

Effects of GW9508 small molecule on oxidative stress enzymes in colorectal cancer and non-cancerous HUVEC cells

Behnoosh Rafienia¹, Elham Hoveizi², Ali Shahriari³

¹ Student, Department of Biology, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

² Associate Professor, Department of Biology, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

³ Associate Professor, Department of Biochemistry and Molecular Biology, Faculty of Veterinary Medicine, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

Abstract

Background: In this study, we aimed to evaluate the effects of GW9508 as an unsaturated fatty acid on inducing oxidative stress in HT-29 cancer cell line and non-cancer HUVEC cells.

Materials and methods: The effects of GW9508 on cell viability were determined by performing MTT assay after 1, 3 and 5 days. The anti-oxidant superoxide dismutase (SOD) and catalase enzymes' assay was performed to evaluate the apoptosis. Moreover, inverted microscope and DAPI staining were applied to measure the changes in cell and nucleus morphology.

Results: The *IC50* dose of GW9508 was 500 μ M in both cancer and normal cells. Results of enzymatic activity assay exhibited the increment of activity of catalase and SOD in treated cells led to promoting apoptosis in cells. The amount of activities of SOD and catalase in HT-29 treated cells that were calculated 1.254 and 0.338 mU/mg respectively, which had a significant increase compared to activities of these two enzymes in control cells (0.85 and 0.206 mU/mg, respectively) ($p \leq 0.05$). There was also a significant increase in the activities of SOD and catalase in HUVEC treated cells (1.111 and 0.517 mU/mg) compared to the activities of the two enzymes in the control group, which were calculated 0.755 and 0.184 mU/mg, respectively.

Conclusion: GW9508 small molecule induces oxidative stress and ROS production in HT-29 and HUVEC cells, leading to cytotoxicity and thus promoting apoptotic cell death in cancer cells. However, these effects are contingent upon dose and the type of cell lineages.

Keywords: Colorectal cancer, Unsaturated fatty acid, Small molecule, Oxidative stress.

Cited as: Rafienia B, Hoveizi E, Shahriari A. Effects of GW9508 Small Molecule on Oxidative Stress Enzymes in Colorectal Cancer and Non-cancerous HUVEC Cells. Medical Science Journal of Islamic Azad University, Tehran Medical Branch 2022; 32(1): 31-43.

Correspondence to: Elham Hoveizi

Tel: +98 6133331045

E-mail: e.hoveizi@scu.ac.ir.com

ORCID ID: 0000-0002-3285-5682

Received: 14 May 2020; **Accepted:** 29 Dec 2021

اثرات کوچک مولکول GW9508 بر آنزیم‌های استرس اکسیداتیو در سلول‌های سرطانی کولون و سلول‌های غیرسرطانی HUVEC

به‌نوش رفیعی نیا^۱، الهام حویزی^۲، علی شهریاری^۳

^۱ دانشجوی، گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

^۲ دانشیار، گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

^۳ دانشیار، گروه بیوشیمی و بیولوژی مولکولی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

چکیده

سابقه و هدف: هدف از مطالعه حاضر بررسی اثرات کوچک مولکول GW9508 به عنوان یک اسید چرب غیراشباع بر تولید استرس اکسیداتیو و افزایش فعالیت آنزیم‌های استرس اکسیداتیو در سلول‌های سرطانی HT-29 و سلول‌های غیرسرطانی HUVEC بود. **روش بررسی:** اثرات GW9508 بر توان زیستی سلول‌ها در روزهای ۱، ۳ و ۵ پس از تیمار با روش MTT بررسی شد. از سنجش آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و کاتالاز برای بررسی استرس اکسیداتیو استفاده شد. همچنین بررسی تغییرات سلول و هسته‌ها، با استفاده از میکروسکوپ اینورت و رنگ آمیزی دیپی انجام شد.

یافته‌ها: غلظت GW9508 IC50 در هر دو رده سلول سرطانی و نرمال ۵۰۰ میکرومولار ارزیابی شد. نتایج سنجش فعالیت آنزیمی نشان داد که افزایش فعالیت کاتالاز و SOD در سلول‌های تیمار یافته سبب پیشبرد آپوپتوز در این سلول‌ها گردید. میزان فعالیت SOD و کاتالاز در سلول‌های HT-29 تیمار یافته به ترتیب ۱/۲۵۴mU/mg و ۰/۳۳۸ ارزیابی شد که نسبت به فعالیت این دو آنزیم در گروه کنترل منفی سلول‌های سرطانی (۰/۸۵mU/mg و ۰/۲۰۶) به طور معنی‌داری افزایش یافت ($p \leq 0.05$). همچنین افزایش معنی‌دار فعالیت SOD و کاتالاز در سلول‌های تحت تیمار HUVEC (۱/۱۱۱mU/mg و ۰/۵۱۷) نسبت به فعالیت این دو آنزیم در گروه کنترل به ترتیب ۰/۷۵۵mU/mg و ۰/۱۸۴ محاسبه شد.

نتیجه‌گیری: کوچک مولکول GW9508 با القای استرس اکسیداتیو و تولید ROS در سلول‌های HT-29 و HUVEC سبب سمیت و در نتیجه پیشبرد مرگ سلولی آپوپتوزی در سلول‌های سرطانی می‌شود. با این حال این اثر وابسته به دوز و نوع رده سلولی است. **واژگان کلیدی:** سرطان کولورکتال، اسیدهای چرب غیر اشباع، کوچک مولکول، استرس اکسیداتیو.

مقدمه

از جمله شایع‌ترین سرطان‌ها، سرطان روده بزرگ (کولورکتال) است. نئوپلاسم‌های بدخیم با منشا کولون، رکتوم و کانال آنال تحت عنوان سرطان کولورکتال طبقه‌بندی می‌شوند. سرطان

کولورکتال یکی از تهدیدکننده‌های جدی سلامت انسان محسوب می‌شود. این سرطان از نظر شیوع، پنجمین سرطان بدخیم در کشورهای توسعه‌یافته است. بر اساس گزارش‌های سالانه این بدخیمی به ترتیب، پنجمین و سومین سرطان شایع در مردان و زنان ایرانی است (۱).

در طی دهه‌های اخیر از روش‌های پرتودرمانی، شیمی‌درمانی و جراحی برای مبارزه با سرطان استفاده شده است که هر کدام از این روش‌ها ضعف‌هایی را به همراه داشته است. عوارض جانبی نظیر نرسیدن دارو با غلظت مناسب به بافت هدف،

آدرس نویسنده مسئول: اهواز، گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، الهام

حویزی (email: e.hoveizi@scu.ac.ir.com)

ORCID ID: 0000-0002-3285-5682

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۲/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۸

اثرات مخرب پرتودرمانی بر دیگر بافت‌های سالم و همچنین مقاوم شدن بدن در برابر درمان را میتوان نام برد (۴-۲). لذا ضرورت یافتن راهکارهای درمانی نوین، موثر و با کمترین عوارض جانبی احساس می‌شود.

در حال حاضر مرگ سلولی آپوپتوزی و اتوفازی، پایه‌هایی برای هدف‌های درمانی جدیدند که سبب القای مرگ سلولی و افزایش حساسیت سلول‌های سرطانی در مقابل داروهای شیمی‌درمانی و پرتودرمانی شده‌اند. لذا این دو فرآیند به شدت مورد مطالعه محققان حوزه سرطان قرار گرفته‌اند و امروزه بسیاری از داروهای تولید شده در زمینه سرطان سبب تنظیم مرگ سلولی می‌شوند (۲، ۳، ۵، ۶).

