

مطالعه ساختاری برهم کنش داروی ضدسرطان از دسته کمپلکس پلاتینی با آلبومین سرم انسانی

سارا نوری‌زاده^۱، عادله دیوسالار^{۱*}، محبوبه اسلامی مقدم^۲ و علی اکبر صبوری^۳

دریافت: ۱۳۹۴/۵/۱۲ / پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۶

^۱گروه علوم سلولی و مولکولی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه خوارزمی، تهران

^۲پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران، تهران

^۳مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران

*مسئول مکاتبات: divsalar@khu.ac.ir

چکیده. آلبومین سرم انسانی (HSA) فراوان‌ترین پروتئین موجود در پلاسما خون است که مسئول حدود ۸۰ درصد از فشار اسمزی خون است و پروتئین حامل بسیاری از ترکیبات از جمله داروها نیز قلمداد می‌شود. در این مطالعه اثر جانبی کمپلکس تازه‌سنتز شده و ضدسرطانی پلاتین (فنیل ایزوپنتیل گلايسین نترات پلاتین) بر ساختار پروتئین حامل خون، آلبومین سرم انسانی، بررسی شد. در این مطالعه تجربی، اثر جانبی کمپلکس، تعیین جایگاه اتصال کمپلکس، نحوه برهم کنش و سازوکار آن بر HSA از طریق روش‌های مختلف طیف‌سنجی (فلوئورسانس و دورنگ‌نمایی حلقوی) در دو دمای ۲۵ و ۳۷ درجه سانتی‌گراد مطالعه شد. تحلیل طیف فلوئورسانس نشان داد که افزودن این کمپلکس به پروتئین موجب کاهش نشر فلوئورسانس ذاتی پروتئین از طریق سازوکار خاموشی و تغییر در ساختار سه‌بعدی تریئوفان‌های موجود در پروتئین می‌شود. تعداد جایگاه‌های اتصال، ثابت خاموشی اشترن-ولمر و ثابت اتصال کمپلکس بر پروتئین آلبومین محاسبه شد. همچنین تحلیل طیف دورنگ‌نمایی حلقوی نشان می‌دهد که کمپلکس پلاتین ساختار دوم پروتئین را از طریق کاهش ساختار منظم مارپیچ آلفا و افزایش ساختارهای صفحات بتا تغییر می‌دهد که بیان‌گر کاهش پایداری ساختار دوم پروتئین می‌باشد. نتایج فوق نشان می‌دهند که این کمپلکس جدید سنتزی پلاتین می‌تواند به پروتئین حامل خون (HSA) متصل شود و ساختار دوم و سوم آن را تغییر دهد. این موضوع به مثابه اثر جانبی داروی تازه‌سنتز شده مطرح است. امید است نتایج تحقیق حاضر راهگشای سنتز و طراحی ترکیباتی با عوارض جانبی کمتر در شیمی درمانی باشد.

واژه‌های کلیدی. آلبومین انسانی، کمپلکس پلاتین، فلوئورسانس، دورنگ‌نمایی حلقوی

A structural study on the interaction of the anti-cancer compound of Platinum complex with human serum albumin

Sara Noorizadeh¹, Adeleh Divsalar^{1*}, Mahbubeh Eslami-Moghaddam² and Ali Akbar Saboury³

Received 03.08.2015/ Accepted 15.02.2016

¹Department of Cell and Molecular Sciences, Faculty of Biological Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

²Chemistry and Engineer Chemistry Research Center, Tehran, Iran

³Institute of Biochemistry and Biophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

*Correspondent author: divsalar@khu.ac.ir

Abstract. Human serum albumin (HSA) is the most abundant protein in blood plasma, which is responsible for 80% of blood pressure; it also acts as a carrier protein for many compounds in the blood such as drugs. In the present study, the interaction and side-effects of a newly-designed anti-cancer compound of isopentyl-glycine1, 10-phenanthroline Platinum nitrate on HSA have been investigated. In this investigation, the side effects, values of the number of binding sites and the association binding constants of new synthesized Pt(II) complex have been studied by different spectroscopic (fluorescence and circular dichroic (CD) techniques at different temperatures of 25 and 37 °C. The analysis of fluorescence spectra showed that the addition of the complex led to a significant reduction in the fluorescence spectra of HSA via quenching mechanism. Also, it can change the three-dimensional structure of tryptophan existing in the protein. The number of binding sites, the Stern-Volmer quenching constant and the association constant of the complex were calculated on the HSA protein. The analysis of circular dichroic spectra showed that the complex can change the regular secondary structure of the protein via reduction of α helical structure and increase of β sheet structure which indicates a decrease in the stability of the protein. According to the results obtained, it can be concluded that this new synthesized Pt(II) complex can bind to the main blood carrier protein (HSA) and change the secondary and tertiary structure of the protein which can be considered as the side-effects of this drug.

Keywords. HSA, platinum complex, fluorescence, side effects, thermodynamic parameters

مقدمه

تومور در آن قرار دارد، می‌تواند عامل موثری در شیمی‌درمانی باشد (Han et al., 2015).

به دلیل سمی بودن داروهای ضدسرطان و انتخاب آنها علیه رشد سریع سلول‌ها، بافت‌های سالم نیز در معرض خطر قرار می‌گیرند و عوارض جانبی ناخوشایندی از جمله حالت تهوع، ریزش مو، کم‌خونی و سمی شدن گوارشی به دنبال دارد. مشکل دوم مقاومت سلول‌های سرطانی در برابر داروست که موجب پایین‌آمدن ظرفیت و کارایی دارو می‌شود. این دو عامل سمی بودن و مقاومت دارو، دلایل اصلی تحقیقات وسیع درباب داروهای ضدسرطان و بررسی اثر درمانی آنها است (Ho, 2006).

