

Research Paper

Study of Amitriptyline drug adsorption on multi walled carbon nanotube (MWCNT)

Majid Mohammadi¹, Mahdi Vadi*², Narges Bagheri¹

1. Department of Chemistry, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Firoozabad, Iran

2. Department of Chemistry, Fasa Branch, Islamic Azad University, Fasa, Iran.

Received: 2021/02/23

Revised:

Accepted: 2021/06/28

Use your device to scan and read the article online



DOI: [10.30495/JNM.2021.4679](https://doi.org/10.30495/JNM.2021.4679)

Keywords:

Amitriptyline drug, Multi wall carbon nanotube, Exothermic process, Isotherm model, Adsorption.

Abstract

In this study, adsorption of Amitriptyline on multi-wall carbon nanotube has been studied. Three adsorption model show that suitable conditions of this process are in 303 k, acidic medium (pH=2.3) and high concentration ([AT]=60 mg L⁻¹). Besides, negative energy implies fast adsorption of this drug.

Citation: Majid Mohammadi, Mahdi Vadi, Narges Bagheri. Study of Amitriptyline drug adsorption on multi walled carbon nanotube (MWCNT) .Journal of New Materials. 2021; 11 (43):70-81

Corresponding author: Mahdi Vadi

Address: Department of Chemistry, Fasa Branch, Islamic Azad University, Fasa, Iran.

Tell:

Email: mahdi_vadi@iaufasa.ac.ir

Extended Abstract

Introduction:

Founding suitable carrier with high performance in drug industrial is very important. In fact, drug molecules can connect to carrier in both chemical and physical states in different conditions. Therefore, a large attention of many research groups has devoted to carbon nanotube (CNT) as good carrier. One type of this carrier is the multi-walled carbon nanotube (MWCNT); the MWCNTs are used in drug delivery due to large surface area and less toxicity. For example, this carrier was used in order to improve the controlled release of insoluble drug dipyrindamole. In current study, kinetic and thermodynamic adsorption of Amitriptyline (as anti-depressant) on multi-wall carbon nanotube as drug carrier has been assigned.

Methods.

Multi-walled carbon nanotubes (MWCNT, weight 95%, density 1.2 gr cm³, length 30 μm) was purchased from Neutrino Company, Spain; the Ami- Amitriptyline (79% purity) also was prepared from drug Pars Company, Iran. Starting point of experiment is preparation 100 mg L⁻¹ solution of the AT by dissolving 0.05 g of the AT in 500 mL of deionized water. The working solutions of drug; 20, 30, 40, 50 and 60 mg L⁻¹ were prepared by diluting the given volumes of the stock solution for each interested concentration with deionized water. Then, 10 mL of each concentration and 10 mg of the MWCNT were mixed together. The obtained samples were shaken on a magnetic stirrer (Heidolph, Mr3001 Model) at 1000 rpm for 90 min at 30 °C. Then, each sample was centrifuged at 10000 rpm for 10 min. The concentration of the free AT in solution was determined by recording the absorbance (λ_{\max} =219.6 nm) of the

supernatant using an UV-Vis Spectrophotometer (Perkin Elmer, Lambda5) by reference to the calibration curve of the AT drug compound. The absorbance of some different concentrations of the AT were plotted as calibration curve. The pH of solutions while simultaneously being monitored with pH meter (Metrohm 692 pH meter, Herisau, Switzerland) were adjusted by adding either HCl or NaOH solution. Scanning electron microscope (TESCAN Vega3 model) was used in order to achieve scanning electron microscopy (SEM) images.

Results.

Three well known adsorption models such as Langmuir, Freundlich, and Temkin were selected. whereas 318 K has maximum value of the q_m , 42.37 mg g⁻¹, there is minimum value of the b parameter is 0.035 L mg⁻¹ in this temperature in Langmuir adsorption model. So, adsorption of the AT on MWCNT surface at 318K is weaker than 303 and 308k. An important feature of the Langmuir model is separation factor (R_L) that showing favorable adsorption process. Whatever the R_L values be close to zero, it can be seen favorable adsorption. According to this figure, the R_L values at 303 K are the lowest value than 308 and 318 K; this issue implies that the AT adsorption on the MWCNT surface is favorable. On the hands, the lowest value of the R_L value was achieved in 60 mg L⁻¹ of the AT. According to Freundlich model, the AT adsorption from aqueous solution has been carried out easily with high adsorption capacity. The highest amount of the adsorption of the AT onto MWCNT surface from aqueous solution was at acidic pH (pH=2.3). According to the obtained thermodynamic data, the value ΔH (-41.57 kJ mol⁻¹) in our work is out of range of both processes Reaching to the equilibrium state

after 90 min shows that the kinetic of adsorption is fast.