از سوی دیگر، مطالعات اخیر نشان داده‌اند که اسیدهای چرب غیراشباع نقش به‌سزایی در درمان سرطان دارند. این مولکول‌های زیستی فعال با اتصال به گیرنده‌های اسیدچرب آزاد که از نوع گیرنده جفت شده با G پروتئین است به عنوان سیگنالینگ‌های خارج سلولی ایفای نقش کرده و عملکردهای مختلف فیزیولوژیکی را اعمال می‌کنند که بسیاری از آن‌ها در درمان بیماری‌ها مورد بهره‌برداری قرار گرفته است (۷، ۸). گیرنده GPR40 رسپتوری برای اسیدهای چرب غیراشباع با زنجیره بلند از جمله لینولئیک اسید کانژوگه (CLA) است. رسپتورهای جفت شده با G پروتئین‌ها از جمله فراوان‌ترین رسپتورهای بدن محسوب می‌شوند که از لحاظ عملکرد فیزیولوژی بسیار متنوع هستند. رسپتور GPR40 به عنوان یک پروتئین عرض غشایی به اسیدهای چرب آزاد متصل شده و به عنوان یک سنسور حساس به مواد مغذی در تنظیم هومئوستازی انرژی فعالیت دارد. از جمله مسیرهای سیگنالینگ مربوط به این رسپتور می‌توان به فعالیت برخی کانال‌های یونی، فعالیت آنزیم فسفولیپاز C که سبب هیدرولیز فسفوتیدیل اینوزیتول دی فسفات شده و در نهایت سبب تنظیم یون کلسیم و فعالیت پروتئین کیناز C می‌گردد که در فرایندهای چندانگانه و متنوعی در طی مراحل تکوینی از جمله تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و مرگ سلولی دخیل است، و یا فعال شدن آنزیم آدنیل سیکلاز و تولید cAMP و فعالیت پروتئین کیناز A می‌شود که هر کدام می‌توانند در مسیرهای مختلف رشد و نمو موثر واقع شوند (۷، ۹). مطالعات زیادی مرتبط با تاثیر این لیگاندها، مسیرهای سیگنالینگ و نقش آنها در اعمال حیاتی سلول، هومئوستازی و آپوپتوز انجام شده است؛ از جمله مطالعات بسیاری، نقش ضدسرطانی CLA و دیگر اسیدهای چرب آزاد غیراشباع را تایید می‌کند. GW9508 کوچک مولکول و آگونیست گیرنده

فوق است (۸، ۹). این کوچک مولکول از طریق ایجاد و افزایش استرس اکسیداتیو می‌تواند سبب پشرد آپوپتوز و اتوفازی در سلول شود و متعاقباً به عنوان هدف درمانی نوینی برای درمان سرطان باشد (۱۰). Fauser و همکارانش (۲۰۱۱) دریافتند که اسیدچرب غیراشباع با زنجیره طویل لینولئیک اسید کانژوگه در محیط *in vitro* فعالیت ضدتکثیری داشته که شامل القای استرس اکسیداتیو و تغییر در مسیرهای سیگنالینگ داخل سلولی است. همچنین بیان داشتند که بوتیرات که یک اسیدچرب با زنجیره کوتاه است و CLA به عنوان اسیدچرب با زنجیره طویل دارای خصوصیات آنتی‌نئوپلاستیک در سلول‌های کولورکتال بوده و این ماده در تیمار و شیمی درمانی برای سرطان کولون بواسطه القای توقف چرخه سلولی، تغییرات اپی‌ژنتیک، تغییر در چرخه ردوکس داخل سلولی، تغییر مسیر سیگنالینگ Wnt/ β -catenin و همچنین استرس اکسیداتیو نقش کمک‌کننده داشته که همگی مرگ سلولی و آپوپتوز را به دنبال دارند (۴). همچنین مطالعه اثرات یکی از ایزومرهای CLA (Trans-10, cis-12 CLA) بر القای مرگ سلولی در سرطان کولون انسانی نشان داد که این ماده از طریق افزایش تولید ROS با منشا شبکه اندوپلاسمی سبب آپوپتوز در سلول‌های سرطانی کولون می‌شود (۱۱). مطالعات نشان داده‌اند که ایجاد گونه‌های فعال اکسیژن در سلول‌های هدف یکی از عوامل القای آپوپتوز و اتوفازی است. ROS در سطوح پایین فیزیولوژیکی به عنوان سیگنالینگ ردوکس (اکسایش - کاهش) برای تنظیم مسیرهای سیگنالینگ سلولی مهم است. هرگونه اختلال در تعادل اکسیداسیون و آنتی‌اکسیداسیون ROS می‌تواند منجر به استرس اکسیداتیو شده که با طیف وسیعی از اختلالات در انسان مانند التهاب مزمن، بیماری‌های مرتبط با افزایش سن و سرطان‌ها مرتبط است (۱۲). علاوه بر کنترل دقیق هومئوستاز ROS برای حفظ کارکرد طبیعی سلول‌های نرمال سرنوشت‌ساز است. ROS به شدت فعال است و می‌تواند با بسیاری از مولکول‌های داخل سلولی مانند اسیدهای نوکلئیک، لیپیدها و پروتئین‌ها واکنش داشته باشند. سطوح بالای ROS ناشی از استرس اکسیداتیو، سبب برهم زدن تعادل ردوکس و آسیب‌های اکسیداتیو و متعاقباً مهار عملکرد صحیح پروتئین‌ها و تنظیم‌کننده‌های مسیرهای پیام‌رسانی در بیماری‌های نظیر سرطان می‌شوند (۱۳، ۱۴). برای مقابله با استرس اکسیداتیو به‌طور معمول سیستم آنتی‌اکسیدانی که شامل آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر سوپراکسید دیسموتاز، گلوتاتیون پراکسیداز، کاتالاز و همچنین سیستم آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی شامل اسیدآسکوربیک

(ویتامین C)، گلوکاتیون و غیره توسط بدن تولید می‌شود (۱۳). از سوی دیگر القای افزایش رادیکال‌های فعال اکسیژن سبب پیشبرد مرگ سلولی می‌شود و در درمان‌های غیرجراحی مانند پرتودرمانی و شیمی‌درمانی سبب افزایش حساسیت بافت توموری شده و به عنوان ماشه‌ای برای القا و آغاز مرگ سلولی محسوب می‌شود (۱۳، ۱۵). بنابراین می‌توان از این عامل در جهت از بین بردن سلول‌های سرطانی استفاده کرد.

با توجه به آنچه بیان شد هدف از مطالعه حاضر بررسی اثرات کوچک مولکول GW9508 به عنوان یک اسید چرب غیراشباع بر تولید ROS و افزایش فعالیت آنزیم‌های استرس اکسیداتیو در سلول‌های سرطانی HT-29 و سلول‌های غیرسرطانی HUVEC بود.

مواد و روشها

پژوهش حاضر یک مطالعه تجربی است که با کد EE.97.243.93365/scu.ac.ir در دانشگاه شهید چمران اهواز به ثبت رسیده است.

کوچک‌مولکول GW9508 (Sigma, USA) با مشخصات وزن مولکولی ۳۴۷/۴۱ و با فرمول شیمیایی $C_{22}H_{21}NO_3$ تهیه شد. همچنین رده سلولی سرطان کولون (HT-29 cell line) و رده سلولی اندوتلیال سیاهرگ بند ناف انسان (HUVEC cell line) از بانک انیستیتو پاستور ایران خریداری شد. ابتدا سلول‌ها در محیط کشت DMEM (Gibco, USA) غنی شده با ۱٪ (v/v) پنی‌سیلین - استرپتومایسین (Gibco, USA) و ۱۰٪ سرم جنین گاوی (FBS, Gibco, USA) کشت داده شدند و در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد و ۵٪ CO_2 و ۹۵٪ رطوبت انکوبه شدند.

بررسی اثر سمیت و بقای سلولی

به منظور بررسی اثرات سمیت و کشندگی کوچک مولکول GW9508 بر روی رده‌های سلولی از روش رنگ‌سنجی MTT (Microculture Tetrazolium Test) (Sigma, USA) استفاده شد. سلول‌های رده سرطانی HT-29 و رده نرمال HUVEC به تعداد ۱۰۴ در پلیت ۹۶ خانه کشت داده شدند و بعد از گذشت انکوباسیون ۲۴ ساعته، سلول‌های سرطانی HT-29 و نرمال HUVEC با غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میکرومولار کوچک‌مولکول GW9508 در فاصله زمانی ۲۴ ساعت تیمار شدند. بعد از گذشت زمان فوق، ابتدا مورفولوژی سلول‌های تیمار یافته و گروه کنترل با استفاده از میکروسکوپ معکوس (Labomed, USA) بررسی و عکسبرداری شد. سپس محتوی چاهک‌های پلیت ۹۶ خانه به دقت خارج و حدود ۱۰۰ میلی لیتر محلول

MTT با غلظت ۰/۵ میلی گرم بر میلی لیتر در تاریکی به هر چاهک اضافه و به مدت ۴ ساعت در شرایط دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد، ۵٪ CO_2 و ۹۵٪ رطوبت انکوبه شد. سپس در تاریکی محلول MTT از چاهک‌ها خارج و کریستال‌های فورمازان تولید شده توسط سلول‌های زنده، در DMSO (Merck, Germany) حل گردید و پلیت به مدت ۳۰ دقیقه در انکوباتور قرار داده شد. در نهایت با استفاده از دستگاه خوانش گر الایزا (BioTec, USA) جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۷۰ نانومتر قرائت شد و میزان بقای سلولی توسط فرمول زیر محاسبه شد:

$$X\% = \frac{\text{جذب نوری نمونه کنترل با درمان سلول} - \text{جذب نوری سلول‌های گروه تیمار شده}}{\text{جذب نوری نمونه کنترل بدون درمان سلول} - \text{جذب نوری سلول‌های گروه تیمار شده}} \times 100$$

