

روش های مختلف استخراج لیکوپن از ضایعات صنعتی رب گوجه فرنگی

مروارید بیگی

دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

نفیسه زمیندار

دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

چکیده :

گوجه فرنگی، (*Solanum lycopersicum L.*)، دومین سبزی مهم جهان است که به دلیل محتوای کم کالری و وجود ترکیبات زیست فعال بسیار مورد توجه است. از جمله مهمترین ترکیبات ارزشمند آن کاروتنوئیدها و خصوصاً لیکوپن بوده که مسئول رنگ قرمز آن و با خصوصیات سلامتی بخشی بسیاری است. سالانه حدود ۳۰ درصد از محصولات گوجه فرنگی حین فرآوری و یا برداشت از بین می روند و با توجه به سودمندی تغذیه ای آن، بازیابی ترکیبات ارزشمندی مثل لیکوپن از این ضایعات که شامل پوست، پالپ یا دانه هستند، استراتژی تولید مواد غذایی با ارزش افزوده بالا را ارائه می دهد. فن آوری های متعددی برای بهبود راندمان و کیفیت بازیابی ترکیبات زیست فعال در مواد گیاهی معرفی شدند که از آن جمله استفاده از حلال ها، آنزیم ها و یا تکنولوژی های مدرن مانند فشار بالا، و سیالات فوق بحرانی یا بهره گیری از روشهای نوین مثل فراصوت، میکروویو، میدان الکتریکی پالسی و گرمایش اهمی بیشتر از سایر روش ها مورد توجه هستند. هدف این روش ها تجزیه و تحلیل و ارزیابی مجدد ضایعات و فرآورده های فرعی گوجه فرنگی با تمرکز بر محتوای لیکوپن و چالش های فن آوری موجود و کاربردهای بالقوه در صنایع غذایی می باشد. با این حال، چالش های مربوط به کیفیت، دسترسی اقتصادی، تکرارپذیری صنعتی و ایمنی محیطی همچنان وجود دارد.

کلمات کلیدی : گوجه فرنگی، لیکوپن، استخراج، بازده، ضایعات

مقدمه :

گوجه فرنگی ، ویژگی ها و سودمندی اقتصادی آن :

گوجه فرنگی، (*Solanum lycopersicum L.*)، دومین سبزی مهم ، پرمصرف و محبوب جهان اما با خواستگاه مدیترانه ای است که به دلیل محتوای کم کالری و ترکیبات زیست فعال و منبع غنی از آنتی اکسیدان ها و مولکول های زیستی ارزشمندی مانند آلفا کاروتن، بتاکاروتن، لیکوپن ، لوتئین ، فیبرهای محلول و نامحلول مانند سلولز، همی سلولز و پکتین در صنایع مختلف کاربرد دارد ((Catalkaya and Kahveci, 2019) و (Ali et al, 2020) و (Méndez-Carmona et al, 2022) و (Imran et al, 2020)). گوجه فرنگی منبع خوبی از ۲۳ نوع مواد معدنی است که مقادیر وجزئیات آن در مقاله ی علی و همکاران در سال ۲۰۲۰ آمده است .

گوجه فرنگی هم چنین دارای مواد مغذی بالا و فیتوکمیکال های غنی از آنتی اکسیدان و حاوی اسیدهای آمینه ضروری، اسیدهای چرب تک غیراشباع، اسید اسکوربیک، توکوفرول ، فیتواسترول ها و حاوی ترکیبات فنلی مانند کورستین، کامفرول، نارینژنین، کافئیک اسید و لوتئین است که دارای فعالیت آنتی اکسیدانی هستند (Méndez-Carmona et al, 2022) . ترکیبات آنتی اکسیدانی مانند کاروتنوئیدها، ویتامین C، ویتامین E و فنولیک آن ، گونه های فعال اکسیژن را خنثی می کند و از غشای سلولی در برابر پراکسیداسیون لیپیدی محافظت می کند (Claye et al, 1996).

اسیدهای چرب ضروری مانند لینولئیک و اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه در گوجه فرنگی برای حفظ یکپارچگی غشای پلاسما، رشد سلولی و پیشگیری از بیماری ها ضروری هستند (Freitas et al, 2018) .

اسیدهای آمینه ضروری برای عملکردهای بدن مانند حفظ ساختار سلولی، انتقال مواد مغذی، بهبود زخم و ترمیم بافت مورد نیاز هستند .گوجه فرنگی حاوی ۱۷ اسید آمینه است که اسیدهای آمینه ضروری ۳۹.۷۵ درصد از کل پروتئین را تشکیل می دهند .لوسین بالاترین مقدار را در دسته اسیدهای آمینه ضروری دارد، در حالی که سیستئین کمترین میزان را دارد. کاروتنوئیدها از جمله لیکوپن و بتاکاروتنوئیدهای گوجه فرنگی از گیاهان در برابر فرآیندهای استرس اکسیداتیو نوری محافظت می کند و آنتی اکسیدان است .آنها بینایی را بهبود می بخشند، از بیماری های قلبی عروقی جلوگیری می کنند، از سلامت اسپرم محافظت می کنند و از سرطان جلوگیری می کنند .لیکوپن، هم چنین نوعی کاروتنوئید، برای پیشگیری از سرطان کبد، ریه، پروستات، سینه و روده بزرگ مفید است ((Navarro-González et al, 2018) و (Ali et al, 2020)).