Conclusion.

The adsorption of the AT from an aqueous solution by the MWCNT at 303, 308, and 318 K was investigated to evaluate the thermodynamics of the adsorption process. Comparing between three temperatures shows that the best condition for a favorable adsorption of the AT onto MWCNT surface with high adsorption capacity and high exothermic adsorption are provided in 303 K. Three adsorption model show stronger adsorption is in this temperature due to

maximum value of the isotherm constant ($b = 0.067 \text{ L mg}^{-1}$), high concentrations (60 mg L^{-1}) and acidic pH ($\text{pH}=2.3$) in Langmuir model. In addition, increasing of pH mainly followed by decreasing of drug adsorption. After 90 min, this process reach to equilibrium with negative value of ΔH ($-41.57 \text{ KJ mol}^{-1}$); these issues showing exothermic process with fast kinetic and depending of adsorption to drug concentration. On the other hands, increasing of the concentration from 20 mg L^{-1} to 60 mg L^{-1} was increased the adsorption of the AT from 13.16 mg g^{-1} to 29.56 mg g^{-1} .

مقاله پژوهشی

بررسی جذب داروی آمی تریپتیلین بر روی نانولوله های کربنی چند دیواره

مجید محمدی^۱، مهدی وادی^{۲*}، نرگس باقری^۱

۱- گروه شیمی، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران.

۲- گروه شیمی، واحد فسا، دانشگاه آزاد اسلامی، فسا، ایران.

چکیده

یافتن یک حامل دارو با کارایی بالا در صنعت داروسازی بسیار حایز اهمیت می باشد. در این مطالعه، جذب داروی آمی تریپتیلین روی نانولوله چند دیواره به عنوان حامل دارو به لحاظ سرعت مرحله اول و دوم و گرمایشی مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از نانولوله به عنوان حامل دارو باعث جذب خوب دارو و تحویل آن به بافت هدف بدون ایجاد اثرات جانبی می شود. سه مدل شناخته شده جذبی لانگمیور، فرنیدیج و تمکین نشان داد که در دمای ۳۰۳ کلوین جذب قوی وجود دارد بخاطر اینکه در مدل لانگمیور بیشترین مقدار ثابت ایزوترم ($b = 0.067 \text{ L mg}^{-1}$)، غلظت بالا (۶۰ میلی گرم بر لیتر) و محیط اسیدی ($\text{pH} = 2.3$) وجود دارد. علاوه بر این، کاهش غلظت با افزایش pH ، انرژی جذب منفی ($-41.57 \text{ KJ mol}^{-1}$) در مدت زمان انجام فرایند جذب همگی نشان دهنده جذب سریع این دارو روی نانو لوله چند دیواره است. بنابراین می توان گفت استفاده از نانو لوله می تواند به عنوان حامل مناسب جهت انتقال دارو به بافت هدف باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۵

تاریخ داوری:

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۷

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:10.30495/JNM.2021.4679

واژه‌های کلیدی:

داروی ضد افسردگی آمی تریپتیلین، نانو لوله کربنی چند دیواره، فرایند گرمایز، مدل ایزوترم، جذب.

* نویسنده مسئول: مهدی وادی

نشانی: گروه شیمی، واحد فسا، دانشگاه آزاد اسلامی، فسا، ایران

تلفن:

پست الکترونیکی: mahdi_vadi@iaufasa.ac.ir

مقدمه

امروزه بسیاری از شرکت‌های دارویی و داروسازها به دنبال ارائه راهکارهایی برای اثربخشی بیشتر دارو ها با اثرات جانبی کمتر نسبت به گذشته هستند. یکی از این راهکارها استفاده از حامل های مناسب برای انتقال دارو به بافت هدف با اثرات جانبی کمتر می باشد (۱-۵). به عنوان مثال، نانولوله های کربنی بسیار مورد علاقه برای انتقال دارو مورد توجه بسیاری از داروسازها قرار گرفته است. (۶, ۷). در یک مطالعه دیگری، حتی از این نانولوله برای حذف بسیاری از آلودگی ها از نانولوله استفاده می شود (۸). بنابراین، ما در این مطالعه از نانولوله کربنی به عنوان حامل برای جذب و انتقال دارو استفاده می کنیم. چون در حال حاضر روش های درمانی موجود عوارضی ایجاد می کنند که برای بیمار ناخوشایند می باشد.

