$$\chi^2 = \sum_{i}^{8} \frac{\left(PM_i^{\exp} - PM_i^{\mod}\right)^2}{}$$

$$p_{correct}(m,s) = 1/(1+\exp)$$

الکس فوک ا هویی پین چو

مدل های ریاضی برای تحقیقات مواد دندانپزشکی

دکتر امین نعمتیان

انتشارات ترجمک

مدل های ریاضی برای تحقیقات مواد دندانپزشکی

تحقیقات دندانپزشکی

توجه :

کتاب حاضر حاصل زحمات **دکتر امین نعمتیان** می‌باشد. فایل کتاب حاوی اطلاعات **DRM** (مدیریت حقوق دیجیتال) است. وقتی برای اولین بار فایل را باز می کنید، کد شناسایی کتاب به همراه آدرس **IP** سیستم شما ذخیره شده و زمانیکه آنلاین شوید، به سرور انتشارات ترجمک انتقال می یابد.

خواهشمند است به حقوق نگارنده و انتشارات ترجمک احترام گذاشته و از توزیع بدون مجوز فایل کتاب اجتناب نمایید. شما با خرید و دانلود این کتاب موافقت نموده اید که اطلاعات فایل **DRM** به سرور انتشارات ترجمک انتقال یابد و در صورت محرز شدن نقض حقوق صاحب اثر، کلیه خسارات حاصله در طی فرآیند حقوقی و مطابق قانون حمایت حقوق مؤلفان و مصنفان و هنرمندان و ناشران جمهوری اسلامی (مصوب دوازده اسفند ۱۳۶۵ یا بعد از آن) از شما دریافت شود.

از اینکه با عرضه مقرون به صرفه کتاب های الکترونیک و

انتشارات ترجمک

https://tarjomac.ir

الکس فوک – هویی پین چو

مدل های ریاضی برای تحقیق مواد دندانپزشکی

ترجمه

دکتر امین نعمتیان

ویراست اول

زمستان ۱۴۰۳

انتشارات ترجمک

شماره کتابشناسی ملی	:	۹۸۷۲۷۹۸
شابک	:	۹۷۸-۶۲۲-۷۸۵۵-۹۳-۷ ، ۲۴۵۰۰۰۰
عنوان و نام پدیدآور	:	مدل‌های ریاضی برای تحقیقات مواد دندانپزشکی/ الکس فوک، هویی‌پین چو؛ ترجمه امین نعمتیان.
مشخصات نشر	:	همدان، ترجمک، ۱۴۰۳
مشخصات ظاهری	:	۱۰۷ص.: مصور، جدول، نمودار
موضوع	:	دندانسازی -- مواد -- الگوهای ریاضی (Dental materials -- Mathematical models)
شناسه افزوده	:	چو، هوی پین Chew, Hooi Pin
شناسه افزوده	:	نعمتیان، امین، ۱۳۷۲-، مترجم
رده بندی کنگره	:	RK652/5
رده بندی دیویی	:	۶۱۷/۶۹۵

شناسنامه کتاب

نام کتاب: مدلهای ریاضی برای تحقیقات مواد دندانپزشکی

ترجمه: دکتر امین نعمتیان

ناشر: انتشارات ترجمک

صفحه آرایی: انتشارات ترجمک

طراحی جلد: محمدحسین گیوی

نوبت چاپ: اول، ۱۴۰۳

قیمت (چاپی): ۲۴۵۰۰۰ تومان

قیمت (ایبوک): ۹۵۰۰۰ تومان

چاپ: گروه نشر الکترونیک ترجمک

شابک (پرینت): ۹۷۸-۶۲۲-۷۸۵۵-۹۳-۷

شابک (ایبوک): ۹۷۸-۶۲۲-۷۸۵۵-۹۴-۴

تلفن تماس: ۰۹۱۸۱۵۰۶۱۰۰

تارنمای اینترنتی: https://tarjomac.com

ISBN : 978-622-7855-93-7

9 786227 855937

ISBN : 978-622-7855-94-4

9 786227 855944

نویسنده: **مترجم:**

الکس فوک – هویی پین چو **دکتر امین نعمتیان**

سال انتشار: ۲۰۲۳ – اسپرینگر (چاپ اول)

کلیه حقوق این اثر برای انتشارات ترجمک محفوظ است. این اثر شامل کلیه قوانین حمایت حقوق مؤلفان و مصنفان و هنرمندان و ناشران جمهوری اسلامی می باشند (مصوب دوازده اسفند ۱۳٦٥ یا بعد از آن)، و بهره برداری بدون مجوز از آن به هر شکلی ممنوع است.

