





دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی مواد

گروه خوردگی و حفاظت از مواد

پایان نامه کارشناسی ارشد

رسوب‌نشانی الکتروفور تیک نانوذرات هیدروکسی آپاتیت با تخلخل کنترل شده بر روی

فولادزنگ نزن 316L

سعیده کوچه لقمانی

استاد راهنما:

دکتر تقی شهرابی فراهانی

استاد مشاور:

دکتر علی رضا صبور روح اقدام

زمستان 91



بسمه تعالی

## تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

خانم سعیده کوچه لقمانی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان ایجاد پوشش نانو ساختار هیدروکسی آپاتیت با تخلخل کنترل شده به روش الکتروفوریک در تاریخ ۱۳۹۱/۱۰/۲۵ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مواد - خوردگی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر تقی شهبازی فراهانی	استاد	
استاد مشاور	دکتر علیرضا صبور روح اقدم	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر محمود علی اف خضرای	استادیار	
استاد ناظر	دکتر شاهرخ آهنگرانی	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمود علی اف خضرای	استادیار	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه / رساله مورد تأیید است.

امضای استاد راهنما:

تقدیم به

پدرم و مادر مهربان و فداکارم  
آنان که سالهای بسیار با تحمل زحمات و رنج فراوان

راه را همت

تحصیل علم و کسب معرفت و سعادت مندی

ایچانب، ہموار ساختند.

## مشکر و قدردانی

اینک که این نوشتار آماده می‌گردد خداوند متعال را شکر گزارم که یاریم نمود تا مرحله دیگری از زندگی خود را در سایه الطاف بیکرانش طی نموده و به پایان برسانم. از اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر تقی شهبازی فراوانی و دکتر علیرضا صبور روح اقدم که راهنمایی این پایان نامه را متقبل شدند و در طی دوران پایان نامه با راهنمایی و تشویق هایشان، موجبات کار را فراهم کردند سپاس گذاری می‌کنم و این دستاورد را مرهون همراهی، دگر می و نصایح دلسوزانه آنها می‌دانم. از خانواده عزیزم که همواره پشتیبان من بوده اند شکر نموده و از خداوند متعال سلامت و طول عمر را برای آنها خواستارم.

از جناب آقای مرتضی فرخی راد که در تمام مراحل انجام آزمایشات و مراحل  
مختلف پایان نامه، همواره همراهی و راهنمایی نمودند، تشکر و قدردانی نموده و برای  
ایشان آرزوی سعادت مندی و سلامت خواستارم.

