J., & G-Santoyo, I., (2020). “Gut microbiome in children from indigenous and urban communities in México: Different subsistence models, different microbiomes”. *Microorganisms*, 8(10): 1592. https://doi.org/10.3390/microorganisms8101592

-Scott, G. R., & Gibert, L., (2009). “The oldest hand-axes in Europe”. *Nature*, 461(7260): 82-85. https://doi.org/10.1038/nature08214

-Shahack-Gross, R., Berna, F., Karkanas, P., Lemorini, C., Gopher, A., & Barkai, R., (2014). “Evidence for the repeated use of a central hearth at Middle Pleistocene (300 ky ago) Qesem Cave, Israel”. *Journal of archaeological science*, 44: 12-21. https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.11.015

-Sonnenburg, J. L., & Sonnenburg, E. D., (2019). “Vulnerability of the industrialized microbiota”. *Science*, 366(6464): eaaw9255. https://doi.org/10.1126/science.aaw9255

-Stahl, A. B., Dunbar, R. I. M., Homewood, K., Ikawa-Smith, F., Kortlandt, A., McGrew, W. C., Milton, K., Paterson, J. D., Poirier, F. E., Sugardjito, J., Tanner, N. M., & Wrangham, R. W., (1984). “Hominid Dietary Selection Before Fire [and Comments and Reply]”. *Current Anthropology*, 25(2): 151–168. http://www.jstor.org/stable/2742818

-Stiner, M. C., Gopher, A., & Barkai, R., (2011). “Hearth-side socioeconomics, hunting and paleoecology during the late Lower Paleolithic at Qesem Cave, Israel”. *Journal of Human Evolution*, 60(2): 213-233. https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2010.10.006

-Stringer, C. B., Finlayson, J. C., Barton, R. N. E., Fernández-Jalvo, Y., Cáceres, I., Sabin, R. C., ... & Riquelme-Cantal, J. A., (2008). "Neanderthal exploitation of marine mammals in Gibraltar". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(38): 14319-14324. https://doi.org/10.1073/pnas.0805474105

-Tapsell, L. C., & Probst, Y. C., (2008). "Nutrition in the Prevention of". *Nutrition and Fitness: Cultural, Genetic, and Metabolic Aspects*, 98: 94-105. https://doi.org/10.1159/000152937

-Temple, D. H., & Larsen, C. S. (2007). Dental caries prevalence as evidence for agriculture and subsistence variation during the Yayoi period in prehistoric Japan: biocultural interpretations of an economy in transition. *American Journal of Physical Anthropology*, *134*(4), 501-512. https://doi.org/10.1002/ajpa.20694

-Thompson, J. C., Carvalho, S., Marean, C. W., & Alemseged, Z., (2019)." Origins of the human predatory pattern: the transition to large-animal exploitation by early hominins". *Current Anthropology*, 60(1): 1-23. https://doi.org/10.1086/701477

-Tishkoff, S. A., Reed, F. A., Ranciaro, A., Voight, B. F., Babbitt, C. C., Silverman, J. S., ... & Deloukas, P., (2007). "Convergent adaptation of human lactase persistence in Africa and Europe". *Nature genetics*, 39(1): 31-40. https://doi.org/10.1038/ng1946

-Wadley, L., Backwell, L., d'Errico, F., & Sievers, C., (2020). Cooked starchy rhizomes in Africa 170 thousand years ago. *Science*, 367(6473): 87-91. https://doi.org/10.1126/science.aaz5926

-Walker, C., & Thomas, M. G., (2023). "Cultural Evolution and Diet", in Jamshid J. Tehrani, Jeremy Kendal, and Rachel Kendal (eds), *The Oxford Handbook of Cultural Evolution* (online edn, Oxford Academic): C67S1 C67P270. https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780198869252.013.67

-Wood, B., & Leakey, M., (2011). "The Omo-Turkana Basin fossil hominins and their contribution to our understanding of human evolution in Africa". *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews,* 20(6): 264–292. https://doi.org/10.1002/evan.20335

-Wrangham, R. W., Jones, J. H., Laden, G., Pilbeam, D., & Conklin-Brittain, N., (1999). "The raw and the stolen: cooking and the ecology of human origins". *Current anthropology*, 40(5): 567-594. PMID: 10539941. https://doi.org/10.1086/300083

-Wrangham, R., & Conklin-Brittain, N., (2003). "Cooking as a biological trait". *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 136(1): 35-46. https://doi.org/10.1016/S1095-6433(03)00020-5

-Wrangham, R., (2017)." Control of fire in the Paleolithic: evaluating the cooking hypothesis". *Current Anthropology*, 58(S16): S303-S313. https://doi.org/10.1086/692113

-Yellen, J. E., Brooks, A. S., Cornelissen, E., Mehlman, M. J., & Stewart, K., (1995). "A middle stone age worked bone industry from Katanda, Upper Semliki Valley, Zaire". *Science*, 268(5210): 553–556. http://doi.org/10.1126/science.7725100

ACCEPTED MANUSCRIPT

ACCEPTED MANUSCRIPT