انتشارات ترجمک: سال ۱٤۰۳

همدان، صندوق پستی ۱۱۷-٦٥۹۱٥ tarjomac@gmail.com

نکته مهم

پزشکی علمی در حال تغییر و توسعه مداوم است. تحقیقات و تجربه بالینی بطور مداوم دانش ما را، بویژه دانش ما در مورد درمان مناسب و دارو درمانی، را گسترش می دهد. به همین دلیل هر جای این کتاب از دوزاژ یا روش درمانی خاصی صحبت شده باشد، به مخاطبان اطمینان خاطر می دهیم که تمام تلاش خود را به عمل آورده‌ایم تا اطلاعات ارائه شده منطبق با دانش روز در زمان تهیه کتاب باشد.

با این وجود، این شامل، به معنای یا بیانگر هیچ گونه ضمانت یا مسئولیتی از سوی ناشر یا مترجم در رابطه با دستورالعمل‌های ذکر شده در کتاب نمی‌شود. مسئولیت هر گونه استفاده از مطالب این کتاب به عهده مخاطبان است، زیرا مترجم یا ناشر به هیچ وجه در این کتاب رویه یا درمان خاصی را توصیه نمی کند. در صورت نیاز به استفاده بالینی و عملی از مطالب این کتاب بر روی خود یا بیماران خود، بهتر است با پزشک معالج خود مشورت کنید.

این کتاب، از جمله تمام بخش‌های آن، دارای حق چاپ قانونی است. هرگونه استفاده، بهره‌برداری یا تجاری‌سازی خارج از محدودیت‌های تعیین شده توسط قانون حق چاپ و بدون رضایت ناشر غیرقانونی و قابل پیگرد است.

مقدمه

اهمیت ریاضیات در علوم پزشکی و به ویژه دندانپزشکی بر کسی پوشیده نیست.

ریاضیات در شاخه های مختلف دندانپزشکی بسیار حائز اهمیت است. به طور مثال در علم مواد دندانی از مدل های ریاضی برای تجزیه و تحلیل خواص و رفتار مواد مختلف دندانی مانند سرامیک های دندانی، کامپوزیت ها و آلیاژها استفاده می شود. معادلات و محاسبات ریاضی به تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی آنها مانند استحکام، کشش و مقاومت در برابر سایش و همچنین انتخاب مناسب ترین مواد کمک میکند که تضمین کننده ایمنی و سلامتی بیمار می باشد.

در ارتودنسی مفاهیم ریاضی مانند زوایا، بردارها و هندسه به طور گسترده استفاده می شود. متخصصین ارتودنسی از این اصول برای تجزیه و تحلیل هم ترازی دندان ها و فک ها استفاده می کنند. مدل‌های ریاضی به تعیین نیروها و حرکات مورد نیاز برای دستیابی به موقعیت دندان مورد نظر کمک می‌کنند و از نتایج درمانی مؤثر اطمینان می‌دهند.

الگوریتم های ریاضی و تکنیک های پردازش تصویر در فناوری های تصویربرداری دندان مانند اشعه ایکس، سی تی اسکن و تصویربرداری سه بعدی نیز استفاده می شود. این الگوریتم ها به بازسازی و تجزیه و تحلیل تصاویر دندانی به دست آمده کمک می کنند و دندانپزشکان و جراحان را قادر می سازند تا به طور دقیق درمان را تشخیص داده و برنامه ریزی کنند.

کاربرد ریاضیات در دندانپزشکی به این موارد محدود نمی شود و خلا وجود متخصصانی که بتوانند در این زمینه در ترویج علم مشارکت داشته باشند به وضوح حس می شود.

بنده به عنوان دانش آموخته دندانپزشکی و مهندسی عمران تمام تلاشم را کرده ام که در ترجمه این کتاب اصل و جوهره مطلب حفظ شود.