سعیده کوچه لقمانی

پاییز 1391

## چکیده

در این پژوهش ابتدا پودر هیدروکسی آپاتیت (HA) با استفاده از روش شیمیایی تر سنتز شد. برای کسب اطمینان از ترکیب پودر آنالیزهای تفرق اشعه ایکس (XRD) و طیف سنجی مادون قرمز و تبدیل فوریه (FTIR) انجام شد و براساس تصاویر میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM) ابعاد پودر  $30 \pm 5$  nm تعیین گردید. سوسپانسیون حاوی نانو ذرات HA (10g/L) با مقادیر مختلف پلی اتیلن گلیکول (PEG) (0، 1، 2، 4 و 6 g/L) به عنوان توزیع کننده تهیه شد. اثر PEG بر پایداری کلئیدی سوسپانسیون ها با استفاده از آزمون های پایداری، هدایت سنجی، پتانسیل زتا، ویسکوزیته، FTIR و توزیع اندازه ذرات بررسی شد. نتایج FTIR نشان داد که PEG بر سطح نانوذرات HA جذب می شود. با توجه به نتایج بدست آمده، مکانیزم عملکرد PEG به عنوان توزیع کننده، شامل پروتونه شدن و سپس جذب بر سطح نانو ذرات HA است که منجر به افزایش بار سطحی ذرات و ایجاد پایداری کلئیدی از طریق مکانیسم های استریک و الکترواستاتیک (الکترواستریک) می شود. رسوب نشانی الکتروفوریتیک از سوسپانسیون های حاوی نانوذرات HA و غلظت های مختلف PEG بر روی زیرلایه فولادزنگ نزن 316L در ولتاژهای 60 و 200V در زمان های مختلف (15، 30، 60، 120، 240 و 360 ثانیه) انجام شد. سینتیک رسوب نشانی، ریزساختار پوشش ها و مقاومت به خوردگی آن ها در محیط شبیه سازی شده بدن (SBF) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از پتانسیل زتا، پایداری سوسپانسیون و کیفیت پوشش ها نشان داد که مقدار بهینه ی PEG 2g/L است. در مرحله ی بعد کربن بلک (CB) در غلظت های مختلف به سوسپانسیون های حاوی HA 10g/L به همراه PEG 2g/L افزوده شد. رسوب نشانی الکتروفوریتیک از سوسپانسیون های حاوی HA 10g/L و PEG 2g/L و غلظت های مختلف CB بر روی زیرلایه فولادزنگ نزن 316L در ولتاژهای 60 و 200V در زمان های مختلف (15، 30، 60، 120، 240 و 360 ثانیه) انجام شد. رسوب های خشک به منظور سوختن کربن و بر جا ماندن تخلخل در دمای 650 درجه ی سانتیگراد زینتر شدند. میزان کربن و تخلخل ها موجود در پوشش به ترتیب توسط آنالیز حرارتی و آنالیز تصویری بررسی گردید؛ مشاهده شد که با افزایش غلظت CB در سوسپانسیون، میزان CB در پوشش و به دنبال آن میزان تخلخل ها افزایش می یابد. سینتیک رسوب نشانی و دانسیته ی فشردگی پوشش ها بررسی شد. ریزساختار و مقاومت به خوردگی رسوب های خشک قبل و بعد از غوطه وری در SBF بررسی شد و مشخص شد که با افزایش غلظت CB قبل از غوطه وری در SBF مقاومت به خوردگی کاهش و پس از آن افزایش می یابد.

**کلید واژه:** نانوذرات هیدروکسی آپاتیت (HA)، رسوب نشانی الکتروفوریتیک (EPD)، پلی اتیلن گلیکول (PEG)، کربن بلک (CB)، تخلخل، ایزوپروپانول.



1.....	فصل 1- مقدمه
5.....	فصل 2- مروری بر منابع
	1-2- رسوب‌نشانی
6.....	الکتروفورتیک ..... 6
6.....	1-1-2- تاریخچه رسوب‌نشانی الکتروفورتیک
6.....	2-1-2- تعریف رسوب‌نشانی الکتروفورتیک
7.....	3-1-2- حلال‌ها
8.....	4-1-2- پایداری سوسپانسیون و باردار کردن ذرات
9.....	5-1-2- دانسیته‌ی فشرده‌گی رسوب‌ها
	6-1-2- سینتیک رسوب‌نشانی
10.....	الکتروفورتیک..... 10
	7-1-2- پارامترهای موثر بر فرآیند رسوب‌نشانی
	الکتروفورتیک ..... 11
	1-7-1-2- پارامترهای مربوط به
11.....	سوسپانسیون ..... 11
	2-7-1-2- پارامترهای مربوط به
14.....	فرآیند ..... 14
15.....	8-1-2- مکانیزم‌های رسوب‌نشانی الکتروفورتیک
15.....	1-8-1-2- انعقاد در اثر تجمع ذرات
	2-8-1-2- مکانیزم خنثی شدن بار
15.....	ذره ..... 15
	3-8-1-2- مکانیزم انعقاد الکتروشیمیایی
15.....	ذره ..... 15
	4-8-1-2- مکانیزم اعوجاج و نازک شدن لایه‌ی دوگانه‌ی
	الکتریکی ..... 16

