



دانشگاه تهران  
پردیس دانشکده های فنی  
دانشکده مهندسی شیمی



## جداسازی توریم از محلول پساب شستشوی واحد خالص سازی نیترات توریم توسط جاذب نانو فیبر کامپوزیتی پلی وینیل الکل

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد  
در رشته مهندسی شیمی

**دانشجو:**

داریوش علیپور

**استاد راهنما:**

دکتر سید محمدعلی موسویان

دکتر علیرضا کشتکار

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تعهدنامه اصالت اثر  
باسمه تعالی

اینجانب داریوش علیپور تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده فنی دانشگاه تهران می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: داریوش علیپور

امضای دانشجو:

تقدیم به روح پاک پدرم...

به او که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی،

ایستادگی را تجربه نمایم...

به او که نمی دانم از بزرگی اش بگویم یا مردانگی سخاوت،

سکوت، مهربانی و ...

و تقدیم به مادر مهربانم، دریای بی کران فداکاری و عشق

که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر.

## تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و دورد بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان و امدار وجودشان است.

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بسی شایسته است از اساتید فرهیخته و فرزانه؛ جناب آقای دکتر سید محمدعلی موسویان و آقای دکتر علیرضا کشتکار که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی های کار ساز و سازنده بارور ساختند؛ تقدیر و تشکر نمایم. همچنین از جناب آقای حمید رضا معظمی که همواره از راهنمایی های ایشان بهره بردم؛ از دوستان خوبم به ویژه آقایان مهندس غلامحسین میرزابه، مهندس علی طالبیان، مهندس مهدی مختاری و خانم مهندس حسینی که در طول انجام پروژه مرا یاری نمودند، نهایت سپاس و قدردانی را دارم و در پایان از تک تک اعضای خانواده ام که همیشه مشوق و پشتیبانم بوده اند، به خاطر تمامی زحمات، تشویقها و حمایت هایشان در دوران تحصیل صمیمانه تشکر می کنم.

## چکیده

در این تحقیق، جاذب نانوفیبر کامپوزیتی پلی وینیل الکل / تیتانیوم اکسید / روی اکسید / 3-مرکاپتو پروپیل تری متوکسی سیلان (PVA/TiO<sub>2</sub>/ZnO/TMPTMS) با روش الکتروریسی تهیه شده است. این جاذب برای بررسی پارامترهای جداسازی توریم، با توجه به ظرفیت جذب بالاتر نسبت به سایر جاذبها انتخاب شد. سنتز این جاذب با آنالیزهای FTIR، TGA، BET و SEM تایید شده است. آزمایشات جذب به صورت ناپیوسته برای یون توریم از محلول های تک جزئی و چند جزئی (در حضور یون های اورانیوم، آهن، نیکل، کادمیوم، مس و آلومینیوم) توسط این جاذب مورد بررسی قرار گرفته است.

تاثیر پارامترهای مختلفی نظیر مقدار نانوذره، pH، قدرت یونی، زمان تماس، غلظت اولیه یون فلزی در محلول، دما و حضور سایر یونها در سیستم ناپیوسته برای درک بهتر فرایند جذب توریم مورد بررسی قرار گرفته است. در بررسی اثر pH در محدوده بین 2 تا 6، در ابتدا با افزایش pH محلول، میزان جذب توریم به شدت افزایش می یابد ولی در pH های بیشتر از 4 میزان جذب کاهش پیدا کرد. برای تعیین تاثیر قدرت یونی بر میزان جذب توریم، نمک NaNO<sub>3</sub> به محلول توریم اضافه شد که تاثیر بسیار کمی بر میزان جذب توریم داشته است. همچنین با افزایش زمان تماس بین جاذب و محلول، میزان جذب یونها افزایش می یابد. شرایط بهینه جذب یون توریم توسط جاذب نانو فیبر PVA/TiO<sub>2</sub>/ZnO/TMPTMS در 5% وزنی نانو ذره ZnO، pH برابر 4، زمان تماس 5 ساعت و دمای 45 درجه سانتی گراد به دست آمده است (مقادیر بهینه 20% وزنی TiO<sub>2</sub>، 15% وزنی TMPTMS و غلظت جاذب 1 گرم بر لیتر از پژوهش قبلی در این پروژه استفاده شده است).