امیدوارم این کتاب بتواند مفید واقع شود و قدمی هرچند کوچک در زمینه اعتلا و توجه بیشتر به ریاضیات بردارد.

در پایان از زحمات دکتر پیمان شادمانی پست دکترای مدل های ریاضی از انگلستان جهت بازبینی علمی و رهنمودهای سازنده ایشان و همچنین مهندس محمدعلی عزیزیان اردبیلی و سرکار خانم سولماز اللهیاری کمال تشکر را دارم.

دکتر امین نعمتیان

دکترای تخصصی دندانپزشکی

پیشگفتار

میل به تبیین و تشریح عدم موازنه موجود در نحوه پرداختن به و اجرای تحقیقات مواد دندانپزشکی به این کتاب ختم شد.

یک مقاله معمولی در مورد تحقیقات مواد دندانی اغلب روند زیر را طی می کند. یک ماده یا روش درمانی جدید اختراع شده است که پتانسیل عملکرد بهتری نسبت به معادل موجود خود دارد. بنابراین یک سری آزمایش برای مقایسه عملکرد این مواد یا رویه ها انجام می شود. فرضیه صفر این است که هیچ تفاوت آماری معناداری بین عملکرد گروه ها وجود ندارد. سپس تجزیه و تحلیل آماری مانند ANOVA برای تجزیه و تحلیل تفاوت میانگین‌های گروهی انجام می‌شود تا تصمیم بگیرند که آیا فرضیه صفر باید رد شود یا خیر. چنین تجزیه و تحلیل آماری به محققان اجازه می دهد تا به طور خودسرانه یک احتمال آستانه (به طور معمول ۵٪) تعیین کنند تا تعیین کنند که آیا تفاوت بین میانگین های گروه به دلیل شانس رخ داده است یا خیر. هرچند کاربری و فایده چنین تحلیل های آماری در اینجا متوقف می شود.

بحثی که پیش می آید و به خروجی چنین تحلیلی محدود می شود، اغلب مبهم و گمانه زنی است. نویسندگان پیشنهاد می‌کنند که چرا یا چگونه نتایج به همان شکلی است که آنها انجام داده‌اند، بدون اینکه بتوانند هیچ ارزیابی کمی از عواملی که می‌توانستند بر نتیجه برای حمایت از استدلال‌هایشان تأثیر بگذارند، ارائه دهند. بدون چنین ارزیابی، نمی توان تحت شرایط خاص تصمیم گرفت که چه چیزی مهم است و چه چیزی نیست. برای مثال، برخی از شرایط، که جهت نماینده بودن تستها از نظر بالینی، گنجانده شده اند، در واقع تأثیر کمی بر نتیجه دارند. از سوی دیگر، یک تغییر کوچک در پروتکل، که به اشتباه تصور می شود ناچیز است، می تواند به شدت نتایج را تغییر دهد. بنابراین، بسیاری از نتایج غیر یکنواخت، اگر نگوییم متناقض، توسط محققان مختلف (گاه حتی توسط همان محقق) در مورد بسیاری از موضوعات تحقیقات

مواد دندانی گزارش شده است. به عنوان مثال، برخی از مقالات گزارش می دهند که تنش انقباض متناسب با مدول یانگ یک کامپوزیت رزین است در حالی که چنین همبستگی در برخی دیگر یافت نشده است. در نتیجه، فرد اغلب پس از خواندن چنین مقالاتی دچار احساس نارضایتی، ناامیدی یا حتی سردرگمی می شود.

هدف این کتاب ارائه یک رویکرد مکانیکی تر، از قبیل مدلسازی ریاضی، برای انجام تحقیقات مواد دندانی است. این کتاب به محققان مواد دندانپزشکی، به‌ویژه آنهایی که پیش‌زمینه ریاضی قوی ندارند، مدل‌ها و تکنیک‌های ساده ریاضی را معرفی می‌کند که به آنها اجازه می‌دهد از فرضیه صفر فراتر بروند. از طریق یک سری مطالعات موردی با کاربردهای عملی مشتق از دندانپزشکی عملیاتی، اندودنتیکس، پروستودنتیک و غیره به مخاطبان کتاب نشان داده خواهد شد که چگونه:

۱. با ایجاد پیش فرض های آگاهانه از رابطه بین علت و معلول، یک مدل ریاضی برای رفتار مواد دندانی بسازند.