- 17..... 2-2- هیدروکسی آپاتیت
- 18..... 1-2-2- خواص فیزیکی و مکانیکی هیدروکسی آپاتیت
- 18..... 2-2-2- تولید هیدروکسی آپاتیت
- 20..... 3-2- رسوب نشانی الکتروفوریتیک پوشش های هیدروکسی آپاتیت
- 21..... 1-3-2- جنس زیرلایه
- 22..... 2-3-2- اثر ولتاژ اعمالی روی سینتیک، دانسیته جریان و ریزساختار پوشش ها
- 25..... 3-3-2- عملیات حرارتی پوشش های هیدروکسی آپاتیت
- 26..... 4-3-2- بررسی های خوردگی
- 27..... 4-2- بایندر
- 28..... 1-4-2- پلی اتیلن گلیکول
- 5-2- پوشش های

29..... متخلخل

1 5 2 پوشش های هیدروکسی آپاتیت

29..... متخلخل

2 5 2 ضرورت و نیاز برای هیدروکسی آپاتیت

30..... متخلخل

31..... 3 5 2 کاربرد هیدروکسی آپاتیت متخلخل

32..... 4 5 2 پوشش دهی هیدراکسی آپاتیت متخلخل

39..... 6 2 - نحوه ی تشکیل شدن آپاتیت شبیه به استخوان بر روی HA

7 2 - اهداف

45..... پروژه

46..... فصل 3- روش انجام آزمایش

-1-3

47..... مقدمه

3-3- سنتز پودر هیدروکسی

49..... آپاتیت

4-3- آزمون های شناسایی

49..... پودر

50..... 5-3- آماده سازی سوسپانسیون ها

6-3- بررسی سوسپانسیون -

50..... ها

1-6-3- آزمون ته-

50..... نشینی

3-6-2- هدایت

50..... الکتریکی

3-6-3- پتانسیل زتا و توزیع اندازه

50..... ذرات

3-6-4-

51..... ویسکوزیته

3-6-5- طیف سنجی مادون

51..... قرمز

3-7-7- فرایند رسوب نشانی الکتروفورتیک..... 51

3-7-1- پارامترهای الکتریکی در طول EPD..... 52

3-7-2- اندازه گیری وزن در جای

53..... رسوب

3-7-3- دانسیته تر رسوب-

54..... ها

3-8- ضخامت رسوب..... 54

3-9-

55..... سینترینگ

3-10- بررسی پوشش های بدست

55..... آمده

3-10-1- بررسی

55..... ریزساختار

3-10-2- استحکام چسبندگی پوشش به زیرلایه..... 55

3-10-3- بررسی های خوردگی..... 55

3-10-3-1- آماده سازی محلول شبیه سازی شده بدن (SBF)..... 55

3-10-3-2- آزمون های خوردگی..... 56

3-11- پوشش های متخلخل هیدروکسی آپاتیت..... 57

3-11-1- تهیه ی سوسپانسیون..... 57

3-11-1- هدایت الکتریکی

57..... سوسپانسیون

3-11-2- رسوب نشانی

57..... الکتروفورتیک

57.....	1-2-11-3- تغییرات دانسیته‌ی جریان رسوب‌ها در طول فرایند EPD
	2-2-11-3- سینتیک رسوب
57.....	نشانی
	3-11-3- زینتر کردن رسوب-
57.....	ها
	4-11-3- آنالیز
58.....	حرارتی
58.....	5-11-3- اثر زمان و ولتاژ رسوب نشانی بر میزان کربن موجود در پوشش
	6-11-3- میزان تخلخل موجود در
58.....	پوشش
	7-11-3- بررسی پوشش-
58.....	ها
	1-7-11-3- بررسی
58.....	ریزساختار
	2-7-11-3- مقاومت به خوردگی پوشش-
59.....	ها
<b>60.....</b>	<b>فصل 4- نتایج</b>
61.....	1-4- آنالیز پودر هیدروکسی آپاتیت
63.....	2-4- اثر افزودن PEG بر پایداری سوسپانسیون
63.....	1-2-4- آزمون ته نشینی
64.....	2-2-4- هدایت الکتریکی سوسپانسیون
65.....	3-2-4- پتانسیل زتا و ویسکوزیته
66.....	4-2-4- جذب PEG در سطح نانوذرات HA
67.....	5-2-4- توزیع اندازه ذرات
68.....	3-4- رسوب نشانی الکتروفورتیک
68.....	1-3-4- دانسیته‌ی جریان
70.....	2-3-4- سینتیک رسوب نشانی
71.....	3-3-4- دانسیته‌ی تر رسوب‌ها
72.....	4-3-4- ضخامت رسوب‌ها
72.....	4-4- ریزساختار پوشش‌ها
	1-4-4- تصاویر میکروسکوپ نوری و
72.....	الکترونی

