





دانشگاه علوم پزشکی اردبیل  
دانشکده‌ی دندانپزشکی

پایان‌نامه جهت اخذ درجه‌ی دکترای حرفه‌ای دندانپزشکی

عنوان:

بررسی مورفولوژی سطح، توپوگرافی سطح و تغییرات رنگ ایجاد شده در سیم‌های  
ارتودنسی NiTi طی فرایند اچینگ الکتروشیمیایی

استاد راهنما:

دکتر مهدی فتحی

نگارش:

سعید قراری

سپاس و ستایش مر خدای را جل و جلاله  
که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان  
است

و انوار حکمت او در دل شب تار، درفشان.  
آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و  
درهای علم را بر ما گشود و عمری و  
فرصتی عطا فرمود

تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق  
علم و معرفت پیازماید.

## سپاسگزارم ،

از خدای مهربانم که این فرصت را در زندگی برایم فراهم کرد تا برای فهم اندکی از بیکرانیش تلاشی کوچک کنم؛

و سپاسگزار استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر مهدی فتحی هستم که با راهنمایی‌ها و کمک‌های بیدریغشان دشواری‌های راه را برایم هموار و پیمودن مسیر را برایم میسر نمودند و در هر چه پربار شدن این اثر کمک‌هایشان همیشه شامل حال بنده بودند. کمال تشکر را دارم.

برخود واجب می‌دانم که از تمامی اساتید دانشکده‌ی دندانپزشکی اردبیل که در طی مراحل تحصیل یاری‌ام نمودند نیز تشکر و قدردانی داشته باشم. و سپاس ویژه از خانواده عزیزم که همواره در تمامی مراحل زندگی همراهم بوده و هستند.

تقدیم به

پدرم به استواری کوه، مادرم به زلالی  
چشمه،

سمیرا و لیلا

و تمامی آنانی که آفتاب مهرشان در  
آستانه قلبم، همچنان پایرجاست و  
هرگز غروب نخواهد کرد.

## تعهد نامه‌ی اصالت پایان‌نامه

### بسمه تعالی

اینجانب سعید قراری دانش آموخته رشته‌ی دندانپزشکی مقطع دکتری حرفه‌ای به شماره‌ی دانشجویی ۹۶۲۶۳۷۰۱۷ گواهی می‌نمایم این پایان‌نامه تحت عنوان "بررسی مورفولوژی سطح، توپوگرافی سطح و تغییرات رنگ ایجاد شده در سیم‌های ارتودنسی NiTi طی فرایند اچینگ الکتروشیمیایی" به راهنمایی استاد محترم جناب آقای دکتر مهدی فتحی به‌طور کامل اصل و بدون هرگونه سرقت علمی/ ادبی بر اساس تعریف Plagiarism نگارش شده است و تمام یا قسمتی از آن توسط فرد دیگری در پایان‌نامه یا مراکز علمی دیگر ارائه نشده است. در ضمن اینجانب از مقررات مربوط به عدم رعایت صداقت در ارائه‌ی پایان‌نامه که منجر به مردود شدن و ارجاع به شورای پژوهشی دانشکده می‌شود، اطلاع کافی دارم.

تاریخ و امضاء دانشجو

بدین‌وسیله اصالت (Originality) و صحت نتایج این پایان‌نامه مورد تأیید اینجانب دکتر مهدی فتحی استاد راهنما می‌باشد.

تاریخ و امضاء استاد راهنما

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

### فصل اول: معرفی پژوهش

۲	۱-۱- مقدمه.....
۲	۲-۱- بیان مسئله.....
۴	۳-۱- تعریف واژه‌ها.....
۶	۴-۱- اهداف تحقیق.....
۶	۱-۴-۱- هدف کلی.....
۶	۲-۴-۱- اهداف اختصاصی.....
۶	۳-۴-۱- اهداف کاربردی.....