کمپلکس‌های فلزی در درمان بسیاری از بیماری‌ها شامل سرطان، آمی، آماس مفاصل، التهاب مزمن، عفونت باکتریایی و بیماری‌های گوارشی کاربرد دارند. داروهای پلاتینی نقش کلیدی بین عوامل ضدسرطان برپایه فلز بازی می‌کنند. اولین نسل این داروها سیس پلاتین بود و بعد به ترتیب کربوپلاتین و اگزالی پلاتین به بازار عرضه شدند (Lebwohl & Canetta, 1998).

استفاده از داروهای پلاتین (مانند سیس پلاتین) برای درمان سرطان، نشان‌دهنده توانایی این کمپلکس‌های فلزی در درمان است. کمپلکس‌های فلزی گروه پلاتینیوم، دارای پتانسیل حمله به سلول‌های سرطانی به منزله آنتی‌تومور است. به این منظور، در این تحقیق به بررسی برهم‌کنش داروی تازه سنتز شده (فنیل ایزوپنتیل گلاسیسین پلاتین نترات) از دسته کمپلکس‌های پلاتین با مهم‌ترین پروتئین حامل خون (HSA) به منظور بررسی اثر جانبی داروی سنتزی در دماهای محیط و فیزیولوژیک پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

مواد

آلبومین سرم انسان (HSA) فاقد اسید چرب با درجه خلوص بالای ۹۹ درصد با کد A1653-IG از سیگما خریداری شد. کمپلکس فنیل ایزوپنتیل گلاسیسین پلاتین نترات نیز در آزمایشگاه

آلبومین سرم انسانی (HSA) یکی از اصلی‌ترین و در عین حال فراوان‌ترین پروتئین‌های موجود در پلاسما خون است که صرفاً از یک زنجیره پپتیدی ساخته شده و دارای ۵۸۵ ریشه آمینواسیدی است. از مهم‌ترین نقش‌های این پروتئین تنظیم فشار اسمزی در pH خون است. این پروتئین مسئول حدود ۸۰٪ از فشار اسمزی خون است؛ به علاوه دارای خواص آنزیمی است و همچنین به عنوان پروتئین حامل و مخزن برای بسیاری از ترکیبات از جمله اسیدهای چرب، داروها، متابولیت‌ها و یون‌های فلزی عمل می‌کند (Ascenzi et al., 2010).

پروتئین آلبومین سرم انسانی یکی از کوچک‌ترین پروتئین‌های موجود در پلاسما خون است. اندازه و همچنین فراوانی این پروتئین گویای این حقیقت است که بسیاری از ترکیبات متابولیک و داروهای درمانی به وسیله این پروتئین حمل می‌شوند (Iglesias et al., 2015). اکثر لیگاندها به صورت برگشت-پذیر به پروتئین متصل شده‌اند و ثابت پیوند آنها در محدوده 10^4-10^6 M^{-1} می‌باشد. مشخص شده است که آلبومین سرم انسانی تقریباً هر مولکول کوچکی را منتقل می‌کند، بنابراین، این پروتئین توانایی بالقوه‌ای برای عمل کردن به مثابه حامل مولکولی یا نانوحامل به منظور اهداف کلینیکی، بیوفیزیکی و صنعتی دارد (Shi et al., 2015).

امروزه روش‌های متعددی از جمله جراحی، پرتودرمانی و شیمی‌درمانی و غیره برای درمان سرطان وجود دارد (Knoll et al., 2015). استفاده هم‌زمان از این درمان‌ها علیه سرطان‌هایی که به طور سریع و غیرمعمول در بدن پخش می‌شوند مثل سرطان خون به کار گرفته می‌شود، اما داروهای شیمیایی علاوه بر سلول‌های سرطانی، سلول‌های سالم و عوامل مفید مثل آنزیم‌ها و سوبسترای آنها را نیز هدف حمله قرار می‌دهند. بافت‌های حساس مثل بافت‌های مغز استخوان، دستگاه گوارش و دفع ادرار که فعالیت زیاد و ظریف دارند، بیشترین صدمه را متحمل می‌شوند. از طرفی، درمان به روش جراحی نیز موفقیت چندانی در درمان سرطان به دنبال ندارد. بنابراین انتخاب نوع دارو بر حسب عواملی مانند نوع تومور، اندازه، محل و مخصوصاً مرحله‌ای که

شناسایی و سنتز شد. نمک کلرید سدیم خریداری شده از شرکت Merck برای تهیه حلال ۵ میلی مولار به کار گرفته شد.

روش‌ها

مطالعات فلوئورسانس

برای بررسی تغییرات ساختار سوم آلبومین سرم انسانی در اثر اتصال دارو از طیف سنج فلورسانس مدل Cary استفاده شد: در این آزمایش، به کووت‌های مخصوص با حجم ۵۰۰ میکرولیتری، ۴۰۰ میکرولیتر بافر کلرید سدیم ۵ میلی مولار و محلول HSA با غلظت ۲۴ میکرومولار اضافه شد. طول موج تحریکی در ۲۹۰ نانومتر و محدوده طول موج نشری بین ۲۹۵ تا ۵۰۰ نانومتر قرار داده شد و آزمایش در غلظت‌های مختلف افزایشی از کمپلکس پلاتین (صفر، ۸، ۲۳، ۱۵، ۳۱، ۴۰، ۴۶، ۵۴، ۶۲، ۶۹، ۷۶، ۸۴، ۹۱، ۹۸، ۱۰۶ و ۱۱۳ میکرو مولار) و در دو دمای ۲۵ و ۳۷ درجه سانتی گراد انجام گرفت. در هر بار اضافه کردن کمپلکس پلاتین به مدت ۳ دقیقه با پروتئین آلبومین انکوبه شد. آزمایش‌ها حداقل ۳ بار تکرار شدند.