داروی آمی تریپتیلین که داروی ضد افسردگی و بیماریهای اعصاب و روان و انواع مختلف آن محسوب می شود در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. چون این نوع بیماری ها بسیار شایع شده است و افراد زیادی از آن رنج می برند. ویژگی ها و پیچیدگی های خاص مرتبط با سیستم اعصاب مرکزی سبب شده است که با وجود پیشرفت های فراوان در عرضه و توسعه سامانه های دارورسانی به این سیستم، هنوز شاهد عدم درمان مناسب بسیاری از بیماریهای مغز و اعصاب در جهان باشیم.

هدف ما از این تحقیق عبارتند از بررسی جذب، مقایسه بررسی سینتیکی مرحله اول و دوم، ترمودینامیک و ایزوترم های جذب سطحی داروهای مسکن اعصاب و روان توسط نانوتیوب کربنی به عنوان فاز جامد در شرایط مختلف pH، دما و قدرت یونی. هدف از بررسی موارد بالا برای نشان دادن جذب مناسب دارو که باعث کاهش عوارض نامطلوب دارو می باشد.

روش شناسی

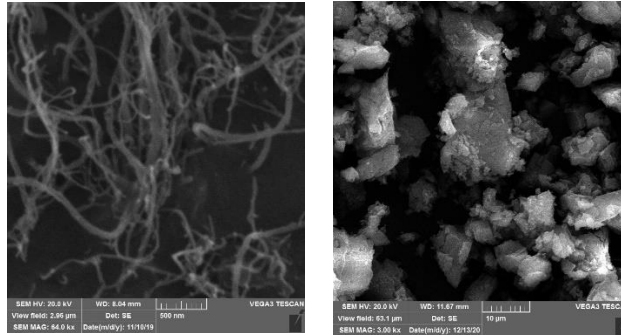
نانو لوله کربنی چند جداره با طول ۲۰ میکرو متر، درصد وزنی ۹۵ درصد و چگالی گرم بر سانتی متر مکعب از شرکت نوترینو اسپانیا

تهیه شد. همچنین داروی ضد افسردگی آمی تریپتیلین با درصد خلوص ۷۹ درصد از شرکت داروسازی پارس تهیه شد. نقطه شروع آزمایش تهیه محلول ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر (ppm) داروی آمی تریپتیلین با حل کردن ۰,۰۵ گرم از آن در ۵۰۰ میلی لیتر آب دی یونیزه بود. محلولهای مورد نیاز دارای غلظتهای ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، و ۶۰ میلی گرم بر لیتر هستند که از رقیق کردن محلول اولیه ساخته شده بدست می آیند. در مرحله بعد ۱۰ میلی لیتر از هر محلول با ۱۰ میلی گرم از نانو لوله کربنی چند جداره مخلوط کردیم و سپس با یک هم زن مغناطیسی با مدل (هیدلف ام آر ۳۰۰۱) با ۱۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد پس از مدت ۹۰ دقیقه صاف گردید و با دستگاه سانتیفریوژ ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه همگن گردید. غلظت آمی تریپتیلین آزاد در محلول با طول موج ۲۱۹,۶ نانومتر (بیشترین طول موج جذب) با استفاده از دستگاه طیف سنج یو وی (UV-VIS) با مدل (پرکین المر، لامبدا ۵) توسط محلول شاهد جذب های مربوط به هر غلظت خوانده شد. این کار بعد از کالیبره کردن دستگاه انجام شد. در واقع pH محلول بطور همزمان با افزایش محلول های اسیدی هیدروکلریک اسید HCl (0.1 mol L^{-1}) و قلیایی سدیم هیدروکسید NaOH (0.1 mol L^{-1}) با یک دستگاه pH متر با مدل متروهم ۶۹۲، هرپسو، سویتزرلند اندازه گیری شد. دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) با مدل تسکن وگا ۳ برای بدست آوردن تصاویر نانوتیوب و داروی ضد افسردگی آمی تریپتیلین استفاده شد.

نتایج

شناسایی جاذب و جذب شونده

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نانولوله کربنی چند جداره و داروی ضد افسردگی آمی تریپتیلین برای بدست آوردن ساختار و مورفولوژی آنها بدست آمد که در شکل زیر آمده است:



(الف)

(ب)

شکل ۱. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نانولوله کربنی چند جداره (الف) و داروی ضد افسردگی آمی تریپتیلین (ب).