رنگ آمیزی DAPI

به منظور رنگ‌آمیزی دپی سلول‌های HT-29 و HUVEC به میزان ۵۰ هزار سلول در هر چاهک پلیت ۲۴ خانه کشت داده شدند و در انکوباتور قرار گرفتند. پس از گذشت ۲۴ ساعت، سلول‌ها تحت تیمار غلظت IC50 کوچک مولکول GW9508 و گروه کنترل محیط حاوی سرم FBS ۱۰٪ را دریافت کردند. پس از ۲۴ ساعت از تیمار، سلول‌ها با پارافرم‌آلدهید ۴ درصد به مدت ۱۵ دقیقه در دمای اتاق فیکس شدند و پس از شست‌وشو به مدت ۱ الی ۵ دقیقه در دمای اتاق تحت اثر رنگ DAPI (Sigma, USA) با غلظت ۱ میکروگرم بر میلی لیتر قرار داده شدند. در نهایت پس از شست‌وشو با PBS (Sigma, USA) با استفاده از فیلتر بنفش میکروسکوپ فلوئورسنس (Olympus, Japan) بررسی شدند.

سنجش آنزیمی

در این مطالعه جهت بررسی دخالت ROS و استرس اکسیداتیو در القای مرگ سلولی، میزان فعالیت آنزیم‌های کالانتاز و سوپراکسیددیسموتاز در هر دو رده سلولی در گروه‌های تیمار (با غلظت IC50 کوچک مولکول GW9508) و گروه کنترل اندازه‌گیری شد. برای این منظور سلول‌ها در پلیت ۶ خانه و در هر چاهک حاوی 3×10^5 سلول، کشت شدند و بعد از ۲۴ ساعت تحت تیمار با غلظت IC50 دارو قرار گرفتند (گروه کنترل فقط محیط کامل دریافت کرد) و بعد از گذشت ۲۴ ساعت، سلول‌ها با کمک تریپسین (Gibco, USA) از کف چاهک‌ها جدا و بعد از سانتریفیوژ رسوب سلولی حاصل در PBS حل شد و مجدداً سانتریفیوژ شد. در ادامه به رسوب سلولی لیزبافر ریپا اضافه شد و رسوب به صورت آسپیره در لیز بافر حل گردید و سپس به مدت ۳۰ دقیقه روی یخ قرار داده شد. بعد از آن محلول با دور ۱۰۰۰۰ rpm در دمای ۴- درجه

میکروپلیت ریخته شدند و سپس میزان جذب نوری چاهک‌ها در طول موج ۵۶۰ نانومتر در لحظه اول ($t=0$) و پس از گذشت ۵ دقیقه ($t=5$) میزان جذب نوری یکبار دیگر قرائت شد. در نهایت فعالیت مهارى آنزیم (IU/L) و فعالیت آنزیمی SOD بر حسب واحد آنزیم در مقدار پروتئین کل (mU/mg protein) با استفاده از فرمول‌های زیر و مقادیر قرائت شده حاصل شد.

$$\text{ضریب رقت (IU)} \times \frac{\text{درصد بازدارندگی}}{\left(\frac{\text{mg}}{\text{ml}} \text{ protein}\right) \times 50} = \text{U/mg protein (فعالیت آنزیم)}$$

$$\text{Inhibition (درصد بازدارندگی)} = \frac{\Delta OD (\text{blank}) - \Delta OD (\text{sample})}{\Delta OD (\text{blank})} \times 100$$

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز

اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز به روش Koroluk و همکاران انجام گرفت (۱۷). اساس این آزمون بر میزان کاهش پراکسید هیدروژن در واحد زمان در اثر فعالیت آنزیم کاتالاز موجود در نمونه استوار است. مولیبدات آمونیوم با پراکسید هیدروژن مجموعه زرد رنگی تشکیل می‌دهند. در این روش نمونه در مجاورت آب اکسیژنه قرار گرفت که آنزیم موجود در نمونه آب اکسیژنه را به آب و اکسیژن تبدیل کرد. آب اکسیژنه باقی مانده در نهایت با آمونیوم مولیبدات تولید رنگ کرده و شدت رنگ حاصله با میزان فعالیت آنزیم رابطه معکوس دارد. یک واحد بین‌المللی مقدار آنزیمی است که در مدت یک دقیقه یک میکرومول پراکسید هیدروژن را تجزیه نماید. جهت اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز، معرف‌ها و نمونه حاوی عصاره آنزیمی در میکروپلیت ریخته شد و جذب نوری نمونه‌ها و بلانک در مقابل بافر تریس-HCl در طول موج ۴۱۰ نانومتر به وسیله دستگاه خوانش گر الایزا قرائت شد. میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در نمونه‌ها به وسیله فرمول زیر محاسبه شد:

$$(U/L) = \frac{OD (\text{blank}) - OD (\text{sample})}{OD (\text{blank})} \times 100$$

$$\text{ضریب رقت } U/L \times \frac{\text{میکرو گرم پروتئین}}{\left(\frac{\mu\text{g}}{\text{ml}} \text{ protein}\right)} = \text{mU/mg protein (فعالیت آنزیم)}$$

آنالیز داده‌ها

آنالیز آماری با استفاده از نرم‌افزار آماری Graph Pad Prism، آزمون one-way ANOVA و T-test انجام شد. رسم نمودار در Excel 2016 انجام گرفت. $P < 0.05$ برای نمونه‌ها به عنوان اختلاف معنی‌دار در نظر گرفته شد.

سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه سانتیفریوژ گردید و محلول رویی حاصل از سانتیفریوژ که حاوی عصاره آنزیمی بود با دقت برداشته و به میکروتیوب جدیدی منتقل شد. تمامی مراحل برای جلوگیری از دنا توره شدن و لیز شدن پروتئین‌ها، بر روی یخ انجام شد. در ابتدا با استفاده از روش برادفورد مقدار کل پروتئین موجود در نمونه محاسبه و سپس مقدار فعالیت آنزیمی آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز اندازه‌گیری شد.

سنجش مقدار کل پروتئین به روش برادفورد

روش برادفورد روشی سریع و حساس برای تعیین میزان پروتئین‌هاست. در این روش از کوماسی بلو استفاده می‌شود که با اسیدهای آمینه آروماتیک به‌خصوص آرژنین تشکیل کمپلکس می‌دهد و منجر به تغییر رنگ قهوه‌ای به آبی می‌شود که بیشترین جذب این ترکیب رنگی در طول موج ۵۹۵ نانومتر است. غلظت‌های مختلفی از پروتئین آلبومین سرم گاوی در محدوده ۰/۵-۰/۱۵ میلی گرم در میلی لیتر جهت رسم نمودار استاندارد تهیه شد. جهت اندازه‌گیری به روش میکروپلیت، در هر چاهک پلیت ۹۶ خانه، حجم معینی از نمونه ریخته شد و سپس معرف برادفورد به آن اضافه شد. برای گروه بلانک از آب مقطر و معرف برادفورد استفاده شد.

پس از گذشت ۱۰ دقیقه، میزان جذب (OD) نمونه‌های تیمار یافته، گروه کنترل منفی و بلانک در طول موج ۵۹۵ نانومتر توسط دستگاه خوانش گر الایزا خوانده شد سپس با استفاده از منحنی استاندارد و معادله خط آن، غلظت پروتئین از روی منحنی استاندارد بر حسب میکروگرم در میلی لیتر به دست آمد.

$$y = 0.0009x + 0.8032$$

($y = OD$, $x = \mu\text{g/ml Protein}$)

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به روش دستی و با استفاده از روش Kono انجام شد (16). این روش به کمک سنجش مهار احیای نیترو لوترازولیوم (NBT) در حضور SOD در طوح موج ۵۶۰ نانومتر انجام گرفت. در این روش در اثر اکسیداسیون خود به خودی هیدروکسیل آمین، آنیون سوپراکسید تولید می‌شود که ترکیب NBT با سوپراکسید واکنش داده و رنگ قرمز فورمازان را تولید می‌کند. آنزیم سوپراکسید دیسموتاز موجود در نمونه در واکنش با سوپراکسید و تبدیل آن به هیدروژن پراکسید از واکنش سوپراکسید با NBT و تشکیل رنگ قرمز جلوگیری می‌کند. جهت اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، محلول‌های سدیم کربنات، NBT، هیدروکسیل آمین، تربتون و همچنین محول نمونه در