مطالعه طیف دورنگ‌نمایی حلقوی (Circular Dichroism)

مطالعه دورنگ‌نمایی حلقوی در ناحیه فرابنفش دور یعنی طول موج ۱۹۰ تا ۲۶۰ نانومتر که مطابق با جذب پیوندهای پپتیدی است، به وسیله دستگاه اسپکتروپلاریومتر مدل ۲۱۵ انجام شد. هدف از تحلیل مزبور دسترسی به میزان ساختارهای دوم منظم پروتئین آلبومین سرم انسانی و تغییرات ناشی از اتصال کمپلکس پلاتین به آن در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و با طول مسیر نور ۰/۱ سانتی متر است. غلظت پروتئین مورد نیاز به این منظور ۸ میکرومولار بوده و تغییرات در ساختار دوم پروتئین حاصل از برهم کنش کمپلکس فوق پس از ۳ دقیقه انکوباسیون بررسی

شده است. جهت بررسی تغییرات کمی در محتوای ساختار دوم پروتئین از نرم افزار CDNN استفاده شد.

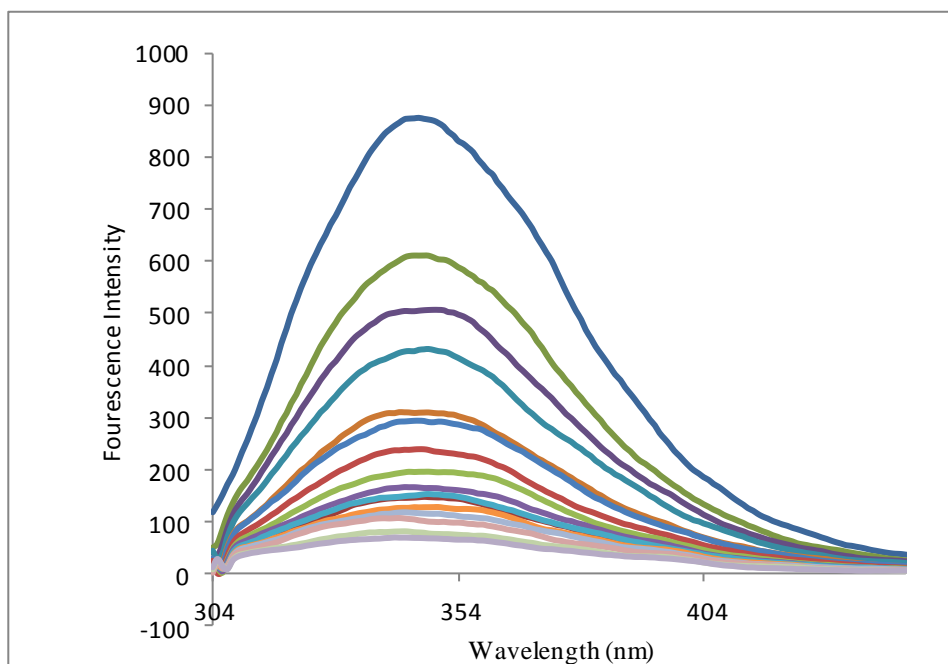
نتایج

مطالعات فلورسانس ذاتی

فلورسانس یک تکنیک بسیار قوی برای مطالعه ساختار، دینامیک و خصوصیات اتصالی مولکول‌های پروتئینی موجود در محلول است. پروتئین‌ها به دلیل حضور آمینو اسیدها، به ویژه تریپتوفان، تیروزین و فنیل آلانین دارای فلوئورسانس ذاتی است. فلوئورسانس ذاتی آلبومین سرم انسانی نتیجه حضور تنها ریشه تریپتوفان (Trp-214) در حفره هیدروفوب است (Rebwohl & Canetta, 1998).

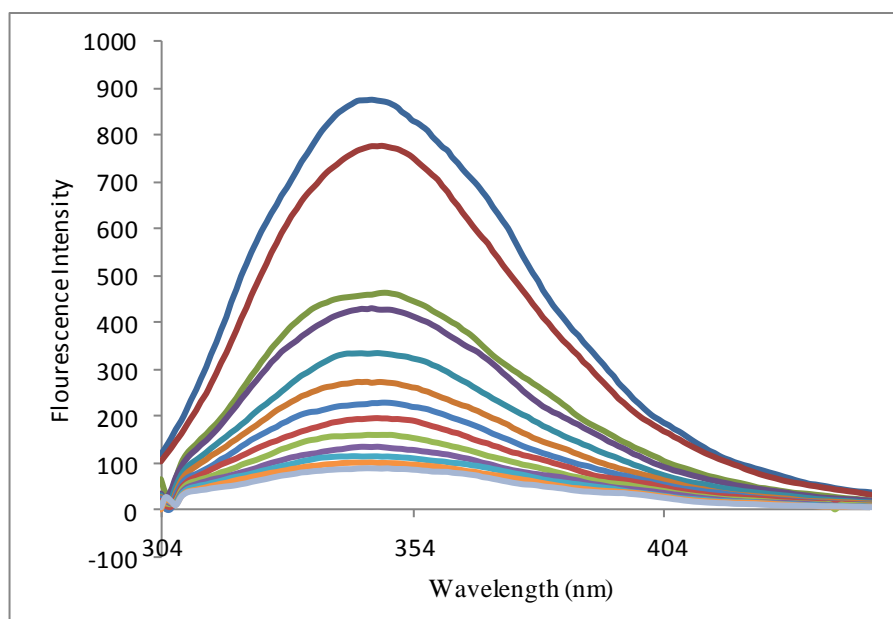
تغییرات در طیف نشری فلوئورسانس آلبومین سرم انسانی در غیاب و در حضور غلظت‌های مختلف کمپلکس پلاتین در دو دمای ۲۵ و ۳۷ درجه سانتی گراد در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اضافه کردن این کمپلکس منجر به کاهش چشمگیری در طیف نشری فلوئورسانس Trp214 پروتئین در هر دو دمای محیط و فیزیولوژیک منجر می‌شود که نشانه اولیه‌ای از برهم کنش کمپلکس پلاتین با آلبومین سرم انسانی است.