2-4-4- استحكام

- 75..... چسبندگی
- 76..... 3-4-4- مقاومت به خوردگی پوشش‌ها
- 5-4- تعیین غلظت بهینه‌ی
- 78..... PEG
- 78..... 6-4- رسوب نشانی هیدروکسی آپاتیت با تخلخل کنترل شده
- 1-6-4- پتانسیل زتا و توزیع اندازه‌ی
- 78..... ذرات
- 2-6-4- هدایت الکتریکی
- 79..... سوسپانسیون
- 80..... 7-4- رسوب نشانی الکتروفورتیک
- 80..... 1-7-4- دانسیته‌ی جریان در طول فرایند
- 2-7-4- دانسیته‌ی تر رسوب-
- 81..... ها
- 3-7-4- سینتیک رسوب
- 83..... نشانی
- 4-7-4- آنالیز
- 85..... حرارتی
- 86..... 5-7-4- اثر زمان و ولتاژ رسوب نشانی بر میزان کربن موجود در پوشش
- 6-7-4- میزان تخلخل موجود در
- 87..... پوشش
- 7-7-4- بررسی پوشش‌ها
- 1-7-7-4- بررسی
- 89..... ریزساختار
- 2-7-7-4- مقاومت به خوردگی پوشش
- 90.....
- 94..... فصل 5- نتیجه گیری و پیشنهادها
- 1-5- نتیجه
- 95..... گیری
- 2-5-
- 96..... پیشنهادها
- 97..... مراجع

## فهرست شکل‌ها

### عنوان

### صفحه

- شکل 2-1 تصویر شماتیک رسوب‌نشانی الکتروفورتیک (a) کاتدی و (b) آندی.....7
- شکل 2-2 پتانسیل زتای ذرات سرامیکی بر حسب pH سوسپانسیون.....8
- شکل 2-3 تصاویر SEM رسوب YBCO رسوب یافته به روش الکتروفورتیک بر روی نقره از سوسپانسیون استنی در 10 ولت و زمان 180 ثانیه (رسوب A: اندازه ذرات 3 میکرون و رسوب B: اندازه متوسط ذرات 60nm).....12
- شکل 2-4 اعوجاج لایه دوگانه الکتریکی و مکانیزم نازک شدن در رسوب‌نشانی الکتروفورتیک.....17

شکل 2-5 تصاویر SEM رسوب‌های پوشش داده شده از سوسپانسیون های حاوی HA 0/1g/L در ولتاژهای 20(a)، (b) 200 در زمان 10 دقیقه..... 23

شکل 2-6 وزن رسوب HA در زمان های مختلف رسوب نشانی..... 23

شکل 2-7 راندمان پوشش خام بر حسب ولتاژ اعمالی و زمان رسوب دهی..... 24

شکل 2-8 میکروگراف سطح SEM از نمونه پوشش داده شده در 90 ولت و در زمان 3 دقیقه بعد از سپینتریگ..... 25

شکل 2-9 مقایسه مقاومت به خوردگی و استحکام چسبندگی پوشش های هیدروکسی آپاتیت تولید شده در ضخامت های مختلف بر روی زیرلایه فولاد زنگ نزن 316L..... 26

شکل 2-10 مقایسه سرعت خوردگی با استفاده از پلاریزاسیون پتانسیودینامیک پوشش های هیدروکسی-آپاتیت تولید شده در ضخامت های مختلف بر روی زیرلایه های فولاد زنگ نزن 316L و آلیاژ تیتانیومی Ti6Al4V..... 27

شکل 2-11 ریزساختار SEM برای (a) ذرات کروی هم اندازه ی پلی استایرن (b) ذرات هیدروکسی آپاتیت (c) ذرات کامپوزیتی شامل پلی اسلکون و هیدروکسی آپاتیت..... 33

