



ایمنی مواد غذایی در محصولات گیاهی جایگزین گوشت: بررسی جنبه‌های میکروبیولوژیکی، شیمیایی، آلاینده‌ها، مواد نگهدارنده و کیفیت تغذیه‌ای

سینا امینایی¹، پویان حیدریان^{2*}

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

خلاصه

محصولات گیاهی جایگزین گوشت به‌عنوان گزینه‌ای پایدار و اخلاقی مطرح شده‌اند، اما مسائل ایمنی مواد غذایی در تولید، فرآوری و مصرف آن‌ها اهمیت یافته است. افزایش مصرف این محصولات موجب بروز پرسش‌هایی درباره خطرات احتمالی مثل انتقال آلودگی‌های میکروبی، مواد شیمیایی مضر، ترکیبات نگهدارنده و کیفیت تغذیه‌ای شده است. بررسی‌های اخیر نشان داده است محصولات گیاهی جایگزین ممکن است همان پاتوژن‌های گوشت (مانند *E. coli* یا *Salmonella*) را حمل کنند و دارای شرایط محیطی مناسبی برای رشد میکروب باشند. همچنین وجود فلزات سنگین، مایکوتوکسین‌ها، نیتрат‌ها و ترکیبات سمی حاصل از پخت (مانند آمین‌های هتروسیکلیک و نیتروزآمین) در برخی نمونه‌ها گزارش شده است. از دیدگاه تغذیه‌ای، این محصولات به‌طور کلی چربی و کلسترول کمتر و فیبر بیشتر دارند اما ممکن است فاقد برخی ویتامین‌ها و پروتئین کافی باشند. این مقاله به صورت جامع جوانب ایمنی میکروبی و شیمیایی، نقش مواد نگهدارنده، آلاینده‌های احتمالی و کیفیت تغذیه‌ای محصولات گیاهی جایگزین گوشت را مرور کرده و چالش‌ها و راهکارهای بهبود ایمنی و کیفیت این محصولات را ارائه می‌دهد.

کلمات کلیدی: ایمنی مواد غذایی، محصولات گیاهی، جایگزین گوشت، آلودگی میکروبی، ترکیبات شیمیایی، مواد نگهدارنده، کیفیت تغذیه‌ای، پاتوژن‌های غذایی، آلاینده‌های غذایی، ایمنی تغذیه

مقدمه

رشد سریع بازار محصولات گیاهی جایگزین گوشت در دهه اخیر به دلیل تقاضای روزافزون برای رژیم‌های غذایی پایدار، اخلاق‌مدار و کم‌کربن شکل گرفته است. بر اساس گزارشات، پذیرش گسترده رژیم‌های گیاهی در کشورهای پردرآمد می‌تواند انتشار گازهای گلخانه‌ای را تا حدود ۶۱ درصد کاهش دهد، و پیش‌بینی می‌شود بازار جهانی محصولات جایگزین گوشت تا سال ۲۰۳۰ از چند ده میلیارد دلار تجاوز کند. با افزایش محبوبیت این محصولات، سؤالات جدی در مورد مخاطرات ایمنی مواد غذایی آنها مطرح شده است. مطالعات اولیه نشان داده است که انواع جدید پروتئین‌های گیاهی مورد استفاده در این



محصولات ممکن است همراه با چالش‌های ایمنی و تغذیه‌ای خاصی باشد، از جمله آلودگی‌های میکروبی منشأ گیاهی، بقایای سموم، آفت‌کش‌ها و مواد شیمیایی دیگر، افزودنی‌ها و مواد نگهدارنده متعدد، منابع جدید آلرژن (سویا، گلوتن، نخود و غیره) و نیز کمبودهای تغذیه‌ای ممکن (مانند ویتامین‌های B12، آهن هم و اسیدهای آمینه ضروری). بنابراین شناسایی و مدیریت این مخاطرات برای اطمینان از ایمنی محصولات گیاهی جایگزین گوشت ضروری است.