همچنین شکل ۳ نشان می‌دهد که با افزایش غلظت کمپلکس کاهش فاحشی در نشر ماکسیمم پروتئین یا خاموشی در نشر ذاتی پروتئین در هر دو دمای تحت مطالعه مشاهده می‌شود تا اینکه در غلظت‌های زیاد کمپلکس مقدار این کاهش کمتر شده و به حالت اشباع می‌رسد.



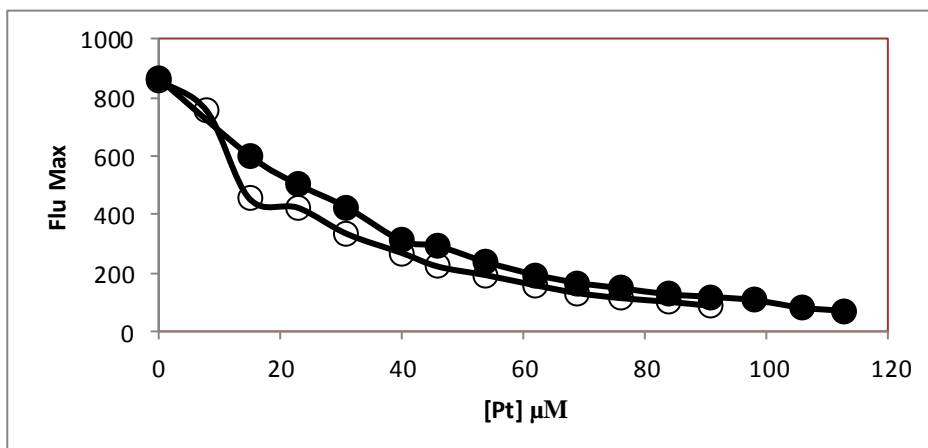
شکل ۱- طیف فلوروسانس پروتئین آلبومین سرم انسان در حضور غلظت‌های صفر، ۸، ۱۵، ۲۳، ۳۱، ۴۰، ۴۶، ۵۴، ۶۲، ۶۹، ۷۶، ۸۴، ۹۱، ۹۸، ۱۰۶ و ۱۱۳ میکرومولار از کمپلکس پلاتین در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد.

Fig. 1. The fluorescence spectra of human serum albumin in the presence of various concentration of Pt complex (0, 8, 15, 23, 31, 40, 46, 54, 62, 69, 76, 84, 91, 98, 106, 113 μM) at 25 $^{\circ}\text{C}$.



شکل ۲- طیف فلوروسانس پروتئین آلبومین سرم انسان در حضور غلظت‌های صفر، ۸، ۱۵، ۲۳، ۳۱، ۴۰، ۴۶، ۵۴، ۶۲، ۶۹، ۷۶، ۸۴، ۹۱، ۹۸، ۱۰۶ و ۱۱۳ میکرومولار از کمپلکس پلاتین در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد.

Fig. 2. The fluorescence spectra of human serum albumin in the attendance of various concentration of Pt complex (0, 8, 15, 23, 31, 40, 46, 54, 62, 69, 76, 84, 91, 98, 106, 113 μM) at 37 $^{\circ}\text{C}$.



شکل ۳- تغییرات در نشر ماکزیمم پروتئین آلبومین سرم در حضور غلظت‌های متفاوت کمپلکس پلاتین ۸، ۱۵، ۲۳، ۳۱، ۴۰، ۴۶، ۵۴، ۶۲، ۶۹، ۷۶، ۸۴، ۹۱، ۹۸، ۱۰۶ و ۱۱۳ میکرومولار) در دو دمای ۲۵ (●) و ۳۷ (○) درجه سانتی‌گراد.