شکل 2-12 تصویر SEM برای (a) سطح و (b) سطح مقطع لایه ی ماکرومتخلخل پوشش داده شده بر روی تیتانیوم در شرایط رسوب نشانی 60V و 3 دقیقه..... 34

شکل 2-13 تصویر SEM برای (a) سطح و (b) سطح مقطع لایه ی ماکرومتخلخل پوشش داده شده بر روی تیتانیوم بعد از سینتر شدن در دمای 900 درجه سانتیگراد..... 35

شکل 2-14 تصاویر SEM برای (a) سطح و (b) سطح مقطع پوشش ماکرومتخلخل بعد از غوطه وری در محلول شبیه سازی شده بدن به مدت یک روز. ترک ها در طول خشک شدن در هوا ایجاد شدند..... 36

شکل 2-15 ریزساختار SEM (1) پوشش تفلون-هیدرواکسی آپاتیت (b) پوشش هیدرواکسی آپاتیت بعد از سینتر شدن در دمای 900 درجه سانتیگراد و به مدت 1 ساعت..... 37

شکل 2-16 دانسیته فشردگی رسوب در دانسیته جریان های اعمالی مختلف..... 38

شکل 2-17 تصاویر SEM داربست هیدرواکسی آپاتیتی سینتر شده که به هم پیوستگی تخلخل ها را نشان می دهد..... 39

شکل 2-18 تصاویر SEM، الگوی XRD پودر و FTIR پلی کریستال های HA-800 و HA-1200..... 41  
شکل 2-19 شماتیک نمایش منشا بار منفی بر سطح HA و به دنبال آن فرایند شکل گیری آپاتیت در SBF..... 43

شکل 3-1 فعالیت های انجام گرفته در پژوهش..... 48

شکل 3-2 نمایی از سل مورد استفاده در فرآیند پوشش دهی الکتروفوریتیک..... 52

شکل 3-3 مدار معادل EPD..... 52

- شکل 3-4 تصویر شماتیکی از نحوه‌ی اندازه‌گیری وزن غوطه‌وری (درجا) رسوب در حین EPD ..... 53
- شکل 4-1 الگوی XRD پودر سنتز شده به همراه صفحه‌های مربوط به هر پیک ..... 61
- شکل 4-2 تصویر SEM پودر سنتز شده ..... 62
- شکل 4-3 طیف FTIR پودر بدست آمده ..... 63
- شکل 4-4 نمودار پایداری سوسپانسیون حاوی HA 10g/L با غلظت‌های مختلف PEG ..... 64
- شکل 4-5 تغییرات هدایت الکتریکی ایزوپروپانول با غلظت‌های مختلف PEG با و بدون 10g/L نانوذرات HA ..... 65
- شکل 4-6 پتانسیل زتا نانوذرات HA و ویسکوزیته‌ی سوسپانسیون بر حسب غلظت PEG ..... 66
- شکل 4-7 نتایج آنالیزهای FTIR سوسپانسیون‌های حاوی HA 10g/L قبل و بعد از جذب 2g/L PEG ..... 67
- شکل 4-8 توزیع اندازه ذرات سوسپانسیون حاوی HA 10g/L با غلظت‌های مختلف PEG بعد از یک هفته از تهیه سوسپانسیون‌ها ..... 68
- شکل 4-9 دانسیته‌ی جریان و مقاومت الکتریکی رسوب‌ها و ولتاژ موثر در طول سوسپانسیون حین EPD بر حسب زمان رسوب نشانی در دو ولتاژ 60 (a) و 200V (b) ..... 69
- شکل 4-10 وزن غوطه‌وری (درجا) رسوب‌ها تشکیل شده از سوسپانسیون‌ها حاوی غلظت‌های مختلف PEG در ولتاژهای 60V (a) و 200V (b) بر حسب زمان رسوب نشانی ..... 70
- شکل 4-11 دانسیته‌ی تر رسوب‌هایی که از سوسپانسیون‌های حاوی غلظت‌های مختلف PEG تشکیل شده‌اند بر حسب زمان رسوب نشانی در 60V (a) و 200V (b) ..... 71
- شکل 4-12 ضخامت رسوب‌هایی که از سوسپانسیون‌های حاوی غلظت‌های مختلف PEG تشکیل شده‌اند بر حسب زمان رسوب نشانی در 60V (a) و 200V (b) ..... 72
- شکل 4-13 تصاویر SEM پوشش‌های رسوب داده شده از سوسپانسیون‌ها حاوی 0 (a,b)، 2 (c,d) و 6g/L (e,f) PEG قبل از زینتر شدن و (b,d,f) بعد از زینتر شدن ..... 74
- شکل 4-14 تصاویر میکروسکوپ نوری پوشش‌های رسوب داده شده در 60V (وزن یکسان) از سوسپانسیون‌ها حاوی 0 (a)، 1 (b)، 2 (c) و 6g/L PEG ..... 75
- شکل 4-15 منحنی پلاریزاسیون پوشش‌های رسوب داده شده از سوسپانسیون‌های حاوی غلظت‌های مختلف PEG و در محیط SBF و دمای 37 درجه سانتیگراد ..... 77
- شکل 4-16 منحنی توزیع اندازه ذرات CB و نانوذرات HA ..... 79



