



زندیداد فریبز عوض ملاذیری  
ویراستار و سردبیر نشریه از ابتداء نشر

تولد: ۱۳۳۱/۱۱/۱۶  
وفات: ۱۳۹۶/۷/۲۷

بر اساس مجوز شماره ی ۶۱۹/۳۱ مورخ ۸۶/۷/۲۵ وزارت علوم، تحقیقات و فناوری جمهوری اسلامی ایران، نشریه ی صنعت لاستیک ایران (IRM) طبق مصوبه ی کمیسیون نشریات علمی کشور در تاریخ ۸۶/۶/۳۱، دارای درجه ی علمی-ترویجی است.

به نام خداوند جان و خرد

# نشریه ی صنعت لاستیک ایران علمی

(علمی / فنی / اقتصادی / مدیریتی)

سال بیست و پنجم / شماره ی ۱۰۱ / بهار ۱۴۰۰

صاحب امتیاز و ناشر:

شرکت مهندسی و تحقیقات صنایع لاستیک

مدیر مسئول و سردبیر:

دکتر ناصر پرهیزگار

مدیر اجرایی:

سپیده صوفی نیارکی

ویراستار:

دکتر آلاله دباغی

صفحه آرایی:

سپیده صوفی نیارکی

## هیأت تحریریه:

دکتر ناصر پرهیزگار، استادیار مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز

دکتر سعید تقوایی، استاد شیمی آلی، دانشگاه آزاد واحد تهران شمال

دکتر اسکندرستوده، دکترای تکنولوژی پلیمر، دانشگاه جامع علمی کاربردی صنایع لاستیک

دکتر اعظم جلالی، دانشیار مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

دکتر رضا درخشنده حقیقی، استادیار مهندسی مواد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز

دکتر مهدی رزاقی کاشانی، دانشیار مهندسی شیمی پلیمر، دانشگاه تربیت مدرس

دکتر علی عباسیان، استادیار پلیمر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات

دکتر نادر قاسمی، استاد مهندسی پلیمر، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

دکتر میرحمید رضا قریشی، استاد مهندسی پلیمر، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

دکتر محمد کرابی، استاد مهندسی پلیمر، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

دکتر علیرضا مهدویان، استاد مهندسی پلیمر، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

## همکاران این شماره:

دکتر علی نیک اختر

دکتر عطاالله کامیابی

دکتر محمدرضا کلایی

سید محمدرضا پرن

دکتر مهرزاد مینویی

دکتر مرتضی رشیدی مقدم

احسان مسعودی

## با همکاری شرکت های:

کیان تایر، ایران تایر، ایران یاسا تایر و رابر، لاستیک دنا، لاستیک پارس، گروه صنعتی بارز، مجتمع صنایع لاستیک یزد، آرتاویل تایر، کویر تایر

## نشانی نشریه: شرکت مهندسی و تحقیقات صنایع لاستیک

تهران، اتوبان تهران-کرج، بعد از ایران خودرو، خروجی شهرک علم و فناوری، بلوار پژوهش، جنب پژوهشکده ی هواشناسی

کدپستی: ۱۴۹۷۷۱۶۳۶۵

تلفن: ۰۲۱-۴۴۷۸۷۹۱۷ تلفکس: ۰۲۱-۴۴۷۸۷۹۰۵

Email: entesharat.rierco@yahoo.com

Website: www.iranrubbermag.ir

## مسئول آگهی ها، امور مشترکان:

سپیده صوفی نیارکی

## اجرا:

شرکت مهندسی و تحقیقات صنایع لاستیک

## لیتوگرافی، چاپ و صحافی:

چاپ فراز اندیش سبز

نشانی: تهران، چهاردانگه، شهرک گلشهر، خیابان خزایی غربی، پلاک ۱۷

۰۲۱-۶۶۴۰۱۲۸۲

IRM در پایگاه ISC نمایه می شود.

IRM را می توانید در سایت [www.iranrubbermag.ir](http://www.iranrubbermag.ir) مطالعه نمایید.

IRM آماده ی دریافت و چاپ مقاله های استادان دانشگاه ها، مدیران، کارشناسان

و صاحب نظران در زمینه های پژوهشی، مدیریتی، کنترل کیفیت، فناوری تایر و لاستیک و بازیافت است.

IRM در قبول، رد، ویرایش و چاپ مطالب رسیده آزاد است. مطالب دریافت شده

پس فرستاده نخواهد شد.

انعکاس نظرها و دیدگاه های ارائه شده توسط نویسندگان مقاله ها و مصاحبه شوندگان

الزاماً به معنی تأیید و پذیرش آن ها از سوی نشریه نیست.

سامانه ی پیامکی برای دریافت نظرات: ۰۲۱-۴۴۷۸۷۹۱۱

# نشریه صنعت الاستیک ایران علمی

فصلنامه / سال بیست و پنجم / شماره ۱ / بهار ۱۴۰۰

## علمی و فنی

فرآیند غلطکاری: آشنایی و مدل‌سازی ..... ۳  
(عطاله کامیابی، محمدمهدی کامیابی)

لیگنین پرکننده‌ای تقویت‌کننده در آمیزه‌های لاستیکی ..... ۱۷  
(علی نیک اختر)

بررسی تجربی و نظری ساختار میکروسکوپی، سینتیک پخت و خواص مکانیکی نانوکامپوزیت‌های برپایه لاستیک نیتریل بوتادین کربوکسیله/رزین اپوکسی تقویت شده با هالوسیت نانوتیوب ..... ۲۷  
(سید محمدرضا پرن، قاسم نادری، الناز موحدی‌فر، محمدرضا صائب)

مروری بر کاربردهای نانو ذرات الاستومری شبکه‌ای شده ..... ۳۷  
(محمدرضا کلایی، محمدرضا کرمی)

شبیه‌سازی توزیع دمایی ناشی از ائتلاف انرژی در تایر رادیال باری ..... ۵۷  
(مرتضی رشیدی مقدم)

## اقتصادی

تبیین متغیرهای مالی موثر در پیش بینی درماندگی مالی: کاربرد شبکه عصبی مصنوعی ..... ۶۵  
(حمید رحیمی، مهرزاد مینویی، محمدرضا فتحی)

## مدیریت

تحلیل تأثیر مدیریت کیفیت جامع و گرایش به کارآفرینی بر عملکرد شرکت‌های کوچک و متوسط ..... ۸۵  
(احسان مسعودی)

مدیریت کیفیت جامع قرن بیست و یکم: پارادایم تکوینی ..... ۱۰۱  
(احسان مسعودی، قاسم بهرامی‌کیا)

## فرآیند غلطک‌کاری: آشنایی و مدل‌سازی

# C Calendering Process: Introduction and Modeling

چکیده:

کلنדרها و جفت غلطک‌ها به‌عنوان ابزار شکل‌دهی مواد (اغلب پلیمری) جایگاه ویژه‌ای در خطوط تولید صنایع مختلف از جمله صنعت لاستیک دارند. علی‌رغم سادگی ظاهری و کاربرد نه چندان سخت، همان‌طور که در این پژوهش نشان داده خواهد شد، رفتار هیدرودینامیکی جریان مواد گذرنده از میان آن‌ها پیچیده بوده و تابع عوامل مختلفی است. در پژوهش حاضر، ابتدا به معرفی این نوع تجهیزات و نکات مهم طراحی و بکارگیری آن‌ها در شرایط عملیاتی پرداخته می‌شود. در ادامه به مدل‌سازی هیدرودینامیکی جریان بین غلطک‌ها پرداخته شده است و مدل گسکل به‌عنوان یک مدل پایه‌ای که مبنای اغلب مدل‌های توسعه داده شده‌ی دیگر است معرفی می‌گردد. در آخر نیز انواع مدل‌های دیگری که در راستای تعیین رفتار هیدرودینامیکی غلطک‌ها توسعه داده شده‌اند به همراه ویژگی‌های آن‌ها معرفی می‌شود. این مدل‌ها پیش‌بینی‌کننده دبی جریان بر مبنای پارامترهای هندسی و ویژگی‌های ماده و همچنین مشخص‌کننده‌ی پروفایل سرعت، فشار و تنش و در مواردی دما در جریان مابین غلطک‌ها هستند. استفاده از نتایج این مدل‌ها وابسته به نیاز طراحی و عملیاتی مورد نظر است.

واژه‌های کلیدی: فرآیند غلطک‌کاری، مدل‌سازی، سیال، مدل گسکل

نوع مقاله: پژوهشی

عطالله کامیابی<sup>۱\*</sup>، محمدمهدی کامیابی<sup>۲</sup>

۱- دکترای تخصصی، استادیار، بخش مهندسی شیمی دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲- دکترای تخصصی، استادیار، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ولی عصر (عج)، رفسنجان، ایران

ایمیل نویسندگان و عهده‌دار مکاتبات:

1- \* kamyabi@uk.ac.ir

2- mm.kamyabi@vru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۳

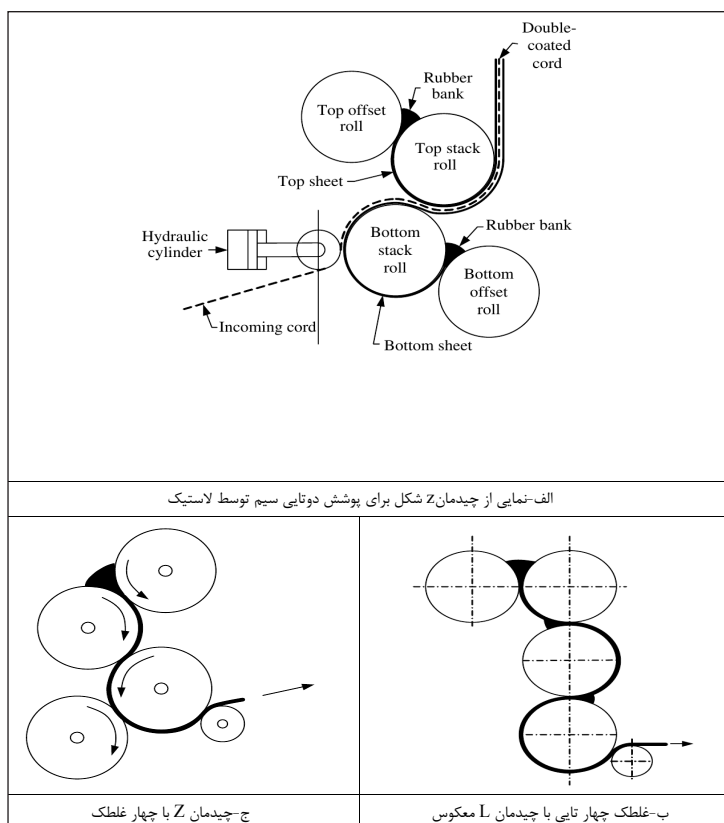
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۰۶

۱- مقدمه

غلطک‌کاری ماده پلیمری سه بار از فضای بین جفت-غلطک که نیش<sup>۳</sup> نام دارد عبور می‌کند. نیش اول، گذر خوراک<sup>۴</sup> است، نیش دوم، گذر اندازه زنی<sup>۵</sup> و نیش سوم، گذر تشکیل ورق، سنجش و اتمام<sup>۶</sup> است [۱]. لازم به ذکر است در مواردی غلطک‌کاری با پنج غلطک نیز انجام می‌شود.

انتقال از یک غلطک به غلطک بعدی ممکن است با تغییر سرعت غلطک‌ها، دما و شرایط سطح غلطک‌ها همراه باشد [۲]. عرض ورقه خروجی از هر نیش (با فرض ثابت بودن سرعت غلطک‌ها) با ضخامت ورقه نسبت عکس دارد، به طوری که با کاهش فاصله بین غلطک‌ها در هر نیش (و در نتیجه کاهش ضخامت ورقه) عرض صفحه تولیدی افزایش می‌یابد. نرخ تولید فرآیند غلطک‌کاری (اگر کنترل‌کننده‌ی سرعت تولید اختلاط و ذوب در بالا دست فرایند نباشد) در درجه اول با توجه به اندازه و کیفیت سطح محصول

جفت غلطک‌ها<sup>۲</sup> و کلندرها<sup>۱</sup> از اولین تجهیزاتی هستند که در فرآیندهای مربوط به شکل‌دهی لاستیک‌های طبیعی مورد استفاده قرار گرفتند. این تجهیزات اولین بار توسط ادوین چافی و چارلز گودیر در دهه ۱۸۳۰ میلادی معرفی شدند. جفت غلطک‌ها اغلب در شرایط عملیاتی ناپیوسته و کلندرها در شرایط پیوسته به کار می‌روند. تعداد غلطک‌های مورد استفاده در فرآیند غلطک‌کاری به ماده مورد فرآیند قرار گرفته و همچنین محصول مورد نظر بستگی دارد. لاستیک می‌تواند توسط یک جفت غلطک شکل داده شود. استفاده از چهار غلطک امکان پوشش دو لایه از لاستیک را فراهم می‌کند (شکل ۱-الف). در مورد ترموپلاستیک‌ها معمولاً لازم است از حداقل چهار غلطک استفاده شود تا سطحی با کیفیت مناسب ایجاد شود (شکل ۱-ب، شکل ۱-ج). در این صورت در حین فرآیند