یافته‌ها

بررسی مورفولوژی

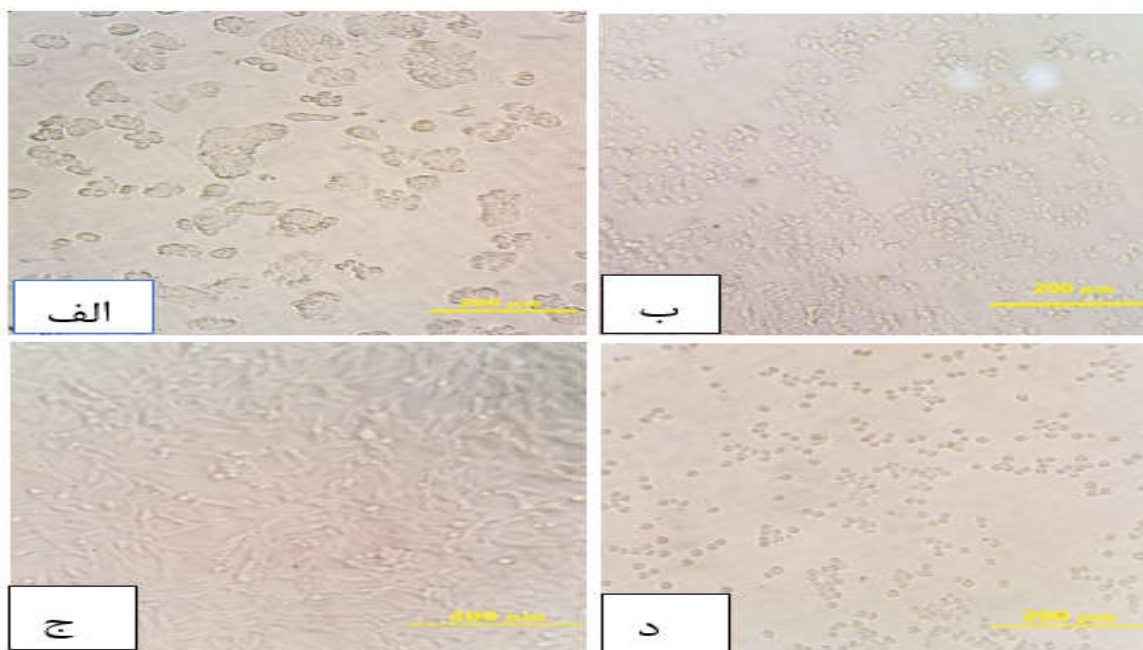
بررسی مورفولوژی سلول‌های HT-29 با استفاده از میکروسکوپ اینورت نشان داد که سلول‌های HT-29 گروه کنترل با ظاهری گرد با هسته‌های کروی در محیط کشت و به صورت فشرده کنار همدیگر قرار گرفته و ایجاد ساختارهای تک لایه به شکل کلنی‌های سلولی می‌کنند. اما سلول‌های HT-29 تحت تیمار با غلظت ۵۰۰ میکرومولار (IC50) کوچک مولکول، از نظر ظاهری با سلول‌های گروه کنترل منفی تفاوت بارزی داشتند. بدین‌صورت که در سلول‌های HT-29 تحت تیمار با GW9508 چروکیدگی و کاهش حجم سلول، متراکم شدن هسته، کاهش حجم سیتوپلاسم، از دست دادن کلنی‌های سلولی، عدم ارتباط و تعامل سلولی و ایجاد سلول‌های منفرد و پراکنده دیده شد که بیان‌گر این مسئله است که این غلظت دارای اثر سمیت بر سلول‌ها بوده و سبب پیشبرد مرگ سلولی می‌شود.

همچنین سلول‌های HUVEC گروه کنترل منفی با ظاهری کشیده و دوکی شکل با هسته‌های بیضوی و زائده‌های سیتوپلاسمی و در تعامل با سایر سلول‌ها دیده شدند. مورفولوژی سلول‌های HUVEC تحت تیمار ۲۴ ساعته با غلظت ۵۰۰ میکرومولار (IC50) از کوچک مولکول، از نظر

ظاهری با سلول‌های گروه کنترل منفی تفاوت بارزی داشت. سلول‌های HUVEC تیمار یافته با GW9508 مورفولوژی طبیعی خود را از دست داده و از حالت دوکی و کشیده به‌صورت کروی دیده شدند. کاهش حجم سلول و چروکیدگی کاملاً مشهود بود. همچنین متراکم شدن هسته، کاهش حجم سیتوپلاسم، از دست دادن ارتباط و تعامل سلولی و ایجاد سلول‌های منفرد و بدون زائده‌های سیتوپلاسمی گواهی بر این مسئله بود که این غلظت دارو، دارای اثر سمیت بوده و سبب پیشبرد مرگ سلولی شده است (شکل ۱).

نتایج تست MTT و بقای سلولی

میانگین جذب نوری به دست آمده از سلول‌های نرمال و سرطانی که تحت تیمار ۲۴ ساعته با غلظت‌های مختلف (۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میکرومولار) GW9508 قرار گرفتند، با میانگین جذب نوری سلول‌های سرطانی و نرمال گروه کنترل مقایسه شد (مقادیر میانگین ۵ بار تکرار بود، $p \leq 0.05$). در روش بررسی بقای سلولی با استفاده از تست MTT، IC50 کوچک مولکول GW9508 در رده سلولی سرطانی HT-29 و همچنین در سلول‌های نرمال HUVEC تحت تیمار با این ماده، ۵۰۰ میکرومولار ارزیابی شد. نتایج تایید می‌کند که اثرات سیتوتوکسیک این ترکیب بر بقای سلول‌های سرطانی HT-29 و رده نرمال HUVEC وابسته به دوز بوده و با افزایش غلظت، بقای سلولی کاهش یافت.



شکل ۱. نتایج حاصل از بررسی مورفولوژی با استفاده از میکروسکوپ اینورت برای سلول‌های HT-29 و HUVEC تیمار شده با GW9508 به مدت ۲۴ ساعت. الف) سلول‌های HT-29 تیمار با GW9508 با غلظت ۵۰۰ میکرومولار (ب) سلول‌های HT-29 (نمونه کنترل ج) سلول‌های HUVEC تیمار با GW9508 با غلظت ۵۰۰ میکرومولار (د) سلول‌های HUVEC (نمونه کنترل)

مورفولوژی هسته‌های سلول‌ها HT-29 و HUVEC در اثر تیمار با GW9508 استفاده شد. سلول‌های HT-29 و HUVEC پس از تیمار ۲۴ ساعته با این کوچک مولکول، با رنگ دیپی رنگ‌آمیزی شدند و با استفاده از میکروسکوپ فلوروسنس با فیلتر بنفش بررسی شدند. هسته سلول‌های HT-29 گروه کنترل منفی، بزرگ، کروی و شفاف مشاهده شد و هسته سلول‌های HT-29 گروه تیمار با این کوچک مولکول، فشرده، متراکم و به‌حالت چروکیده و قطعه‌قطعه که تاییدی بر مرگ سلولی آپوپتوزی در گروه سلولی تیمار شده با کوچک مولکول GW9508 بود (شکل ۲).

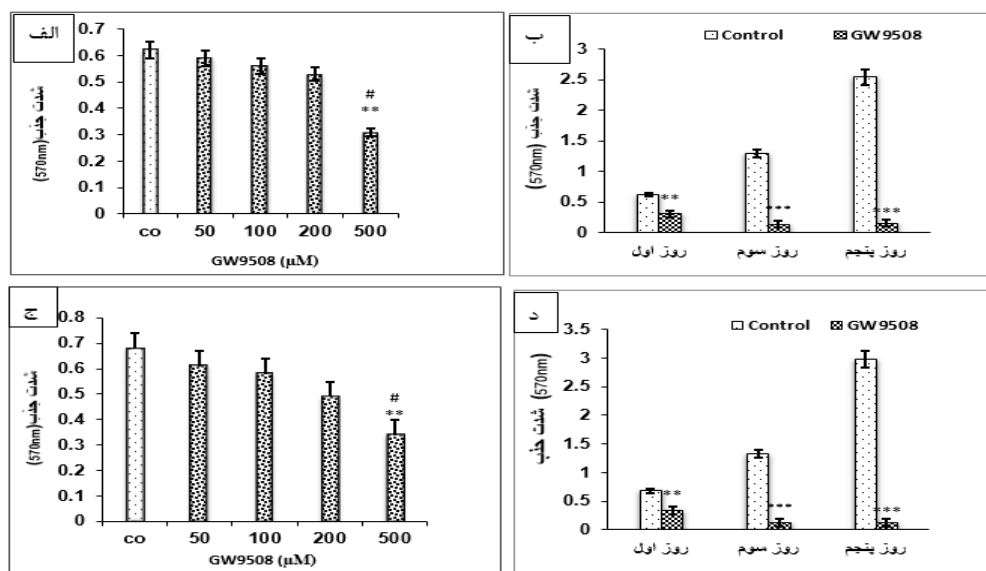
نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت پروتئین در نمونه‌های تحت تیمار و کنترل

جهت اندازه‌گیری غلظت پروتئین در گروه‌های کنترل و گروه‌های تحت تیمار (در هر دو رده سلولی HT-29 و HUVEC) با کوچک مولکول GW9508 از نمودار استاندارد (نمودار ۲) و معادله خط آن، استفاده شد. شدت جذب‌های خوانش شده در سنجش برادفورد به‌جای Y در این معادله قرار می‌گیرد و به این ترتیب میزان پروتئین (X) را می‌توان محاسبه کرد.

