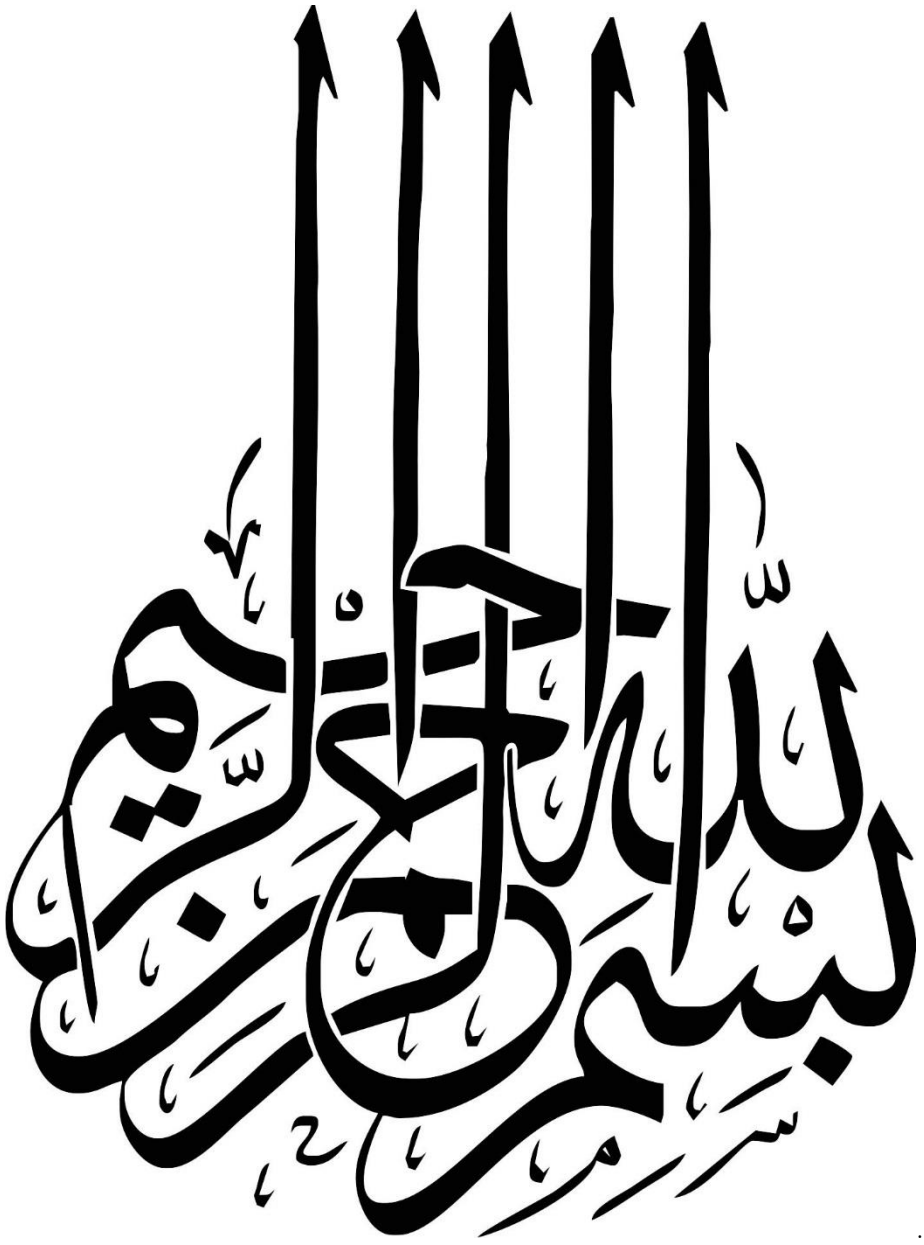
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه علوم پزشکی اردبیل

دانشکده‌ی دندانپزشکی

پایان‌نامه جهت اخذ درجه‌ی دکترای حرفه‌ای دندانپزشکی

عنوان:

بررسی مقاومت کششی و استحکام خمشی سیم‌های ارتودنسی NiTi طی فرایند اچینگ الکتروشیمیایی

استاد راهنما:

دکتر مهدی فتحی

نگارش:

امیر اتابک رحمانی

شماره‌ی پایان‌نامه: د/پ/۰۱۳۰

بهمن ماه ۱۴۰۲

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 بیازماید.