### فصل دوم: مبانی نظری و پیشینه‌ی تحقیق

۸	۱-۲- مبانی نظری تحقیق.....
۸	۱-۱-۲- آلیاژ نیکل - تیتانیوم.....
۹	۲-۲- سیم‌های ارتودنسی.....
۱۱	۳-۲- زیست‌سازگاری سیم‌های ارتودنسی.....
۱۲	۴-۲- انواع سیم‌های ارتودنسی.....
۱۲	۱-۴-۲- سیم‌های ارتودنسی فولادی زنگ نزن (SS).....
۱۳	۲-۴-۲- سیم‌های سیم‌های ارتودنسی کبالت کروم.....
۱۴	۳-۴-۲- سیم‌های ارتودنسی بتا تیتانیوم.....
۱۵	۴-۴-۲- سیم‌های ارتودنسی نیکل تیتانیوم (NI-TI).....
۱۶	۵-۲- انواع سیم‌های ارتودنسی از لحاظ شکل ظاهری.....
۱۶	۱-۵-۲- سیم‌های چند رشته‌ای.....
۱۷	۲-۵-۲- سیم‌های ارتودنسی ارتودنسی زیبایی.....
۱۷	۳-۵-۲- سیم‌های ارتودنسی OPTIFLEX.....
۱۸	۴-۵-۲- سیم‌های ارتودنسی روکش شده.....
۱۹	۵-۵-۲- سیم‌های ارتودنسی بیوفورس.....
۱۹	۶-۵-۲- سیم‌های ارتودنسی SEP.....

۱۹	۷-۵-۲- سیم‌های ارتودنسی با پوشش نانو نانوذرات .....
۲۰	۸-۵-۲- سیم‌های ارتودنسی تکمیلی SPEED .....
۲۰	۹-۵-۲- سیم‌های ارتودنسی کم‌مانی دندان‌دار نیتانیومی .....
۲۰	۱۰-۵-۲- سیم‌های ارتودنسی قوسی هندسه دوگانه هیلز .....
۲۱	۱۱-۵-۲- سیم‌های ارتودنسی باکتری‌کش جدید .....
۲۱	۱۲-۵-۲- سیم‌های ارتودنسی TIMOLIUM .....
۲۲	۱۳-۵-۲- سیم‌های ارتودنسی نیروی سه‌گانه .....
۲۲	۱۴-۵-۲- سیم‌های ارتودنسی مارسنول .....
۲۲	۱۵-۵-۲- سیم‌های ارتودنسی لی‌وایت .....
۲۲	۶-۲- خواص سیم‌های ارتودنسی .....
۲۳	۷-۲- اکسیداسیون تیتانیوم جهت افزودن رنگ .....
۲۳	۱-۷-۲- اکسیداسیون حرارتی .....
۲۵	۲-۷-۲- اکسیداسیون شیمیایی .....
۲۵	۳-۷-۲- تشکیل نیتريد تیتانیوم .....
۲۶	۴-۷-۲- اکسیداسیون الکترولیتی .....
۲۶	۵-۷-۲- فرایند اچینگ الکتروشیمیایی .....
۲۸	۸-۲- اثرات مختلف فلز کاتدی .....
۲۹	۹-۲- رنگ .....
۳۰	۱-۹-۲- ابعاد رنگ .....
۳۰	۱-۱-۹-۲- HUE .....
۳۱	۲-۱-۹-۲- VALUE .....
۳۱	۳-۱-۹-۲- CHROMA .....
۳۱	۲-۹-۲- سایر ویژگی‌های نوری .....
۳۱	۱-۲-۹-۲- ترانس لوسنسی .....
۳۲	۲-۲-۹-۲- نمایش رنگین‌مانی رنگ .....
۳۲	۳-۲-۹-۲- اوپالیسنسی .....