استرول ها که در گیاهان، حیوانات و میکروارگانیسم ها یافت می شوند برای سلامت انسان ضروری هستند .استرول های گیاهی یا فیتواسترول ها، از جذب کلسترول جلوگیری می کنند، LDL-C را کاهش می دهند و از CVD جلوگیری می کنند .آنها همچنین اثرات ضد سرطانی دارند، به عنوان آنتی اکسیدان عمل می کنند، سیستم ایمنی را تحریک می کنند و خواص ضد التهابی دارند .گوجه فرنگی منبع غنی از فیتواسترول ها است که بتا سیتواسترول و استیگماسترول اصلی ترین آنها هستند ((Ali et al, 2020) و (Ostlund Jr et al, 2003)).

آنتی اکسیدان های بتاکاروتن، اسید اسکوربیک و فلاونوئیدها موجود در گوجه فرنگی، اکسیداسیون رادیکال های آزاد را به تاخیر می اندازند و یا از آن جلوگیری می کنند و به پیشگیری از بیماری های دژنراتیو مختلف انسان ناشی از واکنش های متابولیکی معمول ، رژیم غذایی و فعالیت های سبک زندگی مانند بیماری های قلبی عروقی، دیابت، سرطان، بیماری های عصبی و پیری کمک می کنند (Vallverdu-Queralt et al, 2011).

محتوا و میزان ارزش تغذیه ای گوجه فرنگی بر اساس رقم، روش های استخراج و شرایط محیطی متفاوت است . گوجه فرنگی به شکل کنسرو، گوجه فرنگی خشک شده ، رب و غذاهای فرآوری شده مبتنی بر گوجه طبقه بندی می شود . رسیدن گوجه فرنگی با کیفیت میوه مرتبط است، با محتوای آب از ۹۳ تا ۹۵ درصد و محتوای جامد بین ۵.۵ تا ۹.۵ درصد. آنها به چهار نوع تجاری طبقه بندی می شوند: گرد، شکل بی قاعده ، کشیده ، گیلای (Méndez-Carmona et al, 2022).

تولید گوجه فرنگی در سطح جهان ۱۷۰ میلیون تن است که ۱۲۷.۵ میلیون تن برای مصرف تازه و ۴۲.۵ میلیون برای فرآوری صنعتی است (Coelho et al, 2019).

سالانه حدود ۱۸۰ میلیون تن گوجه فرنگی تولید می شود که ۷۰-۸۰ درصد آن به محصولاتمانند گوجه فرنگی پوست کنده، رب، آب میوه، سس و کچاپ تبدیل می شود. انواع فرآوری های صنعتی گوجه فرنگی از فرآیند پوست گیری با بخار آب تا تولید رب گوجه، محصولات جانبی زیادی تولید می کند. حدود ۲۰-۳۰ درصد از تولید گوجه فرنگی تازه یا از بین می رود یا هدر می رود که به طور غیرمستقیم زیان های اقتصادی و منابع طبیعی را منجر می شود هم چنین حدود ضایعات فرآوری ۲ تا ۵ درصد از کل گوجه فرنگی فرآوری شده را تشکیل می دهد. محتوای محصولات جانبی به محصول نهایی و روش فرآیند بستگی دارد، به طوری که کنسرو گوجه فقط پوسته تولید می کند، در حالی که محصولات دیگر ممکن است، مخلوطی از پوست، دانه ها و پالپ را تولید کنند. فرآورده های فرعی فرآوری گوجه فرنگی با ارزش افزوده کم مثل خوراک دام، کمپوست یا دفع بصورت زباله، مشکلات زیست محیطی مهمی را ایجاد می کنند. محصولات جانبی هم چنین این مخلوط میتواند در صنایع گوشت استفاده شود. با این حال، تحقیقات نشان می دهد که این محصولات فرعی همانگونه که گفته شد حاوی ترکیبات کاروتنوئیدی طبیعی با فعالیت آنتی اکسیدانی بالا هستند که می توانند در مقابل روش های فرآوری صنعتی مقاومت کنند و مزایای اقتصادی و زیست محیطی قابل توجهی به همراه داشته باشند (Kelebek et al, 2017) و (Paulino et al, 2020) و (Pataro et al, 2020).

این ضایعات دارای پتانسیل استفاده مجدد برای بازیابی ترکیباتی مانند لیکوپن، فیبر غذایی، پکتین، پروتئین ها و روغن هستند. استراتژی های مدیریت و استفاده از این ترکیبات با ارزش افزوده بالا و طبیعی و ارزان به عنوان افزودنی ها، آنتی اکسیدان های طبیعی و روغن های خوراکی در صنعت غذا بسیار حائز اهمیت است ((Catalkaya and Kahveci, 2019) و (Grassino et al, 2020) و (Coelho et al, 2019) و (Méndez-Carmona et al, 2022)). فن آوری های متعددی برای بهبود راندمان و کیفیت بازیابی ترکیبات زیست فعال در مواد گیاهی پیشنهاد شده است. این بررسی عملکرد روش های استخراج و بازیابی لیکوپن از ضایعات گوجه فرنگی، از جمله استفاده از حلال ها یا آنزیم ها و یا تکنولوژی های مدرن مانند فشار بالا، و سیالات فوق بحرانی یا بهره گیری از روشهای نوین مثل فراصوت، مایکروویو، میدان الکتریکی پالسی و گرمایش اهمی را ارائه می دهد.

هدف این روش ها تجزیه و تحلیل و ارزیابی مجدد ضایعات و فرآورده های فرعی گوجه فرنگی با تمرکز بر محتوای لیکوپن و چالش های فن آوری موجود و کاربردهای بالقوه در صنایع غذایی می باشد. با این حال، چالش های مربوط به کیفیت، دسترسی اقتصادی، تکرارپذیری صنعتی و ایمنی محیطی همچنان وجود دارد (Méndez-Carmona et al, 2022).

