

# طراحی و تحلیل معادلات ساختاری خواص چندعملکردی پارچه‌های پلی‌آمید ۶/۶ تکمیل شده با نانو ذرات نقره و بوتان تتراکربوکسیلیک اسید با میانجی‌گری ویژگی آبدوستی

## Structural Equations Analysis and Design of Polyimide 6,6 Fabrics Multifunctional Properties Finished with Silver Nanoparticles and Butane tetra carboxylic acid using Mediatory Property of Hydrophilicity

علی نظری<sup>۱\*</sup>، ابوالفضل داودی رکن‌آبادی<sup>۱\*</sup>

۱- دانشکده هنر و معماری، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران، صندوق پستی: ۸۹۱۹۵-۱۵۵

### چکیده

تحلیل مدل‌های مسیر و رگرسیون از جمله تکنیک‌های زیر مجموعه مدل‌سازی معادلات ساختاری به حساب می‌آید که به منظور آزمون همزمان روابط بین متغیرهای پژوهش به کار گرفته می‌شود. هدف این پژوهش بررسی تکمیل با نانوذرات نقره و بوتان تتراکربوکسیلیک اسید بر خواص رنگ‌پذیری بدون حضور اسید، ضدباکتری و تغییر رنگ پارچه‌های پلی‌آمید ۶/۶ با مطالعه نقش میانجی‌گری ویژگی آبدوستی می‌باشد. برای این منظور، غلظت‌های مختلف نانو ذرات نقره و بوتان تتراکربوکسیلیک اسید توسط نرم افزار دیزاین اکسپرت براساس طرح مرکب مرکزی مورد توجه قرار گرفته شده است. خواص ضدباکتری پارچه‌های تکمیل شده با دو نوع باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس آرنوس و گرم منفی اش‌ریشیاکولی مورد ارزیابی قرار گرفته است. خاصیت آبدوستی توسط اندازه‌گیری زمان جذب قطره اندازه‌گیری شده و تاثیر آن به عنوان متغیر میانجی گر بر ویژگی‌های رنگ‌پذیری با بهره‌گیری از رنگینه اسیدی قرمز ۸۱ و تغییرات رنگی حاصله بررسی شده است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که تکنیک تحلیل مدل‌های مسیر و رگرسیون در قالب معادلات ساختاری با کمک نرم‌افزار آموس ۲۶ قادر هستند به بررسی مدل تدوین شده و مطالعه همزمان و دقیق مفروضات پژوهش، کنترل مفروضات اجرای روش‌های زیرمجموعه مدل‌سازی معادله ساختاری، برآورد، برازش و اصلاح مدل و تفسیر مناسب یافته‌ها بپردازند. همچنین، نتایج اثرگذاری غلظت نانوذرات نقره بر خاصیت ضدباکتری در برابر استافیلوکوکوس آرنوس با ضریب تاثیر ۰/۹۶۷ و جذب رطوبت بر میزان تغییر رنگ پارچه‌های پلی‌آمیدی ۶/۶، با ضریب تاثیر ۰/۰۰۶، به ترتیب بیشترین و کمترین اثر را دارا می‌باشد.

### ۱- مقدمه

تحلیل مدل‌های مسیر و رگرسیون به عنوان تکنیک‌های زیر مجموعه مدل‌یابی معادلات ساختاری در موضوعات پژوهشی غیرعلوم انسانی، نکات ضروری گزارش‌دهی علمی را مورد توجه قرار داده و آنها را براساس استفاده از نرم‌افزار آموس ۲۶ استخراج کرده و مورد بحث و بررسی قرار دهد.

پلی‌آمیدها که در اصطلاح با نام نایلون‌ها نام دارند، دارای خواص منحصر بفرد با ارزش افزوده‌های فراوانی هستند. لذا مطالعات و تحقیقات متعددی در خصوص افزایش کارایی و بهره‌مندی از آنها انجام شده است. برخی از این ویژگی‌ها شامل عملیات همزمان سنتر

تحلیل مدل مسیر به عنوان یکی از زیرمجموعه‌های مدل‌سازی معادلات ساختاری از قوی‌ترین روش‌های تجزیه و تحلیل آماری چندمتغیره می‌باشد.

کاربرد اصلی آن در پژوهش‌های چند متغیره‌ای است که محدودیت به کارگیری روش‌های دو متغیره در آن‌ها وجود دارد. تجزیه و تحلیل چندمتغیره به یک سری روش‌های تجزیه و تحلیل اطلاق می‌شود که ویژگی اصلی آنها، تجزیه و تحلیل همزمان چند متغیر مستقل با چند متغیر وابسته است [۱]. این نوشتار در تلاش است که ضمن گسترش بهره‌مندی از

### کلمات کلیدی

نایلون ۶،۶،  
مدل مسیر،  
مدل رگرسیون،  
مدل‌سازی معادله ساختاری، نانو  
ذرات نقره،  
بوتان تتراکربوکسیلیک اسید

\* مسئول مکاتبات، پیام نگار: Davodi@iauyazd.ac.ir و nazari@iauyazd.ac.ir

حین، نانوذرات نقره توانسته است در زمینه‌های متعددی از جمله تولید پارچه‌های رسانا، محافظت در برابر پرتوهای پرنرژی فرابنفش و خواص ضد میکروبی در برابر باکتری‌های متعدد و همچنین ضدقارچ‌ها، جایگاه روبه رشدی را در مقایسه با سایر نانوذرات به خود اختصاص دهد [۲۰]. یکی از محدودیت‌هایی که سبب کاهش تعمیم بهره‌گیری از نانوذرات در صنعت نساجی شده است به موضوع کم بودن ثبات شستشویی نانو ذرات مورد استفاده در کالای نساجی مربوط می‌شود و لذا چندین روش برای غلبه بر این محدودیت مورد بررسی قرار گرفته است. به‌عنوان نمونه می‌توان به سنتز تک مرحله‌ای نانوذرات نقره از نیترات نقره با بهره‌گیری از عصاره‌های برگ درختان کاسیا به‌عنوان یک ماده احیاءکننده روی سطوح پارچه پنبه‌ای و در راستای افزایش پایداری نانوذرات نقره در فرایندهای شستشویی را نام برد. فرایند سنتز نانوذرات نقره در دمای جوش رخ داده و منجر به تورم پارچه می‌شود. بنابراین، ذرات نقره به داخل ساختار پارچه نفوذ کرده و در درون لایه‌های پلیمری الیاف حبس می‌گردد [۲۱]. همچنین تابش‌های مناسب فراصوت نیز برای تکمیل پایدار نانوذرات نقره روی مواد نساجی مورد استفاده قرار گرفته است [۲۲].

یکی از مقوله‌های اساسی رنگرزی پلی‌آمیدهای ۶،۶ با رنگینه‌های اسیدی، بحث یکنواختی و ثبات می‌باشد. پیوندهای فیزیکی نسبتاً ضعیف رنگینه‌های اسیدی روی الیاف سبب ثبات مرطوب و شستشویی ضعیف برای منسوجات پلی‌امیدی رنگرزی شده با رنگینه‌های اسیدی می‌شود [۲۳]. در این پژوهش، تولید پارچه پلی‌آمیدهای ۶،۶ با ویژگی‌های چند عملکردی از قبیل خواص ضدباکتری و رنگ‌پذیری بالا از طریق روش مرسوم رمق‌کشی و با حذف محدودیت‌های ناشی از محیط اسیدی، مورد توجه قرار گرفته است. براساس جستجوهای علمی انجام شده، تاکنون عوامل غلظت‌های بوتان‌تتراکربوکسیلیک اسید، نانوذرات نقره، ضدباکتری، رنگ‌پذیری و آبدوستی روی پارچه‌های پلی‌امیدی ۶،۶ از طریق طراحی و تحلیل معادلات ساختاری به‌عنوان یکی از زیرمجموعه‌های مدل‌یابی معادلات ساختاری جهت بررسی و معنی‌داری اثرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته و به‌همراه مطالعه نقش میانجی‌گری، مورد بررسی و آزمون فرضیات پژوهش قرار نگرفته و مدل تدوین شده‌ای در این راستا ارائه نگردیده است. برای این منظور، ابتدا تکمیل پارچه‌های پلی‌امیدی ۶،۶ با غلظت‌های مختلف بوتان‌تتراکربوکسیلیک اسید و نانو ذرات نقره انجام شده و در ادامه عملیات رنگرزی پارچه‌های مذکور با رنگینه‌های اسیدی قرمز ۸۱ با روش مرسوم رمق‌کشی و بدون حضور اسید، مورد توجه قرار گرفته است. متغیرهای وابسته در این پژوهش شامل کاهش

نانوذرات نقره و رنگرزی [۲]، مطالعه شکل‌شناسی با استفاده از جت تک‌نازلی و دوناالی دوسویه [۳]، مطالعه ایزوترم، کنتیک و ترمودینامیک رنگینه اسیدی مورد استفاده [۴]، ارتباط میان ریزساختار و خواص کششی در حالت گرم [۵]، ارتقاء خواص مکانیکی [۶]، ویژگی‌های زردی و پایداری حرارتی [۷] و توسعه مورفولوژی میکروالیاف از طریق به‌کارگیری نانوذرات [۸] می‌باشند.

در سال‌های اخیر فن‌آوری پلیمر به‌صورت چشمگیری توانسته است برای صنعت نساجی نقش آفرینی نماید و از طریق توسعه دانش پلیمر، خواسته‌های پوششی و زیبابلبنانه انسان امروزی را جوابگویی نماید [۹]. در عملیات‌های رنگرزی و تکمیل کالاهای نساجی همانند تکمیل ضدچروک و ضدآتش، مواد پلیمری به‌عنوان مواد کمکی در کنار سایر مواد نساجی نقش آفرینی می‌کنند. به‌عنوان مواد آهاری شامل پلی‌اکریلیک اسیدها، پلی‌اکریلات‌ها، پلی‌اکریل‌آمیدها و پلی‌وینیل‌الکل‌ها در عملیات آهارزنی نخ‌های تار پارچه‌های تار-پودی به‌کار گرفته می‌شوند [۱۰]. پلیمرهایی همچون پلی‌اورتان‌ها [۱۱]، پلی‌سیلوکسان‌ها [۱۲]، پلی‌فسفات‌ها [۱۳]، پلی‌اورتان/پلی‌آنیلین و پلی‌اتیلن اکساید به‌عنوان مواد کمکی در عملیات تکمیل کالاهای نساجی و به‌منظور ارتقاء کیفیت یا کارایی‌های چند منظوره، مورد استفاده قرار می‌گیرند و هم‌اکنون نیز بهره‌گیری از پلیمرها در نساجی، در حال توسعه می‌باشد [۱۴]. در میان ترکیبات متعدد تحقیق شده، پلی‌کربوکسیلیک اسیدها به‌عنوان مشهورترین مواد شبکه‌ای‌ساز بدون فرم‌آلدهیدی حضور دارند که در صنعت نساجی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. بوتان‌تتراکربوکسیلیک اسید به‌عنوان یکی از مواد شبکه‌ای‌ساز مهم و مشهور در این گروه محسوب می‌شود و در سال‌های اخیر، مورد توجه بوده است [۱۵]. بوتان‌تتراکربوکسیلیک اسید به‌عنوان ماده بدون فرم‌آلدهید در فرایندهای متعدد تکمیلی نظیر ضدچروک توانسته است، جایگاه مطلوبی را کسب نماید [۱۶]. همچنین از این ترکیب به‌همراه سدیم هیپوفسفات به‌عنوان کاتالیزور برای ضدآتش نیز استفاده شده است [۱۷]. مکانیسم پیشنهادی برای نقش آفرینی کاتالیزور مربوطه به ایجاد انیدریدهای حلقوی که حدواسط‌های فعالی برای واکنش و ایجاد شبکه‌ای شدن از طریق اتصال به گروه‌های هیدروکسیل پارچه‌های تحت بررسی می‌باشد، مطرح شده است [۱۸]. عملیات استریفیکاسیون پیشنهاد گردیده که می‌تواند از طریق حرارت دادن یا در حضور کاتالیزور سدیم هیپوفسفات رخ دهد [۱۹].