۲. مدل را با ساده سازی های مناسب آسان کنند.

۳. مدل را با محاسبه پارامترهای کلیدی با استفاده از نتایج تجربی کالیبره کنند. و در نهایت،

٤. زمانی که بین پیش‌بینی‌ها و آزمایشات اختلاف وجود دارد، مدل را اصلاح و بهینه کنند.

به عنوان مثال می توان به اندازه گیری فلورسانس بافت های دندانی معدنی زدایی شده، شکستگی عاج ریشه، انقباض کامپوزیت های رزین، شستشوی یون های فلوراید، تئوری ضعیف ترین پیوند برای مواد شکننده، سینتیک پلیمریزاسیون و فرکانس طبیعی ارتعاش ایمپلنت ها اشاره کرد. مدل‌های ریاضی از معادله ساده خط مستقیم برای خطاهای سیستماتیک در اندازه‌گیری‌ها به معادلات دیفرانسیل غیرخطی همزمان برای تشکیل زنجیره‌های پلیمری از طریق رادیکال‌های آزاد پیشرفت می‌کنند. با این حال، برای پیروی از مثال‌ها فقط ریاضیات پایه لازم است و همه مشکلات را می‌توان با استفاده از صفحات گسترده مایکروسافت اکسل حل کرد.

این رویکرد مکانیکی برای انجام تحقیقات مواد دندانی بدون شک چالش برانگیزتر است. نه تنها به مهارت‌های ریاضی بیشتری نیاز دارد، بلکه محقق را مجبور می کند تا عمیق تر و

مکانیکی تر در مورد مسئله مورد نظر فکر کند. اما پاداش‌های حاصل از حل مسئله با استفاده از این رویکرد بسیار رضایت‌بخش‌تر از توقف در نشان دادن تفاوت‌های قابل توجه عملکرد در بین مواد یا روش‌های آزمایش است. راه حل به دست آمده کلی تر است و از این رو برای شرایطی غیر از موارد در نظر گرفته شده در مطالعه قابل پیش بینی تر، مکانیکی تر و از این رو حامل بینش عمیق تری نسبت به مسئله است.

برای کسانی که مهارت های ریاضی بالایی دارند، امید است که این کتاب شما را به موضوعات گسترده تحقیقات مواد دندانپزشکی علاقمند کند. ما به نظرات شما نیاز داریم اعتقاد ما و در واقع تجربه ما این است که مثمر ثمرترین نتایج اغلب زمانی حاصل می شود که پزشکان از نزدیک با دانشمندان یا مهندسان فیزیکی کار کنند.

در پایان، مایلیم از دانشجویان و همکاران خود که در مطالعات موردی استفاده شده در این کتاب مشارکت داشته اند، تشکر کنیم. ما همچنین از پروفسور مایکل بارو از دانشگاه هنگ کنگ[1] برای نظرات ارزشمندش در مورد پیش نویس نهایی تشکر می کنیم. همه خطاها، البته، مال ما باقی می ماند. تشکر ویژه از پروفسور دیوید واتس از دانشگاه منچستر (بریتانیا)[2] و سردبیر مواد دندانپزشکی برای پیشگفتار روشنگرانه‌اش. اشتیاق او به ریاضیات و تعهد او به تحقیق در مورد مواد دندانپزشکی برای همه ما الهام بخش است.

الکس فوک – هویی پین چو، مینیاپلیس، مینه سوتا، ایالات متحده

[1] Professor Michael Burrow of the University of Hong Kong
[2] Professor David Watts of the University of Manchester (UK)