هم دماهای تعادلی جذب

برای مطالعه برهمکنش بین داروی ضد افسردگی آمی تریپتیلین به عنوان جذب شونده و نانولوله کربنی چند جداره به عنوان جاذب از سه مدل همدمای بنام های لانگمیر، فرنرندلیچ و تمکین استفاده شد. در ابتدا غلظت های تعادلی یا غلظت آزاد داروی ضد افسردگی آمی تریپتیلین (C_e) در محلول به دست آورده شد. مقدار داروی ضد افسردگی آمی تریپتیلین جذب شده روی نانولوله کربنی چند جداره از رابطه زیر محاسبه شد:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{W} \quad (1)$$

در این معادله (mg g^{-1}) میلی گرم بر گرم) ظرفیت جذب تعادلی و C_e غلظت تعادلی داروی ضد افسردگی آمی تریپتیلین در محلول (بر حسب میلی گرم بر لیتر)، V حجم محلول بر حسب لیتر، و W وزن نانولوله کربنی چند دیواره بر حسب گرم می باشد.

تمام داده ها با انحراف استانداردشان بیان شده اند.

مدل همدمایی لانگمیر

اساس این مدل، اشغال یک سایت جذب توسط جذب شونده و ایجاد یک لایه روی سطح جاذب است. علاوه بر این تمام سایتهای جذب بدون برهمکنش مولکولهای جذب شونده به لحاظ انرژی معادل هستند:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m b} + \frac{1}{q_m} C_e \quad (2)$$

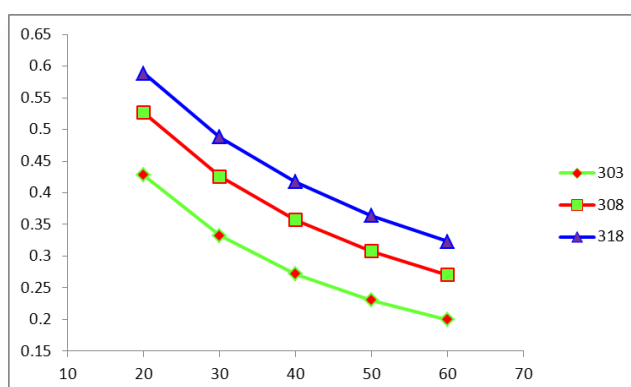
که q_m بیشترین ظرفیت جذب یک لایه کامل روی سطح جاذب (بر حسب میلی گرم بر گرم)، b ثابت تعادل جذب می باشد. سایر پارامترها در معادله (۱) تعریف شده است. این معادله برای سه دمای مختلف ۳۰۳، ۳۰۸، و ۳۱۸ کلونین رسم شده است که در شکل S2 آورده شده است. همچنین پارامترهای بدست آمده در جدول ۱ آرایه شده است.

Temperature (K)	Langmuir model			Freundlich model			Temkin model		
	b (L mg ⁻¹)	q _m (mg g ⁻¹) R ²		n	K _F	R ²	A	B	R ²
303	0.067	۴۰٫۹۸ ۰٫۹۳۷		1.74	۴٫۰۹	۰٫۹۷۲	0.69	8.92	0.953
308	0.045	۳۹٫۸۴ ۰٫۹۵۶		1.65	۲٫۹۶	۰٫۹۹۷	0.51	8.22	0.955
318	0.035	۴۲٫۳۷ ۰٫۹۱۳		1.58	۲٫۵۰	۰٫۹۹۴	0.44	8.25	0.935

$$R_L = \frac{1}{1+bC_0} \quad (3)$$

مقادیر R_L در فرایندهای جذب در جدول S2 داده شده است. با توجه به این جدول، هر چه مقدار R_L به صفر نزدیکتر باشد نشان دهنده جذب بهتری است. این پارامتر برای غلظتهای ۲۰ الی ۶۰ میلی گرم بر لیتر در دماهای ۳۰۳، ۳۰۸، و ۳۱۸ کلوین رسم شده که در شکل ۲ نشان داده شده است:

مطابق این جدول، با وجودی که در دمای ۳۱۸ کلوین بیشترین مقدار q_m (۴۲,۳۷ میلی گرم بر گرم) را دارد، مقدار b (۰,۰۳۵) بر میلی گرم) در این دما کمترین مقدار می باشد. بنابراین، جذب داروی ضد افسردگی آمی تریپتیلین روی نانولوله کربنی چند جداره در این دما کمتر از دو دمای دیگر است. یک جنبه مهم این مدل، فاکتور جداسازی (R_L) به عنوان تعیین کننده فرایند جذب مناسب است:



شکل ۲. نمودار R_L در مقابل گستره وسیعی از غلظتها در دماهای ۳۰۳، ۳۰۸، و ۳۱۸ کلوین.