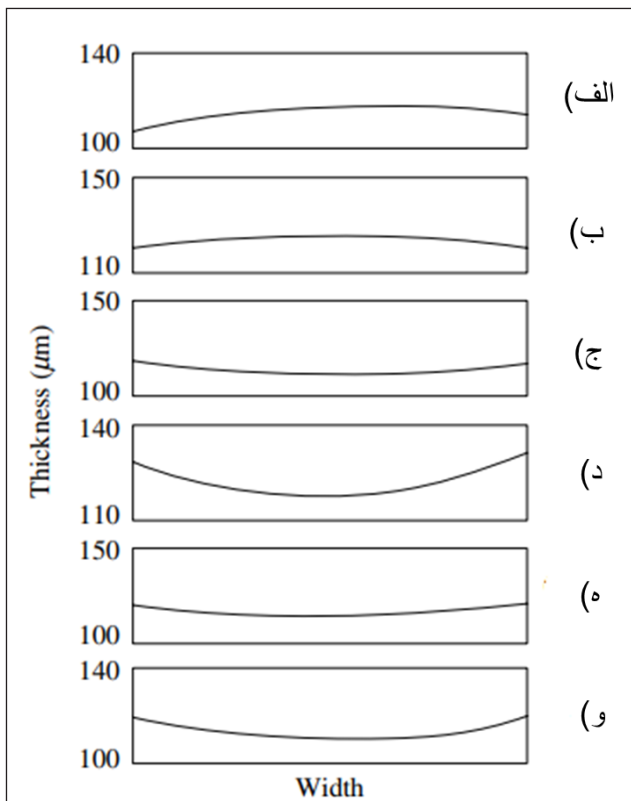


شکل ۱- انواع چیدمان غلطک‌ها و کاربرد آن‌ها

1. Calenders 2. Two-Roll Mills 3. Nip 4. Feed 5. Metering 6. Sheet formation, gauging, and finishing

و تغییر شکل غلطک‌ها (که خود ناشی از فشار زیاد بین غلطک‌ها است) باشد، نیز باعث غیر یکنواختی ورق تولیدی در جهت عمود بر ماشین می‌شود. در واقع فاصله‌ی یکنواخت بین غلطک‌ها که در حالت خارج از سرویس وجود دارد ممکن است در حین فرایند به دلیل فشار هیدرولیک زیاد در محل نیش غلطک‌ها دچار تغییر ناهمگون گردد به نحوی که ضخامت ورق تولیدی در مرکز بیشتر و در لبه‌ها کمتر شود (شکل ۲-ا).

سه روش برای حل این مشکل وجود دارد: ایجاد تاج در غلطک‌ها، ضربدری کردن غلطک‌ها<sup>۲</sup> و پیچاندن غلطک‌ها<sup>۳</sup>. تاج‌دار کردن در واقع افزایش اندک قطر غلطک در مرکز آن نسبت به دو سر آن



شکل ۲- اثر ضربدری کردن و پیچاندن غلطک‌ها بر یکنواختی ضخامت محصول برای غلطکی با طول ۱/۸ متر (الف) بدون پیچش و ضربدری کردن (ب) با چهار میلی‌متر ضربدری بدون پیچش (ج) با هشت میلی‌متر ضربدری بدون پیچش (د) دوازده میلی‌متر ضربدری بدون پیچش (ه) ده مگا پاسکال پیچش بدون ضربدری (و) شانزده مگا پاسکال پیچش بدون ضربدری

تولیدی از آن و خواص پلیمر فرآیندی تعیین می‌شود [۱]. به‌عنوان نمونه ورق‌های ضخیم با ضخامت ۰/۲۵ میلی‌متر و بیشتر را بدون مشکل خاصی می‌توان با نرخ ۶۰ متر در دقیقه تولید کرد. لازم به ذکر است نرخ تولید ورق‌های سخت، صیقلی و براق بسیار کمتر و در حد ۱۰ تا ۳۵ متر بر دقیقه است. فیلم‌های انعطاف‌پذیر می‌توانند با نرخ تا ۱۰۰ متر بر دقیقه در غلطک و تا ۱۲۵ متر در دقیقه در توپ‌های جمع‌کننده انتهایی خط، تولید شوند. سرعت بالاتر در توپ‌های جمع‌کننده<sup>۱</sup> به دلیل کشش ایجاد شده در فیلم توسط آن‌ها است که تولید فیلم‌های نازک (۰/۴ میلی‌متر و کمتر) را ممکن می‌کند. این روش کمک می‌کند تا فیلم‌های نازک راحت‌تر از غلطک‌ها جدا شوند.

قطر غلطک‌های فرآیند غلطک‌کاری تا ۹۰ سانتی‌متر و عرض آن‌ها تا ۲۵۰ سانتی‌متر می‌رسد. همچنین دبی تولیدی توسط آن‌ها تا ۴۰۰۰ کیلوگرم در ساعت نیز می‌رسد. دمای سطح غلطک‌ها در فرآیند غلطک‌کاری توسط جریان چرخشی سیال درون حفرات پیرامونی موازی با محور غلطک‌ها، کنترل می‌شود.

فرآیند غلطک‌کاری معمولاً برای شکل‌دهی ترموپلاستیک‌هایی که ویسکوزیته مذاب بالایی دارند و همچنین لاستیک‌ها به کار می‌رود و به طور خاص برای پلیمرهایی که مستعد تخریب حرارتی هستند و یا مقدار قابل توجهی مواد افزودنی جامد دارند مورد استفاده قرار می‌گیرد. دلیل این امر این است که با استفاده از فرآیند غلطک‌کاری می‌توان مقادیر زیادی پلیمر را با صرف انرژی مکانیکی اندکی (در مقایسه با اکستروژن) مورد فرآیند قرار داد [۳].

ضخامت محصول تولیدی غلطک باید هم در جهت ماشین غلطک‌کاری و هم در جهت عمود بر آن یکنواخت باشد. هرگونه خارج از مرکز بودن غلطک نسبت به شفت، همچنین ارتعاشات غلطک و غیریکنواختی خوراک ورودی به ماشین غلطک‌کاری باعث عدم یکنواختی ورق تولیدی در جهت ماشین می‌شود. هرگونه تغییر در فاصله بین دو غلطک که ممکن است به دلیل اندازه‌های طراحی شده غلطک، تنظیمات نامناسب غلطک‌ها، اثرات گرمایی

شدن می‌توان جریان دقیق پلیمر را در محل نیش، تغییر عرض ورقه از یک نیش به نیش دیگر، توزیع ضخامت و دما و همچنین اثر این عوامل بر انتقال مواد از یک غلطک به غلطک دیگر و شرایط شروع ناپایداری را به دست آورد. چنین مدلی به طراح کمک می‌کند تا اندازه غلطک‌ها، فاصله بین آن‌ها، میزان مورد نیاز برای تاج‌دار کردن، پیچش و ضربه‌ری شدن غلطک‌ها و شرایط عملیاتی را برای تولید ورق پلیمر با نرخ و کیفیت مشخص، محاسبه کند.