اخیراً تولید پوشاک پیشرفته و چندعملکردی از طریق به‌کارگیری نانو ذرات در صنعت نساجی، بصورت معنی‌داری مورد توجه تولیدکنندگان پوشاک قرار گرفته است. در این

فرضیه چهارم: متغیر غلظت نانوذرات نقره بر خاصیت جذب رطوبت، تاثیر معنی داری دارد.

فرضیه پنجم: متغیر غلظت نانوذرات نقره بر میزان تغییر رنگ، تاثیر معنی داری دارد.

فرضیه ششم: متغیر غلظت بوتان تتراکربوکسیلیک اسید بر کاهش باکتری گرم مثبت استتافیلیکوکوس آرئوس، تاثیر معنی داری دارد.

فرضیه هفتم: متغیر غلظت بوتان تتراکربوکسیلیک اسید بر کاهش باکتری گرم منفی اشیریشیاکولی، تاثیر معنی داری دارد.

فرضیه هشتم: متغیر غلظت بوتان تتراکربوکسیلیک اسید بر خاصیت رنگ پذیری، تاثیر معنی داری دارد.

فرضیه نهم: متغیر غلظت بوتان تتراکربوکسیلیک اسید بر خاصیت جذب رطوبت، تاثیر معنی داری دارد.

فرضیه دهم: متغیر غلظت بوتان تتراکربوکسیلیک اسید بر میزان تغییر رنگ، تاثیر معنی داری دارد.

فرضیه یازدهم: متغیر جذب رطوبت بر خاصیت رنگ پذیری، تاثیر معنی داری دارد.

فرضیه دوازدهم: متغیر جذب رطوبت بر میزان تغییر رنگ، تاثیر معنی داری دارد.

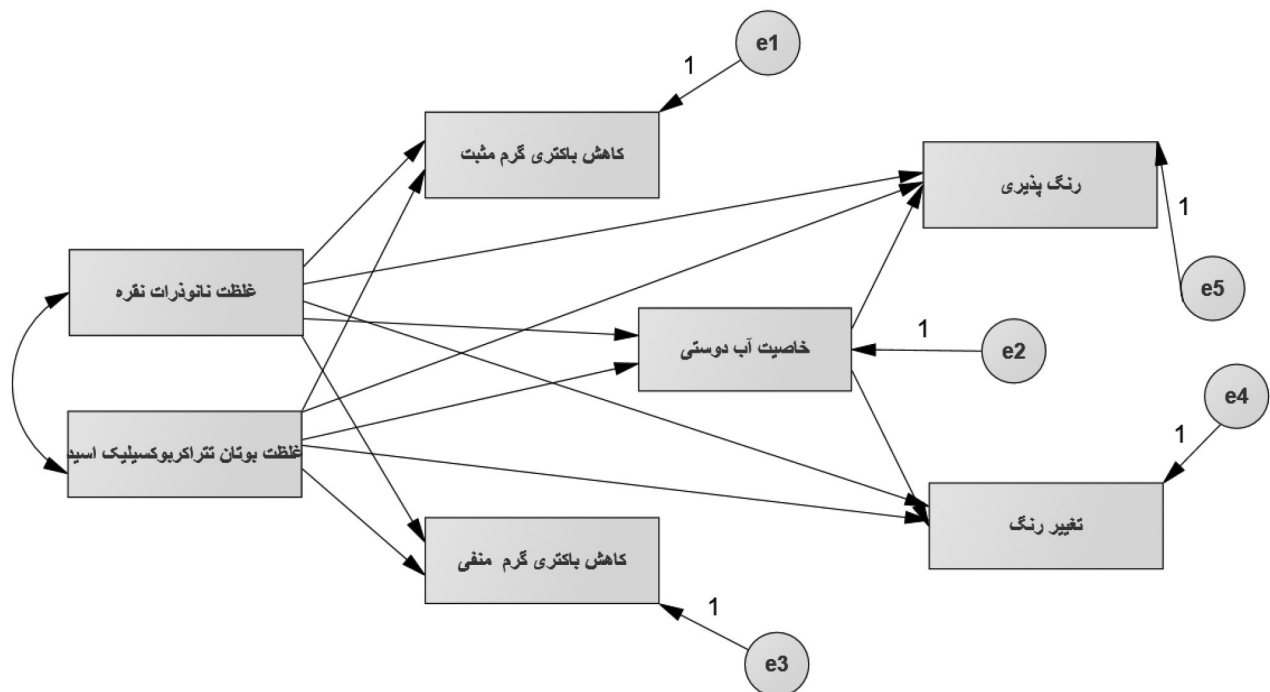
با تامل به پیشینه نظری پژوهش، چنین استنباط گردید که مدل پیشنهادی پژوهش می تواند نشان دهد که غلظت های نانوذرات نقره و بوتان تتراکربوکسیلیک اسید بر متغیرهای وابسته تاثیر گذار هستند. لذا نمایش مدل پیشنهادی مفهومی تدوین شده براساس بهره گیری از معادلات ساختاری

باکتری های گرم مثبت استتافیلیکوکوس آرئوس و گرم منفی اشیریشیاکولی، رنگ پذیری، تغییر رنگ می باشد و اثر خاصیت آبدوستی نیز به عنوان یک متغیر میانجی گر نیز بررسی شده و لذا در مدل مفهومی تدوین شده پژوهشگر، این تاثیرات و برهم کنش ها نشان داده شده است (شکل ۱). به طوری که اندازه گیری متغیرهای وابسته از طریق مدل تدوین شده، مورد توجه می باشد و تلاش شده است که میزان تاثیر و معنی داری هریک از عامل های غلظت نانوذرات نقره و بوتان تتراکربوکسیلیک اسید را که در این پژوهش به متغیرهای مستقل و آشکار اطلاق می شوند، بر متغیرهای وابسته و آشکار شامل کاهش باکتری گرم مثبت استتافیلیکوکوس آرئوس و گرم منفی اشیریشیاکولی، رنگ پذیری، تغییر رنگ و همچنین متغیر میانجی گری آبدوستی، از طریق روابط علی معلولی رگرسیون، مسیر و همبستگی ارائه شده در معادلات ساختاری، مورد بررسی و اندازه گیری قرار گرفته و ارجحیت آنها از لحاظ اثرگذاری در پارچه پلی آمید ۶،۶ ارائه و بحث شود. بنابراین براساس مجموع مبانی نظری و پیشینه پژوهش، فرضیه های پژوهش را می توان به صورت زیر بیان کرد:

فرضیه اول: متغیر غلظت نانوذرات نقره بر کاهش باکتری گرم مثبت استتافیلیکوکوس آرئوس، تاثیر معنی داری دارد.

فرضیه دوم: متغیر غلظت نانوذرات نقره بر کاهش باکتری گرم منفی اشیریشیاکولی، تاثیر معنی داری دارد.

فرضیه سوم: متغیر غلظت نانوذرات نقره بر خاصیت رنگ پذیری، تاثیر معنی داری دارد.



شکل ۱- نمایش مدل پیشنهادی و تدوین شده جهت تولید پارچه های پلی آمید ۶،۶ چند منظوره

از شرکت نانو گروپ، ساخت کشور آلمان خریداری شد. ۴,۳,۲۱- بوتان تتراکربوکسیلیک اسید با خلوص ۹۸٪ و جرم مولکولی ۲۳۴/۱۶ گرم بر مول، سدیم فسفات منوهیدرات با خلوص ۹۹٪ و جرم مولکولی ۱۰۵/۹۹ گرم بر مول، سدیم کربنات با خلوص ۹۹٪ و جرم مولکولی ۱۰۵/۹۹ گرم بر مول، محیط کشت تریپتیک سوی آگار و سدیم کلرید با خلوص ۹۹٪ از شرکت مرک کشور آلمان، تهیه گردید. مواد بدون هیچ گونه خالص سازی دیگری مورد استفاده قرار گرفتند. شوینده غیریونی روکوزن دی‌ای‌ان از شرکت شیمیایی رودولف کشور آلمان نیز مورد استفاده قرار گرفت. محتوای حمام تکمیل با استفاده از حمام فراصوت (۲۰۰ ولت، ۵۰ وات، ۴۰ کیلوهرتز) مهیا گردید. آون حرارتی برای خشک و پخت نمونه‌ها استفاده گردید. جهت اندازه‌گیری اختلاف کلی رنگ نمونه‌های پلی‌آمید ۶,۶ شاهد و عمل شده از دستگاه اسپکتروفتومتر انعکاسی با منبع نوری استاندارد D65 استفاده گردید.

### روش تحقیق و آماده‌سازی نمونه‌ها

مراحل پژوهش مذکور از لحاظ هدف، کاربردی و از لحاظ ماهیت و روش، آزمایشگاهی بوده است و اطلاعات مربوط به نمونه‌ها به شرح زیر فراهم شد. ابتدا پارچه‌های پلی‌آمید ۶,۶ با ابعاد  $10 \times 5 \text{ cm}^2$  سانتیمترمربع در حمامی حاوی  $1/0 \text{ g/L}$  شوینده غیریونی با نسبت مایع به کالای معادل ۴۰:۱ در در دمای  $65^\circ\text{C}$  و طی مدت زمان ۱۵ min شسته شده، سپس آبکشی شده و در دمای  $21 \pm 1^\circ\text{C}$  خشک شد. حمام تکمیل حاوی بوتان تتراکربوکسیلیک اسید، سدیم فسفات منوهیدرات به میزان ۶۰٪ بوتان تتراکربوکسیلیک اسید به‌عنوان کاتالیزور، نانو ذرات نقره براساس حجم حمام و مقدار مورد نیاز از آب مقطر برای مدت زمان ۱۰ min (جدول ۲) آماده گردید. پارچه‌های پلی‌آمید ۶,۶ شسته شده در محلول دیسپرس شده حمام تکمیل در دمای  $80^\circ\text{C}$  و طی مدت زمان ۳۰ min آغشته شدند.

سپس پارچه‌های آغشته شده، در دمای  $80^\circ\text{C}$  و طی مدت زمان ۳ min خشک و در دمای  $170^\circ\text{C}$  و طی مدت زمان ۳ min پخت شدند. در انتها، نمونه‌های تکمیل شده در دمای  $60^\circ\text{C}$  و طی مدت زمان ۲۰ min با استفاده از  $1/0 \text{ g/L}$  شوینده غیریونی و  $1/0 \text{ g/L}$  کربنات سدیم شسته و در دمای  $21 \pm 1^\circ\text{C}$  خشک شد.