۳۲	..... براقیت ۴-۲-۹-۲
۳۳	..... فلئورسنس ۵-۲-۹-۲
۳۳	..... اندازه‌گیری تغییر رنگ ۱۰-۲
۳۵	..... بررسی متون و مبانی عملی تحقیق ۱۱-۲

### فصل سوم: روش اجرای تحقیق

۳۹	..... نوع پژوهش ۱-۳
۳۹	..... جمعیت مورد مطالعه ۲-۳
۳۹	..... نمونه‌برداری و روش نمونه‌گیری ۳-۳
۴۰	..... حجم نمونه و روش نمونه‌گیری ۴-۳
۴۱	..... مواد مورد استفاده در انجام پژوهش ۵-۳
۴۱	..... روش انجام تحقیق ۶-۳
۴۲	..... آماده‌سازی سامانه‌ی کنترل ۷-۳
۴۴	..... اچینگ الکتروشیمیایی در حمام اسیدی ۸-۳
۴۴	..... مطالعات میکروسکوپی ۹-۳
۴۵	..... بررسی توپوگرافی سطح سیم ارتودنسی اصلاح شده با AFM ۱۰-۳
۴۶	..... بررسی آبدوستی و آبگریزی سطح سیم ارتودنسی اصلاح شده ۱۱-۳
۴۶	..... تعیین ثبات رنگ ۱۲-۳
۴۷	..... ملاحظات اخلاقی ۱۴-۳
۴۷	..... روش تجزیه و تحلیل داده‌ها ۱۵-۳
۴۸	..... جدول متغیرها ۱۶-۳

### فصل چهارم: یافته‌های پژوهش

۵۰	..... مقدمه ۱-۴
۵۰	..... نتایج حاصل از تغییر رنگ سیم‌های ارتودنسی به روش اچینگ الکتروشیمیایی در حمام اسیدی ۲-۴
۵۲	..... مطالعات میکروسکوپی FE-SEM ۳-۴
۵۴	..... تجزیه و تحلیل توپوگرافی سطح بهوسیله‌ی دستگاه AFM ۴-۴
۵۵	..... نتایج حاصل از آزمون زاویه‌ی تماس یا ترشوندگی ۵-۴

۵۸	۴-۶- نتایج حاصل از بررسی ثبات رنگ نمونه‌ها
۵۸	۴-۶-۱- تعیین تغییر رنگ دیسک نیکل تیتانیوم
۵۹	۴-۶-۲- ارزیابی بصری رنگ
۶۰	۴-۶-۳- ارزیابی عینی رنگ
۶۸	۴-۶-۴- اندازه‌گیری کمی لایه‌ی اکسید
۶۸	۴-۶-۵- تکرارپذیری

### فصل پنجم: بحث و نتیجه‌گیری

۷۲	۵-۱- بحث
۷۲	۵-۱-۱- تغییر رنگ کلی
۷۲	۵-۱-۲- تغییر رنگ در مختصات $L^*$ , $A^*$ و $B^*$
۷۴	۵-۲- نتیجه‌گیری
۷۷	۵-۳- پیشنهادها در راستای اهداف تحقیق
۷۷	۵-۴- محدودیت تحقیق
۷۹	منابع

## فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۲۸	شکل ۱-۲: نمایشی از سل اچینگ آنودایز الکتروشیمیایی
۳۰	شکل ۲-۲: سیستم رنگ Munsell همراه با محور value عمودی آکروماتیک
۳۵	شکل ۳-۲: طیف نور مرئی
۴۱	جدول ۱-۳: مواد مورد استفاده در تحقیق
۴۳	شکل ۱-۳: شماتیک سیستم برق و منبع تغذیه
۴۳	شکل ۲-۳: سامانه‌ی برق و منبع تغذیه در حین اچینگ الکتروشیمیایی نمونه
۴۴	شکل ۳-۳: میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی
۴۵	شکل ۳-۴: دستگاه میکروسکوپ نیروی اتمی به‌کار گرفته شده در آزمایش زبری سنجی
۴۷	شکل ۵-۳: دستگاه اسپکتروفتومتری به‌همراه نمونه‌های دیسک نیکل تیتانیوم مورد آزمایش
۵۱	شکل ۱-۴: تصاویر سیم‌های ارتودنسی تغییر رنگ داده شده بعد از فرایند اچینگ الکتروشیمیایی از A تا J به ترتیب نمونه‌های ۱۰ الی ۱۰۰ ولت و نمونه‌ی K مربوط به نمونه‌ی کنترل می‌باشد
۵۱	شکل ۲-۴: تصاویر دیسک نیکل تیتانیوم تهیه شده قبل و بعد از فرایند اچینگ الکتروشیمیایی در ۱۰ الی ۱۰۰ ولت، نمونه‌ی K مربوط به نمونه‌ی کنترل می‌باشد
۵۲	شکل ۳-۴: تصاویر میله‌های تغییر رنگ داده شده‌ی نیکل تیتانیوم در ولتاژ ۱۰ الی ۱۰۰ ولت به ترتیب نمونه‌ی A تا J و نمونه‌ی K مربوط به نمونه‌ی کنترل می‌باشد
۵۳	شکل ۴-۴: تصاویر FE-SEM سیم‌های نیکل تیتانیوم در ولتاژ ۱۰ الی ۱۰۰ ولت به ترتیب نمونه‌ی A تا J و نمونه‌ی K مربوط به نمونه‌ی کنترل می‌باشد
۵۴	شکل ۵-۴: نتایج حاصل از AFM نمونه‌ها پس از اچینگ الکتروشیمیایی به ترتیب ۱۰ الی ۱۰۰ ولت و نمونه‌ی شاهد
۵۶	شکل ۶-۴: تصاویر مربوط به آزمون کشش سطحی آب، شکل A تا J به ترتیب نمونه‌های ۱۰ تا ۱۰۰ ولت و K مربوط به نمونه‌ی کنترل می‌باشد
۵۹	شکل ۷-۴: تصویری از خواص فیزیکی نور
۶۲	شکل ۸-۴: L* در تکرار اول بر اساس ولتاژ اعمالی
۶۲	شکل ۹-۴: L* در تکرار دوم بر اساس ولتاژ اعمالی
۶۳	شکل ۱۰-۴: L* در تکرار سوم بر اساس ولتاژ اعمالی

- شکل ۴-۱۱: تصاویر مربوط به نمودار  $a^*$  در تکرار اول بر اساس ولتاژ اعمالی ..... ۶۴
- شکل ۴-۱۲: تصاویر مربوط به نمودار  $a^*$  در تکرار دوم بر اساس ولتاژ اعمالی ..... ۶۴
- شکل ۴-۱۳: تصاویر مربوط به نمودار  $a^*$  در تکرار سوم بر اساس ولتاژ اعمالی ..... ۶۵
- شکل ۴-۱۴: تصاویر مربوط به نمودار  $b^*$  در تکرار اول بر اساس ولتاژ اعمالی ..... ۶۵
- شکل ۴-۱۵: تصاویر مربوط به نمودار  $b^*$  در تکرار دوم بر اساس ولتاژ اعمالی ..... ۶۶
- شکل ۴-۱۶: تصاویر مربوط به نمودار  $b^*$  در تکرار سوم بر اساس ولتاژ اعمالی ..... ۶۶
- شکل ۴-۱۷: تصاویر مربوط به نمودار  $\Delta E$  در تکرار اول بر اساس ولتاژ اعمالی ..... ۶۷
- شکل ۴-۱۸: تصاویر مربوط به نمودار  $\Delta E$  در تکرار دوم بر اساس ولتاژ اعمالی ..... ۶۷
- شکل ۴-۱۹: تصاویر مربوط به نمودار  $\Delta E$  در تکرار سوم بر اساس ولتاژ اعمالی ..... ۶۸
- شکل ۴-۲۰: تصاویر مربوط به نمودار  $L^*$  به طور همزمان در سه تکرار در برابر ولتاژ ..... ۶۹
- شکل ۴-۲۱: تصاویر مربوط به نمودار  $a^*$  به طور همزمان در سه تکرار در برابر ولتاژ ..... ۶۹
- شکل ۴-۲۲: تصاویر مربوط به نمودار  $b^*$  به طور همزمان در سه تکرار در برابر ولتاژ ..... ۷۰