شکل 4-17 تغییرات هدایت الکتریکی سوسپانسیون حاوی HA 10g/L بر حسب غلظت‌های مختلف کربن بلک. ....  
80

شکل 4-18 تغییرات دانسیته جریان سوسپانسیون حاوی غلظت‌های مختلف کربن بلک در ولتاژهای 60V a) و 200V b) بر حسب زمان رسوب نشانی. ....  
81

شکل 4-19 دانسیته‌ی تر رسوب‌های تشکیل شده از سوسپانسیون‌های حاوی غلظت‌های مختلف CB بر حسب زمان رسوب نشانی در 60V a) و 200V b) .....  
83

شکل 4-20 وزن رسوب‌نشانی رسوب‌های تشکیل شده از سوسپانسیون‌های حاوی HA 10g/L و 2g/L PEG با غلظت‌های مختلف CB در ولتاژهای 60V a) و 200V b) بر حسب زمان رسوب نشانی. ....  
85

شکل 4-21 منحنی‌های TG مربوط به پوشش‌های تشکیل شده از سوسپانسیون‌های حاوی HA 10g/L با غلظت‌های مختلف CB. ....  
86

شکل 4-22 مقدار کربن موجود در پوشش تشکیل یافته از سوسپانسیون حاوی 2/5 و 5 g/L CB در دو ولتاژ 60V a) و 200V b) .....  
87

شکل 4-23 میزان تخلخل موجود در رسوب‌های تشکیل یافته از سوسپانسیون‌های حاوی غلظت‌های مختلف 0 a), 2/5 b), 5 c) و 10g/L CB d) حاصل شده از آنالیز تصویری تصاویر SEM. ....  
88

شکل 4-24 تصاویر SEM پوشش‌های رسوب داده شده از سوسپانسیون‌ها حاوی HA 10g/L با 2g/L PEG و 0 a,e), 2/5 b,f), 5 c,g) و 10g/L CB d,h) قبل از غوطه‌ور شدن و e,f,g,h) بعد از غوطه‌ور شدن در SBF. ....  
90

شکل 4-25 منحنی پلاریزاسیون پوشش‌های رسوب داده شده از سوسپانسیون‌های حاوی غلظت‌های مختلف CB a) قبل از غوطه‌وری و b) بعد از غوطه‌وری در SBF به مدت یک هفته. ....  
92