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

فصل ۱ – خطاهای نظامدار در سنجش های طولی ۱

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ اثر خطاهای سیستماتیک ۲

۱-۳ اصلاحات برای تغییرات کسری ٤

۱-٤ تصحیح ها برای تغییرات مطلق ٦

۱-٥ جمع بندی پایانی ۱۰

منابع فصل ۱۰

فصل ۲ – درمان ریشه و شکستگی عمودی ریشه ۱۲

۲-۱ مقدمه ۱۲

۲-۲ نظریه ۱٤

۲-۳ اعتبار سنجی ۱۷

۲-٤ جمع بندی پایانی ۱۸

منابع فصل ۲۰

فصل ۳ – گسیختگی ترمیم های کامپوزیت رزین ۲۱

۳-۱ مقدمه ۲۱

۳-۲ نظریه ۲۳

۳-۳ کاربرد ۲٥

۳-٤ چروکیدگی غیر یکنواخت ۲۷

۳-٥ حل عددی ۲۸

منابع فصل ۳۰

فصل ۴ – تضعیف نور پخت حین ترمیم با کامپوزیت رزین ۳۱

۴-۱ مقدمه ۳۱

۴-۱ نظریه ۳۲

۴-۳ حل عددی ۳۴

۴-۴ راه حل تحلیلی ۳۶

۴-۵ انعکاس آینه ای ۳۸

۴-۶ جمع بندی پایانی ۳۹

منابع فصل ۴۰

فصل ۵ – آزاد شدن یون ها یا ملکول ها از ترمیم های دندانی ۴۱

۵-۱ مقدمه ۴۱

۵-۲ مدل و محاسبات عددی ۴۳

۵-۳ راه حل تحلیلی ۴۵

۵-۴ بهینه سازی مدل ۴۷

۵-۵ جمع بندی پایانی ۴۸

منابع فصل ۴۹

فصل ۶ – گرمای تولیدی از کامپوزیت‌های رزین دندان در طول پخت ۵۰

۶-۱ مقدمه ۵۰

۶-۲ مدل و محاسبات عددی ۵۲

۶-۳ راه حل های تحلیلی ۵۴

۶-۴ جمع بندی پایانی ۵۷

منابع فصل ۵۷

فصل ۷– شکست مکانیکی ترمیم های دندانی: نظریه ضعیف ترین پیوند ۵۸

۷-۱ مقدمه ۵۸

۷-۲ نظریه ضعیف ترین پیوند ۵۹

۷-۳ برآورد احتمال بقا ٦٢
۷-٤ کاربرد ٦٢
۷-٥ شکست خستگی ٦٣
منابع فصل ٦٦

فصل ۸– پایداری ایمپلنت های دندانی ۶۷

۸-۱ مقدمه ٦٧
۸-۲ سیستم جرم- فنر ٦٨
۸-۳ راه حل تحلیلی ٧١
۸-٤ مدلی برای ایمپلنت در حال ارتعاش ٧٢
۸-٥ تاثیر تراکم استخوان ٧٣
۸-٦ جمع بندی پایانی ٧٨
منابع فصل ٧٩

فصل ۹– سینتیک فتو-پلیمریزاسیون ۸۰

۹-۱ مقدمه ٨٠
۹-۲ واکنش شیمیایی ٨١
۹-۳ معادلات نرخ ٨٣
۹-٤ آغازگر-عکس و رادیکال های آزاد ٨٣
۹-٥ مونومرها ٨٤
۹-٦ رادیکال های زنجیره پلیمر ٨٤
۹-۷ محاسبات ٨٦
۹-۸ اثر شدت نور ٨٨
۹-۹ جمع بندی پایانی ٩١
منابع فصل ٩٢

واژه نامه ۹۳

فصل ۱

خطاهای سیستماتیک در سنجش های طولی

الکس فوک و هویی پین چو[1]

۱-۱ مقدمه

در این فصل مقدماتی، به دقت اندازه‌گیری یا مشاهده، بنیادین ترین وظیفه در تحقیقات تجربی خواهیم پرداخت. به طور خاص، ما خطاهای سیستماتیک ناشی از تغییرات زمانی در ابزار اندازه گیری را در نظر خواهیم گرفت. ما از معادله آشنای خط مستقیم یعنی $y = mx + c$ برای برآورد این خطاها و نمایش نحوه استفاده از آن برای تصحیح اندازه گیری ها، استفاده خواهیم کرد.

