Archive OF SID

تعیین و بهینه سازی عوامل موثر تابش لیزر بر خاصیت کشسانی پوست با به کارگیری مدل ترکیبی تحلیل پوششی داده ها و طراحی آزمایش ها

مهدی بشیری[1*] ، الهام دهقان بنادکی[2]، فریده متقیان[3]، احمد امجدی[4]

۱- استادیار گروه مهندسی صنایع دانشگاه شاهد، دانشکده فنی دانشگاه شاهد تهران، ایران

۲- کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی دانشگاه شاهد تهران، ایران

۳- فارغ التحصیل کارشناسی فیزیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف

۴- استادیار گروه فیزیک کاربردی ، دانشکده فیزیک ، دانشگاه صنعتی شریف تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۸۸/٤/۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۸/۱۰/۱۰

چکیده

مقدمه: این تحقیق به دنبال بررسی تأثیر لیزر قطبیده بر استحکام بافت و تعیین خصوصیات یک تابش مناسب با حداقل تعداد آزمایش است و به این منظور از طراحی آزمایش‌ها (DOE[1]) استفاده کرده است. پس از طراحی و انجام آزمایش‌ها در دو مرحله، تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی عملکرد آزمایش‌های هر مرحله استفاده شده است. نتایج حاصل از این تحقیق، علاوه بر تعیین مشخصات تابش مناسب، راهنمای خوبی جهت تعیین نحوه انجام آزمایش‌ها در تحقیقات مشابه می‌باشد.

مواد و روشها: نمونه مورد استفاده در آزمایش‌های هر مرحله بافتی صفحه‌ای شامل فیبرهای کلاژن و الاستین است که از غشاء روی عضلات و استخوان‌های دنده گوسفند[2] برداشته شده است. در هر آزمایش ضریب الاستیسیته نمونه در دستگاه کشش سنج قبل و بعد از تابش لیزر مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. تغییر نسبی این ضریب معیاری جهت تعیین تغییر استحکام بافت پس از تابش لیزر است. همچنین، مدل خروجی محور تحلیل پوششی داده‌ها برای بررسی عملکرد طرح‌های آزمایش به کار برده شد.

نتایج: تابش پرتوهای لیزر با قطبش موازی به مدت ۱۰ ثانیه، موجب تغییر مطلوب استحکام کششی بافت می‌شود. نتایج حاصل از کاربرد تحلیل پوششی داده‌ها نیز مؤید کاراتر بودن آزمایش‌های مرحله اول است.

بحث و نتیجه‌گیری: هدف از این تحقیق ترکیب روش طراحی آزمایش‌ها با تحلیل پوششی داده‌ها جهت بررسی اثر لیزر بر خاصیت ویسکوالاستیسیته بافت و عوامل موثر بر آن بود. با توجه به کاراتر بودن مدل ارائه شده در مرحله یک، می توان در تحقیقات مشابه آتی برای حدف مرحله دوم، سطوح بیشتری برای طرح آزمایش مرحله اول در نظر گرفت. (مجله فیزیک پزشکی ایران، دوره ۷، شماره ۱، پیاپی ۲۶)، بهار ۸۹: ۲۹-۱۵)

واژگان کلیدی: لیزر کم توان، طراحی آزمایش ها، تحلیل پوششی داده‌ها

* نویسنده مسؤول: مهدی بشیری

آدرس: گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی دانشگاه شاهد تهران،

Bashiri@shahed.ac.ir

تلفن: ۵۱۲۱۲۰۹۲ - (۲۱) ۹۸+ دورنگار: ۵۱۲۱۲۰۲۱-(۲۱) ۹۸+

[1] Design Of Experiments
[2] Pleura

www.SID.ir

Archive OF SID

۱- مقدمه

در تحقیق حاضر، اثر لیزر کم توان بر خاصیت ویسکوالاستیک بافت بیولوژی بررسی شده است. بررسی خواص مکانیکی نمونه های بیولوژی، از موضوعات مورد توجه محققان است. از جمله روش های مورد استفاده محققان مشاهده اثرگذاری تابش لیزر بر روی خاصیت بیومکانیکی بافت با استفاده از تست کشش‌سنجی است.

از دیگر کاربردهای لیزر در پدیده های بیولوژی، استفاده از آن در ترمیم زخم است. ترمیم زخم دارای سه فاز اصلی التهاب زودرس[1]، فاز تکثیری[2] و فاز دوباره سازی[3] است که لیزرهای کم توان در اکثر این بخشها می توانند تاثیرگذار باشند و ترمیم زخم را فعال نمایند[۱]. با توجه به اثرات فیزیولوژیک لیزر در بازسازی و افزایش خونرسانی بافتی و تقویت فعالیت سلولها در پیشبرد روند ترمیم و تکثیر سلولی نه تنها لیزر موجب درمان سریعتر زخم می شود بلکه در ماندگاری اثر درمان نیز می تواند کاملاً موثر واقع شود[۲]. کاربرد لیزر غالباً تلاش برای تسریع بهبودی زخم و نیز افزایش قدرت کشش محل زخم پس از بهبودی بوده است[۳]. شایان ذکر است که بهبود زخم وابسته به جوشکاری اولیه بافت بیولوژی است. یکی از فرایندهای مهم فیزیکی در جوشکاری بافت بیولوژی با لیزر، ایجاد کلاژن باند می باشد. رشته های کلاژن و الاستین که المان های اصلی استحکام در بافت می باشند را می توان به روش اندازه گیری ویسکوالاستیسیته مورد بررسی قرار داد. به عبارت دقیقتر بافتهای بیولوژیکی شامل فیبرهای کلاژن و الاستین و پروتئین های دیگر هستند که دارای خواص مکانیکی مختلف می باشند. از روی منحنی استرس- استرین نمونه می‌توان خاصیت ویسکوالاستیسیته بافت را مورد بررسی قرار داد. وقتی که بافت تحت تابش لیزر قرار می گیرد در مدت بسیار کوتاهی جمع می شود. علت این امر آن است که لیزر با انتقال انرژی به بافت، تحت مکانیزمهای خاصی ایجاد کلاژن باند های عرضی[4] می کند. در واقع این انرژی بالا، پس از برخورد به نمونه باعث جمع شدن فیبرهای موازی موجود در بافت می شود و میان فیبرها پیوندهای عرضی برقرار می نماید. این پیوندها بین هیدروکربنهای اسیدهای آمینه هر رشته بوجود می آیند. پیوندهای عرضی ایجاد شده، نمودار استرس- استرین نمونه را تغییر می دهند[٤]. به نظر می رسد نیروی حاصل از کلاژن باندهای ایجادشده در بافت دراثرتابش پرتوی قطبیده لیزر، دارای مؤلفه ای در جهت کشش است که روی خواص مکانیکی بافت از جمله مدول الاستیکی یانگ اثر می گذارد. در این تحقیق تأثیر لیزر قطبیده ٦٣٢ نانومتر روی کلاژن باندها در دو حالت پلاریزاسیون موازی و عمود بر جهت کشش سنجی، به روش اندازه گیری ویسکوالاستیسیته بررسی شده است. همچنین لازم به ذکر است که پرتو لیزر با بافت برهمکنشهای مختلفی از قبیل بر هم کنش فوتوشیمیایی گرمایی- نورکندگی، کندگی القایی پلاسمایی و گسیختگی نوری دارد. ولی آنچه در مورد بر هم کنش امواج پیوسته با چگالی توان های پایین در زمانهای پرتودهی چند ثانیه مطرح است برهم کنش فوتوشیمیایی می باشد [٤]. بنابراین هدف این تحقیق صرفاً بررسی اتفاقاتی است که بلافاصله پس از تابش می افتد و لذا زمان های تابش چند ثانیه بررسی شده است.