در این روش میزان بقای سلول‌های HT-29 و همچنین سلول‌های HUVEC در روزهای ۱، ۳ و ۵ در گروه تیمار با غلظت (IC_{50} : 500 μ M) کوچک مولکول GW9508 در مقایسه با گروه کنترل منفی هر رده، بررسی شد ($p \leq 0.05$). درصد بقای زیستی سلول‌های سرطانی HT-29 تحت تیمار در روزهای ۱، ۳ و ۵ به ترتیب ۱۰/۶٪ و ۶/۱٪ ارزیابی شد. همچنین درصد بقای زیستی سلول‌های نرمال HUVEC تحت تیمار در روزهای ۱، ۳ و ۵ به ترتیب ۴۹/۷٪، ۹/۷٪ و ۴/۳٪ ارزیابی شد. بقای زیستی در سلول‌های تحت تیمار ۵ روزه نسبت به سلول‌های تحت تیمار ۳ روزه و ۱ روزه به طور معنی داری کاهش یافت و همچنین سلول‌های تحت تیمار ۳ روزه در مقایسه با سلول‌های تحت تیمار ۱ روزه، درصد بقای زیستی کمتری را نشان دادند که این تاییدی بر وابسته به زمان بودن اثر این کوچک مولکول بر سلول‌های HT-29 و HUVEC بود (نمودار ۱).

بررسی تغییرات مورفولوژی هسته سلول‌های تیمار یافته با رنگ‌آمیزی دیپی

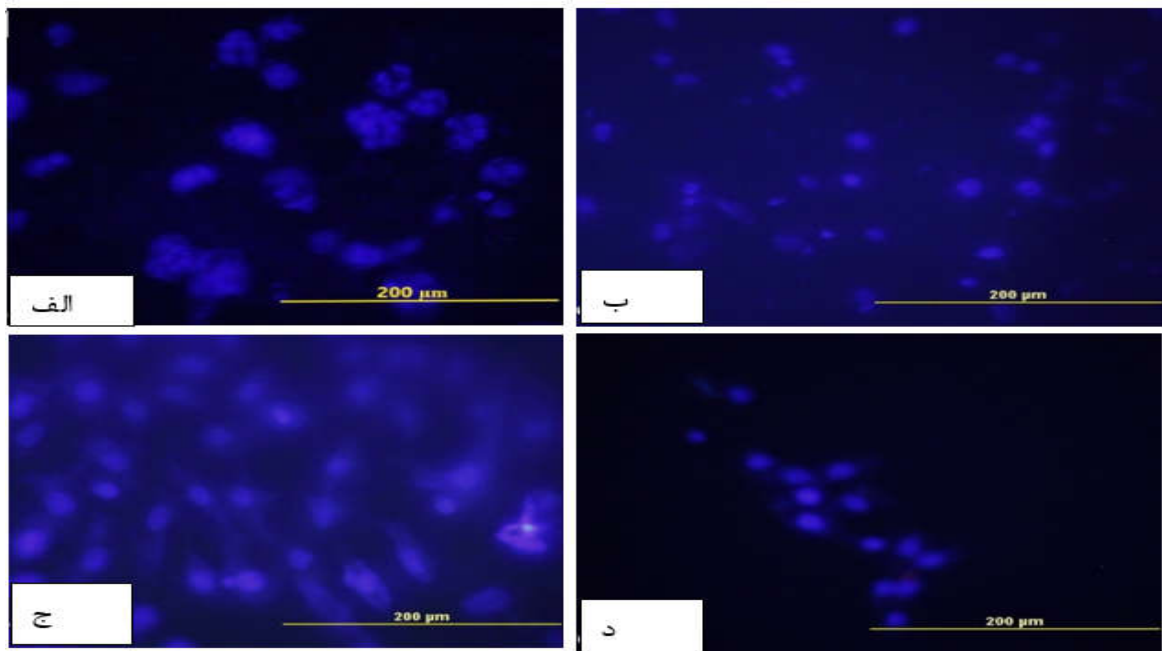
جهت تایید نتایج مورفولوژی و بقای زیستی اندازه‌گیری شده با تست MTT، از تکنیک رنگ‌آمیزی دیپی برای بررسی



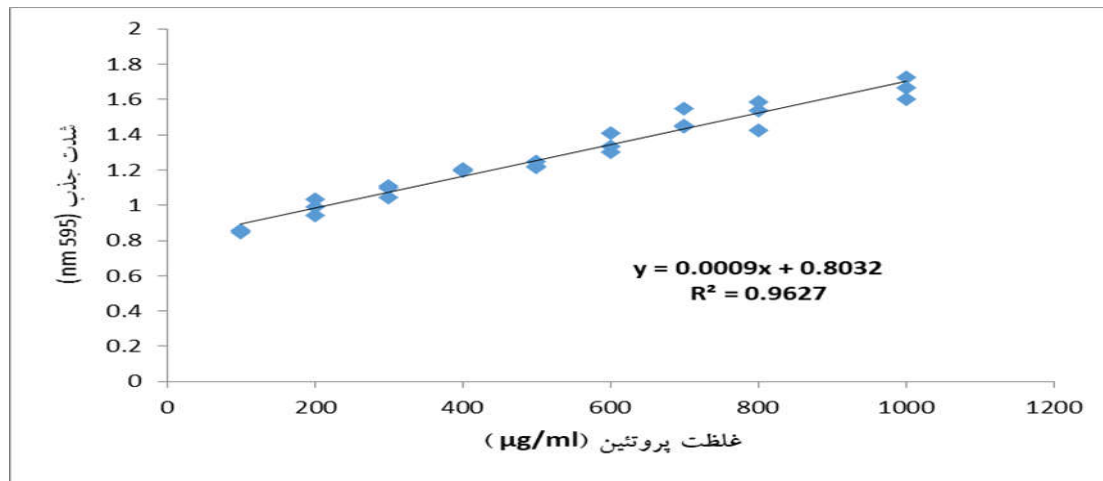
نمودار ۱. مقایسه میانگین میزان جذب در غلظت‌های آزمایش شده‌ی GW9508 در سلول‌های HT-29 و HUVEC در گروه‌های تیمار ۱، ۳ و ۵ روزه: الف) مقایسه میانگین میزان جذب در غلظت ۵۰۰ میکرومولار GW9508 در رده HT-29 بعد از ۲۴ ساعت. ب) مقایسه میانگین میزان جذب در غلظت ۵۰۰ میکرومولار GW9508 در رده HT-29 در روزهای مختلف. ج) مقایسه میانگین میزان جذب در غلظت‌های آزمایش شده‌ی GW9508 بعد از ۲۴ ساعت در سلول‌های HUVEC. د) مقایسه میانگین میزان جذب در غلظت ۵۰۰ میکرومولار GW9508 در رده HUVEC در روزهای مختلف. مقادیر میانگین پنج تکرار است (n=۵).

*: بیان گر وجود تفاوت معنی دار در سطح اطمینان $p < 0.05$ می‌باشد.

#: غلظت ۵۰۰ میکرومولار به عنوان IC_{50} این دارو در تیمار ۲۴ رده HT-29 اندازه‌گیری شد.



شکل ۲. بررسی آپوپتوز با استفاده از رنگ آمیزی DAPI (الف) تیمار سلول‌های HT-29 با غلظت IC50 کوچک مولکول GW9508 (ب) سلول‌های HT-29 (نمونه کنترل ج) تیمار سلول‌های HUVEC با غلظت IC50 کوچک مولکول GW9508 (د) سلول‌های HUVEC (نمونه کنترل). در گروه‌های کاهش حجم، چروکیدگی و فشردگی هسته سلول‌های تحت تیمار دارو در مقایسه با هسته سلول‌های بزرگ و شفاف گروه کنترل منفی، تاییدی بر آپوپتوز سلول‌هاست.