سپاسگزارم ،

از خداي مهربانم که این فرصت را در زندگي برایم فراهم کرد تا براي فهم اندکي از بیکرانش تلاشي کوچك کنم؛

و سپاسگزاراستاد گرانقدرم جناب آقای دکتر مهدی فتحی هستم که با راهنمایي‌ها وکمك‌هاي بیدریغشان دشواري‌هاي راه را برایم هموار و پیمودن مسیر را برایم میسر نمودند و در هر چه پربار شدن این اثر کمک‌هایشان همیشه شامل حال بنده بود ن کمال تشکر را دارم.

برخود واجب می‌دانم که از تمامی اساتید دانشکده‌ی

دندانپزشکی اردبیل که در طی مراحل تحصیل یاری‌ام

نمودند نیزتشکر وقدردانی اشته باشم.

و سپاس ویژه از خانواده عزیزم که همواره در تمامي

مراحل زندگي همراهم بوده و هستند.

تقدیم به

پدرم به استواری کوه، مادرم به زلالی چشمه و همسر عزیزم که وجودش آرامش لحظات پرآشوب من است...

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

تعهد نامه‌ی اصالت پایان‌نامه

بسمه تعالی

اینجانب امیراتابک رحمانی دانش آموخته رشته‌ی دندانپزشکی مقطع دکتری حرفه‌ای به شماره‌ی دانشجویی ۹۶۲۶۳۷۰۰۷ گواهی می‌نمایم این پایان‌نامه تحت عنوان " **بررسی مقاومت کششی و استحکام خمشی 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 تائید اینجانب **دکتر مهدی فتحی** استاد راهنما می‌باشد.