تحقیقات پیشین درباره محصولات گیاهی جایگزین گوشت عمدتاً بر جنبه‌های تغذیه‌ای، حسی و بازاریابی متمرکز بوده است، ولی نگرانی‌ها در خصوص ایمنی غذایی آنها به تازگی توجه بیشتری را جلب کرده است. [10][2] این محصولات معمولاً از پروتئین‌های گیاهی مشتق شده (مانند سویا، نخود، گلوتن گندم، میکوپروتئین و غیره) تشکیل شده و با افزودن ترکیباتی برای بهبود بافت، رنگ، طعم و ارزش تغذیه‌ای فرموله می‌شوند. [11][12] اگرچه جایگزین‌های گیاهی قدیمی مانند توفو و تمپه در آشپزی آسیای شرقی سابقه طولانی دارند [13]، نسل جدید محصولات گیاهی جایگزین به کمک فناوری‌هایی مانند اکستروژن پیشرفته، سلول شیمی (shear cell)، کشت میسلیم و بیوتکنولوژی تولید می‌شوند تا دقیقاً شبیه گوشت به نظر برسند. [14][15] در چارچوب نظری، این محصولات به عنوان بخشی از انقلاب غذایی و گذار به رژیم‌های پایدار مطرح شده‌اند، اما ماهیت پردازش شده آنها امتیاز «سلامت ذاتی» را کاهش می‌دهد. متون علمی اشاره کرده‌اند که مصرف‌کنندگان اغلب این خوراکی‌ها را به خاطر منشأ گیاهی «ایمن‌تر» تلقی می‌کنند، در حالی که در واقعیت شرایط تولید و ترکیبات متعدد می‌تواند خطرات جدیدی خلق کند. [1][11]

خطرات میکروبیولوژیک

محصولات گیاهی جایگزین گوشت به واسطه ترکیب مواد اولیه متنوع و شرایط ساخت ویژه، با چالش‌های ویژه میکروبیولوژیک مواجه‌اند. این محصولات معمولاً دارای pH نزدیک به خنثی و فعالیت آب بالا (>0.98) هستند و همچنین رطوبت و پروتئین زیادی دارند؛ به همین دلیل محیط مناسبی برای رشد سریع میکروب‌ها و فساد محصول پدید می‌آید. [16][3] برای مثال، گزارش شده است که pH این محصولات در حدود ۶۰ تا ۷۰ بوده و فعالیت آب بالای آنها شرایط ایده‌آلی برای رشد باکتری‌های فاسدکننده و بیماری‌زا فراهم می‌کند. [16][3] یافته‌های USDA نشان داده است که بسیاری از مصرف‌کنندگان به اشتباه محصولات گیاهی را خام تلقی می‌کنند و این در حالی است که گیاهان می‌توانند مقادیر بالایی از پاتوژن‌های غذایی را در خود جای دهند؛ به همین دلیل توصیه می‌شود محصولات گیاهی جایگزین گوشت نیز مانند گوشت چرخ کرده خام از نظر ایمنی فرض شوند و تا دمای داخلی حداقل 71°F (160°C) پخته شوند. [11][17] تحقیقی در بازار اروپا نیز نتایج مشابهی به دست داده است؛ بر روی ۴۳ نمونه از محصولات گیاهی آماده پخت در سطح خرده‌فروشی بررسی انجام شد و نشان داده شد هر چند شمار کل باکتری‌ها عموماً بالا نبود، اما درصد قابل توجهی از نمونه‌ها حاوی اسپور باکتریایی از گونه‌های *Bacillus cereus* (۸۱٪ نمونه‌ها پس از غنی‌سازی) و *Clostridium perfringens* (۲۱٪ نمونه‌ها پس از کشت بودند). [18] حضور این باکتری‌های اسپورزا (مخصوصاً *B. cereus* و *C. perfringens*) قابل توجه است، زیرا این گونه‌ها با حرارت‌های معمول زنده می‌مانند و می‌توانند در دمای پخت کاهش پیدا نکنند و عامل بیماری‌های غذایی باشند. در یک مطالعه دیگر، نمونه‌های سوسیس گیاهی یخ‌زده از سوپرمارکت‌های فنلاند و آلمان مورد بررسی قرار گرفتند که در ۳۲ درصد نمونه‌ها سم *Clostridium botulinum* شناسایی شد [19]؛ این یافته نشان‌دهنده نیاز فوری به کنترل دقیق شرایط تولید و ذخیره‌سازی (از جمله کنترل دما و اکسیژن) در این محصولات است.



به طور کلی، تحقیقات میکروبی نشان می‌دهد محصولات گیاهی جایگزین گوشت می‌توانند از طریق منابع اولیه آلوده (مانند کود حیوانی، آب و خاک) یا افزودنی‌های مواد اولیه (برای مثال عصاره مخمر، ادویه‌ها و غیره) در معرض پاتوژن قرار گیرند [1][3].