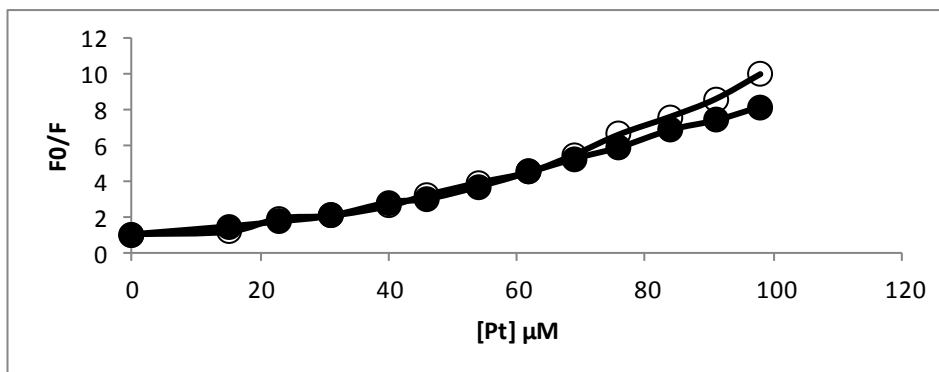
Fig. 3. Changes in maximum fluorescence intensity of HSA in the presence of different concentrations of Pt (II) complex (8, 15, 23, 31, 40, 46, 54, 62, 69, 76, 84, 91, 98, 106, 113 μM) at different temperatures of 27 (●) and 37 °C (○).

منحنی غیرخطی اشترن ولمر می‌تواند نتیجه ترکیبی از سازوکار خاموشی از نوع استاتیک و دینامیک یا به علت غلظت بالای لیگاندهای اطراف فلوروفور باشد (Giovagnini *et al.*, 2005) که در شکل ۴ مشاهده می‌شود.

به منظور تعیین سازوکار خاموشی، نتایج فلورسانس از طریق معادله اشترن-ولمر (معادله ۱) تحلیل شد (Sabin & Sadler, 2009):

$$F_0/F = 1 + K_{sv}[Q] \quad (1)$$

در معادله فوق، F_0 و F به ترتیب مبین شدت نشر فلوروسانس ذاتی پروتئین در غیاب و حضور خاموش‌کننده (کمپلکس پلاتین)، K_{sv} ثابت خاموشی اشترن-ولمر و $[Q]$ غلظت خاموش‌کننده است.



شکل ۴- نمودار اشترن-ولمر F_0/F در مقابل خاموش‌کننده $[Q]$ در دو دمای ۲۵ (●) و ۳۷ (○) درجه سانتی‌گراد.

Fig. 4. The Stern-Volmer plots of the interaction between Pt (II) complex and quencher at 25 (●) and 37 °C (○).

می‌یابد که نشان‌دهنده سهم بالای سازوکارهای خاموشی از نوع استاتیک است.

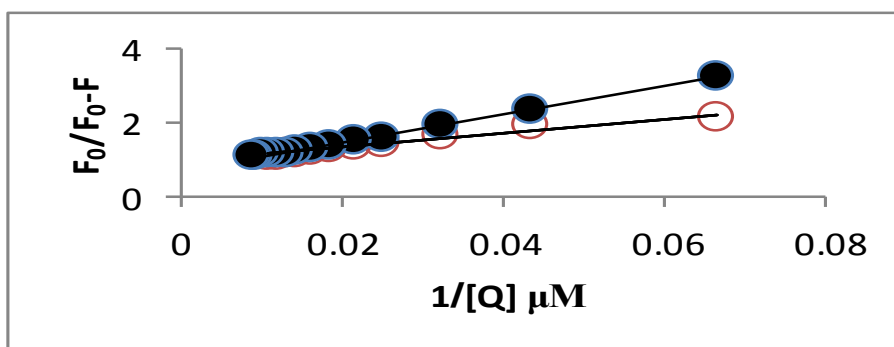
مقادیر f_a برای آلبومین انسانی در حضور کمپلکس در دو دمای ۲۵ و ۳۷ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۱.۴۱ و ۷.۴ به دست آمد؛ بدین معنی که ۹۸.۵۹٪ و ۹۲.۶٪ از فلوروفور پروتئین تحت تأثیر کمپلکس پلاتین به ترتیب در دماهای ۲۵ و ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته است.

جهت تخمین دقیق نوع سازوکار خاموشی و مقادیر ثابت خاموشی اشترن-ولمر در دو دما، از معادله اصلاح‌شده اشترن-ولمر (معادله ۲) استفاده شد (Zhang *et al.*, 1998):

$$F = F_0 / F_0 - F = 1 / f_a K_{sv} [Q] + F_0 / \Delta 1 / f_a \quad (2)$$

که در این معادله f_a کسری از فلورسانس اولیه است که در دسترس خاموش‌کننده قرار دارد.

همان‌طور که شکل ۵ نشان می‌دهد نمودار $F_0 / F_0 - F$ در مقابل $1/[Q]$ به صورت خط راستی به دست آمده که می‌توان مقادیر f_a و K_{sv} را به ترتیب از مقادیر عرض از مبدأ و شیب این نمودار به دست می‌آید. همچنین مقدار ثابت خاموشی اشترن-ولمر محاسبه شده و در جدول ۱ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود این مقدار به شدت وابسته به دماست. به بیان دیگر، با افزایش دما از ۲۵ به ۳۷ درجه سانتی‌گراد مقدار K_{sv} کاهش



شکل ۵- نمودار F_0/F_0-F در مقابل $1/[Q]$ بر طبق معادله ۲ در دو دمای ۲۵ (●) و ۳۷ (○) درجه سانتی‌گراد.

Fig. 5. Changes of F_0/F_0-F against $1/[Q]$ according equation number 2 at different temperatures of 25 (●) and 37 (○) °C.

نمودار $\log [(F_0 - F)/F]$ علیه $[Q]$ یک نمودار خطی است که شیب این نمودار برابر با تعداد جایگاه‌های اتصال و عرض از مبدأ آن نیز برابر با $\log K$ است (شکل ۶).