تاریخ و امضاء استاد راهنما

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مبانی پژوهش

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- بیان مسئله ۳

۱-۳- تعریف واژه‌ها ۶

۱-۴- اهداف تحقیق ۷

۱-۴-۱- هدف کلی ۷

۱-۴-۲- اهداف اختصاصی ۷

۱-۴-۳- اهداف کاربردی ۸

فصل دوم: مبانی نظری تحقیق

۲-۱- مبانی نظری تحقیق ۱۰

۲-۱-۱- آلیاژ نیکل- تیتانیوم ۱۰

۲-۲- سیم‌های ارتودنسی ۱۱

۲-۳- زیست‌سازگاری سیم‌های ارتودنسی ۱۳

۲-۴- انواع سیم‌های ارتودنسی ۱۴

۲-۴-۱- سیم‌های ارتودنسی فولادی زنگ نزن (SS) ۱۴

۲-۴-۲- سیم‌های سیم‌های ارتودنسی کبالت کروم ۱۵

۲-۴-۳- سیم‌های ارتودنسی بتا تیتانیوم ۱۶

۲-۴-۴- سیم‌های ارتودنسی نیکل تیتانیوم (Ni-Ti) ۱۷

۲-۵- انواع سیم‌های ارتودنسی از لحاظ شکل ظاهری ۱۸

۲-۵-۱- سیم‌های چند رشته‌ای ۱۸

۲-۵-۲- سیم‌های ارتودنسی ارتودنسی زیبایی ۱۹

۲-۵-۳- سیم‌های ارتودنسی Optiflex ۱۹

۲-۵-۴- سیم‌های ارتودنسی روکش شده ۲۰

۲-۵-۵- سیم‌های ارتودنسی بیوفورس ۲۱

۲-۵-۶- سیم‌های ارتودنسی SEP ۲۱
۲-۵-۷- سیم‌های ارتودنسی با پوشش نانو نانوذرات ۲۱
۲-۵-۸- سیم‌های ارتودنسی تکمیلی SPEED ۲۲
۲-۵-۹- سیم‌های ارتودنسی کمانی دندانه دار نیتانیومی ۲۲
۲-۵-۱۰- سیم‌های ارتودنسی قوسی هندسه دوگانه هیلز ۲۲
۲-۵-۱۱- سیم‌های ارتودنسی باکتری‌کش جدید ۲۳
۲-۵-۱۲- سیم‌های ارتودنسی TiMolium ۲۳
۲-۵-۱۳- سیم‌های ارتودنسی نیروی سه گانه ۲۴
۲-۵-۱۴- سیم‌های ارتودنسی مارسنول ۲۴
۲-۵-۱۵- سیم‌های ارتودنسی لی وایت ۲۴
۲-۶- خواص سیم‌های ارتودنسی ۲۴
۲-۷- اکسیداسیون تیتانیوم جهت افزودن رنگ ۲۵
۲-۷-۱- اکسیداسیون حرارتی ۲۵
۲-۷-۲- اکسیداسیون شیمیایی ۲۷
۲-۷-۳- تشکیل نیترید تیتانیوم ۲۷
۲-۷-۴- اکسیداسیون الکترولیتی ۲۸
۲-۷-۵- فرایند اچینگ الکتروشیمیایی ۲۸
۲-۸- اثرات مختلف فلز کاتدی ۳۰
۲-۹- رنگ ۳۱
۲-۹-۱- ابعاد رنگ ۳۱
۲-۹-۱-۱- Hue ۳۲
۲-۹-۱-۲- Value ۳۳
۲-۹-۱-۳- Chroma ۳۳
۲-۹-۲- سایر ویژگی‌های نوری ۳۳
۲-۹-۲-۱- ترانس لوسنسی ۳۳

۲-۲-۹-۲- نمایش رنگین‌کمانی رنگ ۳۴
۲-۲-۹-۳- اوپالیسنسی ۳۴
۲-۲-۹-۴- براقیت ۳۴
۲-۲-۹-۵- فلوئورسنس ۳۵
۲-۱۰- اندازه‌گیری تغییر رنگ ۳۵
۲-۱۱ خواص مکانیکی ۳۷
۲-۱۱-۱ آزمایش کشش ۳۷
۲-۱۱-۲ آزمایش فشار ۳۸
۲-۱۱-۳ آزمایش پیچش ۳۹
۲-۱۱-۴ آزمایش خمش ۳۹
۲-۱۱-۵ رفتار تنش/ کرنش ۴۰
۲-۱۲ بررسی متون و مبانی تحقیق ۴۰

فصل سوم: روش اجرای تحقیق

۳-۱- نوع پژوهش ۴۵
۳-۲- جمعیت مورد مطالعه ۴۵
۳-۳- نمونه‌برداری و روش نمونه‌گیری ۴۵
۳-۴- حجم نمونه و روش نمونه‌گیری ۴۸
۳-۵- مواد مورد استفاده در انجام پژوهش ۴۸
۳-۶- روش انجام تحقیق ۴۹
۳-۷- آماده‌سازی سامانه‌ی کنترل ۴۹
۳-۸- اچینگ الکتروشیمیایی در حمام اسیدی ۵۱
۳-۹- مطالعات میکروسکوپی ۵۲
۳ -۱۰- بررسی توپوگرافی سطح سیم ارتودنسی اصلاح سطح شده با AFM ۵۲
۳-۱۱- بررسی آبدوستی و آبگریزی سطح سیم ارتودنسی اصلاح سطح شده ۵۳
۳ -۱۲- تعیین ثبات رنگ ۵۴

۳ -۱۳- بررسی خواص مکانیکی سیم‌های ارتودنسی تغییر رنگ داده شده طی فرایند اچینگ الکتروشیمیایی آنودایز ۵۴
۳ -۱-۱۳- آزمون استحکام کششی ۵۴
۳ -۲-۱۳- آزمون مقاومت خمشی ۵۴
۳ -۱۴- ملاحظات اخلاقی ۵۹
۳ -۱۵- روش تجزیه و تحلیل داده‌ها ۵۹
۳ -۱۶- جدول متغیرها ۵۹

فصل چهارم: یافته‌های پژوهش

۴-۱- مقدمه ۶۱
۴-۲- نتایج حاصل از تغییر رنگ سیم‌های ارتودنسی به‌روش اچینگ الکتروشیمیایی در حمام اسیدی ۶۲
۴-۳- مطالعات میکروسکوپی FE-SEM ۶۴
۴ -۴- تجزیه و تحلیل توپوگرافی سطح به‌وسیله‌ی دستگاه AFM ٦٦
۴ -۵- نتایج حاصل از آزمون زاویه‌ی تماس یا ترشوندگی ۶۷
۴ -۶- نتایج حاصل از بررسی ثبات رنگ نمونه‌ها ۷۰
۴ -۱-۶- تعیین تغییر رنگ دیسک نیکل تیتانیوم ۷۰
۴ -۲-۶- ارزیابی بصری رنگ ۷۱
۴ -۳-۶- ارزیابی عینی رنگ ۷۲
۴ -۴-۶- تکرارپذیری ۸۰
۴ -۷- بررسی خواص مکانیکی سیم‌های ارتودنسی تغییر رنگ داده شده ۸۲
۴ -۱-۷- نتایج حاصل از آزمون استحکام کششی سیم‌های ارتودنسی ۸۳
۴ -۲-۷- نتایج حاصل از آزمون استحکام خمشی سیم‌های ارتودنسی ۸۶