برای مدلسازی سینتیک آزمایشها از مدل های شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم، دو اکسپونانسیلی و نفوذ درون ذره ای استفاده شده است که از بین مدل های به کار گرفته شده، مدل دو اکسپونانسیلی فرایند جذب توریم را در هر دو سیستم تک جزئی و چند جزئی بهتر از مدل های دیگر توصیف کرده است. چهار مدل ایزوترم فرندلیچ، لانگمویر، دوبین-رادکویچ و تمکین برای توصیف داده های تعادلی توریم بررسی شده است که مدل لانگمویر برای سیستم تک جزئی و مدل دوبین-رادکویچ برای سیستم چند جزئی تطابق بهتری با داده های تعادلی یون انتخابی دارد. ماکزیمم ظرفیت جذب توریم در سیستم تک جزئی 333/3 میلی گرم بر لیتر (غلظت اولیه در محدوده 30-500 mg/L) و در سیستم چند جزئی 84/7 میلی گرم بر لیتر (غلظت اولیه در محدوده 10-100 mg/L) توسط این جاذب به دست آمد. مقادیر محاسبه شده پارامترهای ترمودینامیکی نشان داد که فرایند جذب توریم در هر دو سیستم، خودبه خودی و گرماگیر است. نتایج حاصل از جذب رقابتی یون های فلزی در سیستم های دو جزئی نشان داد که تاثیر بازدارنده سایر یونهای فلزی روی جذب توریم توسط جاذب نانو فیبر PVA/TiO<sub>2</sub>/ZnO/TMPTMS به صورت زیر بوده است:

Al(III) > Cu(II) > Cd(II) > Ni(II) > U(VI) > Fe(II)

**واژه های کلیدی:** جاذب نانوفیبر PVA/TiO<sub>2</sub>/ZnO/TMPTMS، الکتروریسی، توریم، جذب، سیستم تک جزئی، سیستم چند جزئی.

## فهرست مطالب

- فصل 1: روشهای متداول جداسازی فلزات سنگین از محلولهای آبی و پسابها ..... 1
- 1-1-1- مقدمه ..... 1
- 2-1-1- توریم ..... 3
- 1-2-1- تاریخچه و معرفی ..... 3
- 2-2-1- توریم بعنوان یک سوخت اتمی ..... 4
- 3-2-1- کاربردها ..... 4
- 4-2-1- هشدارهای ایمنی ..... 5
- 3-1-3- روشهای جداسازی فلزات سنگین و رادیواکتیو از پسابها ..... 6
- 1-3-1- رسوبگذاری شیمیایی و فیلتراسیون ..... 6
- 2-3-1- اسمز معکوس ..... 7
- 3-3-1- فرایند جذب ..... 7
- 4-3-1- تبادل یون ..... 8
- 4-1-4- مقایسه جاذبههای گوناگون برای جذب فلزات سنگین ..... 9
- فصل 2: جاذبههای نانوالیاف، روشهای سنتز و پارامترهای موثر بر آن ..... 10
- 1-2-1- مقدمه ..... 10
- 2-2-1- تعریف نانو ساختار و نانو الیاف ..... 10
- 3-2-1- روش های تولید نانو الیاف ..... 11
- 1-3-2-1- کشش ..... 12
- 2-3-2-1- قالب سنتزی ..... 12
- 3-3-2-1- جداسازی فازی ..... 13

14	4-3-2- خودآرایی
14	5-3-2- الکتروریسی (ES)
16	4-2- اساس فرایند الکتروریسی
17	5-2- انواع روش های الکتروریسی
17	1-5-2- ریسندگی تر
18	2-5-2- ریسندگی خشک
18	3-5-2- ریسندگی مذاب
18	4-5-2- ریسندگی ژلی
19	6-2- تاثیر پارامترهای مختلف بر فرایند الکتروریسی
19	1-6-2- پارامترهای محلول پلیمری
23	2-6-2- پارامترهای فرایند
26	3-6-2- پارامترهای محیط
28	7-2- جاذب و غشای پلیمری
29	8-2- اصلاح جاذب و غشای پلیمری به منظور بهبود خواص جذبی غشا
29	9-2- تهیه ی جاذب و غشای کامپوزیتی با استفاده از روش سل-ژل
30	10-2- روش Casting با استفاده از اختلاط ذرات اکسید فلزی
31	فصل 3: عوامل مؤثر بر فرایند جذب فلزات سنگین
31	1-3-1- عوامل مؤثر بر فرایند جذب
31	۳-۱-۱- اثر pH
32	3-1-2- اثر زمان تماس