همچنین این تحقیق برای تعیین مؤثر بودن جهت قطبش در زمان های مورد بررسی از طراحی آزمایش ها استفاده کرده است. استفاده از رویکرد طراحی آزمایش ها کمک می کند تا با تعریف عوامل درگیر در تابش تحت عنوان متغیر پاسخ[5]، عوامل کنترلی[6]، عوامل ثابت[7] و عوامل اغتشاشی[8]، سطوح (مقادیر) مناسب عوامل کنترلی موثر، جهت تعیین

[1] Inflammatory phase
[2] proliferative phase
[3] Remodeling phase

[4] Collagen cross band
[5] Response variable
[6] Controllable factor
[7] Constant factor
[8] Noise factor

www.SID.ir

Archive OF SID

یک تابش مناسب به دست آید. بررسی سطوح مختلف عوامل متعدد موثر بر متغیر پاسخ یک آزمایش، می تواند منجر به تعداد زیادی آزمایش شود. برای کاهش تعداد آزمایش، روش غربال کردن[1] (حذف عوامل فاقد اثر معنی دار در بررسی اولیه) پیشنهاد می شود. در این صورت، یک طرح آزمایش برای مرحله اول (غربال کردن) لازم است. پس از تعیین عوال بی اثر در مرحله اول و حذف آنها، برای بررسی بیشتر عوامل باقی مانده نیز یک طرح آزمایش مورد نیاز است. وجود نتایج آماری حاصل از بیش از یک طرح آزمایش در کنار تعداد آزمایش ها، می تواند به عنوان معیارهایی جهت بررسی و رتبه بندی طرح های مورد استفاده (گزینه ها) با استفاده از یکی از تکنیک های تصمیم گیری با معیارهای چندگانه (MCDM[2]) به کار آید. از میان معیار های مؤثر در سنجش طرح های آزمایش، تعداد آزمایش تا حدودی تحت کنترل آزمایشگر بوده و سایر نتایج (نتایج حاصل از تحلیل های آماری) به نوعی تابعی از آن است. از این رو با فرض تعیین تعداد آزمایش از سوی آزمایشگر، طرحی که معیارهای مثبت بیشتر و معیارهای منفی کمتری داشته باشد، طرح برتر است. این مطلب در قالب مفهوم کارایی، در مدل های خروجی محور تحلیل پوششی داده ها(DEA[3])، قابل دستیابی است. تحلیل پوششی داده ها روشی غیرپارامتری مبتنی بر برنامه ریزی خطی است که کارایی نسبی واحد های مورد ارزیابی را می سنجد.

نتایج حاصل از به کار بردن تحلیل پوششی داده ها، امکان تعیین طرح برتر را فراهم می کند.

۲-۱- سوابق تحقیق

بررسی خواص مکانیکی نمونه‌های بیولوژیک، از موضوعات مورد توجه محققان است. به عنوان مثال گاون و همکارانش، به بررسی اثر یک لیزر خاص (که در مقاله از نوع کم توان معرفی شده) بر روی ضریب الاستیک یانگ در بازه تابش‌دهی ۳۰ ثانیه بر روی نمونه غضروفی از خوک پرداخته اند[۵]. نتایج این مقاله حاکی از اثر لیزر بر مدول الاستیک یانگ با خطاهایی مجزا در هر گروه آزمایشی می‌باشد. چاو و همکارانش نیز اثر لیزر بر روی ضریب الاستیک یانگ در بازه تابش‌دهی ۱۰ ثانیه بر روی غضروف جداره بینی موش را مورد بررسی قرار داده اند[٦]. نتایج تحقیقات چاو و همکارانش حاکی از اثر لیزر بر مدول الاستیک یانگ با خطاهایی مجزا در هر گروه آزمایشی می‌باشد. البته در این مقاله تغییرات دما نیز همزمان با تابش‌دهی مورد اندازه‌گیری قرار گرفته است. در مطالعه دیگری کارام و همکارانش اثر لیزر بر روی رفتار مکانیکی از جمله مدول الاستیک در بازه تابش‌دهی ٦ تا ١٦ ثانیه را بر روی غضروف جداری بینی موش بررسی کرده اند[٧].

عده ای از محققان نیز به بررسی پدیده ترمیم زخم با استفاده از لیزر پرداخته اند. پروسه ترمیم زخم وابسته به پروسه‌های سلولی است که شامل فاز التهابی، فاز تکثیری و فاز بازسازی است. گرایش‌های اخیر به درمان با لیزر کم توان در ترمیم زخم با مطالعات مستر و همکاران آغاز شد[٨]. مزیت استفاده از تابش لیزر ابتدا در درمان زخم‌های ماندگار مشاهده شد. به‌طور خاص اثر تابش‌دهی زخم با استفاده از لیزر هلیوم-نئون (طول موج: ٦٣٢.٨ نانومتر) بر روی تسریع ترمیم زخم در حیوانات و انسانها مشاهده شده است[٩]. امروزه، گرایش تحقیقات در LLLT[4] به سمت تفسیر پایه‌ای اثر لیزر بر روی روی بافت است. همچنین مطالعات ریخت‌شناسی[5] اخیر بر اثر LLLT روی ترمیم زخم نشان می‌دهد که جهت خاصی از نور پلاریزه لیزر ترمیم زخم را بهبود می‌دهد[١٠]. بنابراین یافتن بهترین مشخصه‌های فیزیکی تابش برای تأثیر بهتر در جوشکاری، ترمیم و درمان زخم یکی از مهمترین بحث‌های

[1] Screening
[2] Multiple Criteria Decision Making
[3] Data Envelopment Analysis
[4] Low Level Laser Therapy
[5] Morphological

www.SID.ir

Archive OF SID

اخیر است. یکی از این مشخصات به طور خاص جهت قطبش می‌باشد. شایان ذکر است که این تحقیق نیز نظیر مطالعات گاون و همکارانش در سال ۲۰۰۳، چاو و همکارانش در سال ۲۰۰۳ و نیز تحقیقات کارام و همکارانش در سال ۲۰۰٦، با استفاده از دستگاه و شرایطی نسبتاً مشابه، از تست کشش برای بررسی خاصیت ویسکوالاستیسیته بافت بیولوژی تحت تابش‌های کوتاه مدت لیزر استفاده کرده است. تأکید می‌شود که این کار از روش های ترمیم زخم متمایز بوده و صرفاً می توان از نتایج آن در مطالعات بعدی مربوط به ترمیم زخم استفاده کرد.

همچنین این تحقیق به دنبال آن است که از رویکرد طراحی آزمایش‌ها (DOE) برای دستیابی به مشخصات یک تابش مناسب، استفاده کند. امروزه تقریباً در تمام حوزه های علوم و مهندسی از طراحی آزمایش ها به طور موفقیت آمیزی استفاده شده است. طراحی آزمایش‌ها با فعالیت های رونالد فیشر در دهه ۱۹۲۰ در بخش کشاورزی آغاز شده و توسعه یافت. فیشر تفکر و اصول آماری نظیر استفاده از مفهوم طرح های عاملی[1] و تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA)[2] را به طور ساختار یافته‌ای در طراحی آزمایش معرفی کرد[۱۱]. پس از آن تاگوچی فعالیت های چشمگیری در ایجاد علاقه جهت استفاده از طراحی آزمایش ها داشت. وی استفاده از طرح‌های عاملی فوق کسری[3] و آرایه های متعامد[4] را همراه با روش های آماری، جهت طراحی پارامتر مقاوم[5] پیشنهاد کرد[۱۱]. پیشنهادات وی انتقادات زیادی را به همراه داشت. یکی از ایرادهای روش وی، مناسب نبودن آن برای بهینه کردن یک مسئله چند پاسخه است [۱۲]. از این رو مطالعات بسیاری در زمینه بهینه سازی سطوح چند پاسخی صورت گرفته است. خوری در تحقیق خود به رویه‌ای بر مبنای مدلهای رگرسیونی چند جمله ای رسید تا بتواند همزمان چندین پاسخ را بهینه کند[۱۳]. سو و تانگ از تحلیل اجزای اصلی (PCA)[6] استفاده کردند[١٤]. تانگ و همکارانش یک رابطه کلی متشکل از مقادیر نسبت سیگنال به نویز[7] برای تمامی پاسخها را در نظر گرفته و از این طریق به بهینه سازی تاگوچی پرداختند[۱۵]. همچنین لیائو برای بهینه سازی یک مسئله چند پاسخه در کنار داده های سانسور شده[8] در روش تاگوچی، از ترکیب تحلیل پوششی داده ها و شبکه های عصبی استفاده کرده است. به این ترتیب که ابتدا با شبکه های عصبی نسبت سیگنال به نویز برای چند پاسخ، به طور تقریبی با داده‌های آزمایشی شناخته شده برای هر ترکیب فاکتور/ سطح (که واحد تصمیم گیری برای ارزیابی کارایی در نظر گرفته می شود) به دست می آید. سپس از DEA برای یافتن کارایی نسبی هر واحد تصمیم گیری استفاده شده و به این ترتیب ترکیب بهینه فاکتور / سطح به دست می آید [۱۲]. تحلیل پوششی داده ها علاوه بر بهبود روش تاگوچی، به صورت ترکیبی با DOE (روش تاگوچی) نیز برای ارزیابی فرایندها توسط ونکاتا و همکارانش مورد استفاده قرار گرفته است[١٦]. این تحقیق از DEA برای ارزیابی طرح های مختلف مورد استفاده در بررسی یک آزمایش استفاده می کند. بر خلاف کار ونکاتا و همکارانش که از DEA و DOE در کنار هم ولی مستقل از هم استفاده کرده اند، این تحقیق از تحلیل پوششی داده ها برای بررسی نتایج حاصل از طراحی آزمایش ها استفاده می کند. همچنین بر خلاف کار لیائو، این مطالعه با یک آزمایش یک پاسخه درگیر است و هدف یافتن یک طرح آزمایش مناسب برای تحقیقاتی مشابه است.