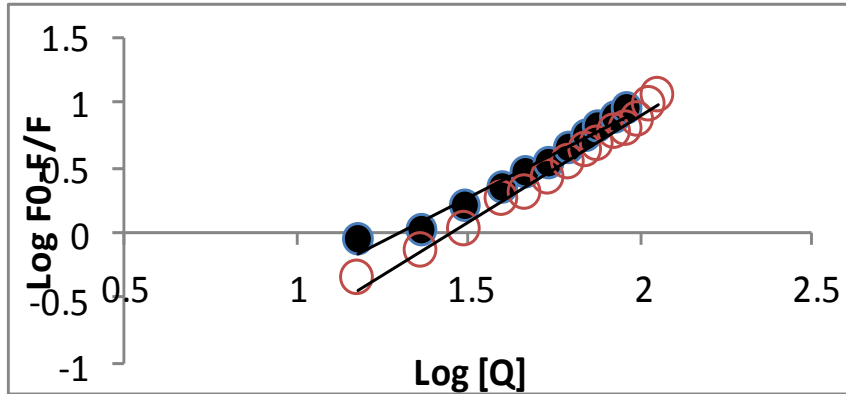
مقادیر K و n در دو دمای ۲۵ و ۳۷ درجه سانتی‌گراد در جدول ۱ لیست شده‌اند.

جهت دستیابی به پارامترهای مختلف اتصال کمپلکس پلاتین و HSA از تحلیل نتایج فلورسانس از رابطه ۳ استفاده شد (Wang *et al.*, 1996).

$$\log[(F_0 - F) / F] = \log K + n \log [Q] \quad (3)$$

ثابت اتصال با افزایش دما مبین گرمازا بودن برهم کنش بین کمپلکس پلاتین و آلبومین سرم انسان است.

همانطور که مشاهده می شود مقدار n در هر دو دما تقریباً برابر ۱/۵ است که نشان دهنده وجود تقریباً یک جایگاه اتصال برای این کمپلکس بر آلبومین سرم انسان است. علاوه بر این کاهش



شکل ۶- نمودار $\log F_0-F/F$ در مقابل $\log [Pt]$ در دو دمای ۲۵ (●) و ۳۷ (○) درجه سانتی گراد.

Fig. 6. The $\log F_0-F/F$ against $\log [Pt]$ at different temperatures of 25 (●) and 37 (○) °C.

جدول ۱- پارامترهای اتصال کمپلکس پلاتین به آلبومین سرم انسانی در دو دمای ۲۵ و ۳۷ درجه سانتی گراد.

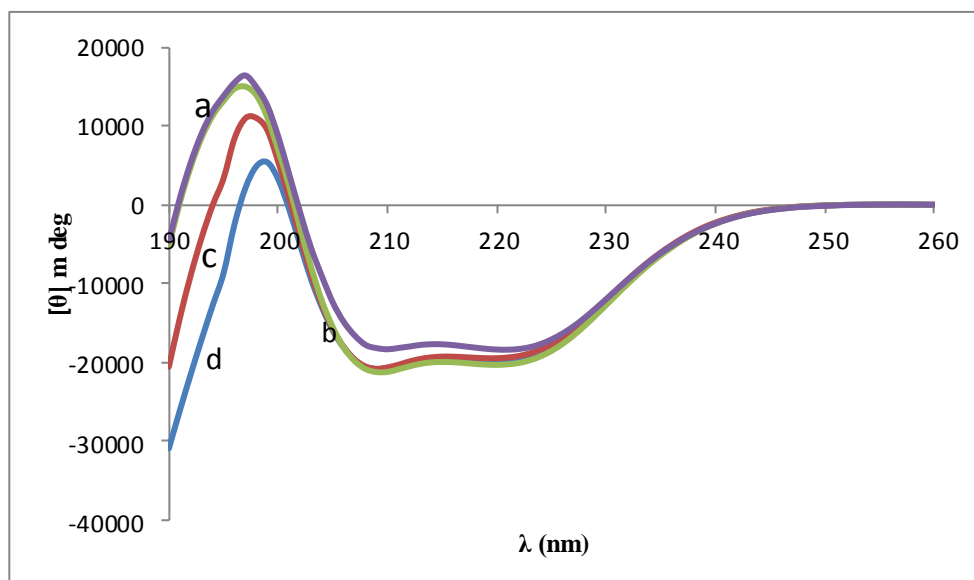
Table 1. Binding parameters of the Pt (II) complex interaction with human serum albumin at different temperatures of 25 and 37 °C.

دما (درجه سانتی گراد)	$K_{SV} (\mu M^{-1})$	f_a	$K (\mu M^{-1})$	n
۲۵	۰/۰۱۸	۱/۴۷	۰/۰۰۵	۱/۵
۳۷	۰/۰۰۲	۷/۴	۰/۰۰۷	۱/۶

حضور غلظت‌های مختلف کمپلکس در دمای ۲۵ درجه سانتی-گراد به دست آمده است (شکل ۷). همچنین محتوای درصد ساختارهای دوم پروتئین در غیاب و حضور غلظت‌های مختلف کمپلکس به کمک نرم افزار CDNN محاسبه شده است (جدول ۲). همان‌طور که شکل ۷ و نتایج جدول ۲ نشان می‌دهند با افزایش غلظت کمپلکس تغییرات فاحشی در محتوای ساختار دوم آلبومین همراه با کاهش درصد مارپیچ آلفا و افزایش ساختار کلاف نامنظم ایجاد می‌شود که مبین کاهش در پایداری ساختار منظم دوم آلبومین در اثر این دارو است.