- 32-3-1-3- اثر غلظت اولیه ی فلز.....
- 33-4-1-3- اثر دما.....
- 33-5-1-3- اثر مقدار و اندازه ی ذرات جاذب.....
- 34-6-1-3- اثر قدرت یونی.....
- 34-2-3- سینتیک جذب.....
- 35-2-2-3- مدل نفوذ درون ذره ای.....
- 36-3-2-3- مدل سینتیکی شبه درجه اول.....
- 36-4-2-3- مدل شبه مرتبه دوم.....
- 37-5-2-3- مدل سینتیکی دو اکسپونانسیلی.....
- 38-3-3- ایزوترم های تعادلی جذب.....
- 38-1-3-3- ایزوترم لانگمویر.....
- 41-2-3-3- ایزوترم فرندلیچ.....
- 42-3-3-3- ایزوترم دو بین-رادکویچ (D-R).....
- 43-4-3-3- ایزوترم تمکین.....
- 43-4-3- بررسی ترمودینامیک جذب سطحی.....
- 46- فصل 4: آزمایشها و آنالیزها.....
- 46-1-4- مقدمه.....
- 47-2-4- مواد لازم.....
- 47-3-4- تجهیزات استفاده شده برای تهیه جاذب نانوهیبریدی.....
- 48-4-4- ساخت جاذب نانوهیبریدی  $PVA/TiO_2$ ،  $PVA/SiO_2$  و  $PVA/ZnO$ .....
- 48-1-4-4- روش casting.....

48.....	2-4-4- روش الکترواسپین
49.....	5-4- اصلاح سطح نانوذرات $TiO_2$ و $SiO_2$ با گروه های عاملی
50.....	6-4- آزمایشات جذب
51.....	7-4- آنالیز ها
51.....	1-7-4- آنالیز SEM
52.....	2-7-4- آنالیز FTIR
52.....	3-7-4- آنالیز BET
52.....	4-7-4- آنالیز TGA
52.....	5-7-4- آنالیز ICP-AES
53.....	6-7-4- تعیین $pH_{PZC}$
54.....	فصل 5: نتایج و بحث
54.....	1-5- مقدمه
55.....	2-5- انتخاب جاذب
56.....	2-2-5- جاذب نانوفیبر $PVA/TiO_2/ZnO/TMPTMS$
57.....	3-5- گزینش پذیری جاذب $PVA/TiO_2/ZnO/TMPTMS$
58.....	4-5- تعیین $pH_{PZC}$
59.....	5-5- آنالیز FTIR
61.....	6-5- تعیین مورفولوژی سطح جاذب
62.....	7-5- تعیین مشخصات حرارتی جاذب
63.....	8-5- آنالیز BET
65.....	9-5- تاثیر درصدوزنی $ZnO$ بر میزان جذب توریم