این مدل به نوعی نشاندهنده توزیع انرژی اتصال در فرایند جذب است:

$$q_e = B \ln A + B \ln C_e \quad (5)$$

$$B = \frac{RT}{b} \quad (6)$$

در این دو معادله پارامترهای B ، T ، R ، b و A به ترتیب عبارتند از ثابت بدون بعد در ارتباط با گرمای جذب، ثابت عمومی گازهای ایده آل (۸,۳۱۴ ژول بر مول کلوین)، دما بر حسب کلوین، ثابت همدمایی تمکین بر حسب ژول بر مول و ثابت اتصال تعادلی در ارتباط با بیشترین انرژی اتصال (بر حسب لیتر بر گرم). پارامترهای بدست آمده با استفاده از این مدل در جدول ۱ ارائه شده است؛ از طرفی دیگر، نمودار این معادله در شکل S4 آورده شده است.

گرمایا بودن در برهمکنش بین جاذب و جذب شونده از مقدار مثبت ثابت همدمایی تمکین در تمام دماها نشأت می گیرد. بهترین مقادیر A و b در دمای ۳۰۳ کلوین است که در توافق خوبی با دو مدل لانگمیر و فرندلیچ می باشد. بنابراین بهترین شرایط جذب مناسب داروی ضد

همانطور که در این شکل دیده می شود برای هر سه دما با افزایش غلظت مقدار R_L کاهش پیدا می کند طوری که در غلظت ۶۰ میلی گرم بر لیتر کمترین مقدار را دارد و این تاییدی بر جذب بهتر در این غلظت است. از طرفی دیگر با مقایسه سه دما می بینیم که در دمای ۳۰۳ کلوین مقدار این پارامتر در بیشترین غلظت دارای کمترین مقدار می باشد.

مدل همدمایی فرندلیچ

این مدل نشان می دهد که با افزایش مقدار جذب شونده روی سطح جاذب آنتالپی به لحاظ آزمایشگاهی کاهش می یابد. این مدل با فرمول زیر ارایه می شود:

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (4)$$

ثابت K_F نشاندهنده ظرفیت جذب بر حسب میلی گرم بر لیتر است و n یک پارامتر بدون بعد در ارتباط با شدت جذب است. این همدمای دما و غلظتهای مختلف رسم و در شکل S3 نشان داده شده است.

مدل همدمایی تمکین

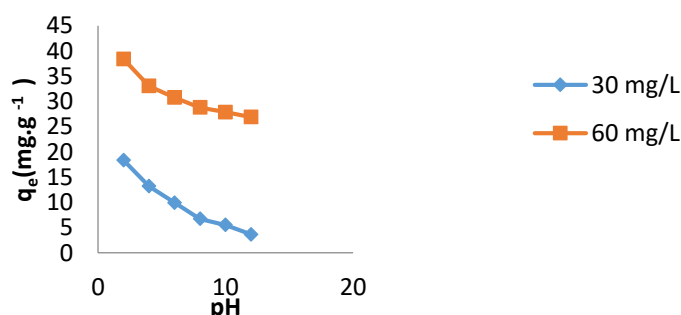
برهمکنش بین جاذب و جذب شونده بدون در نظر گرفتن میزان بزرگی و مقادیر پائین غلظت با استفاده از مدل تمکین محاسبه شد؛ در حقیقت

زمان تماس و دما در ظرفیت جذب تعادلی مطالعه شدند. یکی از پارامترهای مهم pH محلول بوده که با افزایش اسید هیدروکلریک و سدیم هیدروکسید کنترل می شود. نمودار این پارامتر در شکل ۳ برای دو غلظت ۳۰ و ۶۰ میلی گرم بر لیتر رسم شده است.

افسردگی آمی تریپتیلین روی نانولوله کربنی چند دیواره با ظرفیت جذب بالا و گرمازا بودن بالای جذب در این دما ایجاد می شود.

اثر pH و غلظت جذب شونده در مدل‌های همدمای جذب

برای تعیین پارامترهای موثر در جذب، pH، غلظت آمی تریپتیلین،



شکل ۳. نمودار تغییرات ظرفیت جذب تعادلی در مقابل pH از محدوده اسیدی تا بازی در دو غلظت ۳۰ و ۶۰ میلی گرم بر لیتر داروی ضد افسردگی آمی تریپتیلین.

شکسته شدن ساختار حلقه بنزن با از دست دادن پروتون H⁺ می شود. بنابراین، تغییر pH به میزان زیادی روی جذب دارو از محلول توسط نانولوله کربنی چند جداره می شود که در جدول ۲ آمده است.