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
18.....	جدول 2-1. خواص فیزیکی هیدروکسی آپاتیت
19.....	جدول 2-2. واکنش‌های گزارش شده برای رسوب‌دهی هیدروکسی آپاتیت
جدول 2-3. نتایج به دست آمده از منحنی‌های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک پوشش‌های هیدروکسی-آپاتیت تولید شده در ضخامت‌های مختلف بر روی زیرلایه‌های فولاد زنگ نزن 316L و آلیاژ تیتانیومی Ti6Al4V.....	27.....
31.....	جدول 2-4. نیازها برای داربست‌های مهندسی بافت استخوان-سرامیک
55.....	جدول 3-1. مواد مورد نیاز جهت تولید 1000 میلی‌لیتر SBF.....
جدول 4-1. نتایج آزمون استحکام چسبندگی پوشش‌های رسوب داده شده از سوسپانسیون‌های حاوی HA 10g/L با غلظت‌های مختلف PEG.....	75.....
جدول 4-2. مقادیر دانسیته جریان و پتانسیل خوردگی نمونه‌های پوشش داده شده از سوسپانسیون‌های حاوی HA 10g/L با غلظت‌های مختلف PEG و غوطه ور شده در SBF.....	77.....
جدول 4-3. درصد تخلخل‌های موجود در در رسوب‌های تشکیل یافته از سوسپانسیون‌های حاوی غلظت-های مختلف CB.....	88.....
جدول 4-4. مقادیر دانسیته جریان و پتانسیل خوردگی پوشش‌های رسوب داده شده از سوسپانسیون‌های حاوی HA 10g/L و PEG 2g/L با غلظت‌های مختلف CB زینتر شده در دمای 650 درجه سانتیگراد قبل از غوطه‌وری.....	92.....
جدول 4-5. مقادیر دانسیته جریان و پتانسیل خوردگی پوشش‌های رسوب داده شده از سوسپانسیون‌های حاوی HA 10g/L و PEG 2g/L با غلظت‌های مختلف CB زینتر شده در دمای 650 درجه سانتیگراد و غوطه‌ور شده در SBF.....	93.....

# فصل 1

## مقدمه

انسان همواره با مشکلاتی جدی ناشی از بیماری ها، تصادفات و یا فرسوده شدن در طول عمر خود مواجه است و مراکز بیمارستانی در پی یافتن راه حل هایی برای از بین بردن آسیب های وارده و ترمیم آن هستند. یکی از راه های ترمیم، کاشت ایمپلنت در نقاط آسیب دیده ی بدن می باشد. فلزات قرن ها بدلیل خواص مکانیکی متمایز، برای ترمیم سازه های استخوانی بکار گرفته شده اند. اگرچه فلزات از خود چقرمگی و استحکام بالایی نشان می دهند، ولی به تخریب شیمیایی و الکتروشیمیایی حساس هستند. با این حال اکثر فلزاتی که در بدن انسان بعنوان ایمپلنت استفاده می شوند، تخریب می شوند. خوردگی این دسته از فلزات باعث آزاد شدن یون های فلزی به داخل بافت های احاطه کننده ی ایمپلنت و مسمویت آن ها می گردد. بنابراین موادی مورد نیاز است که زیست سازگار بوده و نسبت به محیط خورنده ی بدن مقاوم باشند [1]. در طی سه دهه ی اخیر، تحولی اساسی در استفاده و کاربرد سرامیک ها به منظور بهبود کیفی عمر بشر پدید آمده است. توسعه و گسترش طراحی و ساخت بیوسرامیک ها برای درمان بیماری و بازسازی صدمه های وارد بر بدن و ترمیم اعضا به وقوع پیوسته است.

استخوان یک کامپوزیت طبیعی آلی- معدنی شامل کلاژن ها و مواد معدنی میله ای شکل با طول 20-25 نانومتر می باشد که بصورت نا نوکریستالی درون آن ها جای گرفته اند. از آنجایی که هیدروکسی آپاتیت  $(Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2)$  (HA) از نظر ترکیب شیمیایی بسیار شبیه به جزء معدنی استخوان است، یکی از مهم ترین بیوسرامیک های مورد استفاده در پزشکی می باشد که در سال های اخیر تحقیقات زیادی را به خود اختصاص داده است [2]. این ماده بدلیل خواص زیست فعالی و زیست سازگاری بالا، می تواند بصورت بالک در بدن بکار برود. اما علی رغم ویژگی های عالی این ماده، خواص مکانیکی ضعیف آن نظیر استحکام کششی کم، مقاومت خستگی پایین، عدم انطباق مدول های الاستیک با مقدار واقعی استخوان و چقرمگی پایین آن،