برای دستیابی به چنین مدلی در ابتدا باید درک کیفی خوبی از مکانیزم جریان سیال در فرآیند غلطک‌کاری به دست آورد. در فرآیند غلطک‌کاری مذاب پلیمر که یک سیال ویسکوالاستیک است وارد نیش اول (نیش خوراک) می‌شود. مذاب در ناحیه مرکزی نیش قرار می‌گیرد و سپس در اثر چرخش غلطک‌ها، به سمت داخل نیش و دو طرف آن حرکت می‌کند. حرکت مذاب در فرآیند غلطک‌کاری ناشی از نیروی درگی (پسا) است که غلطک‌ها به مذاب اعمال می‌کنند و باعث ایجاد تغییرات (گرادیان) فشار در جهت ماشین و در جهت عمود بر ماشین در مذاب می‌شوند. شواهد آزمایشگاهی این توزیع فشار را اولین بار اونکروور [۴] در مطالعه غلطک‌کاری پلی وینیل کلراید (PVC) و پلی استایرن (PS) گزارش کرده است. همچنین لوتر و موس [۵] نیز از طریق عددی وجود آن را اثبات نمودند.

شکل ۳ توزیع فشار را در سه مقطع از یک جفت غلطک نشان می‌دهد. با توجه به این شکل توقع ایجاد جریانی پیچیده و سه‌بعدی با سطح آزاد<sup>۱</sup> در فضای بین دو غلطک وجود دارد. جریان محوری (در جهت محور غلطک‌ها و عمود بر ماشین) در تمام فضای بین دو غلطک (از لحظه ورود مذاب تا لحظه خروج آن) وجود دارد، منتها به دلیل تغییر فاصله بین دو غلطک در جهت عمود بر محور، دبی این جریان در مکان‌های مختلف متفاوت خواهد بود. البته در فضای باریک بین دو غلطک، جریان ناشی از درگ صفحات غلطک‌ها در جهت چرخش آن‌ها، بر جریان ناشی از گرادیان فشار در جهت عمود بر ماشین غلبه دارد.

می‌باشد. اگر از تاج‌دار کردن به‌طور صحیح استفاده شود می‌توان مشکل غیریکنواخت بودن مربوطه را در یک شرایط کاری مشخص به‌طور کامل رفع نمود. از ضربه‌ری کردن و پیچاندن نیز می‌توان به‌طور پیوسته در حین فرآیند برای رفع مشکل استفاده کرد. ضربه‌ری کردن شبیه به تاج‌دار کردن باعث افزایش فضای خالی بیشتر در محل لبه غلطک‌ها نسبت به مرکز آن‌ها می‌شود. پیچش غلطک‌ها با دو گشتاور خارجی صورت می‌گیرد که توسط دو یاتاقان در دو انتهای غلطک‌ها ایجاد می‌شود و می‌توان در حین فرآیند آن را کم یا زیاد کرد.

شکل ۲ اثر ضربه‌ری کردن و پیچش را بر روی توزیع ضخامت ورق تولیدی (میزان همگنی محصول) نشان می‌دهد. بنابراین دانش دقیق توزیع فشار هیدرودینامیکی در محل نیش برای پیش‌بینی توزیع دقیق ضخامت شکاف و همچنین بار اعمالی مورد نیاز بر روی بلبرینگ لازم است. نیاز به کنترل دقیق ضخامت شکاف و الزامات دقیق به جهت یکنواختی دمای غلطک نشان دهنده حساسیت کیفیت محصول به تغییرات جزئی در شرایط فرایندی است. به همین دلیل تعجب برانگیز نیست که یک خط تولید غلطک‌کاری به منظور رسیدن به شرایط ثابت و پایا معمولاً به زمان زیادی گاهی تا چندین ساعت نیاز دارد. در نتیجه خطوط کلندرینگ برای استفاده در زمان‌های طولانی مدت تولید طراحی می‌شوند. زمختی و اساس ساده این فرایندها کاملاً با شرایط تولیدی طولانی مدت آن‌ها سازگار است.

## ۲- مدل‌سازی جریان

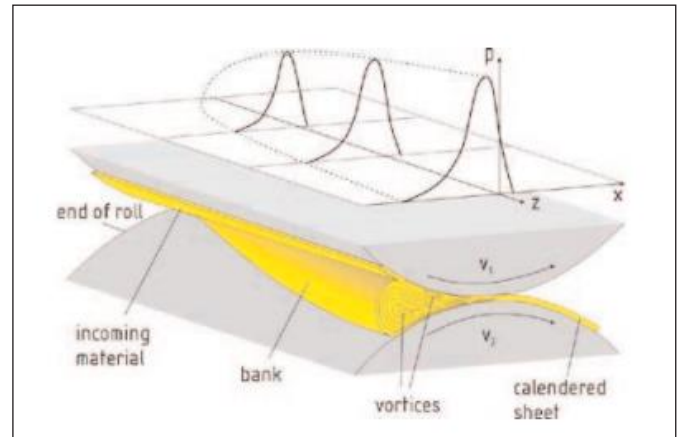
یک مدل جامع برای فرآیند غلطک‌کاری باید شامل آنالیز هم‌زمان هیدرودینامیکی پلیمر و سازه‌ای غلطک باشد به‌علاوه باید انتقال حرارت در پلیمر و غلطک و اثر کشش پایین دست روی ورقه پلیمری را نیز در نظر بگیرد. با در نظر گرفتن خواص رئولوژیکی ماده، شرایط خوراک، شرایط عملیاتی مثل سرعت و دمای غلطک‌ها، فاصله بین غلطک‌ها، میزان پیچش و ضربه‌ری

مانند یک مخزن خوراک عمل می‌کند که می‌تواند نوسانات دبی مذاب را تا حدی ضعیف و میرا کرده و جریان یکنواخت‌تری ایجاد کند. از این‌رو به صورت کیفی نباید تفاوت اساسی عملکردی بین نیش‌ها قائل شد. در واقع تمامی نیش‌ها وظیفه تنظیم دبی، کاهش ضخامت و اصلاح نوسانات ضخامت ورق تولیدی را دارند. (مانند فرایند اکسترودر ترموپلاستیک‌ها که تمامی پیچ اکسترودر تعیین کننده دبی است نه فقط بخش اندازه زنی<sup>۱</sup>). با اوصاف ذکر شده معلوم می‌شود که به دست آوردن یک راه حل تحلیلی ساده برای این جریان پیچیده سه‌بعدی که در یک هندسه پیچیده (با اندازه متغیر فاصله بین غلطک‌ها در هر دو جهت ماشین و عمود بر ماشین) اتفاق می‌افتد و با در نظر گرفتن مدل‌های پیچیده رئولوژیکی در شرایط غیر هم‌دما ممکن نیست.