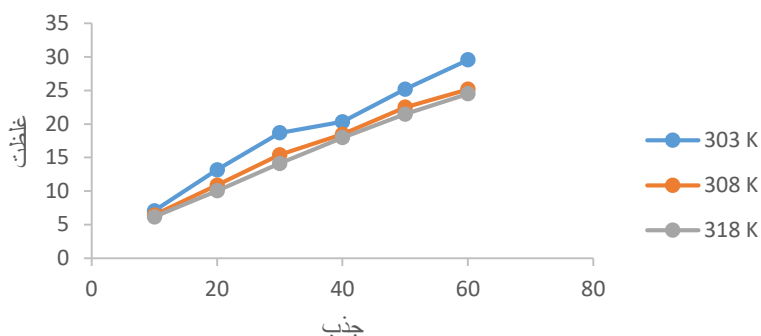
مطابق این شکل بیشترین میزان جذب دارو از محلول در محیط اسیدی (pH=2,3) است. در هر دو غلظت با کاهش qe در pH های بسیار بالا کل دارو دهیدروژنه می شود که این حالت باعث

جدول ۲. جذب داروی آمی تریپتیلین از محلول توسط نانولوله کربنی چند جداره در غلظت و دماهای مختلف.

Ci (mg l ⁻¹)	303K	308K	318K
۱۰	۶,۸۳	۶,۲۸	۵,۶۹
۲۰	۱۲,۹۶	۱۰,۴۸	۹,۴۱
۳۰	۱۸,۲۱	۱۵,۲۱	۱۲,۶۱
۴۰	۱۹,۹۹	۱۸,۱۸	۱۶,۱۳
۵۰	۲۴,۰۷	۲۲,۲۴	۱۹,۹۲
۶۰	۲۸,۷۱	۲۴,۷۱	۲۲,۳۸

از ۲۰ به ۶۰ میلی گرم بر لیتر منجر به افزایش جذب دارو از ۱۳,۱۶ به ۲۹,۵۶ میلی گرم بر گرم محلول می شود، به شکل ۴ نگاه کنید.

همانطور که از این جدول هم مشخص است، افزایش غلظت دارو در محلول منجر به افزایش جذب می شود. به عنوان مثال، افزایش غلظت



شکل ۴. جذب دارو در مقابل تغییر غلظت در حضور نانولوله کربنی چند دیواره.

کاهش ثابت تعادل با افزایش دما نشاندهنده گرمازا بودن فرایند جذب است. مقدار انتالپی (-۴۱،۵۷ کیلوژول بر مول) نشان می دهد که این جذب از نوع جذب فیزیکی می باشد. این موضوع با مقدار n مدل فرندلیچ تایید می شود. مقدرا منفی ΔS نشاندهنده جذب منظم دارو روی سطح نانولوله می باشد. میزان ΔG با افزایش دما کاهش یافته و در نتیجه جذب نامناسب خواهد بود و این نشان دهنده گرمازا بودن جذب سطحی داروهای اعصاب و روان مورد مطالعه می باشد.

تاثیر این جذب روی پارامترهای ترمودینامیکی از روابط زیر بدست می آید:

$$\ln K_F = \ln K_F = \frac{-\Delta H}{RT} + \frac{\Delta S}{R} \quad (7)$$

$$\Delta G = -RT \ln K_F \quad (8)$$

$$\Delta S = \Delta S = \frac{\Delta H - \Delta G}{T} \quad (9)$$

در این روابط ΔH ، ΔS ، ΔG به ترتیب عبارتند از انتالپی، آنتروپی، انرژی آزاد گیبس بر حسب کیلوژول. مابقی پارامترها قبلا تعریف شده است. این مقادیر ترمودینامیکی در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳. میزان پارامترهای ترمودینامیکی در دماهای مختلف.

دما (K)	$\ln K_F$	ΔG (kJ mol ⁻¹)	ΔH (kJ mol ⁻¹)	ΔS (J K ⁻¹ mol ⁻¹)
303	2.04	-5.14	-41.57	-119.66
308	1.74	-4.46		
318	1.04	-2.75		

۵۰،۴۰ و ۶۰ میلی گرم بر لیتر قدرت یونی را با استفاده از این محلول تغییر داده و جذب سطحی این داروها در قدرت های یونی ۰،۰۰۰۲، ۰،۰۰۰۴، ۰،۰۰۰۶ و ۰،۰۰۰۸ مول بر لیتر مورد بررسی و مطالعه قرار دادیم:

تاثیر قدرت یونی بر میزان جذب دارو

برای بررسی تاثیر قدرت یونی بر جذب سطحی داروی ضد افسردگی آمی تریپتیلین از رابطه زیر استفاده می شود

$$I = \sqrt{C_i Z_i^2} \quad (10)$$

که در آن C غلظت مولی یا مولاریته یون مورد نظر و Z بار آن می باشد بنابراین در ابتدا محلول ۰،۰۰۱ از KNO_3 تهیه و در غلظت های

جدول ۴. میزان جذب آمی تریپتیلین توسط کربن نانولوله برای غلظت های ۴۰، ۵۰ و ۶۰ میلی گرم بر لیتر در قدرت های یونی ۰۰۰۲، ۰،۰۰۰۴، و ۰،۰۰۰۶ مول بر لیتر

Ci	۰،۰۰۰۲	۰،۰۰۰۴	۰،۰۰۰۶
۴۰	۳۲،۳۱	۳۲،۷۷	۳۵،۰۴
۵۰	۴۱،۵۳	۴۲،۳۷	۴۵،۰۲
۶۰	۵۱،۴۴	۵۲،۱۱	۵۴،۸۳

اثرات زمان تماس و سنتیک جذب

ابتدا، غلظت تعادلی آنی (Cie) دارو در هر زمانی اندازه گیری شد تا ظرفیت جذب آنی (qt) در هر لحظه بدست آید:

$$q_t = q_t = \frac{(C_0 - C_{ie})V}{W} \quad (11)$$

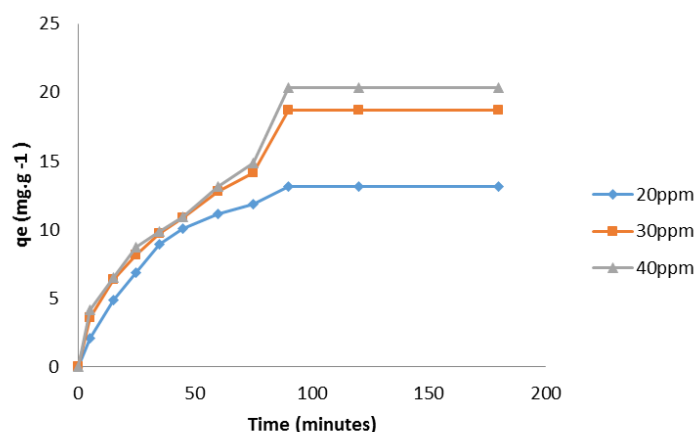
تمام داده ها با مدل پیش مرتبه اول فیت شدند:

$$\ln (q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (12)$$

$$t / q_t = 1 / k_2 q_e + t / q_e \quad (13)$$

در این معادلات k1 ثابت سرعت معادله درجه اول، k2 ثابت سرعت معادله درجه دوم، qt و qe به ترتیب ظرفیت جذب سطحی آنی و ظرفیت جذب سطحی تعادلی می باشند.

بر اساس آزمایشات، وقتی نمودار qe در مقابل زمان ماندگاری رسم شد، دیده شد که هر چه زمان تماس داروی ضد افسردگی آمی تریپتیلین با نانولوله بیشتر باشد میزان qe تا زمت ۹۰ دقیقه افزایش یافته و بعد از آن در یک حالت پایا بنام حالت تعادل قرار می گیرد که در شکل ۵ آورده شده است. رسیدن به حالت تعادل بعد از ۹۰ دقیقه نشان دهنده سرعت بالای جذب می باشد. بنابراین برای مطالعه سنتیک جذب، در



شکل ۵. نمودار ظرفیت تعادلی جذب در مقابل زمان برای بررسی سینتیک جذب سطحی آمی تریپتیلین توسط کربن نانوتیوب چند دیواره.

ببینید. مقادیر ثابت تعادل های مرتبه اول و دوم در جدول ۵ آورده شده است.

نمودارهای $\ln (q_e - q_t)$ و t/q در مقابل t برای سه غلظت رسم شدند که با توجه به شیب خطوط خطی، k1 ثابت سرعت معادله درجه اول، k2 ثابت سرعت معادله درجه دوم بدست آمد، شکل های S5 را

جدول ۵. پارامترهای سنتتیک مرتبه اول و دوم جذب آمی تریپتیلین توسط نانولوله کربنی.