۲- مواد و روشها

هدف آزمایش مورد بررسی در این تحقیق، بررسی تأثیر لیزر قطبیده ٦۳۲ نانومتر روی کلاژن باندها در دو حالت پلاریزاسیون موازی و عمود بر جهت کشش سنجی است.

[1] Factorial designs
[2] Analysis of variance
[3] Highly fractionated factorial design
[4] Orthogonal arrays
[5] Robust parameter design

[6] Principle Component Analysis
[7] Signal To Noise ratio
[8] Censored data

www.SID.ir

Archive OF SID

در این راستا علاوه بر "*مواد مورد استفاده و روش اجرای آزمایش*"، از "*طراحی آزمایش ها*" برای تعیین آزمایش های مورد نیاز و از "*تحلیل پوششی داده ها*" برای بررسی کارایی و سنجش عملکرد طرح‌های آزمایش مربوطه استفاده شده است. در ادامه به توضیح هر یک از موارد فوق به طور مجزا می پردازیم.

۱-۲- مواد مورد استفاده و شیوه اجرای آزمایش

به این منظور از نمونه‌هایی مناسب به صورت بافت صفحه ای با توزیع یکنواخت فیبرهای کلاژن[1] و الاستین[2] به ابعاد تقریبی ۲۰ ×۲×۰/۱ میلی متر استفاده شد. این بافت از قشرهای نازک روی دنده گوسفند[3]، ساعاتی پس از کشتار کشتار تهیه می‌شود که به منظور تثبیت بافت در سرم فیزیولوژی نگهداری می‌گردد. نمونه بین دو فک دستگاه کشش سنج قرار گرفته، وآزمایش تست کشش توسط دستگاه روی آن انجام شد. از روی داده‌های ثبت شده، منحنی استرس_استرین رسم گردید و مقدار شیب خط برازش شده بر داده‌ها که معرف خاصیت ویسکوالاستیسیته بافت است، محاسبه شد. سپس نمونه تحت تابش لیزر قرار گرفته، مجدداً کشش سنجی شده و شیب خط برازش شده بر داده‌ها، پس از تابش به دست آمد. شیب قبل از تابش هر نمونه k_i و بعد از پرتودهی k_f نامیده می‌شود. کمیتی که برای هر نمونه باید محاسبه و مورد مقایسه قرار گیرد تغییر نسبی شیب منحنی‌هاست که معادل با $\Delta k = \frac{k_f - k_i}{k_i}$ بوده و معیاری جهت تعیین تغییر استحکام بافت پس از تابش لیزر است.

۲-۲- طراحی آزمایش

پس از بیان مسئله، خطوط راهنمای زیر برای طراحی یک آزمایش پیشنهاد می شود[۱۳]:

- انتخاب متغیر پاسخ
- انتخاب عامل ها، سطوح و دامنه‌ها
- انتخاب طرح آزمایش
- انجام آزمایش
- تحلیل آماری داده‌ها
- نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

بنابراین در بخش‌های بعدی، با استفاده از موارد فوق به بررسی و تحلیل مسئله می پردازیم.

۱-۲-۲- معرفی متغیر ها و عوامل

ابتدا باید تمام متغیرها و عوامل درگیر در مسئله شناسایی شده و در یکی از چهار گروه متغیرهای پاسخ، متغیرهای کنترلی، عوامل اغتشاش و عوامل ثابت قرار گیرد.

- متغیر پاسخ (R) : تغییرات ثابت کشسانی پوست که در واقع همان تغییر شیب منحنی های رسم شده (Δk) می باشد، متغیر پاسخ مسئله است. لازم به ذکر است که متغیر پاسخ از نوع LTB[4] است، یعنی به دست آوردن مقادیر بیشتر، مطلوب تر است.
- متغیر های کنترلی متغیرهایی هستند که تحت کنترل آزمایشگر بوده و آزمایشگر علاقه مند به بررسی اثر آنها می باشد:

– زمان تابش (A) : عبارت است از مدت زمانی که نمونه، قبل از کشش مجدد تحت تابش لیزر کم توان قرار می گیرد. با توجه به آن که هدف این تحقیق بررسی اتفاقاتی است که بلافاصله بعد از تابش می افتد (و نه اتفاقات پس از آن و فرایند بهبود زخم)، زمان های کوتاه تابش مورد بررسی قرار گرفته است. لذا محدوده تغییرات مورد بررسی زمان تابش در این آزمایش ۳۰-۵ ثانیه در نظر گرفته شده که تا حدودی مشابه سایر مطالعات انجام شده در این زمینه است [۵-۷].

– جهت تابش یا پلاریزاسیون نور تابیده شده (B) : هنگام قرار دادن نمونه در مقابل پرتو لیزر، می توان آن را طوری

[1] Collagen
[2] Elastin
[3] Pleura
[4] The-larger-the-better

www.SID.ir

Archive OF SID

قرار داد که نمونه تحت تابش لیزر قطبیده با قطبش موازی و یا عمود بر جهت کشش کلاژن های بافت، قرار بگیرد. بدیهی است که از آنجا که می توان نمونه را با زاویه های دیگری بین ۹۰- تا ۰ درجه نسبت به پرتو قرار داد، جهت تابش یک متغیر کمی محسوب خواهد شد.

– شعاع پرتو (C) : با تغییر عدسی ای که در محل خروج اشعه از دستگاه قرار می گیرد، شعاع پرتو خروجی تغییر می کند. در این آزمایش شعاع ۱۰ – ۱ میلی متر مورد نظر است.

• عوامل ثابت عواملی هستند که تغییر آنها در اختیار آزمایشگر نبوده و یا مورد علاقه نیست. بنابراین در طول انجام آزمایش ثابت در نظر گرفته می شوند. باید توجه داشت که آزمایش های مورد نظر در زمان کوتاه مدت بررسی شده و نمونه های زیادی بلافاصله قبل و بعد از تابش لیزر مورد بررسی قرار گرفته اند، به نحوی که در این مدت کوتاه پارامترهایی چون دما و رطوبت عملا ثابت بوده و اندازه گیری نیز بلافاصله انجام می شود. به عبارت دیگر بررسی لحظه ای پدیده، فرض بسیاری از تغییرات را عملاً منتفی می کند. بر این اساس فاکتورهای زیر به عنوان عوامل ثابت در نظر گرفته می شوند:

– نوع لیزر: از منبع نوری لیزر هلیوم نئون با طول موج ۶۳۲ نانومتر و توان خروجی ۱۰ میلی وات و شدت نور لیزر ۱ ژول بر سانتی متر مربع استفاده شد.