اغلب مدل‌های ارائه شده برای جریان غلطک‌ها براساس مدل گسکل<sup>۲</sup> [۶] (بیان شده در تدمور و گاگس [۳]) است. برای استفاده از این مدل باید محل جدا شدن مذاب از غلطک‌ها مشخص باشد. در ادامه این مدل بررسی می‌شود.

### ۱-۲- مدل گسکل

همان‌طور که بیان شد مدل گسکل پایه و اساس بسیاری از مدل‌هایی است که برای شناخت جریان بین غلطک‌ها توسعه داده شده‌اند. به همین دلیل در این قسمت مبنای تئوری و نتایج به‌دست آمده از این مدل شرح داده می‌شود. مدل مک کلوی [۷] نیز شبیه همین مدل و برای سیالات توانی توسعه داده شده است. فرض کنید دو غلطک هم‌اندازه (با شعاع  $R$ ) با فرکانس چرخش  $N$  در حال گردش در خلاف جهت هم می‌باشند و با حرکت خود، ماده را به سمت جلو حرکت می‌دهند. شکل ۴ شماتیکی از جریان را نشان می‌دهد. حداقل فاصله بین غلطک‌ها مطابق شکل  $2H_0$  است. فرض می‌کنیم که پلیمر به صورت همگن و با عرضی برابر با  $W$  روی غلطک‌ها به صورت مماس با آن‌ها قرار گرفته است. در یک محل مشخص در بالادست ( $X_2 < 0$ ) ( $X_2 = X_1$ ) پلیمر و غلطک در



شکل ۳- پروفایل فشار در طول و عرض غلطک [۵]

مارشال [۲] نشان داد افزایش عرض ورقه تولیدی در عمل محدود به ناحیه ورودی خوراک تا ناحیه حداکثر فشار بین دو غلطک می‌باشد. در عمل، جریان در ناحیه نیش به دلیل تغییرات فاصله بین غلطک‌ها (به دلیل تاج‌دار کردن غلطک‌ها) و تغییر شکل هیدرودینامیکی و پیچش آن‌ها بسیار پیچیده است. همه این عوامل باید به نحوی تنظیم شوند تا یک جریان یکنواخت به ازای واحد عرض ورقه تولیدی در فضای نیش غلطک‌ها ایجاد شود. حتی در اثر تغییرات اندکی در توزیع فشار در جهت چرخش غلطک‌ها، محل جدا شدن ورقه از غلطک‌ها را تغییر می‌دهد و در نتیجه ضخامت ورق تولیدی عوض می‌شود.

با توجه به موارد ذکر شده می‌توان پیشرفت‌های اخیر در تجهیزات فرآیند غلطک‌کاری را درک نمود. این تجهیزات به جای چهار غلطک دو غلطک دارند و یک اکسترودر که به یک حدیده کوتاه و ساده ایجاد ورق مجهز است خوراک را به صورت یکنواخت‌تری برای آن‌ها آماده می‌کند. در این حالت درواقع حدیده کار نیش اول که تغذیه و پهن کردن خوراک برای تغذیه نیش دوم است را با همان کارایی انجام می‌دهد.

در فرآیندهای غلطک‌کاری اگرچه کار نیش‌های دوم و سوم در واقع نازک‌تر کردن و یکنواخت‌تر کردن ورق تولیدی در هر دو جهت ماشین و عمود بر ماشین است ولی بانک تغذیه هر نیش

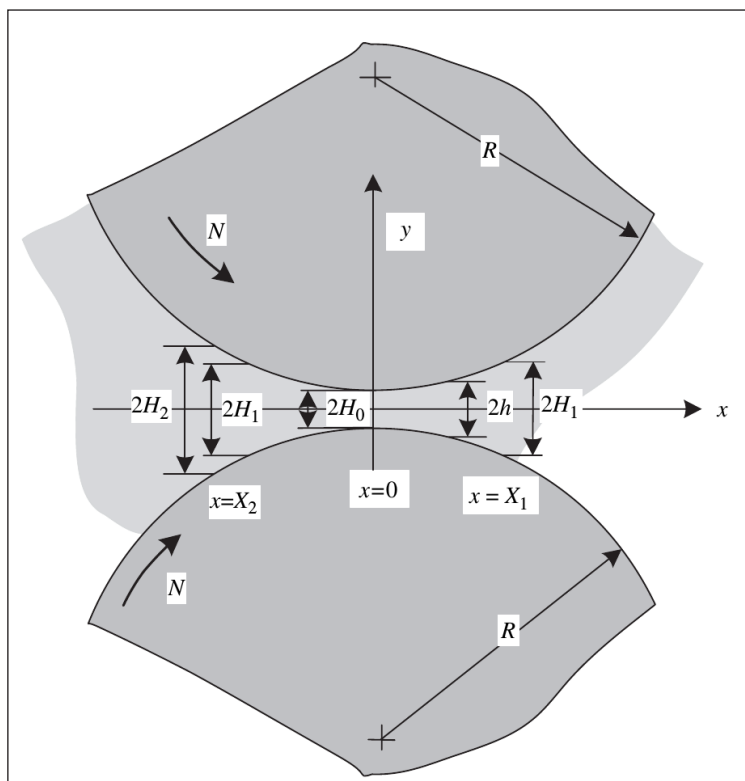


تماس با هم قرار می‌گیرند. در یک مکان مشخص در پایین دست پلیمر خودش را از یکی از غلطک‌ها جدا می‌کند. فرض شده است که فشار در محل  $X_2$  برابر با فشار اتمسفر است و در طول  $x$  زیاد می‌شود. به طوری که به حداکثر میزان خود در محل کم‌ترین فاصله‌ی بین دو غلطک می‌رسد و دوباره کاهش می‌یابد تا به فشار اتمسفر در محل  $X_1$  برسد. فشاری که به این ترتیب روی غلطک‌ها ایجاد می‌شود همان فشاری است که منجر به ایجاد نیروی دورکننده غلطک‌ها از هم مخصوصاً در محل نیش می‌شود که در قسمت قبل بحث شد. محل  $X_1$  و  $X_2$  بستگی به شعاع غلطک‌ها، میزان فاصله بین آن‌ها و حجم کل پلیمر در مورد جفت غلطک‌ها و یا دبی حجمی در مورد کلندرها دارد.