[1] Alex Fok and Hooi Pin Chew – (گروه علوم ترمیمی، دانشگاه مینه سوتا، مینیاپولیس، مینه سوتا، ایالات متحده آمریکا)

اغلب در تحقیقات مواد دندانپزشکی، کمیّت های مشخصی از نمونه های مشابه باید در مقاطع زمانی مختلف اندازه گیری شود تا تغییرات زمانی ناشی از اثرات مکانیکی، شیمیایی یا بیولوژیکی بررسی شود. مثلاً در مواردی که شامل دمینرالیزاسیون یا مینرالیزاسیون مجدد بافت های سخت دندانی می باشد، لازم است که چگالی مواد معدنی به صورت طولی اندازه گیری شود. یکی از چالش‌های انجام مطالعات طولی در اطمینان از این است که تغییرات اندازه‌گیری شده در نقاط زمانی مختلف از یک ناحیه مورد نظر یکسان باشد تا تنوع بیولوژیک بین نمونه ای کمینه شده و به حداقل برسد. چالش دیگر اطمینان از این است که تغییرات ناشی از اثر مورد نظر بوده و به دلیل شرایط مخدوش کننده ای مانند عدم یکنواختی و ناسازگاری ابزار اندازه گیری نباشد.

یکی از روش های تایید شده برای ردگیری تغییرات تراکم مواد معدنی مینا به شیوه ای غیر مخرب، اندازه گیری ریزسختی سطح آن است [۱, ۲]. سایر روش های غیر مخرب شامل میکرو توموگرافی کامپیوتری (μCT)[1] [۳] یا روش های نوری از قبیل فلورسانس القایی نوری کمی (QLF)[2] و توموگرافی همدوسی نوری (OCT)[3] [٤] می باشد. مزیت استفاده از روش‌های غیر مخرب این است که می‌توان همان ناحیه مورد نظر را در طول آزمایش اندازه‌گیری کرد، بنابراین حجم نمونه و عدم قطعیت‌ها به دلیل تفاوت‌های ذاتی بین نمونه‌های بیولوژیکی به حداقل می‌رسد. هرچند برای اینکه مقایسه زمانی دقیق باشد، ابزاری که ما استفاده می کنیم باید بتواند در طول زمان اندازه گیری های یکنواختی انجام دهد. به عنوان مثال، انرژی پرتو برخورد از ماشین μCT یا OCT باید نسبتا ثابت بماند.

۱-۲ اثر خطاهای سیستماتیک

به دلیل ناهمگنی بیولوژیکی، ممکن است تغییرات زیادی در سنجش های مبنا وجود داشته باشد. در صورتی که تغییرات به مقدار مبنا بستگی داشته باشد، تغییر کسری کمیت E که اندازه گیری می شود باید در نظر گرفته شود؛ برای نمونه،

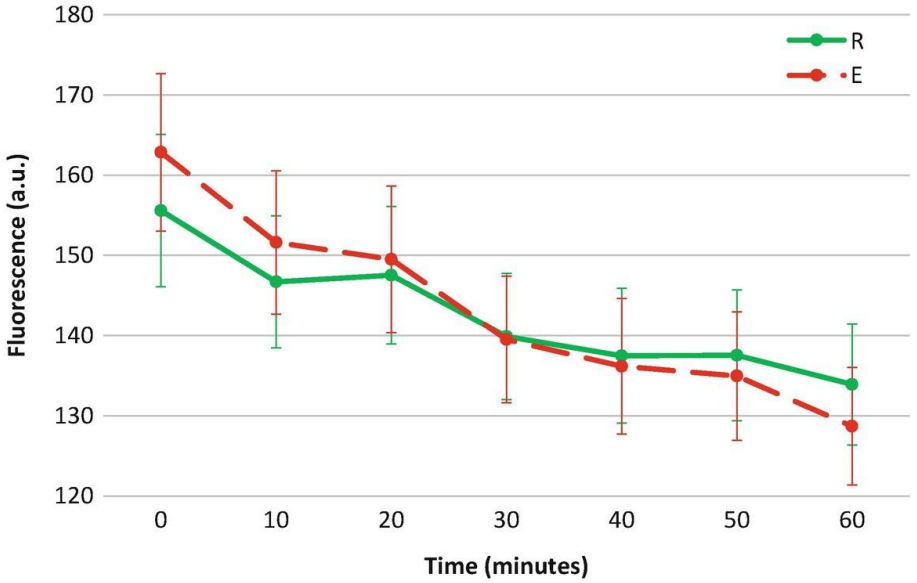
[1] Micro-Computed Tomography
[2] Quantitative Light-Induced Fluorescence
[3] Optical Coherence Tomography