عملیات رنگ‌رزی پارچه‌های شاهد و پلی‌آمید ۶,۶ تکمیل شده با رنگینه اسیدی قرمز ۸۱ با غلظت ۱/۰٪ براساس وزن پارچه انجام شد. نمونه‌های پلی‌آمید ۶,۶ در دمای  $40^\circ\text{C}$  به حمام اضافه شدند، بعد از ۵ min، رنگینه اضافه شد و دما طی مدت زمان ۲۰ min به  $80^\circ\text{C}$  و برای مدت زمان ۴۵ دقیقه در  $\text{pH}=7$  و با نسبت مایع به کالای معادل ۴۵:۱،

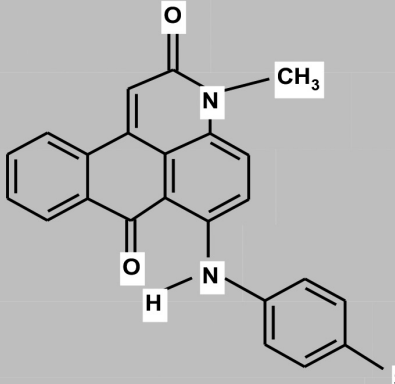
به‌عنوان یکی از زیر مجموعه‌های مدل‌یابی معادلات ساختاری، طبق شکل ۱ طراحی و پیشنهاد گردید. البته مدل ارائه شده بایستی با نرم‌افزار آموس مورد بررسی قرار گیرد تا مشخص شود که آیا ساختار پیش‌ساخته (شکل ۱) به چه اندازه با واقعیت انطباق دارد و به‌عبارتی، در شرایط واقعی توسط داده‌ها حمایت می‌شود و یا خیر [۱۱]. بنابراین سئوال اصلی پژوهش این خواهد بود که آیا مدلی که براساس فرضیه‌ها و روابط بین متغیرها پیشنهاد گردیده، بر داده‌های حاصل از نتایج‌های کسب شده در مورد پارچه‌های پلی‌آمیدی ۶,۶ مورد مطالعه، منطبق است؛ به بیان دیگر، آیا معادلات ساختاری پیشنهادی توسط اطلاعات مستخرج از پارچه‌های پلی‌آمیدی ۶,۶ تکمیل شده با نانو ذرات نقره و بوتان تتراکربوکسیلیک اسید، حمایت می‌شود؟

### تجربیات

#### مواد

پارچه‌های پلی‌آمید ۶,۶ با بافت حلقوی، نمره نخ ۷۰ دنیر و وزن ۸۵ گرم بر مترمربع استفاده شد. رنگینه اسیدی قرمز ۸۱ از شرکت سیگما آلدریج تهیه شد. اطلاعات در خصوص رنگینه اسیدی ۸۱ در جدول ۱ آورده شده است. محلول کلونییدی نانو ذرات نقره با متوسط اندازه ۶۰ نانومتر

جدول ۱ - اطلاعات ساختار شیمیایی رنگینه قرمز اسیدی شماره ۸۱

نام	رنگینه قرمز اسیدی ۸۱
ساختار شیمیایی:	
ساختار مولکولی:	آنتراکینون
فرمول مولکولی:	$\text{C}_{23}\text{H}_{15}\text{N}_2\text{NaO}_5\text{S}$
وزن مولکولی:	454.43 g/mol
شماره CAS:	6846-33-9

جدول ۲- طرح مرکب مرکزی برای مقادیر رمق کشی رنگینه اسیدی قرمز ۸۱، تغییر رنگ، کاهش باکتری‌های گرم مثبت استافیلوکوکوس آرتوس و گرم منفی اشیریشیاکولی و زمان جذب قطره نمونه‌های پلی‌آمید ۶۶ تکمیل شده با نانو ذرات نقره و بوتان تتراکربوکسیلیک اسید

شماره آزمایش	متغیرهای نانو ذرات نقره (ppm)	مستقل بوتان تترا کربوکسیلیک اسید (%)	متغیرهای رمق کشی (%)	وابسته تغییر رنگ (ΔE)	کاهش باکتری استافیلوکوکوس آرتوس (%)	کاهش باکتری اشیریشیاکولی (%)	زمان جذب قطره (ثانیه)
شاهد	۰/۰۰	۰/۰۰	۶۸/۱۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۹/۲
شاهد ۱	۳۰/۰۰	۰/۰۰	۷۳/۱۱	۱/۶۹	۷۶/۲۳	۷۵/۱۲	۱۲/۳۶
شاهد ۲	۰/۰۰	۶/۰۰	۶۰/۶۸	۰/۱۱	۶۲/۱۲	۶۰/۵۶	۴/۰
۱	۳۵/۰۰	۵/۲۵	۸۹/۱۴	۰/۹۵	۹۰/۱۱	۸۹/۱۵	۷/۶
۲	۱۰/۰۰	۳/۰۰	۸۷/۱۱	۰/۵۷	۸۱/۳۷	۷۵/۴۷	۷/۶
۳	۱۰/۰۰	۹/۰۰	۸۸/۳۲	۰/۲۰	۸۴/۱۵	۹۳/۱۵	۶/۹
۴	۱۰/۰۰	۶/۰۰	۸۸/۶۱	۰/۲۶	۸۳/۱۱	۹۴/۱۱	۷/۳
۵	۵۰/۰۰	۴/۵۹	۹۰/۰۹	۱/۵۰	۹۹/۴۵	۹۷/۵۹	۴/۱
۶	۲۳/۱۳	۳/۷۵	۸۷/۱۱	۰/۷۲	۸۵/۱۸	۹۲/۱۵	۶/۱
۷	۱۰/۰۰	۹/۰۰	۸۸/۳۴	۰/۱۵	۸۴/۱۷	۹۳/۱۱	۶/۸
۸	۳۶/۵۵	۳/۰۰	۸۹/۰۷	۱/۲۱	۹۲/۱۴	۸۸/۳۶	۴/۸
۹	۵۰/۰۰	۹/۰۰	۹۲/۱۳	۱/۲۲	۹۹/۳۴	۹۷/۳۶	۴/۴
۱۰	۳۶/۵۵	۳/۰۰	۸۹/۰۹	۱/۲۱	۹۲/۱۸	۸۸/۳۶	۴/۸
۱۱	۵۰/۰۰	۴/۵۹	۹۰/۱۱	۱/۵۱	۹۹/۴۸	۹۷/۵۶	۴/۲
۱۲	۲۶/۹۶	۶/۳۴	۸۹/۷۶	۰/۴۲	۸۶/۱۹	۹۱/۱۴	۵/۷
۱۳	۴۱/۴۹	۶/۷۵	۹۳/۵۷	۱/۱۲	۹۵/۱۴	۸۷/۱۵	۴/۶
۱۴	۳۰/۰۰	۹/۰۰	۸۹/۵۴	۰/۲۷	۸۹/۱۴	۹۰/۸۱	۷/۴
۱۵	۱۰/۰۰	۳/۰۰	۸۷/۱۳	۰/۵۷	۸۱/۳۴	۷۵/۴۴	۷/۵
۱۶	۵۰/۰۰	۹/۰۰	۹۲/۱۱	۱/۲۲	۹۹/۳۱	۹۷/۳۲	۴/۵

عملیات رنگ‌رزی به انتها رسید. نمونه‌های رنگ‌رزی شده، شسته و در دمای  $21 \pm 1^\circ\text{C}$  خشک شدند. تاثیر تکمیل بوتان تتراکربوکسیلیک اسید و نانو ذرات نقره روی درصد رمق کشی حمام رنگینه توسط رابطه (۱) محاسبه شد.

$$\Delta E = \left[ (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2 \right]^{0.5} \quad (2)$$

در اینجا  $\Delta E$ ، به معنی اختلاف رنگ،  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  به ترتیب مقادیر روشنایی، سبزی-قرمزی و آبی-زردی می‌باشند که توسط سیستم مقایسه‌ای رنگی کامپیوتری محاسبه شده‌اند. خاصیت آبدوستی نمونه‌ها از طریق زمان جذب قطره آب نمونه‌های شاهد و تکمیل شده با استفاده از روش آزمون استاندارد AATCC 79-2000 اندازه‌گیری گردید. پارچه‌های شاهد و تکمیل شده روی سطح افقی و بصورت محکم قرار گرفتند. بورت حاوی آب مقطر در شرایط استاندارد و با فاصله ۶mm از سطح پارچه و منبع نوری با زاویه  $45^\circ$  و زاویه مشاهده کننده نیز با زاویه  $45^\circ$  مخالف نسبت به منبع نوری قرار

$$\% E = \frac{C_0 - C_f}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

مقادیر  $C_0$  و  $C_f$  به ترتیب غلظت رنگینه، قبل و بعد از حمام رنگ‌رزی براساس جذب طول موج ماکزیمم برای رنگینه اسیدی در آب ( $\lambda_{\max} = 508\text{nm}$ ) می‌باشد. تغییرات رنگی در این پژوهش به معنی اختلاف رنگی کلی بین نمونه‌های شاهد و تکمیل شده با نانو ذرات نقره و بوتان تتراکربوکسیلیک اسید می‌باشد. این اندازه‌گیری، قبل از عملیات رنگ‌رزی و با استفاده از

گرفتند. زمانی که هیچ قطره‌ای روی سطح پلی‌آمید ۶،۶ مشاهده نگردید، زمان سنج متوقف و یادداشت می‌شد. خواص ضدباکتری پارچه‌های تکمیل شده با دو نوع باکتری بیماری‌زا گرم مثبت استافیلوکوکوس آرنوس و گرم منفی اشریشیاکولی با استفاده از روش آزمون استاندارد AATCC ۱۰۰-۲۰۰۴ مورد ارزیابی قرار گرفت. تعداد کلونی‌های قابل مشاهده روی پتری‌دیش، قبل و بعد از تکمیل با غلظت‌های مختلف نانو ذرات نقره و بوتان تتراکربوکسیلیک اسید، شمارش شدند. نتایج کاهش باکتری براساس درصد و بهره‌گیری از رابطه (۳) اندازه‌گیری شد.

گرفتند. زمانی که هیچ قطره‌ای روی سطح پلی‌آمید ۶،۶ مشاهده نگردید، زمان سنج متوقف و یادداشت می‌شد. خواص ضدباکتری پارچه‌های تکمیل شده با دو نوع باکتری بیماری‌زا گرم مثبت استافیلوکوکوس آرنوس و گرم منفی اشریشیاکولی با استفاده از روش آزمون استاندارد AATCC ۱۰۰-۲۰۰۴ مورد ارزیابی قرار گرفت. تعداد کلونی‌های قابل مشاهده روی پتری‌دیش، قبل و بعد از تکمیل با غلظت‌های مختلف نانو ذرات نقره و بوتان تتراکربوکسیلیک اسید، شمارش شدند. نتایج کاهش باکتری براساس درصد و بهره‌گیری از رابطه (۳) اندازه‌گیری شد.

### آمار توصیفی متغیرهای آشکار پژوهش

شاخص‌های توصیفی متغیرهای آشکار پژوهش شامل غلظت نانو ذرات نقره، غلظت بوتان تتراکربوکسیلیک اسید به عنوان دو متغیر مستقل و مقادیر تغییر رنگ، کاهش باکتری استافیلوکوکوس آرنوس، کاهش باکتری اشریشیاکولی، و رمق‌کشی به‌عنوان متغیرهای وابسته و متغیر زمان جذب قطره آب به‌عنوان متغیر میانجی‌گر، با استفاده از نرم‌افزار SPSS 25 اندازه‌گیری شدند که در جدول ۳ آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود مقادیر ضدباکتری در برابر اشریشیاکولی دارای بیشترین و مقادیر غلظت بوتان تتراکربوکسیلیک اسید دارای کمترین مقدار میانگین می‌باشند.

$$R \% = \left( \frac{A_1 - A_2}{A_2} \right) \times 100 \quad (3)$$

در اینجا،  $A_1$  و  $A_2$ ، تعداد کلونی‌های باکتری‌های شمارش شده از نمونه‌های پلی‌آمید ۶،۶ شاهد و تکمیل شده بعد از ۲۴ h عملیات انکوباسیون در دمای  $37^{\circ}\text{C}$  و رطوبت نسبی ۶۵٪ و R، درصد کاهش کلونی‌های باکتری می‌باشد.