نمودار ۲. نمودار استاندارد برادفورد

میزان فعالیت آنزیم SOD در گروه‌های تحت تیمار با GW9508 نسبت به فعالیت SOD در گروه کنترل منفی این رده سرطانی (۰/۸۵ mU/mg protein) به صورت معنی‌داری ($p < 0.001$) افزایش یافته بود. همچنین میزان فعالیت آنزیم SOD در سلول‌های HUVEC تیمار یافته با GW9508 ۱/۱۱۱ mU/mg protein ارزیابی شد. فعالیت آنزیم SOD در گروه تحت تیمار با GW9508 نسبت به فعالیت SOD در گروه کنترل منفی (۱/۲۵۴ mU/mg protein) ارزیابی شد.

نتایج حاصل از بررسی تغییرات میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز

پس از محاسبه میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در گروه کنترل و گروه سلول‌های HT-29 و HUVEC تحت تیمار ۲۴ ساعته با غلظت ۵۰۰ میکرومولار تعیین شد.

میزان فعالیت آنزیم SOD در سلول‌های HT-29 تیمار یافته با GW9508 ۱/۲۵۴ mU/mg protein ارزیابی شد.

تیمار یافته با $0.517 \text{ mU/mg protein}$ ارزیابی شد. میزان فعالیت این آنزیم در گروه‌های تحت تیمار نسبت به گروه کنترل منفی ($0.184 \text{ mU/mg protein}$) به صورت معنی‌داری افزایش داشت ($p < 0.001$) (نمودار ۳).

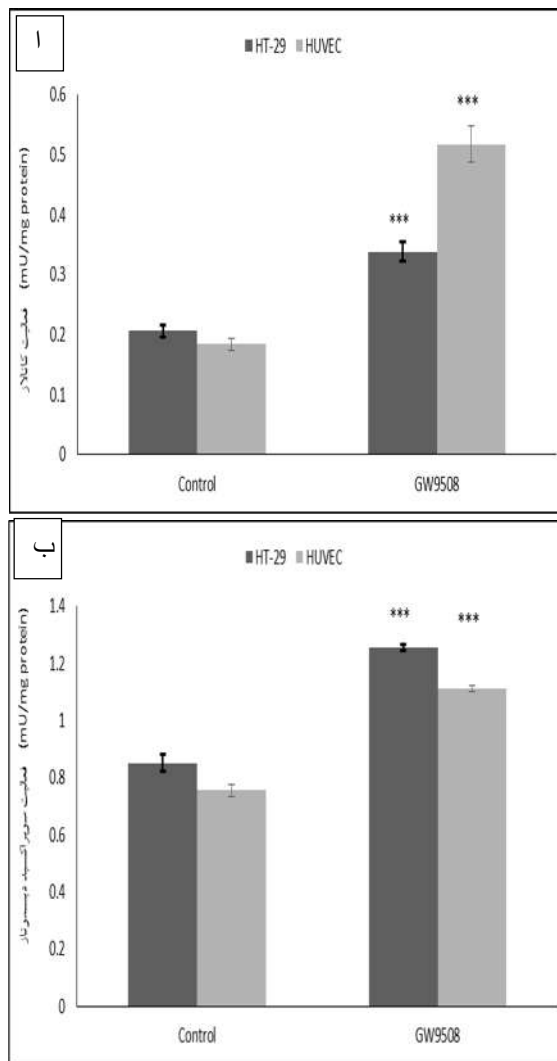
افزایش میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در گروه‌های تحت تیمار نسبت به گروه کنترل منفی در هر دو رده سرطانی و نرمال، بیانگر ایجاد استرس اکسیداتیو و رادیکال‌های آزاد سوپراکسید آنیون در سلول‌های HT-29 و HUVEC، در اثر تیمار با کوچک مولکول است. همچنین افزایش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در گروه‌های تحت تیمار نسبت به گروه کنترل منفی در هر دو رده سلولی، گواهی است بر تولید ترکیب هیدروژن پراکسید که یکی از گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن است که در القای استرس اکسیداتیو، سمیت و پیشبرد مرگ سلولی آپوپتوزی نقش دارد.

بحث

برخی از داروهای ضدسرطانی باعث القای تولید ROS شده و این استرس اکسیداتیو می‌تواند با مکانیسم‌های مختلفی از جمله هدف قرار دادن مولکول‌های آنکوژن و تاثیر بر مولکول‌های مسیر آپوپتوز سبب مرگ سلولی آپوپتوزی شود و درمان موثری برای این بیماری باشند (۱۸، ۱۹). در مطالعات بالینی پیشین، ارتباط بالقوه‌ای بین اسیدهای چرب غیراشباع و درمان سرطان گزارش شده است (۲۰، ۲۱). لینولئیک اسید کانژوگه یک اسیدچرب غیراشباع با زنجیره کربنی طویل است و در ارتباط با سرطان، نقش درمانی دارد. خواص آنتی‌توموری، ضدتکثیری و سمیت این ترکیب بر بقای انواع مختلفی از سلول‌های سرطانی مانند کولورکتال، پانکراس، پروستات ثابت شده است (۲۲-۲۴). شواهد و مطالعات نشان داده‌اند که اسیدهای چرب آزاد با زنجیره طویل غیر اشباع با اتصال به گیرنده‌های GPR40 که از نوع گیرنده‌های جفت شونده به G پروتئین‌ها می‌باشند، می‌توانند فرایندها و تاثیرات سلولی گسترده‌ای از جمله القای مرگ سلولی را در پی داشته باشند (۲۵، ۲۶). به عنوان مثال در بسیاری از مطالعات بیان شده است که اسیدچرب غیراشباع امگا ۳ از طریق کاهش بیان فاکتور رگ‌زایی VEGF و القای آپوپتوز می‌تواند سبب کاهش رشد سلول‌های سرطان کولون شده و پتانسیل بالایی برای شیمی‌درمانی را دارد. همچنین GPR120 به عنوان رستپوری برای اسیدهای چرب آزاد با زنجیره طویل غیر اشباع محسوب

شده است (۲۷، ۲۸). به صورت معنی‌داری ($p < 0.001$) افزایش یافت (نمودار ۳).

میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در سلول‌های HT-29 تیمار یافته با $0.338 \text{ mU/mg protein}$ GW9508 ارزیابی شد.



نمودار ۳. مقایسه مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز و SOD در گروه کنترل و تیمار با غلظت IC_{50} GW9508 در رده HT-29 و HUVEC بعد از ۲۴ ساعت. الف- فعالیت آنزیم کاتالاز، ب- مقایسه مقدار فعالیت آنزیم SOD. *** بیانگر سطح اختلاف معنی‌دار ($p < 0.001$) با گروه کنترل می‌باشد. همچنین حرف غیرمشابه نیز بیانگر اختلاف معنی‌دار بین دو گروه تیمار با همدیگر می‌باشد ($p < 0.001$) و مقادیر میانگین دو بار تکرار است ($n=2$).

میزان فعالیت این آنزیم در گروه‌های تحت تیمار با GW9508 نسبت به گروه کنترل منفی ($0.184 \text{ mU/mg protein}$) به صورت معنی‌داری ($p < 0.001$) افزایش یافته بود. میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در سلول‌های HUVEC

به منظور بررسی نوع مکانیسم اثر این کوچک‌مولکول، فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز (که جزیی از سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی هستند و در سرکوب گونه‌های فعال اکسیژن نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کنند) به عنوان مارکر-های زیستی استرس اکسیداتیو بررسی شدند. نتایج نشان داد که فعالیت آنزیم کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در گروه‌های سلولی سرطانی HT-29 و نرمال HUVEC تیمار شده با کوچک‌مولکول GW9508 نسبت به گروه‌های کنترل منفی، به طور قابل توجهی افزایش یافت، که این نتیجه می‌تواند تاییدی بر مکانیسم سمیت GW9508 از طریق القا تولید ROS باشد.