– دمای پوست: چون آزمایش ها، همگی در دمای اتاق انجام می شود، می توان تقریبا این عامل را به عنوان یک فاکتور ثابت در نظر گرفت.

– رطوبت: با توجه به تأخیر زمانی حدوداً ۱۰ ثانیه بین مراحل مختلف انجام آزمایش، فرض تغییر رطوبت عملاً منتفی است.

• عوامل اغتشاش شامل عواملی است که معلوم و شناخته شده بوده ولی قابل کنترل نیستند. شایان ذکر است که تفکیک اثرات برخی از فاکتورهای محیطی درگیر در این آزمایش از طریق جای دادن آنها در گروه متغیرهای اغتشاشی و استفاده از تکنیک های بلوک بندی و تصادفی سازی صورت می گیرد. این آزمایش با عوامل اغتشاش زیر درگیر است:

– محل پوست: از آنجا که نمونه های مختلف، از محل های مختلف یک لایه نسبتاً وسیع پوست تهیه می شوند، دارای ضخامت های کاملا یکسان نیستند. به عبارت بهتر، محل جدا سازی نمونه از لایه پوست، عاملی است که می تواند بر نتیجه آزمایش تاثیر بگذارد. لذا به منظور حذف این اثر، از بلوک بندی استفاده شده است. به این ترتیب که نمونه هایی که از کنار یکدیگر برداشته شده باشند، در یک بلوک قرار می گیرند.

– سرعت کشش: سرعت اعمال نیرو نیز عامل موثری است که به علت کمبود امکانات، آزمایشگر قادر به کنترل دقیق تغییرات آن نیست. از این رو سعی می شود در تمامی نمونه ها تقریباً ثابت باشد و به منظور حذف اثر آن، از تکرار[1] تصادفی[2] آزمایش ها استفاده شده است.

۲-۲-۲- طرح آزمایش

برای انجام این تحقیق آزمایش ها در دو مرحله طراحی شدند. در مرحله اول به منظور غربال کردن عوامل با قرار دادن همه عوامل در دو سطح حداقل و حداکثر، یک طرح 2^3 با بلوک بندی روی محل پوست اجرا شد. غربال کردن عوامل به منظور حذف عوامل بی اثر و انجام آزمایش های دقیق تر با عوامل موثر صورت می‌گیرد. به عبارت بهتر در این مرحله باید آزمایش‌های لازم برای پر کردن متغیر پاسخ در جدول ۱ صورت بگیرد. به عنوان مثال برای پر کردن سطر اول این جدول باید پس از برداشتن لایه پوست مورد بررسی از یک ناحیه خاص (بلوک ۱)،عوامل سه گانه مورد بررسی در سطح پایین خود قرار بگیرند. به عبارت بهتر با تنظیم عوامل به صورت زمان تابش ۵ ثانیه (حد پایین زمان تابش)، شعاع پرتو ۱ میلی متر (حد پایین شعاع تابش) و قطبش عمود (حد پایین قطبش)، آزمایش مربوطه

[1] Replication
[2] Randomization

www.SID.ir

Archive OF SID

انجام شده و میزان تغییر شیب خطوط برازش شده (متغیر پاسخ) اندازه گیری شده و در سلول خالی سطر اول جدول زیر قرار می گیرد. تفاوت آزمایش لازم برای پر کردن سطرهای اول و دوم، در محل لایه برداری (تغییر بلوک) است:

جدول ۱- آزمایش های مورد نیاز برای طرح آزمایش مرحله اول

block	C	B	A	R
بلوک۱	۱	عمود	۵	
بلوک۲	۱	عمود	۵	
بلوک۱	۱	عمود	۳۰	
بلوک۲	۱	عمود	۳۰	
بلوک۱	۱	موازی	۵	
بلوک۲	۱	موازی	۵	
بلوک۱	۱	موازی	۳۰	
بلوک۲	۱	موازی	۳۰	
بلوک۱	۱۰	عمود	۵	
بلوک۲	۱۰	عمود	۵	
بلوک۱	۱۰	عمود	۳۰	
بلوک۲	۱۰	عمود	۳۰	
بلوک۱	۱۰	موازی	۵	
بلوک۲	۱۰	موازی	۵	
بلوک۱	۱۰	موازی	۳۰	
بلوک۲	۱۰	موازی	۳۰	

در مرحله دوم، با در نظر گرفتن عوامل موثر در مرحله اول، و تعریف سطوح دقیق تر برای آن ها، یک طرح آزمایش چند عاملی انجام می شود. لازم به ذکر است که آزمایشگر با توجه به شرایط حاکم بر مسئله (از جمله در نظر گرفتن عوامل محیطی حاکم بر مسئله)، تحمل خطای نوع اول ۱۰٪ را می پذیرد. با توجه به آن که برای تعیین سطوح مورد نظر برای عوامل در این مرحله، نیاز به نتایج آزمایشات مرحله اول است، توضیحات بیشتر در این زمینه در بخش۳ (نتایج) ارائه می شود.

۳-۲-۲- آنالیز واریانس

پس از تعیین متغیر پاسخ در آزمایش‌های مربوط به هر مرحله و انجام تغییر متغیر روی داده‌ها در صورت نیاز، آنالیز واریانس روی داده های به دست آمده انجام می شود. آنالیز واریانس یک آزمون آماری است که برای تعیین وجود یا عدم وجود تفاوت بین میانگین های چند گروه (سه گروه یا بیشتر) به کار می رود. به عبارت بهتر وجود یا عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین نمونه های اکتسابی در یک جامعه را تعیین می کند. در این آزمون نیز مانند سایر آزمون های آماری، فرض صفر و فرض یک مقابل یکدیگر قرار می گیرند. در بررسی اثربخشی عوامل در طراحی آزمایش‌ها، رد شدن فرض صفر (که از طریق کوچکتر بودن P-value از خطای نوع اول معلوم می شود) نشان دهنده معنادار بودن یک عامل است.

۳-۲- تحلیل پوششی داده ها

تحلیل پوششی داده ها، روشی مبتنی بر برنامه ریزی خطی است که توانایی اندازه‌گیری کارایی نسبی واحدهایی با چندین ورودی و چندین خروجی مشابه را دارد[۱۷]. در این روش، با فرض این که یک واحد یا سیستم (که واحد تصمیم گیری یا DMU[1] نامیده می شود) تعدادی ورودی را به تعدادی خروجی تبدیل می‌کند، کارایی به عنوان نسبت مجموع موزون خروجی‌ها به مجموع موزون ورودی ها در نظر گرفته می‌شود. سپس با استفاده از مدل‌های ریاضی سعی می‌شود تا کارایی یک واحد نسبت به واحد های دیگر ماکزیمم شود. شایان ذکر است در برخورد با مواردی که یک سیستم فیزیکی جهت تبدیل ورودی ها به خروجی ها وجود ندارد، می توان واحد یا گزینه مورد ارزیابی (DMU) را به عنوان یک سیستم فرض کرد و معیارهایی که تمایل به کاهش آنها وجود دارد (معیارهای منفی) را ورودی و معیارهایی که تمایل به افزایش آنها وجود دارد (معیارهای مثبت) را خروجی سیستم مفروض در نظر گرفت.

اولین مدل پیشنهادی برای تحلیل پوششی داده‌ها، مدل نسبت CCR نام دارد که به صورت زیر است:

[1] Decision Making Unit

www.SID.ir

Archive OF SID

$$\text{Max } Z = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{i0}} \qquad (۱)$$

$$\frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}} \le 1 \qquad j = 1,...,n \qquad (۲)$$

$$u_r, v_i \ge 0$$

در مدل فوق، y_{rj} نشان دهنده r امین خروجی واحد j و x_{ij} نشان دهنده iامین ورودی واحد j است. u_r و v_i هم به ترتیب نشان دهنده وزن خروجی rام و وزن ورودی i ام هستند. همان طور که مشاهده می شود تابع هدف (معادله شماره (۱)) که سعی در ماکزیمم کردن آن داریم، کارایی واحد تحت بررسی است. این در حالی است که باید محدودیت کوچکتر از یک بودن کارایی تمام واحدها هم رعایت شود. این محدودیت، درگروه نامعادلات شماره (۲) آورده شده است. مدل فوق باید n بار (هر بار با قرار دادن یکی از واحدها در تابع هدف) حل شود.