## فهرست جداول

صفحه	عنوان
۲۴	جدول ۲-۲: رنگ قابل مشاهده بر روی تیتانیوم در دما و زمان معین.....
۴۱	جدول ۱-۳: مواد مورد استفاده در تحقیق.....
۵۷	جدول ۱-۴: داده‌های حاصل از آزمون زاویه‌ی تماس آب.....
۶۰	جدول ۲-۴: داده‌های حاصل از آزمون رنگ سنجی در تکرار اول.....
۶۱	جدول ۳-۴: داده‌های حاصل از آزمون رنگ سنجی در تکرار دوم.....
۶۱	جدول ۴-۴: داده‌های حاصل از آزمون رنگ سنجی در تکرار سوم.....

## بررسی مورفولوژی سطح، توپوگرافی سطح و تغییرات رنگ ایجاد شده در سیم‌های ارتودنسی NiTi طی فرایند اچینگ الکتروشیمیایی

**مقدمه:** هدف از این مطالعه بررسی و ارزیابی تغییرات در خواص سطحی، مورفولوژی و توپوگرافی سیم‌های ارتودنسی NiTi تغییر رنگ داده شده طی فرایند اچینگ الکتروشیمیایی آنودایز بود.

**مواد و روش‌ها:** تغییر رنگ سیم‌های ارتودنسی NiTi به روش اچینگ الکتروشیمیایی آنودایز در گروه‌های مورد آزمایش که از سیم، دیسک و میله‌های اصلاح نشدهی آلیاژ NiTi استفاده شد. همچنین، در این کار تحقیقاتی خواص فیزیکی، مورفولوژی، زبری سطح و آنالیز زاویه‌ی تماس هر یک از نمونه‌ها به ترتیب با استفاده از اسپکتروفتومتر، میکروسکوپ الکترونی روبشی، میکروسکوپ نیروی اتمی و سیستم تجزیه و تحلیل زاویه‌ی تماس استفاده شد.

**یافته‌ها:** با اعمال ولتاژ مختلف ۱۰ تا ۱۰۰ ولت حین فرایند اچینگ الکتروشیمیایی آنودایز، رنگ‌های متنوعی را می‌توان بر روی سطوح آلیاژهای NiTi به‌عنوان نمونه‌ی سیم ارتودنسی تولید کرد. در مقایسه با سیم‌های آلیاژ NiTi اصلاح نشده، سیم‌های NiTi آنودایز شده زاویه‌ی تماس کمتر و زبری بالاتری را از خود نشان دادند. با افزایش میزان زبری سطح و همچنین تصاویر به‌دست آمده از میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی FE-SEM، مشاهده گردید که با افزایش ولتاژ زبری سطح و بالطبع توپوگرافی سطح دست‌خوش تغییر می‌گردد که این تغییر با آزمون میکروسکوپ الکترونی اتمی AFM نیز اثبات گردید. همچنین، نتایج حاصل از آزمون زاویه‌ی تماس CA تأثیر میزان افزایش ولتاژ در میزان آب‌دوستی سطح آلیاژ NiTi را اثبات می‌نمود.

**نتیجه‌گیری:** بکارگیری از فرایند اچینگ الکتروشیمیایی آنودایز نمونه‌ها در هریک از گروه‌های تحقیق، می‌تواند رنگ آلیاژهای NiTi را در ولتاژهای مختلف در زمان ثابت تغییر دهد. مشاهده شد که زبری، توپوگرافی و همچنین آب‌دوستی سیم‌های ارتودنسی تولید شده پس از فرایند الکتروشیمیایی در آلیاژهای NiTi افزایش یافت.

**کلمات کلیدی:** سیم ارتودنسی نیکل / تیتانیوم، اچینگ الکتروشیمیایی، خواص فیزیکی، توپوگرافی سطح، تغییر رنگ