برای طراحی آزمایشات از روش طرح مرکب مرکزی با در نظر گرفتن غلظت بوتان تتراکربوکسیلیک اسید (۹/۰۰ - ۳/۰۰) و نانو ذرات نقره (۵۰/۰۰ - ۱۰/۰۰ ppm) استفاده گردید. جزئیات طرح مرکب مرکزی برای مقادیر متغیرهای مستقل شامل مقادیر غلظت‌های مختلف بوتان تتراکربوکسیلیک اسید و نانو ذرات نقره در جدول ۲ (آزمایش‌های ۱ تا ۱۶) آورده شده است. برای این منظور از نرم افزار دیزاین اکسپرت ورژن ۸ ساخت استات-ايس کشور آمریکا، استفاده گردید.

### بررسی نرمال بودن

یکی از روش‌های برآورد، روش بیشینه درست‌نمایی است؛ که روش پیش فرض در اکثر تحلیل مدل‌های معادلات ساختاری است و ضمن اینکه مطالعات متعددی در ادبیات وجود دارد که استفاده از این روش را گزارش کرده‌اند. این روش نیاز به برقراری پیش فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها دارد که در اجرا به‌صورت یک متغیره و می‌تواند از طریق بررسی مقادیر چولگی متغیرها بررسی شوند. چنانچه مقادیر ضریب چولگی کوچک‌تر از ۲- و بزرگ‌تر از ۲+ باشد، نرمال بودن رد می‌شود [۱]. نتایج حاصل از مقادیر چولگی، کشیدگی، خطای استاندارد چولگی و کشیدگی متغیرهای

### بحث و نتایج

در بخش بحث و نتایج، اطلاعات آمار توصیفی متغیرهای آشکار پژوهش، بررسی نرمال بودن، آزمون فرضیات از طریق برآورد مدل ساختاری، تحلیل متغیر میانجی‌گر آب‌دوستی،

جدول ۳- شاخص‌های توصیفی در خصوص غلظت‌های نانو ذرات نقره، بوتان تتراکربوکسیلیک اسید، تغییر رنگ، کاهش باکتری‌های استافیلوکوکوس آرنوس و اشریشیاکولی، زمان جذب قطره آب و رمق‌کشی (n=۱۶)

شماره	مقوله	میانگین	انحراف معیار	مد	میانه	چولگی	کشیدگی	کمینه	بیشینه
۱	نانو ذرات نقره	۲۹/۹۸	۱۶/۱۲۳	۱۰/۰۰	۳۲/۵۰	-۰/۱۰۸	-۱/۵۵۱	۱۰/۰۰	۵۰/۰۰
۲	بوتان تتراکربوکسیلیک اسید	۵/۸۹	۲/۴۶۴	۹/۰۰	۵/۶۲	۰/۲۰۲	-۱/۶۱۸	۳/۰۰	۹/۰۰
۳	رمق‌کشی	۸۹/۴۵	۱/۸۶۴	۸۷/۱۱	۸۹/۱۱	۰/۷۸۴	۰/۲۷۴	۸۷/۱۱	۹۳/۵۷
۴	تغییر رنگ	۸/۸۲	۵/۰۶۱	۲/۱۱	۸/۹۵	-۰/۰۰۷	-۱/۵۷۰	۲/۱۱	۱۶/۱۸
۵	کاهش باکتری استافیلوکوکوس آرنوس	۹۰/۱۱	۶/۷۹۳	۸۱/۳۴	۸۹/۶۲	۰/۲۵۶	-۱/۴۶۹	۸۱/۳۴	۹۹/۴۸
۶	کاهش باکتری اشریشیاکولی	۹۰/۵۱	۶/۸۲۵	۷۵/۴۴	۹۱/۶۴	-۱/۳۰۸	۱/۴۵۹	۷۵/۴۴	۹۷/۵۹
۷	زمان جذب قطره آب	۵/۸۹	۱/۳۸۸	۴/۸۰	۵/۹۰	۰/۰۱۷	-۱/۸۹۹	۴/۱۰	۷/۶۰

جدول ۴- مقادیر چولگی و کشیدگی متغیرهای پژوهش (n=۱۶)

نرخ بحرانی	کشیدگی	نرخ بحرانی	چولگی	حداکثر	حداقل	گویه
-۱/۲۳۱	-۱/۵۰۸	۰/۲۹۸	۰/۱۸۲	۹/۰۰	۳/۰۰	۱ نانو ذرات نقره
-۱/۱۹۲	-۱/۴۶۰	-۰/۱۵۹	-۰/۰۹۷	۵۰/۰۰	۱۰/۰۰	۲ بوتان تتراکربوکسیلیک اسید
-۰/۱۲۸	-۰/۱۵۷	۱/۱۵۸	۰/۷۰۹	۹۳/۵۷	۸۷/۱۱	۳ رمق کشی
-۱/۲۰۳	-۱/۴۷۴	-۰/۰۱۰	-۰/۰۰۶	۱۶/۱۸	۲/۱۱	۴ تغییر رنگ
-۱/۱۴۴	-۱/۴۰۱	۰/۳۷۸	۰/۲۳۲	۹۹/۴۸	۸۱/۳۴	۵ کاهش باکتری استافیلوکوکوس آرتوس
۰/۵۶۲	۰/۶۸۹	-۱/۹۳۱	-۱/۱۸۲	۹۷/۵۹	۷۵/۴۴	۶ کاهش باکتری اشیریشیاکولی
-۱/۳۹۵	-۱/۷۰۹	۰/۰۲۵	۰/۰۱۵	۷/۶۰	۴/۱۰	۷ زمان جذب قطره آب

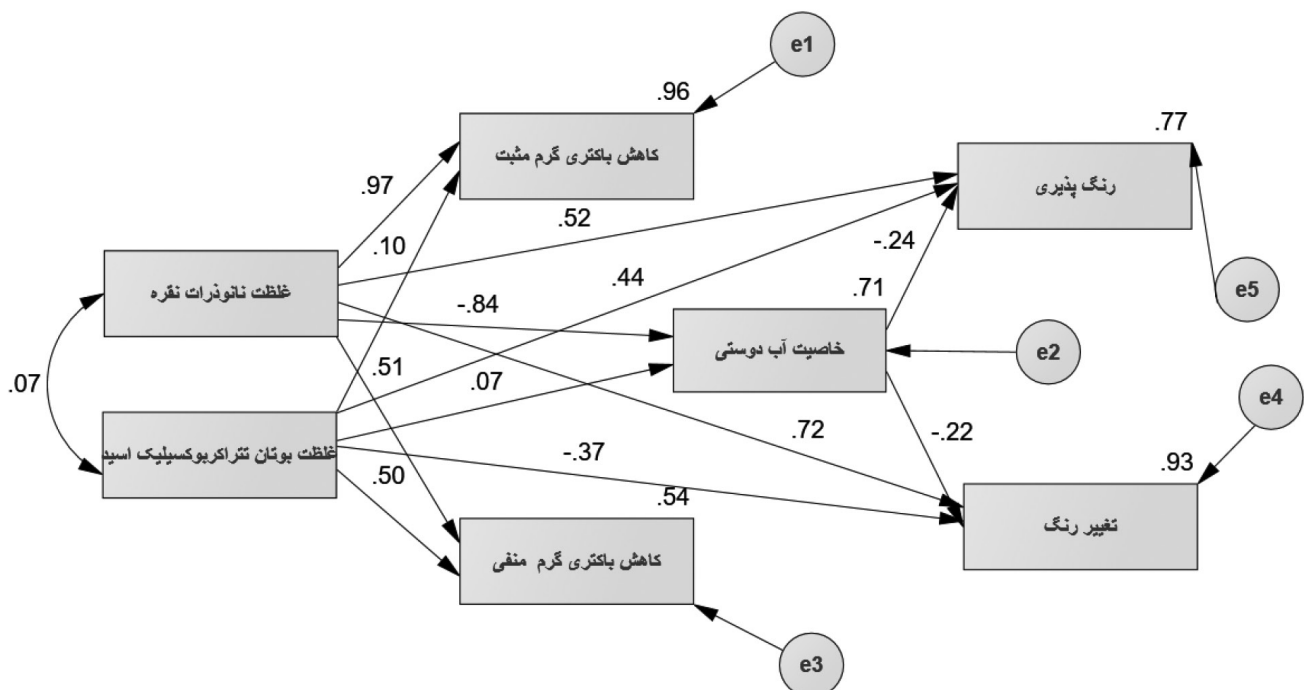
پژوهش در جدول ۴ نشان داده شده است. براساس نتایج حاصل از بررسی نرمال بودن متغیرهای پژوهش نشان می‌دهد که مقادیر چولگی متغیرهای مورد بررسی در دامنه ۲- تا ۲+ قرار گرفته‌اند و لذا نرمال بودن کلیه متغیرهای پژوهش تایید می‌شود.

استافیلوکوکوس آرتوس و گرم منفی اشیریشیاکولی می‌باشد. این تاثیرگذاری هم از طریق ضرایب استاندارد و هم از طریق بررسی مقادیر ضرایب غیراستاندارد، اندازه‌گیری شده است. اما از آن جا که نیاز است این ضرایب با یکدیگر مقایسه شوند تا مشخص شد که اولویت اثرگذاری چگونه است و بیشترین اثر و کمترین اثر مربوط به کدام یک از متغیرها و رابطه می‌باشد، لذا از نتایج ضرایب استاندارد استفاده می‌شود. همچنین در مدل تدوین شده توسط پژوهشگر، اثرات مستقیم و غیرمستقیم وجود دارند. به عنوان نمونه متغیر غلظت نانو ذرات نقره هم بصورت مستقیم و هم بصورت غیرمستقیم بر متغیر رنگ پذیری اثرگذار می‌باشد و لذا نیاز است که اثر کل و مقایسه بین اثرات مستقیم و غیرمستقیم نیز تحلیل شود.

پژوهش در جدول ۴ نشان داده شده است. براساس نتایج حاصل از بررسی نرمال بودن متغیرهای پژوهش نشان می‌دهد که مقادیر چولگی متغیرهای مورد بررسی در دامنه ۲- تا ۲+ قرار گرفته‌اند و لذا نرمال بودن کلیه متغیرهای پژوهش تایید می‌شود.

#### آزمون فرضیات از طریق ارزیابی معادلات ساختاری

همانطوری که در معادلات ساختاری ارائه شده در شکل ۲ مشاهده می‌شود، ضرایب کسب شده در وضعیت استاندارد برای مدل نظری تدوین شده توسط پژوهشگر نشان از تاثیرگذاری غلظت نانو ذرات نقره و بوتان تتراکربوکسیلیک اسید بر متغیرهای میانجی گر زمان جذب قطره و وابسته تغییر رنگ، رنگ پذیری، کاهش باکتری‌های گرم مثبت



شکل ۲- اجرای مدل نظری تدوین شده شامل غلظت نانو ذرات نقره و بوتان تتراکربوکسیلیک اسید بر متغیرهای وابسته جذب رطوبت، تغییر رنگ، رنگ پذیری، کاهش باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس آرتوس و گرم منفی اشیریشیاکولی

معنی داری دارد و از ضریب تاثیر  $0/844$  - می توان دریافت که متغیر غلظت نانوذرات نقره، اثر معکوس و معنی داری (سطح اطمینان  $0/99$ ) بر خاصیت جذب رطوبت دارد ( $\beta = -0/844, P < 0/01$ ).