66	10-5- جذب توریم در سیستم تک جزیی
66	1-10-5- تاثیر pH بر میزان جذب توریم
67	2-10-5- اثر قدرت یونی
68	3-10-5- اثر زمان تماس بر میزان جذب
69	4-10-5- مدل‌های سینتیکی
72	5-10-5- اثر غلظت اولیه محلول‌های آبی و دما روی جذب
73	6-10-5- ایزوترم‌های تعادلی جذب
77	7-10-5- پارامترهای ترمودینامیکی
78	8-10-5- احیای جاذب نانوفیبر PVA/TiO <sub>2</sub> /ZnO/TMPTMS
79	11-5- اثر یونهای رقیب بر میزان جذب توریم در سیستم دو جزیی
81	12-5- جذب توریم در سیستم چند جزیی (MCS)
81	1-12-5- تاثیر pH بر میزان جذب توریم
82	2-12-5- اثر زمان تماس روی جذب توریم و مدل سازی داده های سینتیکی
86	3-12-5- اثر غلظت اولیه محلول‌های آبی و دما روی جذب توریم و مدل سازی داده های تعادلی
90	4-12-5- پارامترهای ترمودینامیکی
91	5-12-5- احیای جاذب نانوفیبر PVA/TiO <sub>2</sub> /ZnO/TMPTMS
92	13-5- بحث
93	فصل 6: نتیجه گیری و پیشنهادات
93	1-6- نتایج حاصل از سنتز جاذب نانوفیبر PVA/TiO <sub>2</sub> /ZnO/TMPTMS
	2-6- نتایج حاصل از عملکرد جذب توریم توسط جاذب نانوفیبر PVA/TiO <sub>2</sub> /ZnO/TMPTMS در سیستم
94	های تک جزیی و چند جزیی
96	3-6- پیشنهادات
98	مراجع

## فهرست اشکال

- شکل (1-1) ساختار بلوری عنصر توریم ..... 3
- شکل (1-2) طریقه سنتز نانوالیاف به روش کشش ..... 12
- شکل (2-2) سنتز الیاف به روش قالب سنتزی ..... 13
- شکل (3-2) تصویر کلی از طریقه سنتز نانو الیاف به روش جداسازی فازی ..... 13
- شکل (4-2) مثالی از خودآرایی برای مشاهده الیاف ..... 14
- شکل (5-2) شمایکی از دستگاه الکترورسی و عکس های SEM جاذب. .... 16
- شکل (6-2) به وجود آمدن مخروط تیلور با افزایش ولتاژ. .... 17
- شکل (7-2) تصاویر SEM از الیاف حاصل پلیمر PVP حل شده در اتانول و آب (به نسبت حجمی 3:16) با درصد وزنی (A) 3، (B) 5، (C) 7 و (D) 5 در نمونه  $0/35 \text{ mg ml}^{-1}$  D ترا متیل آمونیوم کلرید به محلول اضافه شده ..... 21
- شکل (8-2) تغییر مورفولوژی الیاف در فواصل مختلف بین کالکتر تا اسپینرت. (a) 10cm، (b) 15cm، (c) 20 cm ..... 26
- شکل (9-2) الیاف حاصل از محلول 10% وزنی PVP در دماهای مختلف ..... 27
- شکل (10-2) ساختار پلی وینیل الکل ..... 28
- شکل (11-2) نحوه عاملدار شدن نانو ذرات  $\text{SiO}_2$  ..... 29
- شکل (1-3) جذب  $\text{Cu}^{2+}$  روی جاذب نانوفیبر کامپوزیتی  $\text{PVA/SiO}_2$  ..... 35
- شکل (1-4) دستگاه الکترورسی ..... 49
- شکل (1-5) تعیین نقطه  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  برای جاذب نانوفیبر  $\text{PVA/TiO}_2/\text{ZnO/TMPTMS}$  ..... 59
- شکل (2-5) آنالیز FTIR جاذب نانوفیبر  $\text{PVA/TiO}_2/\text{ZnO/TMPTMS}$  ..... 60
- شکل (3-5) آنالیز FTIR جاذب نانوفیبر  $\text{PVA/TiO}_2/\text{ZnO/TMPTMS}$  قبل (a) و (b) بعد از جذب توریم ..... 60
- شکل (4-5) آنالیز SEM جاذب  $\text{PVA/TiO}_2/\text{ZnO/TMPTMS}$  ..... 61
- شکل (5-5) آنالیز SEM جاذب  $\text{PVA/TiO}_2/\text{ZnO/TMPTMS}$  در مقیاس بزرگ ..... 61
- شکل (6-5) نمودار آنالیز وزن سنجی حرارتی برای جاذب نانوفیبر  $\text{PVA/TiO}_2/\text{ZnO/TMPTMS}$  ..... 63
- شکل (7-5) نمودار گرماسنجی روبشی تفاضلی برای جاذب نانوفیبر  $\text{PVA/TiO}_2/\text{ZnO/TMPTMS}$  ..... 63
- شکل (8-5) ایزوترم جذب-دفع نیتروژن برای جاذب نانوفیبر  $\text{PVA/TiO}_2/\text{ZnO/TMPTMS}$  ..... 64
- شکل (9-5) توزیع اندازه منافذ جاذب نانوفیبر  $\text{PVA/TiO}_2/\text{ZnO/TMPTMS}$  ..... 64
- شکل (10-5) تاثیر درصد وزنی ZnO در جاذب نانوفیبر  $\text{PVA/TiO}_2/\text{ZnO/TMPTMS}$  ..... 65