فصل پنجم: بحث و نتیجه‌گیری

۵-۱- بحث ۹۱
۵-۱-۱- تغییر رنگ کلی ۹۱
۵-۱-۲-تغییر رنگ در مختصات L*، a* و b* ۹۲

۳-۱-۵- خواص مکانیکی سیم‌های ارتودنسی قبل و بعد از تغییر رنگ در ولتاژهای مختلف..... ۹۴
۵-۲- نتیجه‌گیری..... ۹۶
۵-۳- پیشنهادها در راستای اهداف تحقیق..... ۹۸
۵-۴- محدودیت تحقیق..... ۹۸
منابع..... ۹۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: نمایشی از سل اچینگ الکتروشیمیایی ۲۸

شکل ۲-۲: سیستم رنگ Munsell همراه با محور value عمودی آکروماتیک ۳۰

شکل ۲-۳: طیف نور مرئی ۲۶

شکل ۳-۱: شماتیک سیستم برق و منبع تغذیه ۵۰

شکل ۳-۲: سامانه‌ی برق و منبع تغذیه در حین اچینگ الکتروشیمیایی نمونه ۵۰

شکل ۳-۳: میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی ۵۲

شکل ۳-۴: دستگاه میکروسکوپ نیروی اتمی به‌کار گرفته شده در آزمایش زبری سنجی ۵۳

شکل ۳-۵: دستگاه اسپکتروفتومتری جهت تعیین رنگ نمونه‌ها ۵۴

شکل ۳-۶: دستگاه یونیورسال تست در حین انجام آزمون کشش سیم ارتودنسی ۵۶

شکل ۳-۶: مدل ساخته شده جهت انجام تست سه براکتی در دستگاه یونیورسال تست در حین انجام آزمون خمش سیم ارتودنسی ۵۸

شکل ۴-۱: تصاویر سیم‌های ارتودنسی تغییر رنگ داده شده بعد از فرایند اچینگ الکتروشیمیایی از A تا J به‌ترتیب نمونه‌های ۱۰ الی ۱۰۰ ولت و نمونه‌ی K مربوط به نمونه‌ی کنترل می‌باشد ۶۳

شکل ۴-۲: 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 ۶۳

شکل ۴-۳: 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 ۶۴

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 ۶۵

شکل ۴-۵: نتایج حاصل از AFM پس از اچینگ الکتروشیمیایی به‌ترتیب ۱۰ الی ۱۰۰ ولت و نمونه‌ی کنترل ۶۶

شکل ۴-۶: تصاویر مربوط به آزمون کشش سطحی آب، شکل A تا J به‌ترتیب نمونه‌های ۱۰ تا ۱۰۰ ولت و K مربوط به نمونه‌ی کنترل می‌باشد ۶۸