ROS در سطوح پایین فیزیولوژیکی برای تنظیم مسیرهای سیگنالینگ سلولی مهم‌اند اما تحت شرایط نرمال سطح ROS تحت کنترل شدید با عوامل آنتی‌اکسیداسیون است. مطالعات و شواهد نشان می‌دهند که سلول‌های سرطانی یک افزایش درون‌زاد یا ذاتی در مقادیر ROS نسبت به سلول‌های نرمال دارند که می‌تواند علت‌های مختلفی داشته باشد از جمله فعالیت آنکوژن‌ها؛ که خود سبب افزایش ROS، آسیب به DNA، اختلال در عملکرد پروتئین P53 و متعاقباً تکثیر شدید سلول‌های سرطانی می‌شود. همچنین افزایش فعالیت متابولیسمی در ارتباط با تکثیر غیرقابل کنترل و اختلال در عملکرد زنجیره انتقال اکترن که مرتبط با جهش‌های DNA میتوکندریایی است، از دیگر عوامل افزایش ذاتی ROS در این سلول‌هاست (۳۵-۳۳). این افزایش ذاتی ROS در سلول‌های سرطانی سبب پیش‌برد DNA سلول سرطانی به سمت بی‌ثباتی، جهش و مقاومت دارویی می‌شود و از سوی دیگر اختلال در عملکرد میتوکندری، سبب مهار پاسخ‌های آپوپتوزی سلول به عوامل ضد سرطانی می‌شود (۳۶، ۳۷). از سوی دیگر القای استرس اکسیداتیو و افزایش ROS می‌تواند پاسخ‌های بیولوژیکی متفاوتی از جمله القای مرگ سلولی آپوپتوزی و اتوفاژی را سبب شود. میتوکندری در عین واحد هم هدف و هم منبع ROS است. برخی از داروهای ضدسرطانی با تاثیر بر زنجیره انتقال الکترن میتوکندری سبب القای تولید ROS شده و این استرس اکسیداتیو می‌تواند با تاثیر بر پتانسیل غشایی میتوکندری شروع کننده مرگ سلولی آپوپتوزی باشد. همچنین رژیم‌های آنتی‌اکسیدانی یا N-استیل سیستئین (مهارکننده‌های تولید ROS) که سبب مهار آپوپتوز می‌شوند گواهی بر نقش ROS در القای مرگ سلولی آپوپتوزی است (۳۶، ۳۸). به عنوان مثال Hsu و همکارانش (۲۰۱۱) طی مطالعه‌ای بیان کردند که اسیدهای

می‌شود که نقش مهمی در تنظیم متابولیسم چربی‌ها و گلوکز دارد. اما نقش این رسپتور در ارتباط با سرطان به وضوح مشخص نشده است. مطالعاتی نشان داده است که فعالیت این رسپتور در برخی از سرطان‌های کلورکتال سبب پیشبرد القا تومورها گردیده است (۲۹-۲۷).

لینولئیک اسید کانژوگه یک اسید چرب غیراشباع است و اثرات سیتوتوکسیکی و ضدتکثیری در انواع سلول‌ها سرطانی را سبب شده است. در مطالعه Park و همکارانش (۲۰۱۵) تاثیر CLA بر مدل موش مبتلا به سرطان کولون بررسی شد و نتایج تایید کرد که این ترکیب سبب کاهش پیشرفت تومورزایی شده و خاصیت ضدتکثیری آن بر سلول‌های سرطانی کولون تایید شد (۳۰). در دیگر مطالعه‌ای Hiroki و همکارانش (۲۰۰۵) اثرات وابسته به دوز و زمان CLA را بر روی سلول‌های MKN-28 سرطان معده و COLO-320 سرطان کولون بررسی کردند و بیان داشتند که این ماده سبب کاهش بقای زیستی و رشد سلولی از طریق القای آپوپتوز و افزایش بیان ژن Bax، مهار تهاجم و متاستاز می‌شود (۳۱). در همین راستا Rajakangas و همکارانش (۲۰۰۳) در مطالعه‌ای اثرات CLA را روی سرطان کولون آزمایش کرده و اثرات ضدتوموری و کشندگی این ترکیب بر سلول‌های سرطان کولون موش، که باعث مهار سایکلین D1 که فعال‌کننده سنتز DNA و افزایش‌دهنده اندازه تومور است، را اعلام کردند (۳۲). نتایج ما نشان داد که کوچک‌مولکول GW9508 به صورت وابسته به دوز و زمان سبب مهار رشد و سمیت سلولی در هر دو رده نرمال و سرطانی می‌شود. سلول نرمال HUVEC برخلاف تصور ما، در مواجهه با کوچک‌مولکول GW9508، حساسیت مشابهی (غلظت سیتوتوکسیک و ضد تکثیری کوچک‌مولکول GW9508 در سلول‌های رده HUVEC مشابه با غلظت سیتوتوکسیک این دارو در سلول‌های سرطانی HT-29 بود و غلظت مؤثر GW9508 بر مهار ۵۰ درصدی رشد سلول‌ها (IC50)، در هر دو رده‌ی سرطانی HT-29 و نرمال HUVEC، ۵۰۰ میکرومولار ارزیابی شد) با سلول سرطانی نشان داد که احتمالاً مربوط به سرعت رشد و تکثیر بالای سلول‌های رده نرمال HUVEC است. بنابراین می‌توان اظهار کرد که GW9508 قادر به ایجاد سمیت وابسته به سرعت تکثیر سلولی است.

در همین راستا، از مجموعه بررسی‌های مورفولوژی و رنگ‌آمیزی DAPI می‌توان دریافت که تیمار GW9508 منجر به فعال شدن روند مرگ سلولی در رده سلول‌های سرطانی HT-29 و نرمال HUVEC شده است.

عوامل ضدسرطانی که برای ایجاد استرس اکسیداتیو بیشتر و القای مرگ سلولی ناشی از آن برای درمان سرطان تجویز می‌شوند شامل قرار گرفتن مستقیم سلول‌ها در معرض آن دسته از داروها و عوامل تولید کننده ROS، داروهای که سبب مهار آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و افزایش ROS ناشی از این امر می‌شوند و یا ترکیبی از این استراتژی می‌باشد (۳۶).

در پژوهش حاضر، اثرات کوچک مولکول GW9508 بر القای آپوپتوز در سلول‌های سرطان کولورکتال انسانی و سلول‌های اندوتلیال سیاهرگ بندناف بررسی شد. نتایج به دست آمده از بخش سلولی و سنجش آنزیمی این پژوهش تایید کرد که کوچک مولکول GW9508 سبب القای مرگ سلولی آپوپتوزی وابسته به استرس اکسیداتیو در سلول‌های سرطانی کولورکتال می‌شود و می‌تواند در درمان بدخیمی‌های روده بزرگ به صورت وابسته به دوز و غلظت موثر بوده و مورد استفاده قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

هزینه این تحقیق از محل اعتبارات پژوهانه سال ۹۸ معاونت پژوهشی دانشگاه شهیدچمران اهواز تامین شده است. نویسندگان این مقاله کمال تشکر و قدردانی خود را از معاونت پژوهشی و فن‌آوری دانشگاه شهید چمران اهواز به‌خاطر حمایت‌های مالی اعلام می‌دارد.

چرب غیراشباع نظیر CLA با تولید ROS و القای استرس اکسیداتیو می‌توانند سبب پشبرد مرگ سلولی آپوپتوزی در سلول‌های توموری پستان موش تیمار یافته با این اسید چرب شوند (۳۹). در همین راستا Fauser و همکارانش (۲۰۱۳)، اثر ضدسرطانی Lauric Acid بر رده سرطانی کولون انجام دادند و نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که Lauric Acid خصوصیات آنتی‌نئوپلاستیک قابل توجهی داشته که شامل القای آپوپتوز به دنبال تولید ROS و تغییر سطح گلوپتایون (GSH) است (۱۲). همچنین Pierre و همکارانش (۲۰۱۳) اثرات Trans-10, cis-12 CLA را بر القای مرگ سلولی در سرطان کولون انسانی مطالعه کردند و بیان داشتند که این ماده از طریق افزایش تولید ROS سبب آپوپتوز در سلول‌های سرطانی کولون می‌شود (۱۱). از این رو، علیرغم تأثیرات منفی افزایش ذاتی در سطح ROS در تومورزایی در سلول‌های سرطانی، امکان استفاده از این ویژگی بیوشیمیایی برای هدف‌های درمانی جدید از طریق مکانیسم‌های وابسته به استرس اکسیداتیو مطرح می‌باشد. سلول‌های نرمال سطوح پایین‌تری از ROS را دارند و به‌همین دلیل ظرفیت بالاتری برای مقابله با استرس اکسیداتیو نسبت به سلول سرطانی را دارند و اثر سمیت بر سلول‌های سالم کمتر است و این امر استفاده از داروهایی که مستقیم یا غیرمستقیم سبب افزایش استرس اکسیداتیو در سلول‌های سرطانی برای از میان برداشتن آنها می‌شود را توجیه می‌کند. سازوکار داروها و