کاروتنوئیدها:

کاروتنوئیدها، رنگدانه های تتراترپن طبیعی، رنگدانه های چربی دوست هستند که مسئول رنگ های زرد، نارنجی، قرمز و بنفش هستند. آنها به کاروتن ها (مولکول های غیر اکسیژن دار مانند لیکوپن) و گزانتوفیل ها (مولکول های حاوی اکسیژن) طبقه بندی می شوند. مورفولوژی، میکرو و نانو ساختار کاروتنوئیدها با استفاده از میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ رامان کانفوکال مورد مطالعه قرار می گیرد. کاروتنوئیدهای مبتنی بر لیکوپن دارای ویژگی های ریزساختاری منحصر به فردی هستند که آنها را در کاربردهای غذایی و دارویی مفید می کند. مطالعات خصوصیات کریستالی لیکوپن و آگلومرهای مورفولوژی شبه کریولی را به شکل نانومتری نشان می دهند. فرآوری گوجه فرنگی می تواند آسیب ساختاری قابل توجهی به ذرات وارد کند و سبزیجات خشک شده دارای ساختارهای غشایی و کریستالی پیچیده ای هستند که با کاروتنوئیدها مرتبط است. قابلیت جذب کاروتنوئیدها در بدن تحت تأثیر عواملی مانند ترکیبات و پیوندها در ماده غذایی، نوع پردازش، ناپایداری و حل شدن کم آنها در مایعات گوارشی است. اکثر کاروتنوئیدها در پوسته گوجه فرنگی یافت می شوند که در طول بلوغ میوه در کلروپلاست ها و کروموپلاست ها تجمع می یابند. کاروتنوئیدها به دماهای بالا، نور و اکسیژن حساس هستند و باعث تغییر در ساختار شیمیایی

و ناپایداری آنها می شوند. شناسایی و تعیین کمیت کاروتنوئیدها نیازمند روش های تخصصی است (Méndez-Carmona et al, 2022) و (Amorim-Carrilho et al, 2014) و ((Campestrini et al, 2019)).

کاروتنوئیدها اکسیژن یگانه و پراکسیل رادیکال ها را غیر فعال می کنند. از روش DPPH برای اندازه گیری فعالیت آنتی اکسیدانی استفاده می شود. محلول DPPH با مخلوط کردن متانول با معرف DPPH تهیه و سپس عصاره ها با محلول مخلوط و آنکوبه می شوند و جذب اندازه گیری خواهد شد. فعالیت آنتی اکسیدانی به صورت درصد تغییر جذب نسبت به شاهد مهار TBARS و FRAP بیان می شود ((Sharma and Bhat, 2009) و (Stahl and Sies, 2003)).

لیکوپن، کاروتنوئید غالب و آنتی اکسیدان قوی و مسئول رنگ قرمز در گوجه فرنگی است که بیش از ۸۵ درصد از کل کاروتنوئیدهای آن را تشکیل می دهد. پوست گوجه فرنگی که حاوی حدود پنج برابر لیکوپن بیشتر از کل تفاله گوجه فرنگی است، می تواند منبع مفیدی از لیکوپن باشد ((Catalkaya and Kahveci, 2019) و (Pandya et al, 2017)).

لیکوپن :

لیکوپن، در میوه ها و سبزیجات مانند گوجه فرنگی، هویج، هندوانه و پاپایا یافت می شود، کاربردهای زیادی در صنایع غذایی، دارویی و سلامت بخشی به انسان دارد (Kunthakudee et al, 2020).

میوه های قرمز دارای لیکوپن بالاتری هستند. عوامل محیطی مانند شدت نور خورشید، دما، کشت گلخانه ای، رطوبت و زمان رسیدن میوه بر غلظت لیکوپن تأثیر می گذارد.

لیکوپن، مشتق شده از ایزوپرن، دارای ساختار تتراترپن متشکل از اتم های کربن و هیدروژن، یک زنجیره کربن مرکزی با ۱۱ پیوند دوگانه است و معمولاً به عنوان Ψ - Ψ کاروتن شناخته می شود. لیکوپن یکی از ۶۰۰ ترکیب کاروتنوئیدی در گروه آنتی اکسیدان ها است و مصرف بین ۱.۸۵ میلی گرم در روز تا ۹.۸۱ میلی گرم در روز، به دلیل خواص آنتی اکسیدانی و کاهش گونه های فعال اکسیژن و التهاب، خطر ابتلا به بیماری های قلبی عروقی را کاهش می دهد. لیکوپن به تبدیل لیپوپروتئین های با چگالی کم (LDL) به LDL اکسید شده (OxLDL) کمک می کند که توسط ماکروفاژها حذف می شود. لیکوپن می تواند فعالیت میلوپراکسیداز (MPO) را در دیواره عروقی که پراکسید هیدروژن و سوپراکسید تولید می کند، کاهش دهد. لیکوپن همچنین در مقایسه با سایر کاروتنوئیدها، کاهش دهنده اکسیژن یگانه بهتری است. فیتوئن (PT) و فیتوفلوئن (PTF) کاروتنوئیدهای بی رنگ با ۹ تا ۱۰ پیوند دوگانه گوجه فرنگی هستند که از نظر انحلال، پایداری، جذب، متابولیسم و انتقال متفاوت هستند (Hatami and Ciftci, 2023).

مطالعات نشان می دهد که ۸۳ درصد از سرطان پروستات را می توان در بیماران با سطوح لیکوپن بالاتر بهبود بخشید. لیکوپن و ویتامین E نیز اثرات محافظتی بر رشد تومور پروستات دارند. آزمایشات بالینی بیشتری برای ارزیابی اثرات طولانی مدت مورد نیاز است (Amorim-Carrilho et al, 2014).