- شکل (5-11) تاثیر pH روی جذب توریم توسط جاذب نانوفیبر PVA/TiO<sub>2</sub>/ZnO/TMPTMS در سیستم تک‌جزیی ..... 67
- شکل (5-12) تاثیر قدرت یونی بر جذب توریم توسط جاذب نانوفیبر PVA/TiO<sub>2</sub>/ZnO/TMPTMS در سیستم تک‌جزیی ..... 68
- شکل (5-13) اثر زمان تماس بر جذب توریم توسط جاذب نانوفیبر PVA/TiO<sub>2</sub>/ZnO/TMPTMS در سیستم تک‌جزیی ..... 69
- شکل (5-14) تاثیر زمان تماس بر میزان جذب توریم در سیستم تک‌جزیی و برازش داده‌ها با مدل سینتیکی شبه مرتبه اول ..... 70
- شکل (5-15) تاثیر زمان تماس بر میزان جذب توریم در سیستم تک‌جزیی و برازش داده‌ها با مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم ..... 70
- شکل (5-16) تاثیر زمان تماس بر میزان جذب توریم در سیستم تک‌جزیی و برازش داده‌ها با مدل سینتیکی دواکسیونانسیلی ..... 70
- شکل (5-17) تاثیر زمان تماس بر میزان جذب توریم در سیستم تک‌جزیی و برازش داده‌ها با مدل سینتیکی نفوذ درون ذره‌ای ..... 71
- شکل (5-18) تاثیر غلظت اولیه و دما بر میزان جذب توریم توسط جاذب نانوفیبر PVA/TiO<sub>2</sub>/ZnO/TMPTMS در سیستم تک‌جزیی ..... 72
- شکل (5-19) برازش داده‌های تعادلی با ایزوترم جذب لانگمویر برای توریم در سیستم تک‌جزیی در سه دمای مختلف ..... 73
- شکل (5-20) برازش داده‌های تعادلی با ایزوترم جذب فرنرندلیچ برای توریم در سیستم تک‌جزیی در سه دمای مختلف ..... 74
- شکل (5-21) برازش داده‌های تعادلی با ایزوترم جذب D-R برای توریم در سیستم تک‌جزیی در سه دمای مختلف ..... 74
- شکل (5-22) برازش داده‌های تعادلی با ایزوترم جذب تمکین برای توریم در سیستم تک‌جزیی در سه دمای مختلف ..... 75
- شکل (5-23) رسم 1/T بر حسب Ln(K<sub>C</sub>) جهت محاسبه پارامترهای ترمودینامیکی جذب توریم در سیستم تک‌جزیی ..... 77
- شکل (5-24) تغییرات میزان جذب توریم توسط جاذب نانوفیبر PVA/TiO<sub>2</sub>/ZnO/TMPTMS در پنج سیکل جذب-دفع متوالی در سیستم تک‌جزیی ..... 78
- شکل (5-25) مقایسه میزان جذب توریم توسط جاذب نانوفیبر PVA/TiO<sub>2</sub>/ZnO/TMPTMS در سیستم تک‌جزیی با سایر سیستم‌های دوجزییی ..... 80
- شکل (5-26) مقایسه تاثیر pH بر میزان جذب توریم در سیستم تک‌جزیی و چند جزییی (MCS) ... 82