**فرضیه پنجم: متغیر غلظت نانوذرات نقره بر میزان تغییر رنگ، تاثیر معنی داری دارد.**

ویژگی تغییر رنگ نیز از جمله فاکتورهای اساسی می باشد که بر اثر استفاده از مواد تکمیلی می تواند رخ دهد. در این پژوهش نیز معنی داری متغیر مستقل نانو ذرات نقره بر تغییر رنگ پارچه های پلی آمید  $6,6$  مورد بررسی قرار گرفت. تغییر رنگ ایجاد شده توسط نانو ذرات نقره، محسوس و مستقیم بوده است. به طوری که ضریب تاثیر غلظت نانو ذرات نقره بر ویژگی تغییر رنگ پارچه های پلی آمیدی برابر با  $0/725$  و همچنین مقدار  $P$  نیز کمتر از  $0/01$  می باشد و همچنین مقدار نسبت بحرانی برابر با  $5/097$  نیز این معنی داری را در سطح اطمینان  $0/99$  تایید می کند.

**فرضیه ششم: متغیر غلظت بوتان تتراکربوکسیلیک اسید بر کاهش باکتری گرم مثبت استتافیلیکوکوس آرتوس، تاثیر معنی داری دارد.**

همان گونه که در مدل نظری تدوین شده توسط پژوهشگر (شکل ۱) ملاحظه می شود؛ به راحتی می توان برهم کنش و روابط میان متغیرها را از طریق برآورد مدل، مورد بررسی قرار داد. بطوری که تحلیل مسیر به عنوان مدل یابی علی شناخته می شود که به آزمودن شبکه ای از روابط میان متغیرهای اندازه گیری شده، توجه دارد. نتایج بررسی در این پژوهش نشان می دهد که متغیر غلظت بوتان تتراکربوکسیلیک اسید در سطح اطمینان  $0/95$ ، اثر معنی داری بر ویژگی کاهش باکتری گرم مثبت استتافیلیکوکوس آرتوس داشته است ( $\beta = 0/105, P < 0/05$ ). همچنین نسبت بحرانی برابر با  $2/049$  می باشد و این مقدار بیشتر از  $1/96$  باشد و معنی دار بودن اثرگذاری غلظت بوتان تتراکربوکسیلیک اسید بر ویژگی کاهش باکتری گرم مثبت استتافیلیکوکوس آرتوس، تایید می شود.

**فرضیه هفتم: متغیر غلظت بوتان تتراکربوکسیلیک اسید بر کاهش باکتری گرم منفی اشیریشیاکولی، تاثیر معنی داری دارد.**

معنی داری اثر غلظت بوتان تتراکربوکسیلیک اسید بر کاهش باکتری گرم منفی اشیریشیاکولی، بررسی گردید. مجموعه ای از روابط وابستگی میان دو متغیر مستقل و چهار متغیر وابسته و همچنین یک متغیری که هم نقش متغیر مستقل و هم نقش متغیر وابسته دارد، در شکل ۱ نشان

**فرضیه اول: متغیر غلظت نانوذرات نقره بر کاهش باکتری گرم مثبت استتافیلیکوکوس آرتوس، تاثیر معنی داری دارد.**

غلظت نانو ذرات نقره از جمله عوامل اثرگذار مورد بررسی در این پژوهش می باشند. بطوریکه متغیر مذکور توانسته است که اثر معنی داری بر کاهش باکتری گرم مثبت استتافیلیکوکوس آرتوس داشته باشد ( $\beta = 0/967, P < 0/01$ ). نسبت بحرانی مستخرج از نتایج حاصل از آموست نیز برابر با  $18/91$  می باشد. چنانچه مقدار مذکور بیشتر از  $1/96$  باشد، آنگاه فرضیه مرتبط با آن از لحاظ آماری، معنی دار می باشد. بنابراین با ملاحظه مقدار نسبت بحرانی نیز دریافت می شود که فرضیه معنی داری غلظت نانو ذرات نقره بر کاهش باکتری استتافیلیکوکوس آرتوس تایید گردیده و از لحاظ آماری در سطح اطمینان  $0/99$ ، معنی دار می باشد.

**فرضیه دوم: متغیر غلظت نانوذرات نقره بر کاهش باکتری گرم منفی اشیریشیاکولی، تاثیر معنی داری دارد.** متغیر غلظت نانو ذرات نقره، به عنوان یک فاکتور اثرگذار توانسته است که اثر معنی داری بر کاهش باکتری گرم منفی اشیریشیاکولی داشته باشد ( $\beta = 0/505, P < 0/01$ ). از آنجایی که نسبت بحرانی حاصل شده از آموست نیز برابر با  $2/890$  می باشد و این مقدار بیشتر از  $1/96$  باشد، آنگاه فرضیه اثرگذاری معنی دار بودن غلظت نانوذرات نقره بر کاهش باکتری گرم منفی اشیریشیاکولی در سطح اطمینان  $0/99$ ، تایید می گردد.

**فرضیه سوم: متغیر غلظت نانوذرات نقره بر خاصیت رنگ پذیری، تاثیر معنی داری دارد.**

ویژگی رنگ پذیری پارچه های پلی آمید  $6,6$  از غلظت نانو ذرات نقره نیز تاثیر می پذیرد. با استفاده از تحلیل انجام شده، ضریب مسیر ( $\beta$ ) برابر  $0/525$  و مقدار  $P$  کمتر از  $0/05$  می باشد. بنابراین غلظت نانوذرات نقره در سطح معنی دار  $0/95$ ، اثر معنی داری بر خاصیت رنگ پذیری دارد. همچنین نسبت بحرانی برابر با  $2/305$  دلالت بر معنی دار بودن اثرگذاری غلظت نانوذرات نقره بر ویژگی رنگ پذیری دارد.

**فرضیه چهارم: متغیر غلظت نانوذرات نقره بر خاصیت جذب رطوبت، تاثیر معنی داری دارد.**

متغیر نانو ذرات نقره در دامنه مورد بررسی پژوهش نیز توانسته اند که اثر معنی داری بر ویژگی جذب رطوبت داشته باشند.

با توجه به نتایج مقدار بتا استاندارد مستخرج از نرم افزار آموست، دریافت شد که با توجه به مقدار  $P = 0/01$ ، متغیر غلظت نانوذرات نقره بر خاصیت جذب قطره آب، اثر



اسید، اثر معنی‌داری بر مقادیر آبدوستی و آب‌گریزی ایجاد نکرده و لذا تغییرات حاصله، قابل چشم‌پوشی است.

**فرضیه دهم: متغیر غلظت بوتان تتراکربوکسیلیک اسید بر تغییر رنگ، تاثیر معنی‌داری دارد.**

از آنجایی که ممکن است بر اثر استفاده از مواد تکمیلی در فرایندهای مرطوب نساجی، تغییر رنگ حاصل شود، لذا نیاز است که با استفاده از اسپکتروفوتومتری انعکاسی، بررسی‌های لازم در این خصوص صورت پذیرد. لذا بررسی معنی‌داری اثر متغیر مستقل بوتان تتراکربوکسیلیک اسید بر تغییر رنگ پارچه‌های پلی‌آمید ۶،۶ مورد توجه قرار گرفت. با استفاده از تحلیل انجام شده، نسبت بحرانی برابر با  $5/493$  می‌باشد و ضریب مسیر ( $\beta$ ) برابر  $0/367$  و مقدار  $P$  کمتر از  $0/01$  می‌باشد. بنابراین غلظت بوتان تتراکربوکسیلیک اسید در سطح معنی‌دار  $99\%$ ، اثر معنی‌داری و معکوسی بر ویژگی تغییر رنگ دارد. به عبارتی ملاحظه می‌شود زمانی که غلظت بوتان تتراکربوکسیلیک اسید به میزان ۱ واحد تغییر می‌کند، ویژگی تغییر رنگ به میزان  $0/367$  کمتر می‌شود.

**فرضیه یازدهم: متغیر جذب رطوبت بر خاصیت رنگ‌پذیری، تاثیر معنی‌داری دارد.**

متغیرهای مستقل در پژوهش همانند غلظت نانو ذرات نقره و بوتان تتراکربوکسیلیک اسید، نقش خود را در پژوهش تغییر نمی‌دهند. اما گاهی متغیرهای وابسته در پژوهش، نقش متغیر مستقل را ایفاء می‌کنند. در این پژوهش ویژگی آبدوستی، هم نقش متغیر وابسته و هم نقش متغیر مستقل را بر عهده دارند. علت اینکه در مدل تدوین شده نیز چنین نقشی را بر عهده گرفته است بر مبنای پیشنهاد نظری این موضوع است که خاصیت جذب رطوبت می‌تواند رنگ‌پذیری را تغییر دهد [۲۴]. بررسی نتایج اثرگذاری در این پژوهش نشان می‌دهد که متغیر خاصیت آبدوستی به عنوان علت بر خاصیت رنگ‌پذیری در جایگاه معلول، نشان از عدم تاثیر گذاری معنی‌دار با مقدار نسبت بحرانی برابر با  $1/078$  و  $P$  برابر با  $0/281$  دارد ( $\beta = 0/245$ ). به عبارتی تغییراتی که در مقادیر جذب قطره آب پارچه‌های نایلونی ۶،۶ به واسطه تکمیل با نانو ذرات نقره و بوتان تتراکربوکسیلیک اسید حاصل شده است، نتوانسته است تاثیر معنی‌داری بر میزان مقادیر رمق‌کشی رنگینه اسیدی قرمز ۸۱ بگذارد.

**فرضیه دوازدهم: متغیر جذب رطوبت بر میزان تغییر رنگ، تاثیر معنی‌داری دارد.**

مدل‌های مسیر از اهمیت بیشتری نسبت به مدل‌های رگرسیونی برخوردارند. به‌خصوص در مباحث فنی که مسائل

داده شده است. تبیین روابط علی بین متغیرها، علاوه بر اثبات وجود رابطه بین آنها، نیاز به پشتیبانی نظری علت و همچنین اطمینان از کنترل تاثیر سایر متغیرها بر آن روابط دارد. نتایج بررسی نشان می‌دهد که معلول خاصیت کاهش باکتری گرم منفی اشیریشیاکولی با مقدار نسبت بحرانی برابر با  $2/874$ ، به صورت معنی‌داری از علت متغیر غلظت بوتان تتراکربوکسیلیک اسید، متاثر گردیده است ( $P < 0/01$ ). همچنین با ملاحظه و مقایسه ضرایب تاثیر در وضعیت استاندارد، ملاحظه می‌شود که میزان اثرگذاری متغیر بوتان تتراکربوکسیلیک اسید بر کاهش باکتری گرم منفی اشیریشیاکولی نسبت به باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس آرتوس، بیشتر می‌باشد. علت این امر می‌تواند به ساختار سلولی دوباکتری مذکور و میزان مقاومت آن‌ها در برابر گروه‌های واکنش‌پذیر کربوکسیلیک اسید ترکیب بوتان تتراکربوکسیلیک اسید مربوط باشد.