تکنیک های مختلف استخراج لیکوپن :

استخراج با حلال ها و روغن ها :

استخراج لیکوپن از گوجه فرنگی به دلیل مقرون به صرفه بودن، بهره وری و راحتی آن، روشی امیدوارکننده است. استخراج با حلال کاربردهای متعددی در صنایع غذایی دارد، اما لیکوپن عمدتاً در کروموپلاست های پوست یافت می شود و استخراج آن را دشوار می کند. با این حال، به دلیل آبگریز بودن، ساختار کروموپلاست و دسترسی زیستی سخت آن، اغلب به دشواری از پوست گوجه فرنگی بازیابی می شود، در روش های استخراج با حلال مرسوم اغلب نیاز به پیش تیمارهای پیچیده و استفاده بیش از حد از حلال های آلی سمی دارند (Pataro et al, 2020).

می توان آن را با حلال های آلی مانند استون، پترولیوم اتر، هگزان، بنزن و کلروفرم، اتیل استات، استونیتریل و دی کلرومتان ، با افزودن متانول، اتانول یا استون به حلال آلی متداول استخراج کرد (Kunthakudee et al, 2020). جذب رزین ماکرو متخلخل نیز برای تصفیه لیکوپن و بتاکاروتن مفید است . کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) پرکاربردترین تکنیک برای خالص سازی کاروتنوئیدها است (Méndez-Carmona et al, 2022). سیستم های حلال به دلیل سادگی و هزینه کم، روش ارجح برای استخراج رنگدانه های کاروتنوئیدی از گوجه فرنگی هستند . شرایط بهینه شامل مخلوطی از حلال های قطبی و غیر قطبی است که حلالیت کاروتنوئیدهای غیرقطبی مانند لیکوپن و-β کاروتن را امکان پذیر می کند. با این حال، برخی از حلال های غیر قطبی و آلی به دلیل اثرات طولانی مدت و سمی از جمله سرطان خون، سرطان کلیه، سمیت عصبی و اختلالات سیستم قلبی عروقی استفاده از آن را برای استفاده در مواد غذایی نامناسب می سازند . روش های استخراج فعلی، مانند حلال ها ، می توانند باعث تخریب، سمیت و کاهش خواص بیولوژیکی شوند و مانع ارزش افزوده آنها شوند (Coelho et al, 2019) و (Méndez-Carmona et al, 2022). روغن نباتی یک حلال دوستدار محیط زیست است، زیرا خوراکی است، برای استفاده انسان بی خطر است و به عنوان یک مانع در برابر اکسیژن عمل می کند و زمان اکسیداسیون و سرعت تخریب را کاهش می دهد. جایگزین دیگر استخراج با روغن گیاهی است. مطالعات نشان داده است که روغن های گیاهی حلال های مناسبی برای استخراج ترکیبات غذایی هستند، مانند کاروتنوئیدهای حاصل از ضایعات انار و گوجه فرنگی پخته شده در روغن زیتون (Kunthakudee et al, 2020). هم چنین روغن نارگیل در استخراج لیکوپن از ضایعات رب گوجه فرنگی کارآمدتر است . تحقیقات بیشتر برای جایگزین های قابل تکرار و پایدار مورد نیاز است (Méndez-Carmona et al, 2022) و (Kunthakudee et al, 2020).

هم چنین مطالعه ای در سال ۲۰۲۰ بر استخراج لیکوپن از گوجه فرنگی با استفاده از حلال های دوستدار محیط زیست مانند روغن نارگیل، روغن زیتون، روغن سویا و روغن پالم به جای حلال هیدروکربنی متمرکز شدند (Kunthakudee et al, 2020).

استخراج به کمک آنزیم :

آنزیم هایی که ترکیبات پلی ساکارید را هیدرولیز می کنند می توانند به بازایی ترکیبات زیست فعال از جمله لیکوپن از گوجه فرنگی و محصولات آن کمک کنند (Catalkaya and Kahveci, 2019). استخراج به کمک آنزیم یک جایگزین پایدار برای روش های مرسوم است که از آنزیم های قارچ ها، باکتری ها، میوه ها، سبزیجات و اندام های حیوانی برای استخراج ترکیبات زیست فعال استفاده می کند . آنزیم های اصلی مورد استفاده سلولازها، همی سلولزها و پکتینازها هستند . مطالعات نشان داده اند که آنزیم ها می توانند به طور موثر لیکوپن را از ضایعات فرآوری گوجه فرنگی استخراج کنند و نتایج بهینه در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد، ۳.۱۸ ساعت و ۰.۱۶ کیلوگرم بر کیلوگرم عملکرد آنزیمی به دست آید . با این حال، هزینه های بالای استفاده از آنزیم ها چالش هایی را ایجاد می کند (Méndez-Carmona et al, 2022).

Kahveci & Catalkaya در سال ۲۰۱۹ ، مطالعه ای با هدف بهینه سازی بازایی لیکوپن از ضایعات گوجه فرنگی با استفاده از استخراج حلال به کمک آنزیم های سلولولیتیک و پکتینولیتیک و با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) انجام دادند و دریافتند قطبیت حلال به طور قابل توجهی بر بازایی استخراج لیکوپن تأثیر می گذارد . و استخراج به کمک این آنزیم ها به طور قابل توجهی غلظت لیکوپن را در اولتورزین نهایی افزایش می دهد. آنها همچنین شرایط بهینه غلظت حلال و آنزیم را برای استخراج لیکوپن ، با دماهای پایین تر، و زمان استخراج جهت حداکثر غلظت بازایی لیکوپن تعیین کردند (Catalkaya & Kahveci, 2019).

مطالعه ای توسط Azabou و همکاران در سال ۲۰۱۶ دریافتند که تولید آنزیم های Fusarium solani pisi از طریق تخمیر بستر جامد می تواند میزان لیکوپن بدست آمده از گوجه فرنگی های فرآوری شده را در مقایسه با تهیه با سلولاز و

پکتیناز را افزایش دهد. این افزایش در غلظت لیکوپن با سلولهای که سنتز پلی فنل را تقویت می کند، مرتبط است (Azabou et al, 2016).