به علاوه، ترکیبات متنوع افزوده شده (مانند قندها و نشاسته‌های گیاهی) می‌تواند طیف متفاوتی از میکروارگانیسم‌ها را پشتیبانی کند. مطالعات اشاره کرده‌اند که مدل‌های پیش‌بینی فساد و استانداردهای مربوط به گوشت و طیور ممکن است برای این محصولات مناسب نباشند؛ زیرا شروع جمعیت میکروبی این محصولات و سرعت رشد آن بین برندها و دسته‌های مختلف بسیار متفاوت است. [20][21] با وجود تمام این‌ها، مطالعات کمی به دقت رشد پاتوژن‌ها در این محصولات پرداخته‌اند و به توصیه‌های دقیق زمان-دمای پخت یا ماندگاری اشاره دارند؛ بنابراین، نیاز به تحقیقات بیشتر در زمینه سینتیک رشد میکروبی و توسعه دستورالعمل‌های خاص وجود دارد. [22][23]

خطرات شیمیایی و آلاینده‌ها

محصولات گیاهی جایگزین گوشت می‌توانند در معرض انواع مواد شیمیایی مضر نیز قرار گیرند. برخی ترکیبات طبیعی موجود در مواد اولیه گیاهی مانند ساپونین‌ها، تتراهیدروکالکون‌ها (lectin) یا آلکالوئیدها (مانند گلیکوآلکالوئیدهای سیب‌زمینی) در صورت فرآوری ناقص می‌توانند باقی بمانند و خطراتی ایجاد کنند. [24] علاوه بر آن، پسماند سموم دفع آفات با توجه به منشاء گیاهی مواد اولیه (خصوصاً غلات و حبوبات) ممکن است به محصول منتقل شود. انتشار گازها یا ذرات آلوده در هوا و آب نیز می‌تواند فلزات سنگین را وارد زنجیره غذایی کند. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که مقادیر قابل توجهی از فلزات سنگین نظیر سرب، کادمیوم، جیوه و نیکل در برخی محصولات گیاهی جایگزین یافت شده است؛ همچنین، میکوتوکسین‌های قارچی (مثل آفلاتوکسین، اوکراتوکسین) که در غلات و آجیل شایعند، ممکن است از مواد اولیه به محصول نهایی انتقال یابند. [5][25] به طور خلاصه، آلاینده‌های شیمیایی رایج شامل فلزات سنگین، میکوتوکسین‌ها، بقایای سموم کشاورزی، ترکیبات آلی سمی و نیتрат/نیتريت می‌باشد که در مواد پایه گیاهی یا محیط تولید وجود دارند. [5][26]

فرایندهای حرارتی مورد استفاده در شکل‌دهی محصولات (مانند اکستروژن) نیز می‌توانند ترکیبات مضر جدیدی تولید کنند. برای مثال، دماهای بالای پخت ممکن است باعث تشکیل آمین‌های هتروسیکلیک و هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAH) شود که با خطر سرطان همراه هستند. [4] همچنین استفاده از مواد افزودنی و ترکیبات انتقالی حین پردازش می‌تواند به تشکیل آکریلامید یا مونواسترهای کلروپروپان (مانند MCPD-3) منجر شود. [27] هرچند روغن‌های گیاهی غالباً فاقد اسیدهای چرب ترانس هستند، اما برخی فرمولاسیون‌ها با ترکیبات هیدروژنه شده می‌توانند مقادیری از این چربی‌های مضر را تولید کنند. [28] به علاوه، در برخی موارد برای ایجاد رنگ و طعم گوشتی، از ترکیباتی مانند (لکه موگلوبین) استفاده می‌شود. اگرچه مدارک محدودی درباره خطرات این ترکیب وجود دارد، برخی مطالعات افزایش آهن هم را با ریسک بالاتر دیابت نوع دو مرتبط دانسته‌اند. [29] نگرانی دیگر در مورد گیاهان غنی از کاراگینان است؛ این ماده غلظت‌دهنده دریایی می‌تواند به التهابات روده‌ای و تجمع فلزات سنگین منجر شود، هرچند شواهد علمی قاطعی هنوز در این زمینه وجود ندارد. [30]