مطالعات دورنگ‌نمایی حلقوی

طیف‌سنجی دورنگ‌نمایی حلقوی می‌تواند به صورت حساسی تغییرات کانفورماسیونی پروتئین را که در اثر اندرکنش با لیگاند رخ می‌دهد به نمایش بگذارد. همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود طیف CD آلبومین سرم دارای دو مینیمم در طول موج-های ۲۰۸ و ۲۲۲ نانومتر است که نشان‌دهنده محتوای هلیکسی پروتئین است (Wang *et al.*, 1996). طیف دورنگ‌نمایی حلقوی آلبومین سرم انسان در ناحیه فرابنفش دور در غیاب و



شکل ۷- طیف دورنگ‌نمایی آلبومین سرم انسانی در غیاب (a) و در حضور غلظت‌های مختلف کمپلکس پلاتین (b) ۹، (c) ۲۱، (d) ۳۹ میکرومولار در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد.

Fig. 7. Far-UV-CD spectra of HSA in (a) the absence; (b-d) in the presence of various concentration of Pt (II) complex [9 (b), 21 (c) and 39 (d) μM] at 25 °C.

جدول ۲- تغییر در محتوای ساختار دوم پروتئین در اثر برهم‌کنش با کمپلکس پلاتین در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد.

Table 2. Changes in the secondary structure of protein upon interaction with Pt (II) complex at 25 °C.

Complex (μM)	α - helix %	β -sheet%	Random coil %
۰	۴۰/۵	۱۵/۸	۲۲/۴
۹	۴۷/۴	۱۴/۷	۲۰/۳
۲۱	۵۳/۲	۱۴/۸	۱۸/۵
۳۹	۴۷/۹	۱۴/۴	۲۲/۹

بحث

گوانوزین باعث ایجاد اختلال در همانندسازی DNA شده و به مرگ سلول سرطانی منجر می‌شود. همچنین کمپلکس‌های پلاتین در دوزهای بالا می‌توانند با ترکیبات درون سلول نظیر گلوتاتیون و مولکول‌های حاوی گوگرد واکنش دهند (Zhang *et al.*, 1998).

برهم‌کنش بین کمپلکس‌های پلاتین با پروتئین‌های حامل مثل آلبومین سرم و هموگلوبین نشان داده که این کمپلکس‌ها می-

کمپلکس‌های سیس پلاتین و کربوپلاتین به فراوانی در درمان برخی از تومورهای انسانی مانند سرطان‌های تخمدان، بیضه، ریه، مثانه، سر و گردن کاربرد دارند (Mansouri-Turshizi *et al.*, 1992). اما مصرف داروهای پلاتین با برخی عوارض جانبی مثل ایجاد سمیت در نفرون‌ها همراه است. مطالعات قبلی نشان داده که اتصال کمپلکس‌های پلاتین به نیتروژن‌های N7 دو باز

پروتئین حامل داروها در خون، کاهش پایداری پروتئین مذکور از طریق کاهش مقدار ساختارهای منظم آلفا هلیکس در پروتئین مشاهده شد، همین تغییر ایجاد شده در ساختارهای دوم و سوم پروتئین از عوارض جانبی داروی جدید فنیل ایزو پنتیل گلايسين است.

نتیجه‌گیری

نتایج پیش گفته نشان می‌دهند که این کمپلکس جدید سنتزی پلاتین می‌تواند به پروتئین حامل خون (HSA) متصل شود و ساختار دوم و سوم آن را تغییر دهد و با کاهش ساختارهای آلفا هلیکس درون پروتئین باعث پایداری کمتر آلبومین سرم شود که این موضوع اثر جانبی داروی تازه سنتز شده است. امید است که نتایج تحقیق حاضر راه‌گشای سنتز و طراحی ترکیباتی با عوارض جانبی کمتر و مؤثرتر در شیمی‌درمانی و نویدبخشی برای بیماران سرطانی باشد.

سپاسگزاری

بدین وسیله نهایت تشکر و قدردانی خود را از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه خوارزمی به دلیل حمایت مالی از تحقیق حاضر اعلام می‌کنیم.

توانند به‌طور قابل توجهی ساختار و عملکرد پروتئین‌های حامل خود را تغییر دهند و این خود گویای عوارض جانبی فراوان آنها است. با این حال اطلاعات کمی درباره برهم‌کنش کمپلکس‌های ضدسرطانی پلاتین وجود دارد.

همچنین Miklášová و همکارانش (2012) اثر برخی کمپلکس‌های پالادیمی و پلاتینی را بر سلول‌های سرطان کبدی بررسی کردند و نشان دادند که این کمپلکس‌ها دارای توان القای مرگ برنامه‌ریزی شده سلولی هستند و القای مرگ برنامه‌ریزی شده سلولی در سلول‌ها با افزایش آسیب‌های DNA و افزایش ظرفیت تشکیل کراس‌لینک‌ها با DNA مارپیچ دورشته‌ای همراه است.