**فرضیه هشتم: متغیر غلظت بوتان تتراکربوکسیلیک اسید بر خاصیت رنگ‌پذیری، تاثیر معنی‌داری دارد.**

یکی از مفروضات مباحث تحلیل مسیر این است که روابط علی می‌بایست بصورت خطی، فرض شوند. اگرچه امروزه برخی از پژوهشگران به استفاده از الگوسازی برای روابط غیرخطی بین متغیرها تاکید دارند، اما اغلب به دلیل پیچیدگی تخمین‌های آماری، مورد توجه و استفاده اکثریت مطالعه‌کنندگان و بهره‌وران قرار نمی‌گیرد. نتایج اثرگذاری علت متغیر بوتان تتراکربوکسیلیک اسید بر معلول خاصیت رنگ‌پذیری، نشان از تاثیر گذاری مستقیم و معنی‌دار رابطه مذکور در سطح اطمینان  $99\%$  و با مقدار نسبت بحرانی برابر با  $3/527$ ، حکایت دارد ( $\beta = 0/437$ ،  $P < 0/01$ ). همچنین با مقایسه ضرایب تاثیر در وضعیت استاندارد، ملاحظه می‌شود که میزان اثرگذاری متغیر بوتان تتراکربوکسیلیک اسید بر خاصیت رنگ‌پذیری نسبت به عامل غلظت نانو ذرات نقره با ضریب تاثیر معنی‌دار و مستقیم  $0/525$ ، کمتر می‌باشد.

**فرضیه نهم: متغیر غلظت بوتان تتراکربوکسیلیک اسید بر خاصیت جذب رطوبت، تاثیر معنی‌داری دارد.**

ویژگی آبدوستی پارچه‌های پلی‌آمید ۶،۶، اثر معنی‌داری از متغیر مستقل غلظت بوتان تتراکربوکسیلیک اسید نمی‌پذیرد. با استفاده از تحلیل انجام شده، ضریب مسیر ( $\beta$ ) برابر  $0/069$  و مقدار  $P$  برابر با  $0/623$  که بیشتر از  $0/05$  و همچنین نسبت بحرانی برابر با  $0/491$  که بیشتر از  $1/96$  نمی‌باشد، حاصل شد. لذا اگرچه غلظت نانو ذرات نقره نتوانسته است که اثر معکوس و معنی‌داری را بر خاصیت آبدوستی ایجاد کند، اما در این پژوهش، متغیر غلظت بوتان تتراکربوکسیلیک

واحد تغییر در مقادیر رنگ پذیری حاصل می‌شود. مقادیر اثرات مستقیم، غیرمستقیم و کل مورد بررسی در این پژوهش در جدول جدول ۵، نشان داده شده است.

### ارزیابی برازش مدل

در این مرحله، مدل تدوین شده توسط محققین مورد آزمون قرار می‌گیرد. در مدل‌سازی معادلات ساختاری، برازش مدل از اهمیت بالایی برخوردار است و توجه بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها نظیر مدل رگرسیونی به آن شده است. به همین دلیل شاخص‌های متعددی که به صورت موازی عمل می‌کنند در این بررسی مورد استفاده قرار می‌گیرند و مرتباً بر این شاخص‌ها افزوده می‌شود. نکته قابل توجه این است که ارزیابی و مقایسه خود این شاخص‌ها از نظر کارایی و قابلیت استفاده نیز مبحث پرکاربردی است و توجه زیاد محققین به این حوزه اختصاص داده شده است [۲۵]. البته اتفاق نظر در خصوص این که از چند شاخص جهت برازش مدل استفاده شود، وجود ندارد. هالمز اسمیت [۲۶] معتقد است که حداقل سه شاخص که هر کدام از یک گروه شاخص‌های برازش ارائه شده است، جهت تایید برازش کافی است. به‌طور کلی شاخص‌هایی که برای بررسی برازش مدل استفاده می‌شوند به سه دسته تقسیم می‌شوند: برازش مطلق، برازش تطبیقی و برازش مقتصد. شاخص‌هایی از نوع برازش مطلق نشان می‌دهند که تا چه میزان مدل فرضی تدوین شده، شبیه به مشاهدات است. مقدار این دسته از شاخص‌ها براساس ماتریس مانده‌ها، درجه آزادی و تعداد نمونه‌ها تعیین می‌شود و از آنجایی که این محاسبه براساس مقایسه مدل با مدل‌های دیگر نیست به آن برازش مطلق می‌گویند. شاخص‌های برازش تطبیقی، نشان دهنده موقعیت نسبی یک مدل بین بدترین برازش (صفر) و بهترین برازش (یک) می‌باشد. به‌عنوان مثال شاخص برازش مقایسه‌ای با مقدار  $0/93$  بیانگر این است که برازش مدل تنها می‌تواند  $7\%$  بهبود یابد. آستانه پذیرش این گروه برای برازش خوب،  $0/9$  است. سومین گروه، شاخص‌های برازش

متنوعی ممکن است که در یک موضوع پژوهشی اثرگذار باشند، کشف روابط غیرمستقیم، اهمیت بالایی دارند. روابط مستقیم بین متغیرها را می‌توان راحت‌تر تشخیص داد، اما روابط غیرمستقیم، پنهان‌تر هستند و کشف آنها نیاز به تخصص و مهارت بیشتری می‌باشد. یکی از موضوعاتی که در این پژوهش مورد نظر بوده است، مطالعه اثرگذاری متغیر میانجی گر خاصیت آب‌دوستی که خودش متاثر از غلظت‌های نانو ذرات نقره و بوتان تتراکربوکسیلیک اسید بوده بر خاصیت تغییر رنگ پارچه‌های پلی‌امیدی بوده است. نتایج حاصل از بررسی نشان می‌دهد که متغیر میانجی جذب رطوبت، با مقدار نسبت بحرانی  $1/778$  و  $P$  برابر با  $0/075$  و ضریب تاثیر بتا برابر با  $0/218$  - نتوانسته است که بر متغیر میزان تغییر رنگ، تاثیر معنی‌داری ایجاد کند.

### تحلیل متغیر میانجی گر آب‌دوستی

این پژوهش درصدد بررسی نقش متغیر میانجی گر متغیر زمان جذب قطره آب به‌عنوان معیار آب‌دوستی در حد واسط بین متغیرهای مستقل غلظت‌های نانو ذرات نقره و بوتان تتراکربوکسیلیک اسید و متغیرهای وابسته رنگ‌پذیری و تغییر رنگ می‌باشد. به این معنی که ابتدا متغیرهای مستقل (غلظت‌های نانو ذرات نقره و بوتان تتراکربوکسیلیک اسید) روی متغیر میانجی گر آب‌دوستی تاثیر می‌گذارد و سپس متغیر میانجی گر آب‌دوستی روی متغیرهای وابسته (رنگ‌پذیری و تغییر رنگ) تاثیر می‌گذارد و در واقع تاثیر متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته از طریق متغیر میانجی گر صورت می‌پذیرد که به اندازه‌گیری اثرات غیرمستقیم مشهور می‌باشند.

بنابراین در این پژوهش، علاوه بر اثرات مستقیم، اثرات غیرمستقیم نیز مورد توجه می‌باشد. اثرات غیرمستقیم از نظر آماری، از حاصل ضرب اثرات مستقیم، اعم از استاندارد و غیراستاندارد محاسبه می‌شوند و همانند مقادیر ضریب تاثیر در ضرایب مسیر نیز، قابل تفسیر هستند. به‌عنوان مثال اثر غیرمستقیم «غلظت نانو ذرات نقره» بر «رنگ‌پذیری» از حاصل ضرب ضریب مسیر «غلظت نانو ذرات نقره» بر متغیر «زمان جذب قطره» و مسیر «زمان جذب قطره» بر «رنگ‌پذیری» یعنی  $0/207 = 0/245 \times -0/844$  - به‌دست می‌آید. همچنین، اثرات کلی از جمع بین اثر مستقیم و غیرمستقیم یک متغیر بر متغیر دیگر به‌دست می‌آید. به‌عنوان مثال اثر کلی استاندارد غلظت نانو ذرات نقره بر متغیر رنگ‌پذیری از مجموع اثر مستقیم ( $0/525$ ) و اثر غیرمستقیم ( $0/207$ ) متغیر غلظت نانو ذرات نقره بر متغیر رنگ‌پذیری است که برابر با  $0/732$  می‌شود. عدد  $0/732$  حاصل شده نیز تفسیری همانند ضریب تاثیر بتا در رابطه‌های علی رگرسیونی دارد. یعنی به ازای یک واحد تغییر در مقادیر نانو ذرات نقره،  $0/732$

جدول ۵- مقادیر اثرات مستقیم، غیرمستقیم و کل اندازه‌گیری شده براساس مدل تدوین شده نظری پژوهشگر در وضعیت استاندارد

متغیر	اثرات مستقیم	اثرات غیرمستقیم	اثرات کل
متغیر نانو ذرات نقره بر رنگ‌پذیری	0/525	0/207	0/732
متغیر نانو ذرات نقره بر تغییر رنگ	0/725	0/184	0/909
متغیر بوتان تتراکربوکسیلیک اسید بر رنگ‌پذیری	0/427	-0/017	0/410
متغیر بوتان تتراکربوکسیلیک اسید بر تغییر رنگ	-0/367	-0/015	-0/382