استخراج با فناوری های نوین :

فن آوری های استخراج متعدد شرایط آزمایشی را برای افزایش کمیت و کیفیت ترکیبات فعال زیستی در بقایای گیاهی، مانند لیکوپن در ضایعات گوجه فرنگی، بهبود می بخشد. این روش ها بازدهی بالاتری از ترکیبات زیست فعال بازیافتی را با هزینه های عملیاتی کم ارائه می کنند، در حالی که حفاظت از محیط زیست را مد نظر قرار می دهند (Méndez-Carmona et al, 2022).

استخراج به کمک فراصوت :

استخراج با کمک اولتراسوند، به دلیل مکانیسم های عمل آن مانند تکه تکه شدن، فرسایش، مویینگی، دنا توره شدن و سونپوراسیون و انتشار در سراسر دیواره سلولی گیاه و نشت محتویات سلول پس از شکستن دیواره، بازده استخراج بیشتری را فراهم می کند و روشی کارآمد برای استخراج ترکیبات از ضایعات غذایی است. منشا نمونه، ساختار شیمیایی و پارامترهای فرآیند مانند دمای استخراج، نوع حلال، زمان، توان و فرکانس بر کارایی روش تاثیر می گذارد. فراصوت به دلیل کارایی و سادگی یکی از بهترین تکنیک ها برای استخراج ترکیبات حساس از ضایعات مواد غذایی محسوب می شود (Méndez-Carmona et al, 2022) و (Grassino et al, 2020).

در مطالعه ای HO و همکاران در سال ۲۰۱۵ با استفاده از فراصوت روی ضایعات گوجه فرنگی، ۱.۳۳۴۸ میلی گرم بر گرم لیکوپن به دست آوردند که اهمیت کاویتاسیون و اثرات حرارتی را نشان می دهد (Ho et al, 2015).

استخراج به کمک ماکروویو :

استخراج به کمک مایکروویو (MAE) یک روش موثر برای استخراج ترکیبات فعال زیستی از ضایعات گوجه فرنگی است. در زمان کمتر و با حلال کمتر، دسترسی به ترکیبات استخراج شده را افزایش می دهد. فرآیند استخراج به عواملی مانند زمان استخراج، دما، نوع حلال، نسبت حلال و قدرت منبع MAE بستگی دارد. این روش برای استخراج لیکوپن از باقی مانده پوست گوجه فرنگی و پلی فنل ها از ضایعات پوست گوجه فرنگی استفاده شده است. این فناوری کم هزینه، سازگار با محیط زیست و با استفاده ساده است که آلودگی محیطی و زمان را کاهش می دهد (Méndez-Carmona et al, 2022).

استخراج با فشار بالا:

پردازش با فشار بالا (HPP) روشی است که شامل قرار دادن مواد غذایی جامد-مایع تحت فشارهای بین ۱۰۰ تا ۸۰۰ مگاپاسکال است که باعث آسیب به غشای سلولی می شود. این فرآیند زمان استخراج را کاهش می دهد و کارایی را بهبود می بخشد (Méndez-Carmona et al, 2022).

استخراج با فشار هیدرواستاتیک بالا (HHPE) نیز برای جداسازی پکتین از ضایعات پوست پرتقال و سیب زمینی معرفی شده است (Grassino et al, 2020).

HPP ابتدا برای استخراج لیکوپن از ضایعات رب گوجه فرنگی، با شرایط بهینه مانند فشار ۵۰۰ مگاپاسکال، غلظت ۷۵ درصد اتانول در آب و نسبت جامد به مایع ۱:۵ استفاده شد. استخراج به کمک پردازش فشار بالا به میزان ۱۷ درصد بیشتر از سایر فناوری ها بود، بدون اینکه بر بازده تاثیر بگذارد (Xi, 2006).

مطالعات اخیر همچنین بهینه سازی استخراج به کمک HPP برای پلی فنل ها، فلاونوئیدها و لیکوپن از تفاله گوجه فرنگی را با شرایط بهینه ۴۵۰ مگاپاسکال با ۶۰ درصد هگزان در مخلوط حلال مورد بررسی قرار داده است (Briones-Labarca, 2019). گراسینو و همکاران در سال ۲۰۲۰ مطالعه با پردازش فشار بالا (HHPE) و استخراج با فشار بالا (به کمک اولتراسوند) برای جداسازی پکتین و پلی فنول ها از ضایعات پوست گوجه فرنگی استفاده کردند. محققان کارایی HHPE را از نظر عملکرد و

کیفیت پکتین تأیید کردند و آن را با روش های استخراج مرسوم مقایسه کردند. آنها همچنین کارایی اولتراسوند را به عنوان روشی ترکیبی در بازیابی پلی فنل از باقیمانده های به دست آمده پس از HHPE را تأیید کردند. اهداف اصلی ایجاد یک روش جدید و با ارزش افزوده جهت افزایش بازده آنها و کاهش زمان استخراج و مصرف انرژی بود (Grassino et al, 2020). همانگونه که گفته شد؛ استخراج لیکوپن از ضایعات گوجه فرنگی به طور معمول با استفاده از حلال های آلی انجام می شود، اما این روش به دلیل عملکرد کم، زمان پردازش طولانی و مصرف زیاد حلال و معمولاً سمی بودن حلال های آلی عملی نیست. روش های نوآورانه ای مانند استخراج با کمک اولتراسوند، به کمک مایکروویو، به کمک آنزیم و استخراج فشار بالا مورد بررسی قرار گرفته اند، اما این روش ها نیاز به خشک کردن مواد زائد دارند که به طور بالقوه باعث از دست دادن لیکوپن و افزایش هزینه های پردازش می شوند (Andreou et al, 2020). بنابراین روش های دیگری با کارایی بالاتر و محدودیت های کمتر معرفی شده اند.