لازم به ذکر است که پس از ارائه مدل فوق، محققان مدل های دیگری نیز بر اساس آن پیشنهاد داده اند و این روند هنوز هم ادامه دارد. به عنوان نمونه "مدل مضربی BCC[1] خروجی محور تحلیل پوششی داده ها با بازده به مقیاس متغیر" که در این تحقیق از آن استفاده شده است به این صورت است:

$$\text{Min } Z_0 = \sum_{i=1}^{m} v_i x_{i0} + w$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{r0} = 1 \qquad (۳)$$

$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} + w \ge 0$$

$$u_r, v_i \ge 0$$

که v_i و u_r به ترتیب وزن های تخصیص یافته به ورودی i ام (x_{ij}) و خروجی r ام (y_{rj})هستند. این مدل در سال ۱۹۸٤ توسط بنکر، چارنز و کوپر ارائه شده است[۱۷].

نهادن نام خروجی محور بر مدل فوق در بردارنده این مفهوم است که تا چه حد می توان خروجی نسبی واحد مورد بررسی را افزایش داد بدون این که ورودی به کار رفته تغییر کند. متغیر بودن ساختار بازده به مقیاس طرح های مورد بررسی (گزینه ها) نیز به این معنی است که افزایش در مقدار ورودی (معیارهای منفی مورد ارزیابی)، منجر به افزایش درمقدار خروجی (معیارهای مثبت مورد ارزیابی) به همان نسبت نخواهد شد.

بنابراین در تحقیق حاضر، هر طرح آزمایش به عنوان یک DMU در نظر گرفته شده و بر حسب مثبت یا منفی بودن معیارهای مورد بررسی، ورودی و خروجی آن تعیین می شود. سپس با حل "مدل مضربی خروجی محور تحلیل پوششی داده ها با بازده به مقیاس متغیر" برای هر DMU عدد کارایی مربوط به آن به دست می آید. با مقایسه اعداد کارایی به دست آمده، طرح های مورد بررسی (DMU ها) رتبه بندی می شوند.

۳- نتایج

این بخش حاوی نتایج حاصل از انجام آزمایش ها (به دست آوردن متغیر پاسخ)، نتایج حاصل از انجام آنالیز واریانس بر روی داده های به دست آمده در طرح آزمایش مرحله اول و دوم و تحلیل آنها و نیز نتایج حاصل از کاربرد تحلیل پوششی دادهها در ارزیابی طرح‌های آزمایش مورد استفاده است.

۱-۳- طرح آزمایش مرحله اول

با تنظیم عوامل زمان(A)، قطبش(B) و شعاع پرتو (C) در سطوح مشخص شده طبق جدول ۱ و انجام آزمایش به روش توضیح داده شده در بخش ۱-۲، داده های مورد نیاز

[1] Banker-Charnes-Cooper

www.SID.ir

Archive OF SID

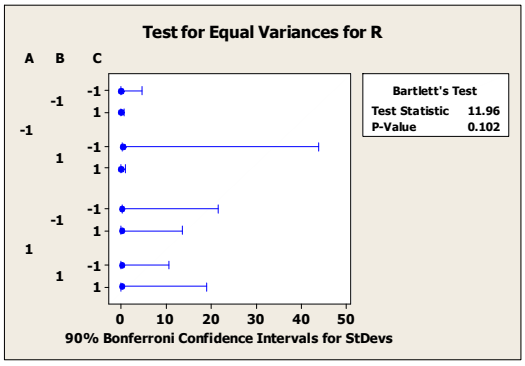
این مرحله به دست می آید. به عنوان نمونه بخشی از متغیرهای پاسخ به دست آمده در جدول ۲ آمده است:

جدول ۲- برخی از داده های طرح آزمایش مرحله اول

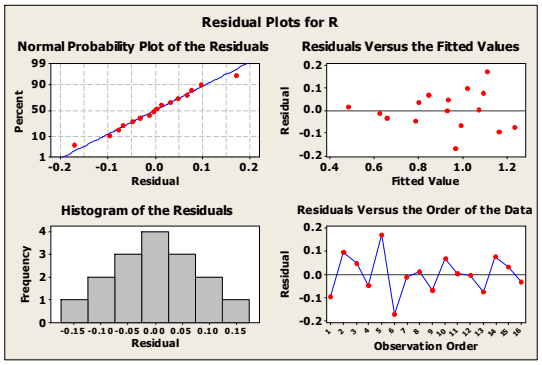
block	C	B	A	R
بلوک ۱	۱	عمود	۵	۱,۲۹
بلوک ۱	۱	عمود	۳۰	۰,۹۲
بلوک ۱	۱	موازی	۵	۲,۷
بلوک ۱	۱	موازی	۳۰	۰,۱۴
بلوک ۱	۱۰	عمود	۵	۰,۷۲
بلوک ۱	۱۰	عمود	۳۰	۱,۳۳
بلوک ۱	۱۰	موازی	۵	۱,۸
بلوک ۱	۱۰	موازی	۳۰	۰,۴۸

بررسی شروط کفایت داده های این مرحله با در نظر گرفتن خطای نوع اول ۱۰٪، حاکی از رد فرض برابری واریانس ها می باشد. بنابراین باید تبدیل مناسبی جهت یکسان سازی واریانس ها استفاده شود. پس از بررسی چند تبدیل[۱] از روش آزمون و خطا، تبدیل $y' = y^{0.25}$ مناسب تشخیص داده شد. لذا در این مرحله، از داده های تبدیل یافته استفاده می شود. شکل های ۱و ۲ کفایت داده های تبدیل یافته را برای انجام تحلیل واریانس تایید می کند. همان طور که شکل ۱ نشان می دهد، مقایسه مقدار P-value حاصل از آزمون بارتلت، با خطای نوع اول ۱۰٪ حاکی از آن است که فرض برابری واریانس داده های تبدیل یافته را می توان پذیرفت. لازم به ذکر است که در این شکل، عدد ۱ نشان دهنده سطح بالای یک عامل (به عنوان مثال ۳۰ ثانیه برای عامل زمان) و عدد ۱ - نشان دهنده سطح پایین یک عامل (به عنوان مثال ۵ ثانیه برای عامل زمان) است.

همچنین نمودارهای رسم شده در شکل ۲، نرمال بودن داده ها، مستقل بودن باقی مانده ها[۲] نسبت به ترتیب انجام آزمایش[۳] و نیز مستقل بودن باقی مانده ها نسبت به مقادیر برازش شده[۴] (شروط کفایت) را تایید می کند:



شکل ۱- آزمون بارتلت برای برابری واریانس های داده های تبدیل شده مرحله اول



شکل ۲- بررسی کفایت مدل برای داده های تبدیل یافته مرحله اول

www.SID.ir

Archive OF SID

اکنون داده های تبدیل یافته می تواند برای انجام آنالیز واریانس مرحله اول به کار برده شود. نتایج به دست آمده از تحلیل واریانس داده‌های تبدیل یافته مرحله اول در جدول ۳ آمده است. یاد آوری می شود که A وB و C و R به ترتیب معرف زمان تابش، پلاریزاسیون پرتو، شعاع پرتو و متغیر پاسخ می باشد.

مقایسه مقادیر P-value با خطای نوع اول ۱۰٪ حاکی از آن است که اثر اصلی A (زمان) و متقابل AB (زمان و قطبش) معنی‌دار است. همچنین اثر بلوک معنی‌دار تشخیص داده شده است و این امر، مناسب بودن بلوک بندی روی محل نمونه برداری در این مرحله را تایید می کند. در مقابل، بزرگ بودن P-value مربوط به عامل شعاع پرتو(C) نسبت به ۱۰٪ ، نشان دهنده معنی‌دار نبودن اثر این عامل است.