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{E(t) - E(0)}{E(0)} \qquad (۱-۱)$$

که در آن $E(0)$ اندازه گیری در شروع یا زمان 0 است و $E(t)$ اندازه گیری در زمان بعدی t است[i]. هرچند ابزار با گذر زمان مستعد تغییر ناشی از تخریب یا پیر شدن است، دقت و حساسیت آنها کاهش می یابد و موجب وقوع خطاهای سیستماتیک در سنجش و اندازه گیری می شود. این مسئله به وضوح در شکل ۱-۱ نمایش داده شده است که فلورسانس سطوح مینای دندان (E) که در معرض چالش اسیدی با زمان فزاینده قرار گرفته اند و سطوحی که (R) در معرض چالش قرار نگرفته اند، را نشان می دهد. برای کمینه سازی تغییرات بیولوژیکی بین نمونه ها، E و R می توانند سنجه های اندازه گیری شده از نواحی مختلف اما درون یک نمونه یکسان باشند.

دمینرالیزاسیون مینای دندان، شدت فلورسانس تشخیص داده شده را کاهش می دهد. بصورت تئوریک، فلورسانس سطوح کنترل یا مرجع بایستی یکنواخت بماند. اما به دلیل خطاهای سیستماتیک فوق الذکر مرتبط با اندازه گیری ها، در عمل آنها نیز با گذشت زمان تغییر می کنند. در شکل ۱-۱ ما به وضوح می توانیم کاهش تدریجی فلورسانس اندازه گیری شده سطوح مرجع را با گذشت زمان مشاهده کنیم که نشان دهنده تغییرات سیستماتیک در ابزار یا شرایط اندازه گیری است. این مشکل معمولاً با کالیبره کردن دستگاه در فواصل زمانی معین با استفاده از نمونه های استاندارد حل می شود. هرچند این کار ممکن است همیشه محسوس و امکان پذیر نباشد. بدون کالیبراسیون دستگاه، بایستی خطاهای سیستماتیک را برآورد کرد و برای لحاظ آن در اندازه گیری ها اصلاحاتی به عمل آورد. همانطور که در زیر نشان داده شده است، اندازه گیری از نمونه های مرجع یا مناطقی که در معرض چالش اسیدی قرار نگرفته اند می توانند چنین اصلاحاتی را ارائه دهند.

بطور گذری می‌خواهیم اشاره کنیم که خطاهای تصادفی ناشی از تفاوت‌های ماهیتی بین نمونه‌های بیولوژیکی، در صورت داشتن حجم نمونه به اندازه کافی بزرگ که نماینده جامعه باشد، برطرف می‌شود. اما خطاهای تصادفی در اینجا بیشتر از این بحث نخواهد شد.



شکل ۱-۱ فلورسانس (واحد دلخواه) اندازه‌گیری شده برای سطوح مینای دندان
که تحت چالش دمینرالیزاسیون قرار گرفته (E) و قرار نگرفته اند (R)

۱-۳ اصلاحات برای تغییرات کسری

برای بدست آوردن یک تخمین مطمئن‌تر از تغییر کسری تراکم مواد معدنی، معادله (۱-۱) تعدیل شده و به شکل زیر شده است:

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{E(t) - R(t)}{R(t)} \qquad (۱-۲)$$

پیش فرض این است که در هر نقطه زمانی، $E(t)$ و $R(t)$ دچار خطاهای اندازه گیری مشابهی می شوند که با یک تفریق ساده قابل برطرف کردن است. این مسئله در مورد $E(0)$ و $E(t)$ چنین نیست، زیرا در مقاطع زمانی متفاوتی به دست آمده و از این رو حاوی خطاهای سیستماتیک متفاوتی هستند. شکل ۱-۲ تغییرات کسری در فلورسانس محاسبه شده برای داده های شکل ۱-۱ را با استفاده از معادلات (۱-۱) و (۱-۲) را بطور مجزا مقایسه می کند. همانطور که مشاهده می کنید، به دلیل افزایش خطاهای سیستماتیک مرتبط با ابزار، معادله (۱-۱) تغییرات کسری را بیش از حد واقع برآورد می کند (شکل ۱-۲، منحنی a).