برای توسعه این مدل همچنین فرض‌های زیر در نظر گرفته شده است:

۱- جریان پایا، آرام و هم‌دما و تراکم‌ناپذیر است.

- ۲- سیال نیوتونی است.
- ۳- از نیروی جاذبه صرف‌نظر شده است.
- ۴- روی دیواره‌ها لغزش جریان وجود ندارد (شرط عدم لغزش برقرار است).
- ۵- فاصله بین غلطک‌ها ( $h$ ) نسبت به شعاع آن‌ها ( $R$ ) بسیار کوچک‌تر است. ( $h/R \ll 1$ )
- در واقع جریان سیال در یک شکاف نازک (فاصله بین دو غلطک) فرض شده که عرض شکاف به آرامی تغییر می‌کند. با این فرض امکان استفاده از تئوری لوبریکانت فراهم می‌گردد. (بر طبق این تئوری، پروفایل سرعت در هر مکان مثل  $x$  که عرض شکاف در محل  $x$  برابر با  $2h$  باشد همان پروفایل سرعت بین دو صفحه بی‌نهایت است که به اندازه  $2h$  از هم فاصله دارند وقتی که گرادیان فشار و سرعت صفحات همان مقادیر متناظر بین دو غلطک باشد). در واقع جریان به صورت جریان بین دو صفحه موازی در نظر گرفته



شکل ۴- شماتیکی از دو غلطک با شعاع  $R$  که جریان از محل نیش با عرض  $2H_0$  عبور می‌کند. مبدا مختصات درست در محل نیش محلی که دو مرکز غلطک را به هم متصل می‌کند قرار داده شده است.



شده است که سرعت صفحات همان سرعت غلطک‌ها می‌باشد. با این اوصاف تنها سرعت غیر صفر در جهت  $x$  خواهد بود ( $v$ ) که تابع  $y$  است. (مطابق شکل ۴). بنابراین معادلات پیوستگی و حرکت به صورت زیر ساده می‌شوند:

$$\lambda^2 = \frac{X_1^2}{2RH_0} \quad (۶)$$

$$\frac{dV_x}{dx} = 0 \quad (۱)$$

و ثابت انتگرال‌گیری  $C(\lambda)$  به صورت زیر با در نظر گرفتن  $P=0$  در محل  $\rho=\lambda$  به دست می‌آید.

$$C(\lambda) = \frac{(1+3\lambda^2)}{(1+\lambda^2)}\lambda - (1-3\lambda^2)\tan^{-1}\lambda \quad (۷)$$

$$\frac{dP}{dx} = -\frac{\partial\tau_{yx}}{\partial y} = \mu \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} \quad (۲)$$

مک کلوی [۷] تقریب زیر را برای  $C(\lambda)$  پیشنهاد داده است:

$$C(\lambda) \cong 5\lambda^2 \quad (۸)$$

ماکزیمم فشار با قرار دادن  $\rho=\lambda$  در معادله ۵ به صورت زیر به دست می‌آید:

$$P_{max} = \frac{3\mu U}{4H_0} \sqrt{\frac{R}{2H_0}} [2C(\lambda)] \cong \frac{15\mu U \lambda^3}{2H_0} \sqrt{\frac{R}{2H_0}} \quad (۹)$$

همان‌طور که از این معادله مشخص است، ماکزیمم فشار وابسته به مقادیر  $\lambda$  است. افزایش در میزان  $\lambda$  باعث عریض‌تر شدن پروفایل فشار می‌شود و هم میزان فشار ماکزیمم را افزایش می‌دهد. این مساله در شکل ۵ نشان داده شده است. در این شکل مقادیر  $P/P_{max, \lambda=1}$  در برابر  $\rho$  و برای مقادیر مختلفی از  $\lambda$  نشان داده شده است.

نتایج نشان می‌دهد که برای هر مقدار  $\lambda$  یک نقطه در بالادست جریان وجود دارد (محل  $X_2$ ) که در آنجا فشار نسبی برابر با صفر می‌گردد. به کمک همین واقعیت می‌توان با برابر با صفر قرار دادن فشار در معادله ۵، محل تماس غلطک و پلیمر ( $X_2$ ) را

برای حل این معادله نیاز به شرط مرزی است. به عنوان شرط مرزی سرعت در محل دیواره ( $h$  که خود متغیر است)  $U$  در نظر گرفته می‌شود که  $U$  سرعت خطی غلطک‌ها است:

$$U = 2\pi NR \quad (۳)$$

در نتیجه سرعت از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$V_x = U + \frac{y^2 - h^2}{2\mu} \left( \frac{dP}{dx} \right) \quad (۴)$$

بعد از طی مراحل حل از حل (جزئیات حل را می‌توانید از کتاب تدمور و گاگس [۳] دنبال نمایید) پروفایل فشار به صورت رابطه زیر به دست می‌آید:

$$P = \frac{3\mu U}{4H_0} \sqrt{\frac{R}{2H_0}} \left[ \frac{\rho^2 - 1 - 5\lambda^2 - 3\lambda^2 \rho^2}{(1 + \rho^2)^2} \right] \rho + (1 - 3\lambda^2)\tan^{-1}\rho + C(\lambda) \quad (۵)$$

که در آن

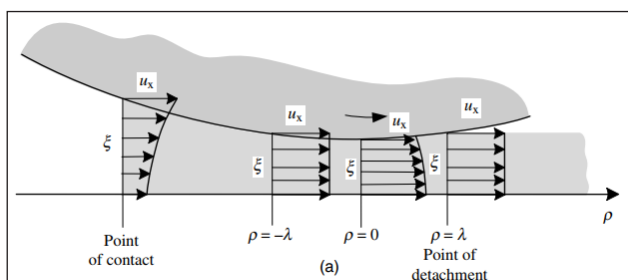
مقدار فشار در محل  $x=0$  نیز برابر با نصف فشار ماکزیمم به دست می آید.

پروفایل سرعت را نیز می توان با جایگذاری معادله ۲ در ۴ و کمک از معادلات ۵ و ۶ و ۷ به دست آورد:

$$(11)$$

$$u_x = 1 + \frac{3(1 - \xi^2)(\lambda^2 - \rho^2)}{2(1 + \rho^2)}$$

که در آن  $u_x = V_x/U$  و  $\xi = y/h$  مقادیر بی بعد شده ی سرعت و مکان می باشند. شکل ۷ پروفایل سرعت بین دو غلطک را در چهار مکان برای وقتی که  $\lambda^2 = 0.1$  باشد نشان می دهد.