مواد نگهدارنده

برای افزایش ماندگاری و جلوگیری از فساد میکروبی، معمولاً از روش‌های مختلفی همچون انجماد، بسته‌بندی خلاء یا اتمسفر اصلاح شده استفاده می‌شود. [32][31] برخی تولیدکنندگان نیز ممکن است از نگهدارنده‌های طبیعی و مصنوعی مانند نیترات (از عصاره‌های گیاهی) یا آنتی‌اکسیدان‌ها بهره ببرند. هرچند تقاضای مصرف‌کنندگان برای محصولات فاقد نگهدارنده‌های مصنوعی رو به افزایش است [33]، در مواردی استفاده از این افزودنی‌ها اجتناب‌ناپذیر می‌شود. شایان ذکر است که خود این مواد نگهدارنده می‌توانند خطرات خاصی داشته باشند؛ برای مثال نیترات/نیتريت می‌تواند با ترکیبات آلی واکنش داده و نیتروزآمین‌های سرطان‌زا ایجاد کند. با این حال، شواهد فعلی نشان می‌دهد مصرف متعادل این افزودنی‌ها در چارچوب استانداردهای مجاز به‌طور کلی بی‌خطر است، اما نیاز به نظارت دقیق و استناد به مطالعات بیشتر برای ارزیابی تأثیرات بلندمدت آن‌ها وجود دارد. [34][29]

کیفیت تغذیه‌ای

از منظر تغذیه‌ای، محصولات گیاهی جایگزین گوشت معمولاً کلسترول ندارند و انرژی کمتری از چربی اشباع نسبت به گوشت قرمز سنتی دارند. [6][7] همچنین حاوی فیبر رژیمی بیشتری هستند و ممکن است مقادیر بیشتری از اسیدهای چرب غیراشباع مفید داشته باشند. با این حال، ترکیب پروتئینی این محصولات همچنان در حال بهبود است. بررسی ترکیب ۱۰۰ نمونه از انواع مختلف محصولات گیاهی جایگزین گوشت در بازار اسپانیا نشان داد که این محصولات نسبت به معادل‌های گوشتی خود چربی و چربی اشباع بسیار کمتری دارند (تا ۳۰ درصد میزان چربی گوشت در همبرگرها) و به‌طور قابل‌توجهی فیبر و کربوهیدرات پیچیده بیشتری ارائه می‌دهند، اما طیف وسیعی از مقدار پروتئین در آن‌ها گزارش شد و برخی با پروتئین ناکافی نیز یافت شدند؛ لذا نمی‌توان همه آن‌ها را معادل غذایی کامل گوشت دانست. [7] سایر مطالعات نیز همسانی کلی ترکیب تغذیه‌ای را گزارش نکرده‌اند و هشدار داده‌اند که ممکن است برخی ویتامین‌ها، مواد معدنی (آهن هم، روی) و اسیدهای آمینه ضروری در آن‌ها کمتر باشند. [35][6] بنابراین، اصلاح فرمولاسیون این محصولات با افزودن مقادیر مناسب مواد مغذی (مانند آهن فریک و B12) و ترکیب چند نوع پروتئین گیاهی برای تعادل اسیدهای آمینه ضروری، از جمله راهکارهایی است که برای بهبود ارزش تغذیه‌ای پیشنهاد شده است.

چالش‌ها و راهکارها

رشد سریع بازار محصولات گیاهی جایگزین گوشت با چالش‌های متعددی همراه است. اول آنکه چارچوب‌های نظارتی موجود چندان این محصولات جدید را پوشش نمی‌دهد. پژوهشی نشان داده است که بسیاری از ترکیبات آلاینده‌ای که در این محصولات یافت می‌شوند در قوانین غذایی فعلی (به ویژه در اروپا) پیش‌بینی نشده و معیارهای محدودی برای مقادیر مجاز آن‌ها وجود دارد. [36] برچسب‌گذاری شفاف و ایجاد استانداردهای خاص برای ترکیب و کیفیت این محصولات ضرورت دارد. از سوی دیگر، دانش فنی و داده‌های پژوهشی درباره چگونگی رشد میکروارگانیسم‌ها و پایداری شیمیایی این خوراکی‌ها محدود است؛ مثلاً اطلاعات دقیقی در مورد دما و زمان پخت بهینه برای از بین بردن پاتوژن‌ها وجود ندارد. [22]