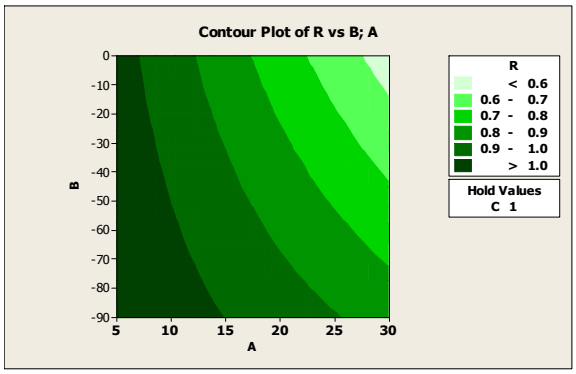
در شرایط معمول، پس از غربال کردن عوامل، باید عوامل بی اثر از مراحل بعدی آزمایش حذف شوند. اما رعایت اصل سلسله مراتبی، به دلیل اثر بخشی AB مانع حذف عامل B می شود. بنابراین با حفظ عوامل A (زمان) و B (قطبش)، و تعریف سطح مناسب برای هر یک، مرحله دوم آزمایش ها انجام می شود تا به این ترتیب دقت بررسی اثرات افزایش یابد.

جدول۳- نتایج آنالیز واریانس مرحله اول

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	p-value
Block	۰,۰۸۲۵۲۷۰۲۸	۱	۰,۰۸۲۵۲۷۰۲۸	**۰,۰۵۲**
Model	۰,۵۶۷۵۱۶۳۷۳	۷	۰,۰۸۱۰۷۳۷۶۸	۰,۰۲۰۸
A-A	۰,۲۸۶۶۵۹۸۵۹	۱	۰,۲۸۶۶۵۹۸۵۹	**۰,۰۰۳۳**
B-B	۰,۰۳۷۱۰۴۵۸	۱	۰,۰۳۷۱۰۴۵۸	۰,۱۶۱۲
C-C	۰,۰۱۷۵۶۷۶۱۶	۱	۰,۰۱۷۵۶۷۶۱۶	۰,۳۱۶۹
AB	۰,۱۴۸۶۶۱۲۶۶	۱	۰,۱۴۸۶۶۱۲۶۶	**۰,۰۱۶۵**
AC	۰,۰۳۲۷۲۰۰۶۱	۱	۰,۰۳۲۷۲۰۰۶۱	۰,۱۸۴۸
BC	۰,۰۲۷۵۵۲۳۶۶	۱	۰,۰۲۷۵۵۲۳۶۶	۰,۲۱۹۱
ABC	۰,۰۱۷۲۵۰۶۲۴	۱	۰,۰۱۷۲۵۰۶۲۴	۰,۳۲۱۰

S=۰,۱۲۲۹۷۷ R-Sq = ٪ ۸۶ R-Sq (adj) = ٪ ۶۹.۹۹

لازم به ذکر است که جهت تعریف سطوح مناسب عوامل در مرحله دوم، از منحنی های تراز مرحله اول استفاده می شود. این منحنی ها در شکل ۳ نشان داده شده است. این نمودار بر اساس نتایج آزمایشات انجام شده، نشان می دهد که چنانچه عامل A (زمان) در سطح پایین قرار داده شود، بهترین (بالاترین) مقدار متغیر پاسخ به دست خواهد آمد.



شکل ۳- منحنی های تراز مرحله اول

www.SID.ir

Archive OF SID

۲-۳- طرح آزمایش مرحله دوم

در این مرحله، با تعریف سطوح مناسب برای عوامل مشخص شده در مرحله قبل، یک آزمایش ۲ عاملی با چهار سطح برای عامل اول و دو سطح برای عامل دوم، انجام شده و نتایج تحلیل می شود. جهت تعریف سطوح مناسب برای این مرحله، از منحنی های تراز مرحله قبل استفاده می شود. همان طور که شکل ۳ نشان می دهد، در سطح کم عامل A (زمان تابش) متغیر پاسخ مقدار بیشتری اتخاذ کرده است. با توجه به آن که متغیر پاسخ از نوع LTB است، بر سطوح کم این عامل تمرکز می شود. لذا در آزمایشات مرحله دوم، تعداد بیشتر سطوح عامل A به نیمه اول بازه تغییرات آن (۵ تا ۱۷.۵) تخصیص داده شده و عامل زمان در سطوح ۵ و ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ مورد بررسی قرار گرفت. در مورد سطح مناسب برای عامل پلاریزاسیون نیز، با توجه به آن که هدف اصلی پیدا کردن جهت ارجح بین جهت های افقی و عمودی است، لذا سایر زوایا مورد نظر قرار نگرفته و در این مرحله نیز همین دو سطح (زوایای ۹۰- و ۰ درجه که معادل تابش عمود و موازی است) مورد آزمایش قرار می گیرد. بنابراین طرح آزمایش این مرحله، دو عاملی با دو سطح برای یک عامل (پلاریزاسیون) و ٤ سطح برای عامل دیگر (زمان) و دو تکرار می باشد. همچنین از آنجا که در مرحله قبل اثر بلوک بندی روی محل پوست، معنی دار تشخیص داده شد، در این مرحله نیز بلوک بندی صورت می گیرد. نتایج حاصل از انجام آزمایش به روش بخش ۱-۲ برای طرح آزمایش مشخص شده در این مرحله در جدول ٤ نشان داده شده است:

جدول ٤- داده های مربوط به طرح آزمایش دو عاملی بلوک بندی شده با دو تکرار مرحله ۲

	بلوک ۲				بلوک ۱				
	۲۰ ثانیه	۱۵ ثانیه	۱۰ ثانیه	۵ ثانیه	۲۰ ثانیه	۱۵ ثانیه	۱۰ ثانیه	۵ ثانیه	
قطبش موازی	۰,۸۷	۰,۷٤	۱,۷	۰,٤۲	۱,٦۸	۰,۰۵	۰,۱۳	۰,٦۱	
قطبش عمود	۰,۹۹	۰,۱٦	۳,۵۷	۰,٦۱	۲,٤	۱,۳	۳,۲٤	۰,۲۱	

بررسی داده های فوق کفایت آن ها را برای انجام تحلیل واریانس تایید می‌کند. نتایج حاصل از آنالیز واریانس توسط نرم افزار Minitab در جدول۵ نشان داده شده است:

جدول۵- نتایج آنالیز واریانس مرحله ۲

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	۱	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰٤	۰,۸۵
A	۳	۷,۸	۷,۸	۲,٦	۵,۰۹	**۰,۰۳۵**
B	۱	۲,٤٦	۲,٤٦	۲,٤٦	٤,۸۳	**۰,۰٦٤**
A*B	۳	٤,۰۳	٤,۰۳	۱,۳۵	۲,٦۳	۰,۱۳۲
Error	۷	۳,۵۸	۳,۵۸	۰,۵۱		
Total	۱۵	۱۷,۹				

S = 0.714673 R-Sq = 80.02% R-Sq (adj) = 57.18%

مشاهده نتایج آنالیز واریانس نشان می دهد که با خطای نوع اول ۱۰٪، عوامل A و B (یعنی زمان تابش و جهت پلاریزاسیون) بر متغیر پاسخ اثر معنی دار دارند. لازم به ذکر است که بر خلاف مرحله اول، در این مرحله بلوک اثر معنی داری بر متغیر پاسخ ندارد و این بدان معنی است که بلوک بندی برای آزمایش های این مرحله، بی معنی است.