استخراج به کمک سیال فوق بحرانی :

قاضا برای لیکوپن "طبیعی" بر پذیرش مواد مصنوعی در محصولات غذایی و دارویی تأثیر گذاشته است. استخراج دی اکسید کربن فوق بحرانی (SC-CO₂) به عنوان یک جایگزین پاک برای حلال های سنتی استفاده شده است که مزایایی مانند غیر سمی بودن، مقرون به صرفه بودن و انعطاف پذیری فرآیند را ارائه می دهد (Hatami and Ciftci, 2023). سیالات فوق بحرانی با CO₂ (SFE) یک فناوری غیرحرارتی است که به دلیل طبیعت سبز و دوستدار محیط زیست بودن، تأثیر قابل توجهی در صنایع غذایی و دارویی دارد. این روش امکان استخراج اجزای فعال یک ترکیب ماده غذایی را فراهم می کند که منجر به تولید CO₂ می شود که می تواند مجدداً استفاده شود یا به طور ایمن آزاد شود. این روش به دلیل دماهای ملایم تر، زمان استخراج کوتاه تر و اجتناب از حلال های سمی، یک روش ترجیحی است (Méndez-Carmona et al, 2022). مارگوتا و دی سیمون در سال ۲۰۲۰، از SFE برای استخراج لیکوپن از گوجه فرنگی خشک استفاده کردند و تا ۶۰ درصد لیکوپن را تولید کردند (Margotta and De Simone, 2020). د آندراد لیما و همکاران در سال ۲۰۱۹ از SFE برای استخراج کاروتنوئیدها از ضایعات و محصولات جانبی گوجه فرنگی استفاده کرد و در مجموع به ۰.۰۴۶ میلی گرم در گرم کاروتنوئید دست یافتند (de Andrade Lima et al, 2019). یک مطالعه با استفاده از SC-CO₂ از TPBP یک اولئورزین غنی از سیس لیکوپن با حداکثر محتوای سیس لیکوپن ۶۷٪ به دست آورد. یک مدل ریاضی برای بهینه سازی فرآیند ایجاد شد که منجر به بالاترین بازده ۰.۳۲ میلی گرم لیکوپن / کیلوگرم خوراک شد. یک مقاله مروری اخیراً در مورد استخراج SC-CO₂ تأثیرات اجزای قابل استخراج، پیش تیمارها و تأثیر فاکتور های نوع حلال، زمان، فشار، دما و سرعت جریان حلال را بر عملکرد نشان می دهد. جزء اصلی هدف در این مطالعه، لیکوپن و پیش تیمارهایی از جمله خشک کردن، آسیاب کردن و هضم آنزیمی اعمال شده بود (Hatami and Ciftci, 2023).

استخراج با کمک میدان الکتریکی پالسی :

میدان الکتریکی پالسی (PEF) یک روش غیر حرارتی است که برای استخراج ترکیبات زیست فعال از سلول های گیاهی استفاده می شود. تخلخل غشای سلولی را افزایش می دهد و اجازه خروج ترکیبات درون سلولی را می دهد و ورود حلال را تسهیل می کند (Méndez-Carmona et al, 2022). پردازش میدان الکتریکی پالسی (PEF) یک فناوری پردازش مواد غذایی غیرحرارتی است که قابلیت استخراج ترکیبات درون سلولی را با ایجاد اختلال در سلول های گیاهی و میکروبی افزایش می دهد. ماهیت غیر حرارتی آن به غذاها اجازه می دهد تا ویژگی های تغذیه ای و کیفی خود را حفظ کنند PEF. را می توان در تولید صنعت گوجه فرنگی برای بهبود بهره وری به ویژه در مرحله پوست گیری استفاده کرد. مطالعات نشان داده اند که PEF می تواند بازده آب استخراج مواد گیاهی مانند هویج،

انگور، سیب زمینی یا بافت های سیب را افزایش دهد. استخراج کاروتنوئیدها از ضایعات گوجه فرنگی به کمک PEF نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

تحقیقات نشان می دهد که فناوری PEF می تواند به طور موثری مصرف انرژی را کاهش دهد، بهره وری را افزایش دهد و به طور موثر ارزش ضایعات را با افزایش قدرت میدان الکتریکی و زمان فرآوری انجام دهد (Andreou et al, 2020). پیش تیمار PEF شدت میدان الکتریکی متوسط و انرژی ورودی کم، نفوذپذیری غشای سلولی گیاهی را بهبود می بخشد و باعث می شود که ترکیبات درون سلولی از پسماندهای فرآوری مواد غذایی و محصولات جانبی بازیابی شوند (Pataro et al, 2020).

البته به کارگیری این روش ها بسته به شرایط فرآیند صنعتی، شاخص های گوجه فرنگی و ویژگی های روش مورد استفاده دارد. اما گاهی ترکیب روش ها نتایج امید بخشی را نشان می دهد (Pataro et al, 2018، Méndez-Carmona et al, 2022).

استخراج با گرمایش اهمی :

گرمایش اهمی یک روش استخراج نوین، مبتنی بر جریان الکتریکی متناوب است که از مواد نیمه رسانا عبور می کند و به دلیل مقاومت الکتریکی محصول، گرمای داخلی ایجاد می کند. این روش پتانسیل گرمایش سریع، یکنواخت و دقیق در غذاها را دارد و طیف وسیعی از کاربردهای فرآوری مواد غذایی را ارائه می دهد. با این حال، نقطه سیاهی در مورد ارتباط بین میدان های الکتریکی و میزان ترکیبات زیست فعال وجود دارد و در ترکیبات غذایی نارسا یا سیستم های غذایی غیر همگن قابل اجرا نیست (Coelho et al, 2019).