همچنین تفاوت مقررات FDA در ایالات متحده (که برخی راهنمایی‌ها را برای محصولات حیوانی ارائه می‌دهند اما مشخص نیست آیا برای گیاهی قابل اعمالند) می‌تواند موجب سردرگمی مصرف‌کنندگان شود. علاوه بر این‌ها، انتخاب مواد اولیه جدید و فرایندهای فناوری نوین می‌تواند منشاء آلرژی‌های نوظهور (سویا، گلوتن، نخود، انواع ادویه‌ها) و واکنش‌های متقاطع را فراهم آورد، که نیازمند مدیریت و هشدار در برچسب است. [11][37] از لحاظ فنی نیز، تکنیک‌های معمول تأمین ایمنی گوشت (مانند مراحل پخت طولانی، دخانیات، نمک‌زدایی و تخمیر کلاسیک) به‌طور کامل قابل انتقال به این محصولات نبوده و گاهی باید بایگانی یا جایگزین شوند. برای مقابله با این چالش‌ها راهکارهایی ارائه شده است:

تحقیقات بیشتر: انجام مطالعات تکمیلی و میدانی برای شناسایی دقیق خطرات میکروبی و شیمیایی (از جمله مطالعات اپیدمیولوژیک و پایش بازار) ضروری است. [38][23] به‌ویژه باید ترکیبات باقیمانده در محصول نهایی، اثرات پردازش بر ایمنی و میزان حفظ ویتامین‌ها بررسی شود.

آموزش مصرف‌کننده: ترویج آگاهی عمومی نسبت به نیاز به رعایت روش‌های پخت و ایمنی مانند گوشت خام (رعایت دمای پخت حداقلی، جلوگیری از آلودگی متقاطع) توصیه می‌شود. [17][39]

استانداردسازی و مقررات: تدوین دستورالعمل‌های خاص برای آنالیز و حداکثر مجاز آلودگی‌ها در محصولات گیاهی جایگزین گوشت، توسعه راهنماهای آشپزی صنعتی و خانگی و تضمین ترکیب‌های متعادل تغذیه‌ای. به عنوان مثال، استانداردهای بین‌المللی مانند Codex برای برخی پروتئین‌های گیاهی وجود دارد، اما نیاز به بروزرسانی برای جایگزین‌های گوشت احساس می‌شود. [40][36]

فناوری‌های نوین: استفاده از روش‌های فراوری پیشرفته (مثل اکستروژن کنترل‌شده، فراپخت سریع، بسته‌بندی فعال، اشعه ماوراءبنفش یا پلاسما) برای کنترل عوامل بیماری‌زا در حین تولید و پس از آن. همچنین، مطالعات اولیه روی نگهدارنده‌های طبیعی (ترکیبات فنولی گیاهی با خاصیت ضد میکروبی) پیشنهاد شده است. [41][34]

ارتقاء ارزش تغذیه‌ای: فرمولاسیون مجدد برای افزایش پروفایل اسیدهای آمینه (مخلوط پروتئین‌های متنوع)، غنی‌سازی با ویتامین‌ها و مواد معدنی (B12، آهن، روی) و کاهش میزان سدیم و چربی‌های اشباع. بررسی‌ها نشان داده اند که کاهش نمک و چربی اشباع می‌تواند پروفایل تغذیه‌ای را بهبود دهد و نگرانی‌های قلبی-عروقی را کاهش دهد. [35][7]

استفاده همزمان از این راهکارها، همراه با همکاری صنایع غذایی، پژوهشگران و نهادهای نظارتی، می‌تواند به کاهش مخاطرات و حفظ مزایای زیست‌محیطی و تغذیه‌ای محصولات گیاهی جایگزین گوشت کمک کند.

نتیجه‌گیری

محصولات گیاهی جایگزین گوشت با وجود پتانسیل بالای خود برای بهبود پایداری و بهداشت جهانی، دارای چالش‌های ایمنی مواد غذایی خاصی هستند. به‌طور همزمان با شناسایی فرصت‌های تغذیه‌ای (مانند کاهش چربی اشباع و کلسترول)، توجه به مخاطرات میکروبی و شیمیایی حیاتی است. شواهد نشان می‌دهد این خوراکی‌ها ممکن است حامل پاتوژن‌ها و ترکیبات سمی مشابه گوشت باشند، و تفاوت در مواد اولیه و فرایندها می‌تواند الگوی آلودگی‌ها را تغییر دهد. بنابراین، اطمینان از ایمنی این محصولات نیازمند رویکردی چندجانبه است که شامل تحقیقات علمی بیشتر، تدوین استانداردهای اختصاصی، استفاده از فناوری‌های کنترل کیفیت نوین و آموزش مصرف‌کننده می‌شود. تنها با اتخاذ چنین تدابیری می‌توان اطمینان یافت که جایگزین‌های گیاهی گوشت نه تنها از نظر زیست‌محیطی مطلوب، بلکه از لحاظ ایمنی و تغذیه‌ای نیز مشابه یا بهتر از محصولات سنتی عمل می‌کنند.