REFERENCES

- Hoseini S, Moaddabshoar L, Hemati S, Mohammadianpanah M. An Overview of Clinical and Pathological Characteristics and Survival Rate of Colorectal Cancer in Iran. *Ann Color Res* 2014; 2:1-8.
- Ghobrial IM, Witzig TE, Adjei AA. Targeting apoptosis pathways in cancer therapy. *CA Cancer J Clin* 2005; 55:178-94.
- Chun J, Kang M, Kim YS. A triterpenoid saponin from *Adenophora triphylla* var. *japonica* suppresses the growth of human gastric cancer cells via regulation of apoptosis and autophagy. *Tumour Biol* 2014;35:12021-30.
- Fauser JK, Prisciandaro LD, Cummins AG, Howarth GS. Fatty acids as potential adjunctive colorectal chemotherapeutic agents. *Cancer Biol Ther* 2011; 11:724-31.
- Fulda S, Galluzzi L, Kroemer G. Targeting mitochondria for cancer therapy. *Nat Rev Drug Discov* 2010; 9:447.
- esik SW. Promoting apoptosis as a strategy for cancer drug discovery. *Nat Rev Cancer* 2005;5:876-85
- Fujita T, Matsuoka T, Honda T, Kabashima K, Hirata T, Narumiya S. A GPR40 agonist GW9508 suppresses CCL5, CCL17, and CXCL10 induction in keratinocytes and attenuates cutaneous immune inflammation. *J Invest Dermatol* 2011; 131:1660-7.
- Fukushima K, Yamasaki E, Ishii S, Tomimatsu A, Takahashi K. Biochemical and Biophysical Research Communications Different roles of GPR120 and GPR40 in the acquisition of malignant properties in pancreatic cancer cells. *Biochem Biophys Res Commun* 2015; 8-11.
- Gao B, Huang Q, Jie Q, Wang L, Zhang H, Liu J, et al. Biochimie Dose-response estrogen promotes osteogenic differentiation via GPR40 (FFAR1) in murine BMMSCs. *Biochimie* 2015;110:36-44.

10. Philippe C, Wauquier F, Léotoing L, Coxam V, Wittrant Y. GW9508 , a free fatty acid receptor agonist , specifically induces cell death in bone resorbing precursor cells through increased oxidative stress from mitochondrial origin. *Exp Cell Res* 2013; 319:3035–41.
11. Pierre AS, Minville-Walz M, Fèvre C, Hichami A, Gresti J, Pichon L, et al. Trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid induced cell death in human colon cancer cells through reactive oxygen species-mediated ER stress. *Biochim Biophys Acta* 2013;1831:759-68.
12. Fauser JK, Matthews GM, Cummins AG, Howarth GS. Induction of Apoptosis by the Medium-Chain Length Fatty Acid Lauric Acid in Colon Cancer Cells due to Induction of Oxidative Stress. *Chemotherapy* 2013; 59: 214–24.
13. Wang J, Yi J. Cancer cell killing via ROS: To increase or decrease; that is a question. *Cancer Biol Ther* 2008; 7:1875–84.
14. Dodson M, Darley-Usmar V, Zhang J. Cellular metabolic and autophagic pathways: traffic control by redox signaling. *Free Radic Biol Med* 2013; 63:207–21.
15. Wen X, Wu J, Wang F, Liu B, Huang C, Wei Y. Free Radical Biology and Medicine Deconvoluting the role of reactive oxygen species and autophagy in human diseases. *Free Radic Biol Med* 2013; 65:402–10.
16. Kono Y. Generation of superoxide radical during autoxidation of hydroxylamine and an assay for superoxide dismutase. *Arch Biochem Biophys* 1978; 186:189–95.
17. Koroliuk MA, Ivanova LI, Maïorova IG, Tokarev VE. Metod opredeleniia aktivnosti katalazy [A method of determining catalase activity]. *Lab Delo* 1988:16-9. [In Russian]
18. Alcindor T, Beauger N. Oxaliplatin: a review in the era of molecularly targeted therapy. *Curr Oncol* 2011;18:18.
19. Stordal B, Pavlakakis N, Davey R. Oxaliplatin for the treatment of cisplatin-resistant cancer: a systematic review. *Cancer Treat Rev* 2007; 33:347–57.
20. Conklin KA. Dietary polyunsaturated fatty acids: impact on cancer chemotherapy and radiation. *Altern Med Rev* 2002; 7:4–22.
21. Serini S, Piccioni E, Merendino N, Calviello G. Dietary polyunsaturated fatty acids as inducers of apoptosis: implications for cancer. *Apoptosis* 2009; 14:135–52.
22. Palombo JD, Ganguly A, Bistran BR, Menard MP. The antiproliferative effects of biologically active isomers of conjugated linoleic acid on human colorectal and prostatic cancer cells. *Cancer Lett* 2002; 177:163–72.
23. Cho HJ, Kim EJ, Lim SS, Kim MK, Sung M-K, Kim J-S, et al. Trans-10, cis-12, not cis-9, trans-11, conjugated linoleic acid inhibits G1-S progression in HT-29 human colon cancer cells. *J Nutr* 2006; 136:893–8.
24. Cesano A, Visonneau S, Scimeca JA, Kritchevsky D, Santoli D. Opposite effects of linoleic acid and conjugated linoleic acid on human prostatic cancer in SCID mice. *Anticancer Res* 1998; 18:1429–34.
25. Doll R, Peto R. The causes of cancer: quantitative estimates of avoidable risks of cancer in the United States today. *JNCI J Natl Cancer Inst* 1981; 66:1192–308.
26. Milligan G, Shimpukade B, Ulven T, Hudson BD. Complex pharmacology of free fatty acid receptors. *Chem Rev* 2016; 117:67–110.
27. Fan Y-Y, Ran Q, Toyokuni S, Okazaki Y, Callaway ES, Lupton JR, et al. Dietary fish oil promotes colonic apoptosis and mitochondrial proton leak in oxidatively stressed mice. *Cancer Prev Res* 2011; 4:1267–74.
28. Wu Q, Wang H, Zhao X, Shi Y, Jin M, Wan B, et al. Identification of G-protein-coupled receptor 120 as a tumor-promoting receptor that induces angiogenesis and migration in human colorectal carcinoma. *Oncogene* 2013; 32: 5541-5550.
29. Touil Y, Igoudjil W, Corvaisier M, Dessein A-F, Vandomme J, Monté D, et al. Colon cancer cells escape 5FU chemotherapy-induced cell death by entering stemness and quiescence associated with the c-Yes/YAP axis. *Clin cancer Res* 2014; 20:837–46.
30. Park HS, Ryu JH, Ha YL, Park JHY. Dietary conjugated linoleic acid (CLA) induces apoptosis of colonic mucosa in 1, 2-dimethylhydrazine-treated rats : A possible mechanism of the anticarcinogenic effect by CLA. *Br J Nutr* 2011; 86:549-55.
31. Kuniyasu H, Yoshida K, Sasaki T, Sasahira T, Fujii K, Ohmori H. Conjugated linoleic acid inhibits peritoneal metastasis in human gastrointestinal cancer cells *Int J Cancer* 2006; 576:571–6.

32. Rajakangas J, Basu S, Salminen I, Mutanen M. Adenoma growth stimulation by the trans-10, cis-12 isomer of conjugated linoleic acid (CLA) is associated with changes in mucosal NF- κ B and cyclin D1 protein levels in the Min mouse. *J Nutr* 2003; 133:1943–8.
33. Fliss MS, Usadel H, Caballero OL, Wu L, Buta MR, Eleff SM, et al. Facile detection of mitochondrial DNA mutations in tumors and bodily fluids. *Science* 2000; 287:2017–9.
34. Kang D, Hamasaki N. Mitochondrial oxidative stress and mitochondrial DNA. *Clin Chem Lab Med* 2003; 41:1281–8.
35. Vafa O, Wade M, Kern S, Beeche M, Pandita TK, Hampton GM, et al. c-Myc can induce DNA damage, increase reactive oxygen species, and mitigate p53 function: a mechanism for oncogene-induced genetic instability. *Mol Cell* 2002; 9:1031–44.
36. Pelicano H, Carney D, Huang P. ROS stress in cancer cells and therapeutic implications. *Drug Resist Updat* 2004; 7:97–110. doi: 10.1016/j.drug.2004.01.004.
37. Fojo T. p53 as a therapeutic target: unresolved issues on the road to cancer therapy targeting mutant p53. *Drug Resist Updat* 2002; 5:209–16.
38. Sastre J, Pallardó F V, Viña J. Mitochondrial oxidative stress plays a key role in aging and apoptosis. *IUBMB Life* 2000; 49:427–35.
39. Hsu Y, Ip MM. Conjugated linoleic acid-induced apoptosis in mouse mammary tumor cells is mediated by both G protein coupled receptor-dependent activation of the AMP-activated protein kinase pathway and by oxidative stress. *Cell Signal* 2020; 23:2013–20.