به این دلیل بر اساس نوع و ویژگی های هر ماده نیازمند بهینه سازی برای یافتن بهترین شرایط منجر به بالاترین بازده وجود دارد.

Coelho و همکاران در سال ۲۰۱۹، مطالعه ای بر تأثیر گرمایش اهمی (OH) و میدان های الکتریکی متوسط (MEF) را در استخراج ترکیبات زیست فعال (BC) از محصولات جانبی گوجه فرنگی برای ارزش گذاری اقتصادی در یک سیستم صنعتی پایدار ارزیابی می کند. این مطالعه نشان می دهد که گرمایش اهمی یک روش کارآمد برای استخراج پلی فنل ها و کاروتنوئیدها از محصولات فرعی گوجه فرنگی با نرخ بازیابی ۵۸ درصدی بالاتر از روش های معمولی است. این روش امکان استخراج این ترکیبات را بدون نیاز به حلال های آلی فراهم می کند، اما بازده کمتر از روش های معمولی است (Coelho et al, 2019). برای بهبود شرایط نیازمند تکرار روش ها هستیم.

نتیجه گیری کلی :

فن آوری های استخراج متعدد جهت دسترسی به بهترین شرایط از لحاظ افزایش کمیت و کیفیت ترکیبات فعال زیستی موجود در بقایای گیاهی مختلف در دسترس است، در این مورد، بازیابی ارزان لیکوپن از ضایعات گوجه فرنگی با توجه به اهمیت تغذیه ای، دارویی و آرایشی بهداشتی آن مورد توجه است.

با بررسی نتایج پژوهش های مختلف در این حیطه می توان دریافت که با توجه به گسترش حیطه دانش، تلاش روش های نوین در جهت بالابردن کیفیت و بازده استخراج ترکیبات زیست فعال بسیار چشمگیر بوده است. از جمله مزایای استفاده از روش های نوین حرارتی و غیر حرارتی در استخراج مولکول های ارزشمند زیستی می توان به کاهش مصرف حلال های آلی و کمک به حفظ بهتر محیط زیست، افزایش راندمان استخراج و کیفیت بالاتر ترکیب مستخرج، کاهش مصرف انرژی و هم چنین کوتاه تر شدن زمان فرآیند که منجر به حفظ ارزش های تغذیه ای ترکیبات حساس به حرارت و ناپایدار میگردد، اشاره کرد. مطالعات تکمیلی بسیاری در ارتباط با انتخاب روش و یا ترکیب روش های مختلف وجود دارد که وابسته به ماهیت و شرایط فرآوری محصول، هزینه و دسترسی روش و انتظار مصرف کننده باید بهینه گردد.

منابع :

- Catalkaya, G., & Kahveci, D. (2019). Optimization of enzyme assisted extraction of lycopene from industrial tomato waste. Separation and Purification Technology, 219, 55-63.
- Kunthakudee, N., Sunsandee, N., Chutvirasakul, B., & Ramakul, P. (2020). Extraction of lycopene from tomato with environmentally benign solvents: Box-Behnken design and optimization. Chemical Engineering Communications, 207(4), 574-583.
- Pandya, D., Akbari, S., Bhatt, H., Joshi, D. C., & Darji, V. (2017). Standardization of solvent extraction process for Lycopene extraction from tomato pomace. J. Appl. Biotechnol. Bioeng, 2(1), 12-16.
- Grassino, A. N., Ostojić, J., Miletic, V., Djaković, S., Bosiljkov, T., Zorić, Z., ... & Brnčić, M. (2020). Application of high hydrostatic pressure and ultrasound-assisted extractions as a novel approach for pectin and polyphenols recovery from tomato peel waste. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 64, 102424.
- Coelho, M., Pereira, R., Rodrigues, A. S., Teixeira, J. A., & Pintado, M. E. (2019). Extraction of tomato by-products' bioactive compounds using ohmic technology. Food and Bioproducts Processing, 117, 329-339.
- Hatami, T., & Ciftci, O. N. (2023). A step-by-step technoeconomic analysis of supercritical carbon dioxide extraction of lycopene from tomato processing waste. Journal of Food Engineering, 357, 111639.
- Pataro, G., Carullo, D., Falcone, M., & Ferrari, G. (2020). Recovery of lycopene from industrially derived tomato processing by-products by pulsed electric fields-assisted extraction. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 63, 102369.
- Méndez-Carmona, J. Y., Ascacio-Valdes, J. A., Alvarez-Perez, O. B., Hernández-Almanza, A. Y., Ramírez-Guzman, N., Sepulveda, L., ... & Aguilar, C. N. (2022). Tomato waste as a bioresource for lycopene extraction using emerging technologies. Food Bioscience, 101966.
- Ho, K. K., Ferruzzi, M. G., Liceaga, A. M., & San Martín-González, M. F. (2015). Microwave-assisted extraction of lycopene in tomato peels: Effect of extraction conditions on all-trans and cis-isomer yields. LWT-Food Science and Technology, 62(1), 160-168.
- Margotta, M., & De Simone, M. C. (2020). Supercritical fluid extraction of lycopene and omega-3. In New Technologies, Development and Application III 6 (pp. 750-758). Springer International Publishing.
- de Andrade Lima, M., Kestekoglou, I., Charalampopoulos, D., & Chatzifragkou, A. (2019). Supercritical fluid extraction of carotenoids from vegetable waste matrices. Molecules, 24(3), 466.
- Azabou, S., Abid, Y., Sebii, H., Felfoul, I., Gargouri, A., & Attia, H. (2016). Potential of the solid-state fermentation of tomato by products by *Fusarium solani* pisi for enzymatic extraction of lycopene. LWT-Food Science and Technology, 68, 280-287.
- Xi, J. (2006). Effect of high pressure processing on the extraction of lycopene in tomato paste waste. Chemical Engineering & Technology: Industrial Chemistry-Plant Equipment-Process Engineering-Biotechnology, 29(6), 736-739.
- Briones-Labarca, V., Giovagnoli-Vicuña, C., & Cañas-Sarazúa, R. (2019). Optimization of extraction yield, flavonoids and lycopene from tomato pulp by high hydrostatic pressure-assisted extraction. Food chemistry, 278, 751-759.
- Pataro, G., Carullo, D., Siddique, M. A. B., Falcone, M., Donsì, F., & Ferrari, G. (2018). Improved extractability of carotenoids from tomato peels as side benefits of PEF treatment of tomato fruit for more energy-efficient steam-assisted peeling. Journal of Food Engineering, 233, 65-73.
- Ali, M. Y., Sina, A. A. I., Khandker, S. S., Neesa, L., Tanvir, E. M., Kabir, A., ... & Gan, S. H. (2020). Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: A review. Foods, 10(1), 45.
- Campestrini, L. H., Melo, P. S., Peres, L. E., Calhelha, R. C., Ferreira, I. C., & Alencar, S. M. (2019). A new variety of purple tomato as a rich source of bioactive carotenoids and its potential health benefits. Heliyon, 5(11).
- Navarro-González, I., García-Alonso, J., & Periago, M. J. (2018). Bioactive compounds of tomato: Cancer chemopreventive effects and influence on the transcriptome in hepatocytes. Journal of Functional Foods, 42, 271-280.
- Imran, M., Ghorat, F., Ul-Haq, I., Ur-Rehman, H., Aslam, F., Heydari, M., ... & Rebezov, M. (2020). Lycopene as a natural antioxidant used to prevent human health disorders. Antioxidants, 9(8), 706.
- Claye, S. S., Idouraine, A., & Weber, C. W. (1996). Extraction and fractionation of insoluble fiber from five fiber sources. Food chemistry, 57(2), 305-310.
- Kelebek, H., Selli, S., Kadiroğlu, P., Kola, O., Kesen, S., Uçar, B., & Çetiner, B. (2017). Bioactive compounds and antioxidant potential in tomato pastes as affected by hot and cold break process. Food Chemistry, 220, 31-41.