شکل ۷- پروفایل سرعت بین غلطک ها برای  $\lambda^2 = 1$ . در محل  $\rho = \pm \lambda$  پروفایل ثابت است (جریان پلاگ).

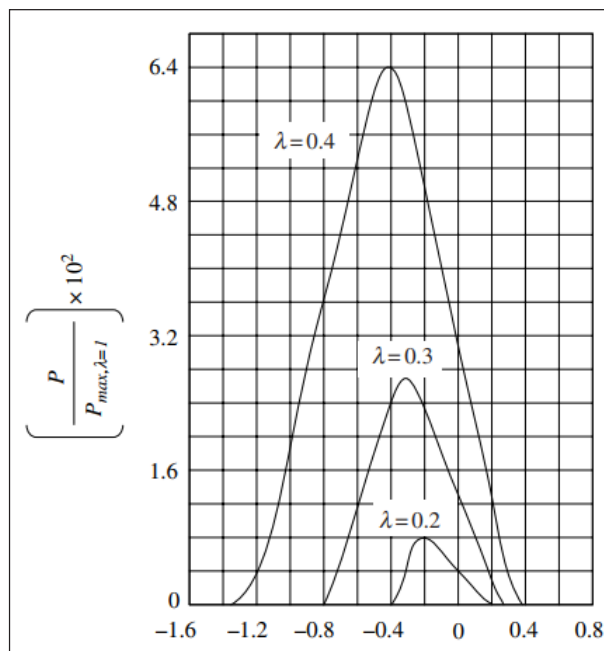
معادله بالا این را هم نشان می دهد که در راستای  $y$  در محل  $\xi = 0$  در یک مکان مشخص مثل  $\rho^*$  نقطه ایستایی<sup>۱</sup> در جریان دیده می شود (یعنی در این محل  $V_x = 0$ ):

$$(12)$$

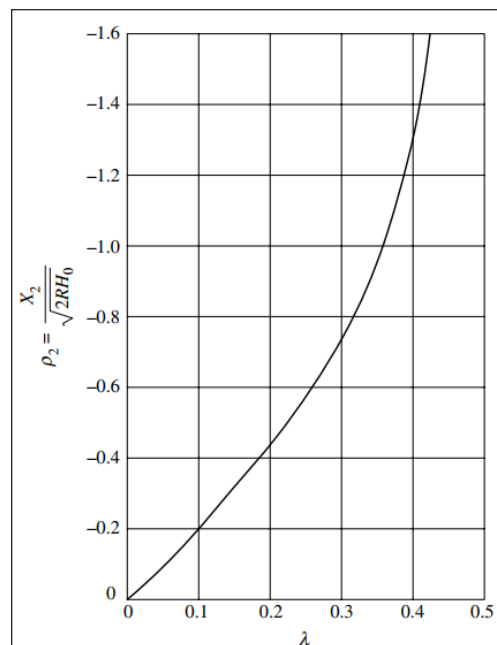
$$\rho^* = -\sqrt{2 + 3\lambda^2}$$

به ازای  $\lambda = 0.425$  نقطه ایستایی درست در محل تماس اولیه پلیمر و غلطک است. بنابراین به ازای  $\lambda > 0.425$  جریان های گردابه ای در محل ورودی به وجود می آیند. هرچند که رفتار این جریان ها توسط مدل گسکل قابل پیش بینی نیست. (شکل ۸)

برحسب محل جدا شدن پلیمر از غلطک ( $\lambda$ ) به دست آورد. شکل ۶ نشان دهنده محل بی بعد شده ی  $X_2$  بر حسب  $\lambda$  می باشد.

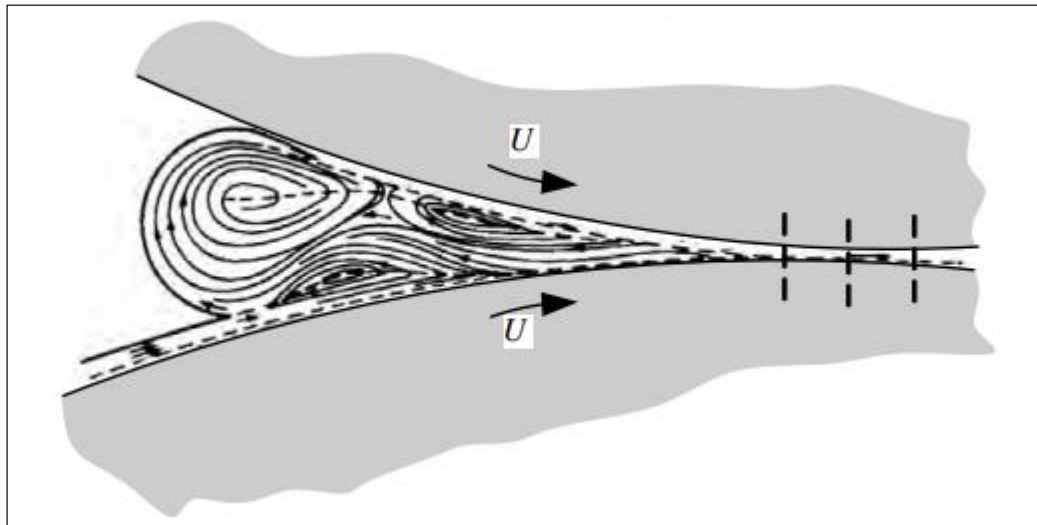


شکل ۵- پروفایل فشار بین غلطک ها به صورت تابعی از مقادیر  $\lambda$  [۷]



شکل ۶- رابطه بین  $\rho_2$  یعنی جایی که غلطک ها اولین تماس را با پلیمر ایجاد می کنند (معادل  $X_2$ ) و  $\lambda$  یعنی جایی که پلیمر از غلطک جدا می شود (معادل  $X_1$ ) براساس محاسبات ارمن و ولاکوپولوس [۲۲]

#### 1. Stagnation Point



شکل ۸- شماتیکی از پروفایل سرعت بدست آمده از طریق ردیابهای رنگی. حرکت گردابه‌های مشاهده شده توسط مدل گسکل پیش بینی نمی شوند

$$F_N = \frac{3\mu URW}{4H_0} g(\lambda)$$

(۱۶)

مقادیر  $f(\lambda)$  و  $g(\lambda)$  براساس فرمول‌هایی به دست می‌آید که ماحصل آن در شکل ۹ آمده است.

به جهت نشان دادن کاربرد مدل گسکل در پیش‌بینی جریان غلطک‌ها نتایج حاصل از آن با نتایج به دست آمده از یک مورد کار آزمایشگاهی توسط برگن و اسکات [۸] مقایسه شده است [۹]. در کار آزمایشگاهی قطر غلطک‌ها ۱۰ اینچ و فاصله آن‌ها در محل نیش ۰/۰۲۵ اینچ و سرعت خطی آن‌ها ۵ اینچ بر ثانیه بوده است. در شکل ۱۰ این مقایسه نشان داده شده است.