شکل ۴-۷: تصویری از خواص فیزیکی نور ۷۱

شکل ۴-۸: تصاویر مربوط به نمودار *L در تکرار اول بر اساس ولتاژ اعمالی ۷۴

شکل ۴-۹: تصاویر مربوط به نمودار *L در تکرار دوم بر اساس ولتاژ اعمالی ۷۴

شکل ۴-۱۰: تصاویر مربوط به نمودار *L در تکرار سوم بر اساس ولتاژ اعمالی ۷۵
شکل ۴-۱۱: تصاویر مربوط به نمودار *a در تکرار اول بر اساس ولتاژ اعمالی ۷۶
شکل ۴-۱۲: تصاویر مربوط به نمودار *a در تکرار دوم بر اساس ولتاژ اعمالی ۷۶
شکل ۴-۱۳: تصاویر مربوط به نمودار *a در تکرار سوم بر اساس ولتاژ اعمالی ۷۷
شکل ۴-۱۴: تصاویر مربوط به نمودار *b در تکرار اول بر اساس ولتاژ اعمالی ۷۷
شکل ۴-۱۵: تصاویر مربوط به نمودار *b در تکرار دوم بر اساس ولتاژ اعمالی ۷۸
شکل ۴-۱۶: تصاویر مربوط به نمودار *b در تکرار سوم بر اساس ولتاژ اعمالی ۷۸
شکل ۴-۱۷: تصاویر مربوط به نمودار ΔE در تکرار اول بر اساس ولتاژ اعمالی ۷۹
شکل ۴-۱۸: تصاویر مربوط به نمودار ΔE در تکرار دوم بر اساس ولتاژ اعمالی ۷۹
شکل ۴-۱۹: تصاویر مربوط به نمودار ΔE در تکرار سوم بر اساس ولتاژ اعمالی ۸۰
شکل ۴-۲۰: تصاویر مربوط به نمودار *L به‌طور همزمان در سه تکرار در برابر ولتاژ ۸۱
شکل ۴-۲۱: تصاویر مربوط به نمودار *a به‌طور همزمان در سه تکرار در برابر ولتاژ ۸۱
شکل ۴-۲۲: تصاویر مربوط به نمودار *b به‌طور همزمان در سه تکرار در برابر ولتاژ ۸۲
شکل ۴-۲۳ دستگاه یونیورسال تست در حین انجام آزمون کشش سیم ارتودنسی ۸۵
شکل ۴-۲۴: دستگاه یونیورسال تست در حین انجام آزمون کشش سیم ارتودنسی ۸۹

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: الزامات ایده‌آل سیم‌های ارتودنسی ۱۱

جدول ۲-۲: رنگ قابل مشاهده بر روی تیتانیوم در دما و زمان معین ۲۴

جدول ۳-۱: مواد مورد استفاده در تحقیق ۴۱

جدول ۴-۱: جدول آزمون زاویه‌ی تماس ۶۹

جدول ۴-۲: داده‌های حاصل از آزمون رنگ سنجی در تکرار اول ۷۲

جدول ۴-۳: داده‌های حاصل از آزمون رنگ سنجی در تکرار دوم ۷۳

جدول ۴-۴: داده‌های حاصل از آزمون رنگ سنجی در تکرار سوم ۷۳

جدول ۴-۵: نتایج حاصل از آزمون کشش سیم‌های ارتودنسی قبل و بعد از فرایند اچینگ الکتروشیمیایی ۸۳

جدول ۴-۶: نتایج حاصل از آزمون خمش سه براکتی سیم‌های ارتودنسی قبل و بعد از فرایند اچینگ الکتروشیمیایی ۸۷

بررسی استحکام کششی و مقاومت خمشی سیم های ارتودنسی NiTi در طی فرآیند اچینگ الکتروشیمیایی

مقدمه: هدف اصلی این مطالعه، بررسی خواص مکانیکی سیم‌های ارتودنسی Ni-Ti پس از تغییر رنگ به روش اچینگ الکتروشیمیایی آنودایز بود.

مواد و روش‌ها: تغییر رنگ سیم‌های ارتودنسی NiTi به‌روش 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، خواص مکانیکی (استحکام کششی و مقاومت خمشی)، مورفولوژی، زبری سطح و آنالیز زاویه‌ی تماس هر یک از نمونه‌های سیم ارتودنسی به‌ترتیب با استفاده از اسپکتروفتومتر، دستگاه یونیورسال تست، 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. نتایج نشان داد که از نظر استحکام کششی و خمشی، تفاوت آماری بین سیم‌های Ni-Ti اصلاح سطح شده و نمونه‌ی کنترل وجود ندارد.

نتیجه‌گیری: بکارگیری از فرایند اچینگ الکتروشیمیایی آنودایز نمونه‌ها در هریک از گروهای 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. منحنی بار- جابجایی همه‌ی سیم‌ها مشابه به‌نظر می‌رسید. اچینگ الکتروشیمیایی آنودایز هیچ تأثیری بر استحکام مکانیکی سیم پایه ندارد ($P< ۰/۰۵$).

کلمات کلیدی: سیم ارتودنسی نیکل/ تیتانیوم، اچینگ الکتروشیمیایی، خواص مکانیکی، استحکام کششی، مقاومت خمشی، تغییر رنگ