در تحقیقات گذشته اثر مشتق دیگری از کمپلکس پلاتین (۲و۲ بی پیریدین بوتیل گلايسينو پلاتین نترات) بر ساختار آلبومین انسانی بررسی شد که نتایج مبین افزایش پایداری ساختار آلبومین انسانی در حضور این کمپلکس بوده‌اند (Divsalar *et al.*, 2010). در تحقیقی دیگر اثر کمپلکس بوتیل‌دی‌تیو کرمامات پالادیوم بر آلبومین سرم انسانی نیز نشان داد که این کمپلکس با کاهش ساختار آلفا هلیکس پروتئین از پایداری HSA می‌کاهد (Mansouri-Torshizi *et al.*, 2003)، که در توافق با یافته‌های تحقیق حاضر است. در این تحقیق نیز با تمرکز بر تأثیرات مشتق جدید و تازه سنتز شده‌ای از کمپلکس فنیل پلاتین بر پروتئین آلبومین سرم انسانی، به منزله مهم‌ترین

References

- Ascenzi, P. and Fasano, M. 2010. Allosteric in a monomeric protein: The case of human serum albumin. – *Biophysical Chemistry* 148: 16-22.
- Asha, J.M., Selvaraj, S., Paramaguru, G., Venuvanalingam, P. and Renganathan, R. 2011. Spectroscopic and molecular docking investigations on the interaction of Rutin with bovine serum albumin. – *Zeitschrift Fur Physikalische Chemie*. 225: 441-454.
- Bertucci, C. and Domenici, E. 2002. Reversible and covalent binding of drugs to human serum albumin. Methodological approaches and physiological relevance. – *Curr. Med. Chem.* 9: 1463-1481.

- Divsalar, A., Saboury, A.A., Ahadi, L., Zemanatiyar, E. and Mansouri-Torshizi, H. 2010. Investigation of effects of newly synthesized Pt(II) complex against human serum albumin and leukemia cell line of K562. *BMB Reports* 43: 766-771.

- Divsalar, A., Bagheri, M.J., Saboury, A.A., Mansoori-Torshizi, H. and Amani, M. 2009. Investigation on the interaction of newly designed anticancer Pd(II) complexes with different aliphatic tails and human serum albumin. – *J. Phys. Chem. B*. 113: 14035-14042.

- Giovagnini, L., Marzano, C., Bettio, F. and Fregona, D. 2005. Chemical and biological profiles of novel

copper (II) complexes containing S-Donor ligands for the treatment of cancer. – J. Inorg. Biochem. 99: 21-39.

Han, X., Sun, J., Wang, Y. and He, Z. 2015. Recent advances in platinum (IV) complex-based delivery systems to improve Platinum (II) anticancer therapy. – Med. Res. Rev. 35: 68-99.

Ho, J.W. 2006. Potential and cytotoxicity of cis-platinum complex with antitumor activity in combination therapy. – Recent. Patent. Anti-cancer Drug Discovery 1: 129-134.

Iglesias, B.A., Barata, J.F., and Pereira, P.M. 2015. New platinum (II)-bipyridyl corrole complexes: Synthesis, characterization and binding studies with DNA and HSA. – J. Inorg. Biochem. 153: 32-41.

Knoll, J.D. and Turro, C. 2015. Control and utilization of ruthenium and rhodium metal complex excited states for photoactivated cancer therapy. – Coord. Chem. Rev. 282: 110-126.

Kragh-Hansen, U. 1990. Structure and ligand binding properties of human serum albumin. – Dan-Med-Bull. 37: 57-84.

Lebwohl, D. and Canetta, R. 1998. Clinical development of platinum complexes in cancer therapy. – Europe Journal Cancer 34: 1522-1534.

Mansouri-Torshizi, H., Srivastava, T.S., Perekh, H.K. and Chitnis, M.P. 1992. Synthesis, spectroscopic, cytotoxic, and DNA binding studies of binuclear 2,2'-bipyridine-platinum(II) and-palladium(II) complexes

of meso- alpha, alpha' –diamino-alpha-dipic and meso alpha, alpha'-diaminobuteric acids. – J. Inorg. Biochem. 45: 135-148.

Miklášová, N., Fischer-Fodor, E., Lönnecke, P., Ionuț Tomuleasa, C., Virag, P., Perde Schrepler, M., Mikláš, P., Silaghi Dumitrescu, L. and Hey-Hawkins, E. 2012. Antiproliferative effect of novel platinum (II) and palladium (II) complexes on hepatic tumor stem cells in vitro. – Eur. J. Med. Chem. 4: 41-47.

Rosenberg, B., Van Kamp, L., Trosko, J.E. and Mansour, V.H. 1996. Platinum compounds: a new class of potent anti-tumor agents. – Nature 222: 385-386.

Sabin, H. and Sadler, J. 2009. Current applications and future potential for bioinorganic chemistry in the development of anticancer drugs. – Drug Discovery Today 14: 23-24.

Shi, H., Cheng, Q., Yuan, S., Ding, X., Liu Y. 2015. Human serum albumin conjugated nanoparticles for pH and Redox-responsive delivery of a prodrug of Cisplatin. – Chemistry J. 46: 9-21.

Wang, K., Lu, J.F. and Li, R.C. 1996. The events that occur when Cisplatin encounters cells. – Coord. Chem. Rev. 151: 53-88.

Zhang, Q., Zhong, W., Xing, B., Tang, W. and Chen, Y. 1998. Binding properties and stoichiometries of a palladium(II) complex to metallothioneins *in vivo* and *in vitro*. – J. Inorg. Biochem. 72: 195-200.

Noorizadeh, S., Divsalar, A., Eslami-Moghaddam, M. and Akbar Saboury, A.A. 2016. A structural study on the interaction of the anti-cancer compound of Platinum complex with human serum albumin. – Nova Biologica Reperta 2: 250-259.

نوری‌زاده، س.، دیوسالار، ع.، اسلامی مقدم، م. و صبوری، ع.ا. ۱۳۹۴. مطالعه ساختاری برهم‌کنش داروی ضدسرطان از دسته کمپلکس پلاتینی با آلبومین سرم انسانی. – یافته‌های نوین در علوم زیستی ۲: ۲۵۹-۲۵۰.