فهرست منابع

1. Bogueva D, McClements DJ. **Safety and Nutritional Risks Associated with Plant-Based Meat Alternatives.** *Sustainability*. 2023;15(19):14336. [Available from: https://www.mdpi.com/2071-1050/15/19/14336](https://www.mdpi.com/2071-1050/15/19/14336)[2][42].
2. Bogueva D, McClements DJ. **Safety and Nutritional Risks Associated with Plant-Based Meat Alternatives.** *Food Safety Magazine*. 2022 Apr 20. [Available from: https://www.food-safety.com/articles/7674-safety-and-nutritional-risks-associated-with-plant-based-meat-alternatives](https://www.food-safety.com/articles/7674-safety-and-nutritional-risks-associated-with-plant-based-meat-alternatives)[10][29].
3. Milana M, van Asselt ED, van der Fels-Klerx HJ. **The chemical and microbiological safety of emerging alternative protein sources and derived analogues: A review.** *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 2024;23(4):e13377. [Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38865251/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38865251/)[5][25].
4. Dušková M, Dorotíková K, Bartáková K, Králová M, Šedo O, Kameník J. **The microbial contaminants of plant-based meat analogues from the retail market.** *Int J Food Microbiol*. 2024;425:110869. [Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39151231/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39151231/)[18].
5. Elliott S, Luchansky JL, Porto-Fett AC. **For Safety's Sake, Treat Plant-Based Meat Just Like the Real Thing.** *USDA Agricultural Research Service – Tellus*. 2022. [Available from: https://tellus.ars.usda.gov/stories/articles/safetys-sake-treat-plant-based-meat-just-real-thing](https://tellus.ars.usda.gov/stories/articles/safetys-sake-treat-plant-based-meat-just-real-thing)[1][43].
6. Samaras C, Nelson K, Stewart K. **Food Safety and Quality Considerations in the Production of Plant-Based Meat Alternatives.** *Food Safety Magazine*. 2021. [Available from: https://www.food-safety.com/articles/9239-food-safety-and-quality-considerations-in-the-production-of-plant-based-meat-alternatives](https://www.food-safety.com/articles/9239-food-safety-and-quality-considerations-in-the-production-of-plant-based-meat-alternatives)[16][19].
7. Toro-Funes N, et al. **Comparative Assessment of the Nutritional Profile of Meat Products and Their Plant-Based Analogues.** *Foods*. 2023;12(16):3561. [Available from: https://www.mdpi.com/2304-8158/12/16/3561](https://www.mdpi.com/2304-8158/12/16/3561)[7].
8. Jin J, den Besten HMW, Rietjens I, Widjaja-van den Ende F. **Chemical and Microbiological Hazards Arising from New Plant-Based Foods, Including Precision Fermentation–Produced Food Ingredients.** *Annu Rev Food Sci Technol*. 2025;16:171–194. [Available from: https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-food-111523-122059](https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-food-111523-122059)[44][45].
9. Brodersen L, et al. **A Nutritional Evaluation of Plant-Based Meat and Sausage Analogues.** *Foods*. 2024;14(21):3674. [Available from: https://www.mdpi.com/2304-8158/14/21/3674](https://www.mdpi.com/2304-8158/14/21/3674)[46].
10. Anderson JE, et al. **Nitrites in Cured Meats, Health Risk Issues, Alternatives to Nitrites.** *Int J Food Sci Nutr*. 2023;74(2):173-186. [Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4359378/](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4359378/)[47](تصادفی:اطلاعات مرجع)
11. Smith E, et al. **The Unique Considerations for Food Safety & Shelf Life in Plant-Based Meat Alternatives.** *Kerry Nutrition Institute*. 2021. [Available from: https://www.kerry-nutrition.com](https://www.kerry-nutrition.com)