www.SID.ir

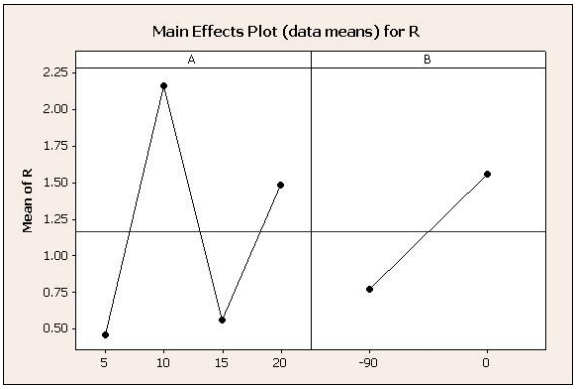
Archive OF SID

لذا داده های این مرحله، با حذف اثر بلوک نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در جدول ٦ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود با حذف بلوک بندی علاوه بر اثر اصلی عوامل A و B ، اثر متقابل AB نیز معنی دار است. مشاهده نمودار های اثرات اصلی و متقابل و نیز منحنی سطح پاسخ (شکل های ٤و ٥ و٦)، حاکی از آن است که متغیر پاسخ بیشترین مقدار خود را در دومین سطح A (زمان تابش ١٠ ثانیه) و دومین سطح B (قطبش موازی)، پیدا می کند. همچنین همان طور که در منحنی تراز مرحله دوم (شکل ٧) مشاهده می شود، ناحیه سبز پر رنگ معرف وضعیت مطلوب می باشد. بنابراین اگرچه زمان ١٠ ثانیه به عنوان بهترین زمان پیشنهاد شده است ولی در منحنی تراز به ازای زمان های تقریباً ٨ تا ١١ ثانیه نیز وضعیت مطلوب است. لذا در صورتی که دستیابی به زمان دقیق ١٠ ثانیه ممکن نباشد می توان از زمان های دیگر این بازه (٨ تا ١١ ثانیه) استفاده کرد.

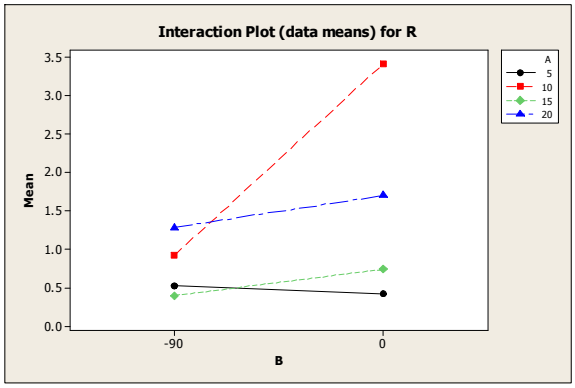
جدول٦- نتایج آنالیز واریانس مرحله ٢ با حذف بلوک بندی

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A		٧,٧٩٥٧	٧,٧٩٥٧	٢,٥٩٨٥	٥,٧٨	**٠,٠٢١**
B	١	٢,٤٦٤٩	٢,٤٦٤٩	٢,٤٦٤٩	٥,٤٩	**٠,٠٤٧**
A*B	٣	٤,٠٣٤٨	٤,٠٣٤٨	١,٣٤٤٩	٢,٩٩	**٠,٠٩٦**
Error	٨	٣,٥٩٤٩	٣,٥٩٤٩	٠,٤٤٩٤		
Total	١٥	١٧,٨٩٠٣				

اگر چه نتایج آنالیز واریانس مرحله ٢ در هر دو حالت با بلوک بندی و بدون بلوک بندی، حکم روشنی در مورد اثر بخشی عامل B (قطبش) ارائه می دهد ولی در هر دو حالت نسبت به مرحله ١ دارای R-Sq(adj) کوچکتری است. لذا نمی توان با صراحت گفت که کدام مدل بهتر است. این مسئله در بخش بعدی بررسی می شود.



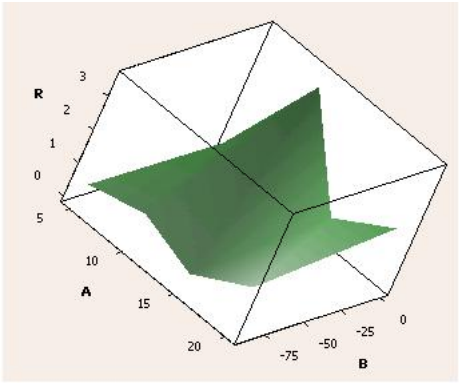
شکل ٤- نمودار اثرات اصلی عوامل A (زمان تابش) و B (جهت قطبش) در مرحله دوم



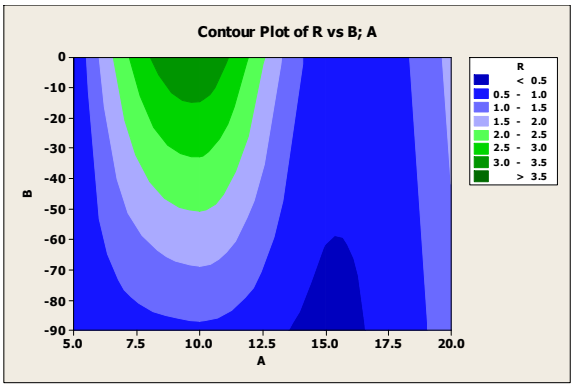
شکل ٥- نمودار اثرات متقابل عوامل A (زمان تابش) و B (جهت قطبش) در مرحله دوم

www.SID.ir

Archive OF SID



شکل ٦- منحنی سطح پاسخ مرحله دوم



شکل ٧- منحنی تراز مرحله دوم

۳ -۳-انتخاب طرح آزمایش برتر

همان طور که گفته شد، با توجه به وجود معیارهای مختلف در مورد مناسب بودن یک مدل، نمی توان با قطعیت در مورد بهتر بودن مدل ارائه شده در مرحله ۱ و یا مدلهای ارائه شده در مرحله ۲ (با بلوک بندی و بدون بلوک بندی) نظر داد. به این منظور با استفاده از تحلیل پوششی داده ها و محاسبه کارایی نسبی این سه مدل، مدل بهتر انتخاب می شود.

برای استفاده از مدل تحلیل پوششی داده ها، معیارهایی که تمایل به زیاد بودن آن ها وجود دارد (معیارهای مثبت) به عنوان خروجی واحدهای تصمیم گیری، و معیارهایی که تمایل به کاهش آنها وجود دارد (معیارهای منفی) ورودی واحدها در نظر گرفته می‌شود. معیارهای مورد نظر برای بررسی عبارتند از :

- تعداد آزمایش (معیار منفی) که به عنوان ورودی اول در نظر گرفته می شود.
- میانگین P-value عوامل موثر (معیار منفی) که به عنوان ورودی دوم در نظر گرفته می شود.
- R-Sq که به عنوان خروجی اول در نظر گرفته می شود.
- R-Sq (adj) که به عنوان خروجی دوم در نظر گرفته می شود.

همان طور که پیشتر توضیح داده شده، از آنجا که هدف، به دست آوردن مدل بهتری با تعداد آزمایش معین (ورودی معین) است، لازم است از مدل های خروجی محور استفاده شود. همچنین روشن است که با توجه به نوع ورودی ها و خروجی ها، ساختار بازده به مقیاس متغیر است. چرا که به عنوان مثال دو برابر کردن تعداد آزمایش منجر به دو برابر شدن مقدار R-Sq نخواهد شد. لذا با استفاده از داده های جدول ۷ یک مدل خروجی محور تحلیل پوششی داده ها با بازده به مقیاس متغیر به کار رفته، نتایج زیر به دست آمد:

کارایی مدل مرحله ۱ = ۱

کارایی مدل مرحله ۲ با بلوک بندی= ۰.۹۳

کارایی مدل مرحله ۲ بدون بلوک بندی= ۰.۹۲۹

بنابراین در مجموع، مدل مرحله ۱ کاراتر است. این بدان معنی است که طرح آزمایش مرحله اول با در نظر گرفتن سطوح حداقل و حداکثر، اگرچه معنی دار بودن اثر B را تشخیص نداد، اما هم از نظر غربال سازی عوامل و هم از نظر کارایی، اهمیت دارد. بنابراین پیشنهاد می شود، در تحقیقات مشابه آتی، به جای استفاده از دومین طرح آزمایش، از یک طرح آزمایش با هر سه عامل اما سطوح بیشتر (حداقل، نقطه مرکزی و حداکثر) استفاده شود. به عنوان مثال انجام این کار در این تحقیق منجر به ۲۷ آزمایش (۳ عامل و ۳ سطح برای هر عامل) به جای ۳۲ آزمایش (١٦ آزمایش در مرحله اول و ١٦ آزمایش در مرحله دوم) می شد که این موضوع در مواردی که با آزمایش های پر هزینه و سخت مواجهیم اهمیت خود را نشان می دهد.