## اصلاح مدل

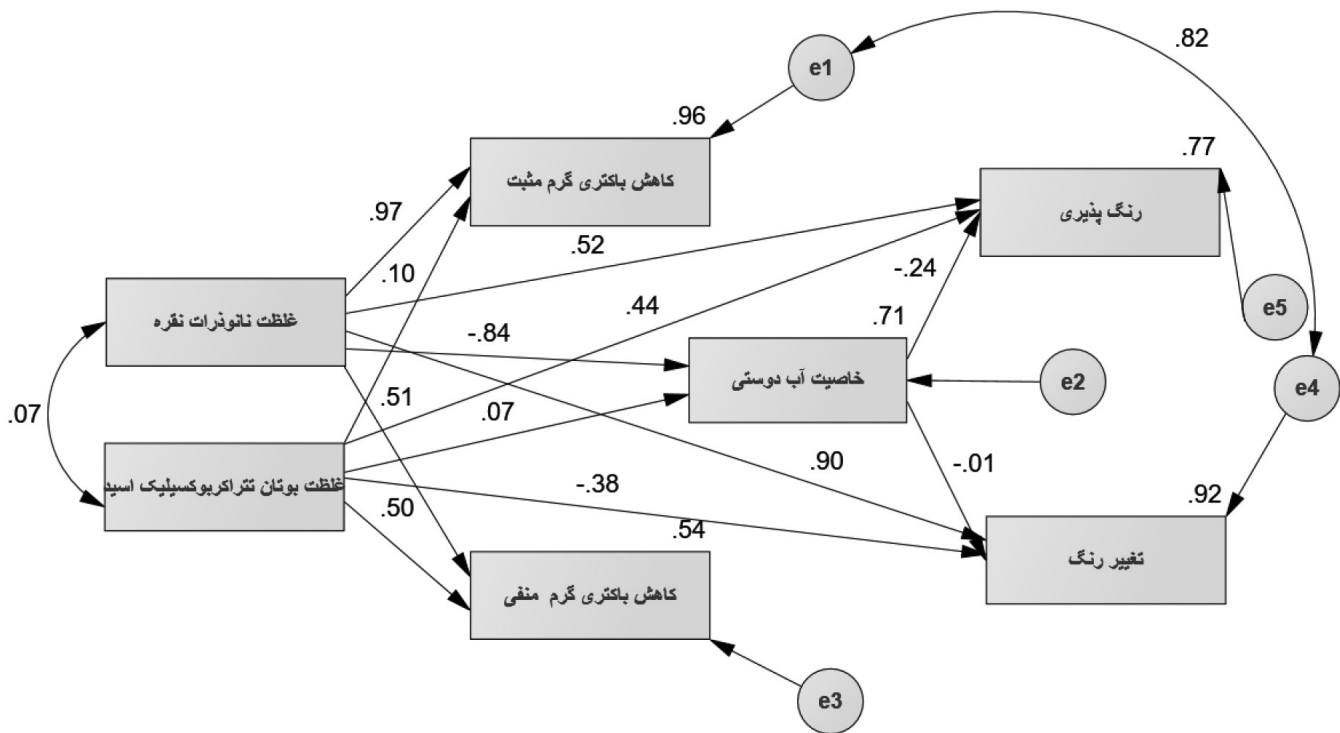
از آنجایی که مدل تدوین شده از برازش مناسبی برخوردار نبود، نیاز به اصلاح مدل است. به عبارت ساده تر مدل دارای ایراد است و مورد تایید قرار نگرفته است. در صورتی که اعتبار مدل مورد تایید قرار گیرد، به مرحله اصلاح مدل نیازی نیست. بنابراین اصلاح مدل ممکن است در برخی از مدل‌ها نیاز نباشد. بنابراین در ادامه به پیشنهادات نرم افزار آموس توجه می‌شود. تغییراتی که پیشنهاد می‌شود مربوط به مرتبط کردن دو متغیر از طریق اضافه کردن اتصال کوواریانس می‌باشد. اولین پیشنهاد مطرح شده، کشیدن کوواریانس بین  $e4$  و  $e1$  می‌باشد. نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های برازش نشان می‌دهند که اضافه کردن کوواریانس مذکور، وضعیت مدل را بهبود بخشیده است. به عبارتی حداقل سه شاخص برازش هستند که در ناحیه مطلوب قرار گرفته‌اند (جدول ۶). اما در ادامه برای بررسی بیشتر، دومین و آخرین پیشنهاد نرم‌افزار برای اصلاح مدل از طریق ایجاد کوواریانس بین  $e5$  و  $e3$  نیز مورد توجه قرار می‌گیرد و نتایج شاخص‌های برازش بعد از اصلاح مرتبه دوم نیز در جدول ۶ نشان داده شده است. انتظار می‌رود با اضافه کردن این کوواریانس، مقدار مجذور کای، حداقل ۶ واحد و همچنین درجه آزادی نیز با اضافه کردن این کوواریانس، یک واحد کاهش یابد. همانطور که ملاحظه می‌شود با انجام پیشنهاد اصلاح دوم، شش شاخص برازش مدل در دامنه مطلوب و مورد تایید قرار می‌گیرند. اما از آنجایی که در اصلاح اول نیز ۵ شاخص برازش در دامنه مطلوب قرار می‌گیرند و باعث تایید شدن مدل تدوین شده می‌گردند، بنابراین به همان اصلاح اول بسنده می‌شود. علت آن به این موضوع برمی‌گردد که انجام اصلاحات در مدل‌ها بایستی با احتیاط انجام شود و گاهی وجود اصلاحات زیاد، چارچوب نظری پژوهش

مقتصد می‌باشد که برای مقایسه مدل‌های مختلف با پارامترهای متفاوت استفاده می‌شود و مقدار آن‌ها برای تصمیم‌گیری روی پذیرش یا رد کردن مدل به کار نمی‌رود و آستانه پذیرشی برای این منظور ندارند [۲۷]. جکارد و وان [۲۸] معتقد هستند که از هر گروه از برازش مطلق، برازش تطبیقی و برازش مقتصد باید حداقل یک شاخص گزارش شود. میرز و همکارانش [۲۹] گزارش کردند که مقادیر شاخص جذر برآورد واریانس خطای تقریب، برازش تطبیقی و شاخص برازش هنجار شده و مجذور کای نسبی را بسیار مهم می‌دانند. به‌طور کلی زمانی که حداقل سه شاخص، مقادیری در بازه قابل قبول داشته باشند، می‌توان ادعا کرد که برازش مدل خوب و قابل قبول است. شاخص‌های برازش استخراج شده برای معادلات ساختاری تدوین شده توسط پژوهشگر که در وضعیت بدون اصلاح توسط نرم‌افزار آموس حاصل شده است، در جدول ۶ نشان داده شده است.

همانطور که ملاحظه می‌شود هیچ‌کدام از شاخص‌های برازش مجذور کای نسبی، جذر برآورد واریانس خطای تقریب، شاخص برازش فزاینده، شاخص تاکر لویز، شاخص برازش تطبیقی، شاخص برازش مقتصد هنجار شده و شاخص برازش تطبیقی در دامنه مطلوب قرار نگرفته‌اند و این موضوع نشان می‌دهد که معادلات ساختاری تدوین شده توسط پژوهشگر با وضعیت فعلی اش که بدون هرگونه اصلاحی است، برازش مناسبی ندارد. به عبارت دیگر داده‌های تجربی در مجموع نتوانسته است که روابط موجود در مدل مفهومی پیشنهادی را حمایت کند. لذا در بررسی اولیه که به منظور مناسب بودن کلیت مدل با در نظر گرفتن شاخص‌های برازش صورت پذیرفت، مشخص گردید که نمی‌توان ادعا کرد که برازش مدل، خوب و قابل قبول بوده است.

جدول ۶- شاخص‌های برازش مدل مفهومی پژوهش

ردیف	نام شاخص	شاخص برازش	دامنه مطلوب	نتیجه مدل پژوهش (بدون اصلاح)	نتیجه مدل پژوهش (اصلاح اول-مورد تایید)	نتیجه مدل پژوهش (اصلاح دوم)
۱	مجذور کای	Chi-square	---	۲۸/۳۹۸	۱۴/۵۲۶	۸/۶۰۵
۲	درجه آزادی	Degree of freedom	---	۸	۷	۶
۳	مجذور کای نسبی	Normed chi-square	< ۳/۰	۳/۵۵۰	۲/۰۷۵	۱/۴۳۴
۴	جذر برآورد واریانس خطای تقریب	RMSEA	< ۰/۱	۰/۴۱۲	۰/۲۶۸	۰/۱۷۰
۵	شاخص برازش فزاینده	IFI	< ۰/۹	۰/۸۷۵	۰/۹۵۴	۰/۹۸۴
۶	شاخص تاکر لویز	TLI	< ۰/۹	۰/۶۴۲	۰/۸۴۹	۰/۹۳۹
۷	شاخص برازش تطبیقی	CFI	< ۰/۹	۰/۸۶۴	۰/۹۵۰	۰/۹۸۳
۸	شاخص برازش مقتصد هنجار شده	PNFI	< ۰/۵	۰/۳۱۸	۰/۳۰۵	۰/۲۷۱
۹	شاخص برازش تطبیقی	PCFI	< ۰/۵	۰/۳۲۹	۰/۳۱۷	۰/۲۸۱



شکل ۳- اجرا و تایید مدل نظری تدوین شده بعد از یک مرحله اصلاح

است. در ادامه می‌توان میزان تاثیرگذاری‌های هریک از متغیرها را در فرضیه‌هایی که تایید شده است، با یکدیگر مقایسه کرد. لذا شدت تاثیرگذاری‌ها به ترتیب از بیشترین تا کمترین تاثیر در جدول ۸، آورده شده است. لذا با مقایسه ضریب تاثیر هریک از فرضیه‌های پژوهش دریافت می‌شود که اثرگذاری غلظت نانوذرات نقره بر خاصیت کاهش باکتری استافیلوکوکوس آرتوس با ضریب تاثیر ۰/۹۶۷، دارای بیشترین تاثیر در مقایسه با سایر تاثیرها می‌باشد و کمترین تاثیر مربوط به اثرگذاری جذب رطوبت بر میزان تغییر رنگ پارچه‌های پلی آمیدی ۶،۶ با ضریب تاثیر ۰/۰۰۶- می‌باشد و در نهایت نیز تولید پارچه پلی آمیدی ۶،۶ با ویژگی‌های چند عملکردی از قبیل خواص ضدباکتری عالی و رنگ‌پذیری بالا از طریق روش مرسوم رمق‌کشی و با حذف محدودیت‌های ناشی از محیط اسیدی حاصل شد.

را زیر سؤال می‌برد. بنابراین در شکل ۳، معادله ساختاری تدوین شده توسط پژوهشگر که توسط داده‌های تجربی نیز حمایت می‌شود، نشان داده شده است.

مقادیر ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرهای مستقل پژوهش در جدول ۷ نشان داده شده است. ضریب همبستگی بین متغیرهای غلظت نانو ذرات نقره و بوتان تتراکربوکسیلیک اسید نیز در این مدل بررسی و عدم معنی‌داری این رابطه تعیین گردید. همچنین رابطه ایجاد شده توسط e1 و e4 نیز که در پیشنهادات نرم‌افزار آموس و به‌منظور اصلاح مدل آورده شده بود نیز در سطح اطمینان ۰/۹۵، معنی‌دار تشخیص داده شد ( $t=0/818, P<0/05$ ).

همچنین، در فرایند برآورد مدل و در راستای مطالعه جهت شدت اثرگذاری متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته و همچنین متغیر میانجی‌گر، فرضیات پژوهش مورد آزمون قرار گرفتند و نتایج آن در جدول ۸، خلاصه شده

جدول ۷- مقادیر همبستگی متقابل بین متغیرهای برون‌زا

متغیر غلظت	همبستگی متقابل	متغیر غلظت	ضریب همبستگی پیرسون	نسبت بحرانی (C.R.)	مقدار خطا (P)	نتیجه
بوتان تتراکربوکسیلیک اسید	↔	نانو ذرات نقره	۰/۰۷۳	۰/۲۸۲	۰/۷۷۸	عدم معنی‌داری
e1	↔	e4	۰/۸۱۸	۲/۴۵۳	۰/۰۱۴	معنی‌دار

جدول ۸- نتایج آزمون فرضیه‌های پژوهش

شماره	مقوله	میانگین	انحراف معیار	مد	میانه	چولگی	کشدگی	کمینه	بیشینه
۱	نانو ذرات نقره	۲۹/۹۸	۱۶/۱۲۳	۱۰/۰۰	۳۲/۵۰	-۰/۱۰۸	-۱/۵۵۱	۱۰/۰۰	۵۰/۰۰
۲	بوتان تتراکربوکسیلیک اسید	۵/۸۹	۲/۴۶۴	۹/۰۰	۵/۶۲	۰/۲۰۲	-۱/۶۱۸	۳/۰۰	۹/۰۰
۳	رمق کشی	۸۹/۴۵	۱/۸۶۴	۸۷/۱۱	۸۹/۱۱	۰/۷۸۴	۰/۲۷۴	۸۷/۱۱	۹۳/۵۷
۴	تغییر رنگ	۸/۸۲	۵/۰۶۱	۲/۱۱	۸/۹۵	-۰/۰۰۷	-۱/۵۷۰	۲/۱۱	۱۶/۱۸
۵	کاهش باکتری استافیلوکوکوس آرتوس	۹۰/۱۱	۶/۷۹۳	۸۱/۳۴	۸۹/۶۲	۰/۲۵۶	-۱/۴۶۹	۸۱/۳۴	۹۹/۴۸
۶	کاهش باکتری اشیریشیاکولی	۹۰/۵۱	۶/۸۲۵	۷۵/۴۴	۹۱/۶۴	-۱/۳۰۸	۱/۴۵۹	۷۵/۴۴	۹۷/۵۹
۷	زمان جذب قطره آب	۵/۸۹	۱/۳۸۸	۴/۸۰	۵/۹۰	۰/۰۱۷	-۱/۸۹۹	۴/۱۰	۷/۶۰

### نتیجه‌گیری

رگرسیون و مسیر ارائه شده در مدل تدوین شده پژوهش، مورد بررسی و اندازه‌گیری قرار گرفته و ارجحیت آنها از لحاظ کارایی در پارچه پلی‌آمید ۶،۶ ارائه و در این پژوهش مورد توجه بوده است.