- Paulino, S. L. J., Adrián, Á. T. G., Gabriela, E. A. L., Maribel, V. M., & Sergio, M. G. (2020). Nutraceutical potential of flours from tomato by-product and tomato field waste. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 3525-3531.
- Freitas, H. R., Isaac, A. R., Malcher-Lopes, R., Diaz, B. L., Trevenzoli, I. H., & De Melo Reis, R. A. (2018). Polyunsaturated fatty acids and endocannabinoids in health and disease. *Nutritional neuroscience*, 21(10), 695–714.
- Ostlund Jr, R. E., Racette, S. B., & Stenson, W. F. (2003). Inhibition of cholesterol absorption by phytosterol-replete wheat germ compared with phytosterol-depleted wheat germ. *The American journal of clinical nutrition*, 77(6), 1385-1389.
- Vallverdu-Queralt, A., Medina-Rejon, A., Martinez-Huelamo, M., Jauregui, O., Andres-Lacueva, C., & Lamuela-Raventos, R. M. (2011). Phenolic profile and hydrophilic antioxidant capacity as chemotaxonomic markers of tomato varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(8), 3994-4001.
- Stahl, W., & Sies, H. (2003). Antioxidant activity of carotenoids. *Molecular aspects of medicine*, 24(6), 345-351.
- Amorim-Carrilho, K. T., Cepeda, A., Fente, C., & Regal, P. (2014). Review of methods for analysis of carotenoids. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 56, 49-73.
- Sharma, O. P., & Bhat, T. K. (2009). DPPH antioxidant assay revisited. *Food chemistry*, 113(4), 1202-1205.
- Andreou, V., Dimopoulos, G., Dermesonlouoglou, E., & Taoukis, P. (2020). Application of pulsed electric fields to improve product yield and waste valorization in industrial tomato processing. *Journal of Food Engineering*, 270, 109778.

Different Methods of Lycopene Extraction from Tomato Paste Industrial Waste

Morvarid Beigi¹

Graduated Master, Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

Nafiseh Zamindar

Associated Professor, Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

Abstract:

Tomato (*Solanum lycopersicum L.*), is a highly regarded vegetable globally, ranking second in importance. It is valued for its low-calorie content and abundance of bioactive compounds. Carotenoids, particularly lycopene, are highly valuable compounds found in it. Lycopene is accountable for its red hue as well as numerous health benefits. Around 30 percent of tomato produced each year is lost during processing or harvesting. Given its nutritional benefits, extracting valuable compounds like lycopene from the discarded debris, which includes the skin, pulp, or seeds, offers a valuable approach to food production. Various technologies have been developed to enhance the randomization and retrieval of bioactive compounds in plant materials. These include the utilization of solvents and enzymes, as well as advanced techniques like high pressure and supercritical fluids. Additionally, emerging methods such as ultrasound, microwave, pulse electric field, and ohmic heating are considered particularly significant compared to other approaches. The aim of these methods is to examine and reassess tomato waste and byproducts, specifically focusing on the lycopene content, as well as identify the current technological obstacles and potential uses in the food industry. Nevertheless, there are still challenges pertaining to quality, economic accessibility, industrial repetitiveness, and environmental safety.

Key words: tomato, lycopene, extraction, efficiency, solutions, enzymes, innovative technologies, waste