www.SID.ir

Archive OF SID

جدول ۷ - اطلاعات مربوط به ورودی و خروجی واحد ها درDEA

	ورودی۱	ورودی۲	خروجی۱	خروجی۲
مرحله ۱	۱٦	۰,۰۰۹۹	۰,۸٦	۰,٦۹۹۹
مرحله ۲ با بلوک بندی	۱٦	۰,۰٤۹٥	۰,۸۰۰۲	۰,٥۷۱۸
مرحله ۲ بدون بلوک بندی	۱٦	۰ ,۰٥٤٦	۰,۷۹۹۱	۰,٦۲۳۲

٤- بحث و نتیجه گیری

از آنجایی که بافتهای بیولوژیکی شامل فیبرهای کلاژن و الاستین و پروتئین های دیگر هستند و این پروتئین‌ها دارای خواص مکانیکی مختلف می باشند، از روی منحنی استرس–استرین نمونه می‌توان خاصیت ویسکوالاستیسیته بافت را مورد بررسی قرار داد. وقتی که بافت تحت تابش لیزر قرار می‌گیرد در مدت بسیار کوتاهی جمع می شود. علت این امر آن است که انرژی بالای انتقال یافته از لیزر به بافت پس از برخورد به نمونه باعث جمع شدن فیبرهای موازی موجود در بافت می شود و میان فیبرها پیوندهای عرضی برقرار می نماید. پیوندهای عرضی ایجاد شده نمودار استرس– استرین نمونه را تغییر می دهند. به نظر می رسد نیروی حاصل از کلاژن باندهای ایجادشده در بافت در اثر تابش پرتو قطبیده لیزر، دارای مؤلفه ای در جهت کشش است که روی خواص مکانیکی بافت از جمله مدول الاستیکی یانگ اثر می گذارد. از آنجا که قطبش های متفاوت پرتو لیزر، تأثیرات متفاوتی ایجاد می کنند، هدف یافتن قطبش مناسب پرتو لیزر است. برای نیل به این هدف و تعیین برخی دیگر از عوامل مؤثر در تابش لیزر در کمترین تعداد آزمایش، از ترکیب روش طراحی آزمایش ها با تحلیل پوششی داده ها استفاده شد. به این منظور ابتدا تمام عوامل در یک طرح آزمایش اولیه مورد بررسی قرار گرفته (غربال سازی) و عواملی که دارای اثر معنی‌دار نبود حذف گردید. سپس در مرحله بعدی در طرح های آزمایش دیگری با تعریف سطوح دقیق‌تر برای عوامل موثر در مرحله قبل، این عوامل مورد بررسی دقیق-تر قرار گرفت. نتایج حاصل از رتبه بندی طرح های آزمایش مورد استفاده بر اساس کارایی آنها به روش تحلیل پوششی داده ها، حاکی از به دست آوردن رتبه نخست توسط طرح آزمایش مرحله اول است. اگرچه مدل ارائه شده در مرحله یک از کارایی بیشتری نسبت به مدل های مرحله دو برخوردار بود ولی در تحقیق حاضر برای اینکه بتوان تصمیم قاطعی در مورد اثرپذیری جهت قطبش (که در فاز یک بی‌معنی تشخیص داده شده بود) گرفت، انجام آزمایشات مرحله دوم نیز ضروری بود. این بدان معنی است به جای استفاده از مرحله اول به عنوان فاز غربال سازی، می توان با تعریف سطوح بیشتر برای عوامل در این طرح آزمایش، بهای بیشتری به آن داده و بدون نیاز به طرح آزمایش دیگری نتایج مورد نیاز را با خطای قابل قبول به دست آورد. بنابراین پیشنهاد می شود در تحقیقات مشابه آتی، سطوح بیشتری (حداقل، نقطه مرکزی، حداکثر) برای طرح آزمایش کارای مرحله اول در نظر گرفته شود. در این صورت انتظار می رود که نیازی به انجام آزمایشات مرحله دوم مطرح نشود.

در این تحقیق نتیجه تحلیل‌های حاصل از دو مرحله این بودکه زمان تابش لیزر و جهت قطبش تاثیر معنی‌داری بر کلاژن–باندها می‌گذارند، به گونه‌ای که در زمان تابش ۱۰ ثانیه و قطبش موازی، متغیر پاسخ بیشترین مقدار خود را بدست می‌آورد. به عبارت دیگر در حالتی که قطبش نور لیزر همسو با جهت کشش باشد در مقدار الاستیسیته یا استحکام افزایش چشمگیری حاصل می شود.

www.SID.ir

Archive OF SID

منابع

1. Moyer E., Davis A., Saggers G.C., Mackay D.R., Ehrlich H.P., wound healing: the role of gap junctional communication in rat granulation tissue maturation, Experimental and molecular pathology, 2002; 72(1):10-16.
2. Lanzafama RJ, Stadler I, Evans R, Narayan V, Daily B, Buehner N., 830 nm irradiation increases the wound tensile strength in a diabetic murine model, Lasers in Surgery and Medicine, 2001; 28:220-226
3. Rodney A. w., Abergel R. P., lgons R., Kopchok G., Laser welding An alternative method of venous repair, surgical research, 1986; 41:260-263
4. Stryer L., Bio chemistry, third edition, 1988
5. Gaon M. D., Ho KH. Kelvin, Wong B.J.F., Measurement of the elastic modulus of porcine septal cartilage specimens following Nd:YAG laser treatment, Laser Medical Science, 2003,18:148-153.
6. Chao K.H., Ho KH. Kelvin, Wong B.J.F., Measurement of the elastic modulus of rabbit nasal septal cartilage during Nd: YAG laser irradiation, Laser in Surgery and Medicine, 2003, 32:377-883
7. Karam A. M., Protsenko D.E., Wright C.L. Ryan, Liaw LH.L., Milner T. E., Wong. B.J .F. , Long-term viability and mechanical behavior following laser cartilage reshaping, Archives of Facial Plastic Surgery, 2006,8:105-115
8. Mester E., Spiry T., Szende B., Tota J.G., Effect of laser rays on wound healing, American journal of surgery ,1971;122(4):532-535
9. Vladimirov Y.A., Osipov A.N., Klebanov G.I., Photo biological principles of therapeutic application of laser radiation, Biochemistry (Moscow), 2004; 69(1):81-90
10. Ribeiro M.S., Da Silva Dde F., De Araujo C.E., De Oliveira S.F., Pelegrini C.M., Zorn T.M., Zezell D.M., Effects of low-intensity polarized visible laser radiation on skin burns: a light microscopy study, Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery, 2004; 22(1):59-66.
11. Montgomery Douglas C., Design and Analysis of Experiments, 6th Edition, 2004, ISBN: 978-0-471-48735-7
12. Liao H.C., A data envelopment analysis method for optimizing multi-response problem with censored data in taguchi method, computers and industrial engineering , 2004; 46 :817-835
13. Khuri AI, Conlon M., Simultaneous optimization of multiple responses represented by polynomial regression functions, Technometrics, 1981; 23:363–375
14. Su C.T., Tong L.I., Multi-response robust design by principal component analysis, Total Quality Management & Business Excellence, 1997; 8(6):409–416
15. Tong L.I., Su C.T., Wang C.H., The optimization of multiresponse problems in Taguchi method, International Journal of Quality & Reliability Management, 1997; 14(4):367–380
16. Venkata Mohan S., Purushotham Reddy B., Sarma P.N., Ex Situ slurry phase bioremediation of chrysene contaminated soil with the function of metabolic function: process evaluation by data enveloping analysis (DEA) and taguchi design of experimental methodology (DOE), Bioresource technology, 2009; 100: 164-172
17. Mehregan M., Quantitative models for evaluating of organizations' performance, ISBN:964-6020-20-8, Institute of Tehran university publication, p.63-88, 2004.

www.SID.ir