[AT] ₀	q _e	K ₁	R ²	k _r	R ²
20	13.16	0.031	0.999	0.025	0.994
30	18.68	0.017	0.993	0.037	0.966
40	20.33	0.015	0.991	0.036	0.941

داد که بر اساس سه مدل جذبی بهترین دما که جذب در آن به خوبی انجام می شود دمای ۳۰۳ کلون می باشد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که بهترین غلظت برای مناسب ترین جذب ۶۰ میلی گرم بر لیتر در شرایط اسیدی می باشد. از طرفی دیگر، پارامتر ترمودینامیکی انتالپی با مقدار منفی (-۴۱,۵۷ کیلوژول بر مول) نشاندهنده وجود جذب گرمازا در این فرایند می باشد. سرعت مرتبه اول می تواند نشان دهنده جذب خوب دارو باشد و پیش بینی کند که احتمالاً تحویل دارو به بافت هدف بدون ایجاد اثرات جانبی خواهد بود.

با توجه به میزان این احتمال وجود دارد که سینتیک جذب آمی تریپتیلین توسط نانولوله چند دیواره از مرتبه اول می باشد. این بدان معنی است که سنتتیک دارو به غلظت دارو بستگی دارد. این مقادیر برای سه غلظت آورده شده است. این نکته را با افزایش غلظت می توان مشاهده کرد که در توافق خوبی با مدل لانگمیر است نتیجه گیری

جذب داروی ضد افسردگی آمی تریپتیلین از محلول توسط یک حامل داروی نانولوله ای چند دیواره در سه دمای ۳۰۳، ۳۰۸ و ۳۱۸ مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه پارامترهای سرعت و ترمودینامیک نشان

References

- (1) El-Shahawi, M. S.; Al-Sibaai, A. A.; Bashammakh, A. S.; Alwael, H.; Al-Saidi, H. M. Ion Pairing Based Polyurethane Foam Sorbent Packed Column Combined with Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry for Sensitive Determination and Chemical Speciation of Bismuth(III & V) in Water. *J. Ind. Eng. Chem.* 2015, 28, 377-383. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jiec.2015.02.024>.
- (2) El-Shahawi, M. S.; Alwael, H.; Arafat, A.; Al-Sibaai, A. A.; Bashammakh, A. S.; Al-Harbi, E. A. Kinetics and Thermodynamic Characteristics of Cadmium(II) Sorption from Water Using Procaine Hydrochloride Physically Impregnated Polyurethane Foam. *J. Ind. Eng. Chem.* 2015, 28, 147-152. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jiec.2015.01.025>.
- (3) Elfiky, A. A. Ribavirin, Remdesivir, Sofosbuvir, Galidesivir, and Tenofovir against SARS-CoV-2 RNA Dependent RNA Polymerase (RdRp): A Molecular Docking

- Study. *Life Sci.* 2020, 253, 117592. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2020.117592>.
- (4) Bahramnia, H.; Semnani, H. M.; Abdoos, H.; Rezaei, F. The Effect of 3- (Triethoxy Silyl) Propyl Amine Concentration on Surface Modification of Multiwall Carbon Nanotubes. *Fullerenes, Nanotub. Carbon Nanostructures* 2020, 0 (0), 1-9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/1536383X.2020.1813719>.
- (5) Sana Nausheen, Haq Nawaz Bhatti, Khalid Arif, Jan Nisar, M. I.; Clay, N. MnFe2O4/Clay Composite and Bio-Composite Efficiency for the Removal of Synthetic Dye from Synthetic Solution: Column versus Batch Adsorption Studies. *Desalin. Water Treat.* 2020, 187, 219-231. <https://doi.org/https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25349>.
- (6) Jia, F.; Wu, K.; Che, Y.; Zhang, Y.; Zeng, F.; Luo, Q.; Yu, X.; Zhu, Z.; Zhao, Y.; Wang, F. ToF-SIMS Analysis of Chemical Composition of Atmospheric Aerosols in Beijing. *Surf.*

Interface Anal. 2020, 52 (5), 272–282.
<https://doi.org/10.1002/sia.6710>.

(7) R. Eqra, B. Mohammadi, K. Janghorban, M. A. M. Investigation and Comparison of Electromagnetic Properties of Epoxy-Graphene and Epoxy-Carbon Nanotube Nanocomposites. J. Novin Mavad 1395, 7 (26), 85–94.

(8) Xin-Yao Yu, Tao Luo, Yong-Xing Zhang, Yong Jia, Bang-Jing Zhu, Xu-Cheng Fu, Jin-

Huai Liu, X.-J. H. Adsorption of Lead(II) on O₂-Plasma-Oxidized Multiwalled Carbon Nanotubes: Thermodynamics, Kinetics, and Desorption. ACS Appl Mater Interfaces 2011, 3 (7), 2585–2593.

<https://doi.org/10.1021/am2004202>.