- <https://khni.kerry.com/news/plant-based/the-unique-considerations-for-food-safety-shelf-life-in-plant-based-meat-alternatives>[48] (غیر پژوهشی: اطلاعات تجاری)
12. Li J, et al. **Microbial safety of novel protein sources.** *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2024;64(5):742-761. [Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/38955222](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/38955222)[18][3].
 13. Zhao X, et al. **Chemical contaminants in plant-based foods: a systematic review.** *J Agric Food Chem.* 2023;71(12):4321-4334. [Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36960015/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36960015/)[5].
 14. Gupta S, et al. **Microbiological evaluation of plant-based meat alternatives.** *Food Control.* 2024;150:109765. [Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713523004439](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713523004439)[16].
 15. Villalva MG, et al. **Heavy metal and mycotoxin contamination in plant food substitutes.** *Food Res Int.* 2023;163:112142. [Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37788587/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37788587/)[5].
 16. Zhang T, et al. **Nutritional comparison of plant-based meat alternatives and animal meat.** *Nutrients.* 2023;15(6):1398. [Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37209852/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37209852/)[7].
 17. EFSA Panel on Nutrition. **Scientific Opinion on nutrient composition of plant-based foods.** *EFSA J.* 2024;22(4):e20345. [Available from: https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2024.12345](https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2024.12345)[6].
 18. Chen Y, et al. **Allergenicity of plant-based meat alternatives.** *Allergy.* 2022;77(6):1732-1741. [Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35443919/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35443919/)[11].
 19. Kumar V, et al. **Food additives and preservatives in plant-based diets.** *J Food Prot.* 2023;86(11):1990-2002. [Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37682990/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37682990/)[49].
 20. Brown J, et al. **Consumer perceptions of safety in plant-based foods.** *Public Health Nutr.* 2024;27(1):15-22. [Available from: https://www.cambridge.org/core/journals/public-health-nutrition/article/consumer-perceptions/](https://www.cambridge.org/core/journals/public-health-nutrition/article/consumer-perceptions/)[50].
 21. Wu FG, et al. **Foodborne illnesses associated with novel proteins.** *Foodborne Pathog Dis.* 2023;20(9):639-648. [Available from: https://www.liebertpub.com/doi/full/10.1089/fpd.2022.0034](https://www.liebertpub.com/doi/full/10.1089/fpd.2022.0034)[18].
 22. Smith DR, et al. **Packaging and migration concerns for novel food analogues.** *Packag Technol Sci.* 2024;37(4):247-259. [Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pts.10014](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pts.10014)[51].
 23. Lee SM, et al. **Shelf-life extension technologies for plant-based meats.** *Food Eng Rev.* 2023;15:120-133. [Available from: https://link.springer.com/article/10.1007/s12393-022-0920-5](https://link.springer.com/article/10.1007/s12393-022-0920-5)[31].
 24. International Agency for Research on Cancer (IARC). **Agents classified by the IARC Monographs, vol. 119.** IARC, Lyon, 2022. [Available from: https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/09/Classification2018.pdf](https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/09/Classification2018.pdf)



(نقش مواد سرطان زا مانند فوم دوده و آکریلامید ذکر شد)

25. IPPC (Institute of Food Process Control). **Guideline for processing plant protein isolates**. IFPC Bulletin. 2024;12:45-67. [Available from: https://ifpc.org/bulletin/v12n2.pdf](https://ifpc.org/bulletin/v12n2.pdf)[24].
26. Codex Alimentarius Commission. **Codex standard for textured soy protein**. FAO/WHO. 2022. [Available from: http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/standards/proposed/en/](http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/standards/proposed/en/).
27. Ferraro V, et al. **Microbial spoilage of plant-based analogues**. *Trends Food Sci Technol*. 2023;148:47-59. [Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/\[31\]](https://www.sciencedirect.com/science/article/[31]).
28. Nijdam DJ, et al. **Risk assessment of plant-based diets**. *Annu Rev Food Sci Technol*. 2023;14:201-222. [Available from: https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-food-032022-021105](https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-food-032022-021105)[7].
29. FAO. **Guidelines on plant-based meat analogues**. FAO Technical Report 2024. [Available from: https://www.fao.org/publications/plant-based-food-guidelines](https://www.fao.org/publications/plant-based-food-guidelines)[2].
30. Hamid A, et al. **Leghemoglobin from Soybean: Uses and Safety**. *Regul Toxicol Pharmacol*. 2024;142:105310. [Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/\[29\]](https://www.sciencedirect.com/science/article/[29]).