همچنین، ضریب توان دوم همبستگی چندگانه یا همان R2 متغیرهای وابسته شامل کاهش باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس آرتوس و گرم منفی اشیریشیاکولی، رنگ‌پذیری، زمان جذب قطره آب، تغییر رنگ اندازه‌گیری گردید که به ترتیب ۰/۹۶۱، ۰/۵۴۴، ۰/۷۷۵، ۰/۷۰۹ و ۰/۹۲۱ و به‌دست آمد. به عبارتی مقادیر مذکور نشان می‌دهد که ۹۶/۱٪، ۵۴/۴٪، ۷۷/۵٪، ۷۰/۹٪ و ۹۲/۱٪ از واریانس‌های کاهش باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس آرتوس و گرم منفی اشیریشیاکولی، رنگ‌پذیری، زمان جذب قطره آب، تغییر رنگ توسط مدل توضیح داده می‌شود و یا به عبارتی توسط متغیرهای مستقل درون مدل توجیه و تفسیر می‌شود و مابقی بر عهده متغیرهای دیگری است که در این پژوهش مورد توجه قرار نگرفته است.

در این پژوهش چگونگی رابطه و میزان اثرگذاری متغیرهای غلظت بوتان تتراکربوکسیلیک اسید و نانو ذرات نقره بر متغیرهای وابسته کاهش باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس آرتوس و گرم منفی اشیریشیاکولی، رنگ‌پذیری، تغییر رنگ و متغیر میانجی گر خاصیت آب‌دوستی از طریق تدوین معادلات ساختاری مورد بررسی قرار گرفت و در ادامه برآورد، برآزش و اصلاح مدل مورد توجه قرار گرفت و مدل تدوین شده توسط پژوهشگر توانست به خوبی داده‌های حاصل از پژوهش را حمایت کند. میزان تاثیر و معنی‌داری هریک از عامل‌های غلظت نانو ذرات نقره و بوتان تتراکربوکسیلیک اسید را که در این پژوهش به متغیرهای مستقل و آشکار اطلاق می‌شوند، بر متغیرهای وابسته و آشکار شامل کاهش باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس آرتوس و گرم منفی اشیریشیاکولی، رنگ‌پذیری، تغییر رنگ و همچنین متغیر میانجی گر زمان جذب قطره آب، از طریق روابط همبستگی، علی-معلولی

### مراجع

- Schumacker, R. E. Lomax, R. G. A beginner's guide to structural equation modeling, 2st edition, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 2004.
- Babaahmadi, V., Montazer, M., Ghanbarafjeh, M., and Samadi, N., Simultaneous in situ synthesis of nanosilver and dyeing of polyamide 6 fabric, Indian J. Fibre Text., 43, 488-494, 2018.
- خواص م، زائرالحسینی م، توانایی م، ع، محمودی ا، مطالعه شکل‌شناسی نانو ایف پلی‌آمید ۶ الکترورسی شده با استفاده از جت تک‌نازلی و دوزاری دوسویه، مجله علوم و فناوری نساجی، ۲، ۴۳-۵۱، ۱۳۹۶.
- Tayebi, H. A., Yazdanshenas, M. E., Rashidi, A. S., Khajavi, R., and Montazer, M., The isotherms, kinetics, and thermodynamics of acid dye on nylon6 with different amounts of titania and fiber cross sectional shape, J. Eng. Fiber. Fabr, 10, 97-108, 2015.
- سمانی رهبر ر، توانایی م، ع، محدث مجتهدی م، ارتباط میان ریزساختار و خواص کششی ایف نایلون ۶ کشیده در حالت گرم، مجله علوم و فناوری نساجی، ۲، ۱۱-۲۰، ۱۳۹۴.
- Damerchely, R., Yazdanshenas, M. E., Rashidi, A. S., and Khajavi, R., Morphology and mechanical properties of anti-bacterial nylon 6/nano-silver nano-composite multifilament yarns, Text. Res. J., 81, 1694-1701, 2011.
- He, Y., Chen, S., Zheng, Q., and Chen, Y., Thermal stability

- 25, 425-446, 2007.
18. Wang, C. C. and Chen C. C., Physical properties of the crosslinked cellulose catalyzed with nano titanium dioxide under UV irradiation and electronic field, *Appl. Catal., A*, 293, 171-179, 2005.
  19. El-tahlawy, K. F., El-bendary, M. A., Elhendawy, A. G., and Hudson, S. M., The antimicrobial activity of cotton fabrics treated with different cross-linking agents and chitosan, *Carbohydr. Polym.*, 60, 421-430, 2005.
  20. Baheri, H. and Bahrami, S. H., Chitosan/nanosilver nanofiber composites with enhanced morphology and microbiological properties, *J. Tex. Polym.*, 3, 64-70, 2015.
  21. Saravanakumar, A., Ganesh, M., Jayaprakash, J., and Jang, H. T., Biosynthesis of silver nanoparticles using Cassia tora leaf extract and its antioxidant and antibacterial activities, *J. Ind. Eng. Chem.*, 28, 277-288, 2015.
  22. Hadad, L., Perkas, N., Gofer, Y., Calderon-Moreno, J., Ghule, A., and Gedanken, A., Sonochemical deposition of silver nanoparticles on wool fibers, *J. appl. polym. sci.*, 104, 1732-1737, 2007.
  23. Gorenšek, M. and Recelj, P., Reactive dyes and nano-silver on PA6 micro knitted goods, *Text. Res. J.*, 79, 138-146, 2009.
  24. Montazer, M., Shamei, A., and Alimohammadi, F., Stabilized nanosilver loaded nylon knitted fabric using BTCA without yellowing, *Prog. Org. Coat.*, 74, 270-276, 2012.
  25. Kenny, D. A. and McCoach, D. B., Effect of number of variables on measures fit in structural equation modeling, *Struct. Equ. Modeling*, 10, 333-351, 2003.
  26. Holmes-Smith, P., Introduction to structural equation modeling using LISREL. Perth: ACSPRI-Winter training Program, 2001.
  ۲۷. پهلوان شریف س.، مهدویان و.، کتاب مدل سازی معادلات ساختاری با AMOS، انتشارات بیبشه، چاپ سوم، ۱۳۹۷.
  28. Jaccard, J., Wan, C. K., LISREL Approaches to Interaction Effects in Multiple Regression. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 1996.
  29. Meyers, L. S., Gamst, G. C., and Guarino, A. J., Applied Multivariate Research: Design and Interpretation. Thousand Oaks: Sage Publications, 2005.
  - and yellowing of polyamide finished with a compound anti-thermal-yellowing agent, *J. Text. I.*, 106, 1263-1269, 2015.
  8. Heidari-Golfazani, M. E., Nazockdast, H., Rashidi, A. S., and Yazdanshenas, M. E., The role of nanoclay partitioning on microfibril morphology development in polypropylene/polyamide 6 nanocomposite fibers, *J. Macromol. Sci. B.*, 51, 956-967, 2012.
  9. Irwin, M. D., Roberson, D. A., Olivas, R. I., Wicker, R. B., and MacDonald, E., Conductive polymer-coated threads as electrical interconnects in e-textiles", *Fiber. Polym.*, 12, 904-910, 2011.
  10. Zhu, Z., Qiao, Z., Zhang, Z., Hong, L., and Wang, T., Effects of molecular structure and molar content of acrylate units on aerobic biodegradability of acrylate copolymeric sizing agents, *Text. Res. J.*, 82, 889-898, 2012.
  11. Shi, J., Han, X., and Kelu, Y., A novel bio-functional finishing agent for wool based on waterborne polyurethane mixed with chitosan, *Text. Res. J.*, 84, 1174-1182, 2014.
  12. An, Q., Wang, Q., Li, L., and Huang, L., Study of amino functional polysiloxane film on regenerated cellulose substrates by atomic force microscopy and x-ray photoelectron microscopy, *Text. Res. J.*, 79, 89-93, 2009.
  13. Zhou, T., He, X., Guo, C., Yu, J., Lu, D., and Yang, Q., Synthesis of a novel flame retardant phosphorus/nitrogen/siloxane and its application on cotton fabrics, *Text. Res. J.*, 85, 701-708, 2014.
  14. Trounson, M. E. and McLaughlin, J. R., Surfactant solution transport in wool yarn Part I: nonylphenol poly(ethylene oxide) surfactants, *Text. Res. J.*, 57, 309-318, 1987.
  15. Montazer, M., Pakdel, E., and Bameni-Moghadam, M., Nano titanium dioxide on wool keratin as UV absorber stabilized by butane tetra carboxylic acid (BTCA): A statistical prospect, *Fiber. Polym.*, 11, 967-975, 2010.
  16. Montazer, M., Alimohammadi, F., Shamei, A., and Rahimi, M. K., Durable antibacterial and cross-linking cotton with colloidal silver nanoparticles and butane tetracarboxylic acid without yellowing, *Colloid. Surface B.*, 89, 196-202, 2012.
  17. Yang, H. and Yang, C. Q., Nonformaldehyde flame retardant finishing of the nomex/cotton blend fabric using a hydroxy-functional organophosphorus oligomer, *J. Fire Sci.*,

# Structural Equations Analysis and Design of Polyimide 6,6 Fabrics Multifunctional Properties Finished with Silver Nanoparticles and Butane tetra carboxylic acid using Mediatory Property of Hydrophilicity

Ali Nazari<sup>1\*</sup>, Abolfazl Davodi-Roknabadi<sup>1\*</sup>

1- Art & Architectural Department, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran,

## Abstract

Regression and path models analysis is accounted among structural equations modeling subset techniques which is applied in order to simultaneous testing of relationships between research variables. Target of this research is to analyze finishing with silver nanoparticles and butane tetra carboxylic acid on dyeability property without acid presence, antibacterial, and colour change of polyamide 6,6 fabrics with study of mediatory role of hydrophilicity. To do so, different concentrations of silver nanoparticles and butane tetra carboxylic acid were attended through Expert Design software based on central composite design. Antibacterial properties of finished fabrics were evaluated with two kinds of bacterial; positive warm bacteria *Staphylococcus aureus* and negative warm bacteria *Escherichia coli*. Hydrophilicity property was measured via drop absorption time measurement and its effect was evaluated as intermediary variable on dyeability properties applying C.I. Acid red 81 and resulted colorful changes were analyzed. Obtained results demonstrate that regression and path models analysis techniques in a form of structural equations by assisting AMOS 26 software were able to analyze formulated model, accurate and simultaneous study of research assumptions; assumptions control of operating structural equation modeling subset methods, estimations, fit, and modification of model, and appropriate interpretation of data. Also, impressive results of silver nanoparticles concentrations on antibacterial property against *staphylococcus aureus* with 0.967 influence coefficient has the highest effect and moisture absorption on colour change amount of polyamide 6,6 fabrics with -0.006 influence coefficient has the least effect.

## Keywords

Polyamide 6,6,  
Regression models,  
Path models,  
Structural equations modeling,  
Silver nanoparticles,  
Butane tetra carboxylic acid

(\*) Address Correspondence to A. Davodi & A. Nazari, E-mail: Davodi@iauyazd.ac.ir & a.nazari@iauyazd.ac.ir