- شکل (27-5) مقایسه اثر زمان تماس بر میزان جذب توریم در سیستم تک‌جزیی و چند جزیی (MCS) ..... 83
- شکل (28-5) تاثیر زمان تماس بر میزان جذب توریم در سیستم چند جزیی و برازش داده ها با مدل سینتیکی شبه مرتبه اول ..... 84
- شکل (29-5) تاثیر زمان تماس بر میزان جذب توریم در سیستم چند جزیی و برازش داده ها با مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم ..... 84
- شکل (30-5) تاثیر زمان تماس بر میزان جذب توریم در سیستم چند جزیی و برازش داده ها با مدل سینتیکی دو اکسپونانسیلی ..... 84
- شکل (31-5) تاثیر زمان تماس بر میزان جذب توریم در سیستم چند جزیی و برازش داده ها با مدل سینتیکی نفوذ درون ذره ای ..... 85
- شکل (32-5) تاثیر غلظت اولیه و دما بر میزان جذب توریم توسط جاذب نانوفیبر PVA/TiO<sub>2</sub>/ZnO/TMPTMS در سیستم چند جزیی (MCS) ..... 86
- شکل (33-5) برازش داده‌های تعادلی با ایزوترم جذب لانگمویر برای توریم در سیستم چند جزیی در سه دمای مختلف ..... 87
- شکل (34-5) برازش داده های تعادلی با ایزوترم جذب فرنرندلیچ برای توریم در سیستم چند جزیی در سه دمای مختلف ..... 87
- شکل (35-5) برازش داده های تعادلی با ایزوترم جذب D-R برای توریم در سیستم چند جزیی در سه دمای مختلف ..... 88
- شکل (36-5) برازش داده های تعادلی با ایزوترم جذب فرنرندلیچ برای توریم در سیستم چند جزیی در سه دمای مختلف ..... 88
- شکل (37-5) رسم  $1/T$  بر حسب  $\ln(K_C)$  جهت محاسبه پارامترهای ترمودینامیکی جذب توریم در سیستم چند جزیی ..... 90
- شکل (38-5) تغییرات میزان جذب توریم توسط جاذب نانوفیبر PVA/TiO<sub>2</sub>/ZnO/TMPTM در سه سیکل جذب-دفع متوالی در سیستم چند جزیی ..... 91

## فهرست جداول

- جدول (1-1) مقایسه جاذبه‌های مختلف برای جذب توریم ..... 9
- جدول (1-2) مقایسه فرایندهای مختلف در سنتز نانوالیاف ..... 15
- جدول (2-2) مزایا و معایب روش های مختلف سنتز نانوالیاف ..... 15
- جدول (1-4) مشخصات نمکهای مورد استفاده ..... 47
- جدول (2-4) مقدار بهینه مواد موجود برای ساخت جاذبه‌های هیبریدی ..... 50
- جدول (1-5) ظرفیت جذب (q) توریم بر روی جاذبه‌های مختلف ..... 55
- جدول (2-5) تاثیر درصد وزنی ZnO روی جذب توریم ..... 56
- جدول (3-5) ظرفیت جذب (q) و ضریب گزینش پذیری ( $\beta$ ) جاذب نانو فیبر PVA/TiO<sub>2</sub>/ZnO/TMPTMS ..... 57
- جدول (4-5) خواص فیزیکی جاذب نانوفیبر PVA/TiO<sub>2</sub>/ZnO/TMPTMS ..... 65
- جدول (5-5) پارامترهای سینتیکی جذب توریم توسط جاذب نانو فیبر PVA/TiO<sub>2</sub>/ZnO/TMPTMS در سیستم تک‌جزیی ..... 71
- جدول (6-5) پارامترهای ایزوترم جذب فلز توریم در سیستم تک‌جزیی در سه دمای مختلف ..... 76
- جدول (7-5) پارامترهای ترمودینامیکی جذب توریم در سیستم تک‌جزیی ..... 77
- جدول (8-5) پارامترهای سینتیکی جذب توریم توسط جاذب نانو فیبر PVA/TiO<sub>2</sub>/ZnO/TMPTMS در سیستم چند جزیی ..... 85
- جدول (9-5) پارامترهای ایزوترم جذب فلز توریم در سیستم چند جزیی سه دمای مختلف ..... 89
- جدول (10-5) پارامترهای ترمودینامیکی جذب توریم در سیستم چند جزیی ..... 90