## ۲-۲- سایر مدل‌ها

اغلب مدل‌های ارائه شده در منابع بر مبنای مدل گسکل هستند. برای استفاده از این مدل باید محل جدا شدن مذاب از غلطک‌ها مشخص باشد (لازم به ذکر است مکان جدا شدن مذاب از غلطک‌ها با توجه به مکان اتصال مذاب به غلطک‌ها در ورودی غلطک‌ها

با داشتن پروفایل سرعت می‌توان میزان تنش در سیال را نیز به دست آورد. طبق محاسبات مدل گسکل تنش برابر است با:

(۱۳)

$$\tau_{yx} = \frac{3\mu U(\lambda^2 - \rho^2)}{H_0(1 + \rho^2)^2} \xi$$

مقدار ماکزیمم تنش روی سطح غلطک و در محل  $\rho=0$  که فاصله بین دو غلطک مینیمم است برابر است با:

(۱۴)

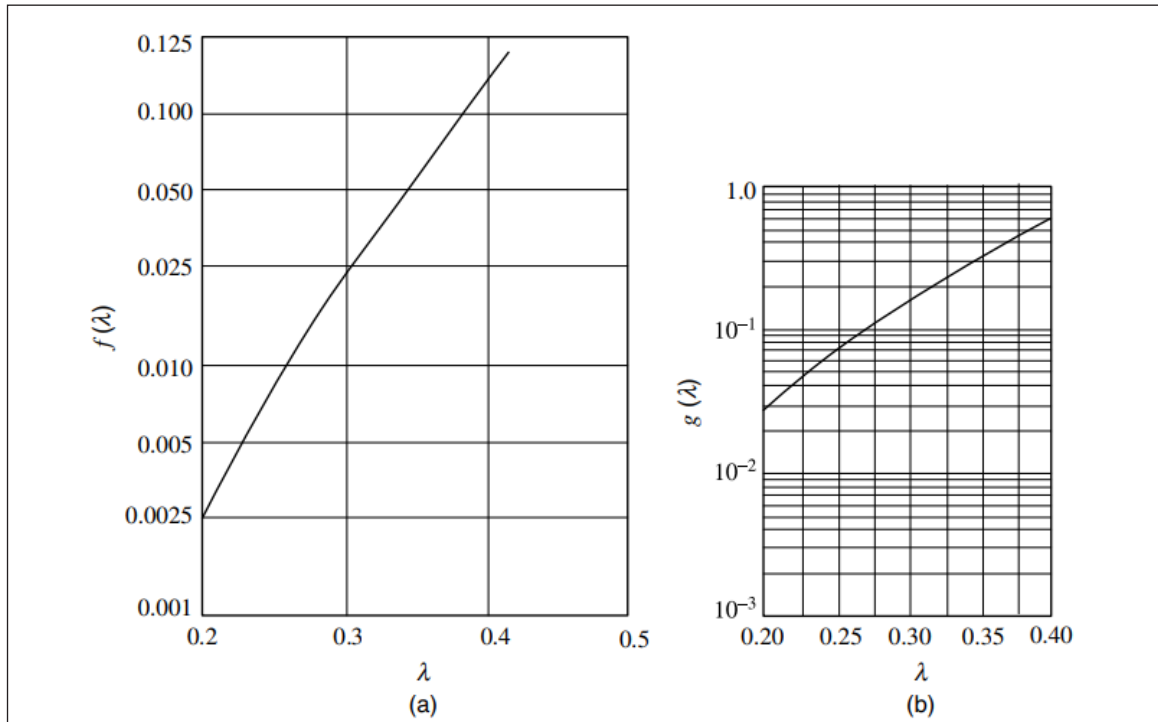
$$\tau_{max} = \frac{3\mu U \lambda^2}{H_0}$$

بنابراین مقدار کل توان مورد نیاز برای به گردش درآوردن غلطک‌ها از رابطه زیر به دست می‌آید:

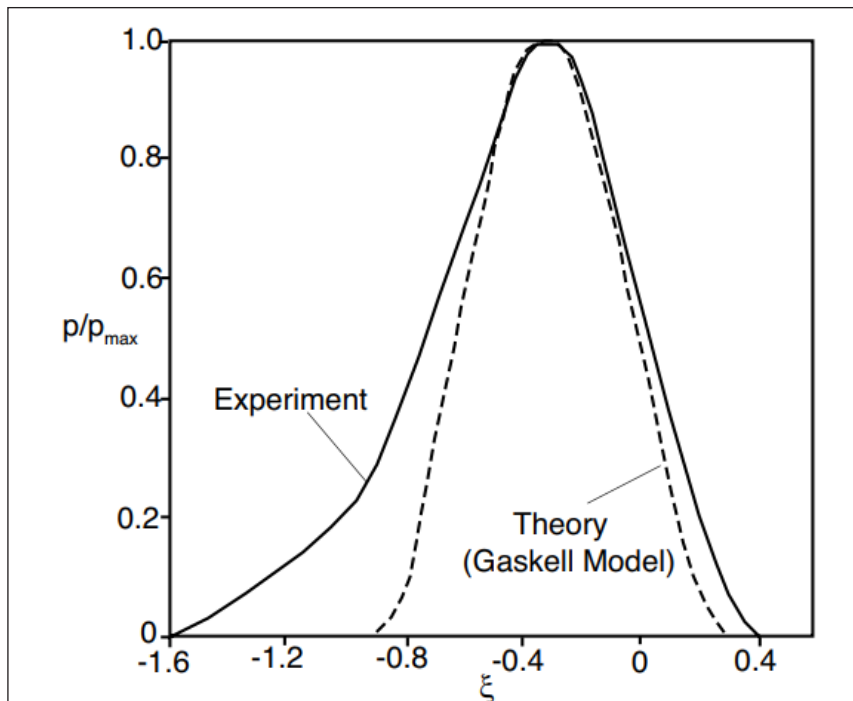
(۱۵)

$$P_w = 3\mu W U^2 \sqrt{\frac{2R}{H_0}} f(\lambda)$$

و در نهایت مقدار نیروی جدا کننده‌ی غلطک‌ها هم از رابطه زیر به دست می‌آید:



شکل ۹- توابع  $f(\lambda)$  و  $g(\lambda)$  بر حسب  $\lambda$  [۷]



شکل ۱۰- مقایسه نتیجه مدل گسکل و یک مورد از نتایج آزمایشگاهی [۸]

تقارن غلطک‌ها نیز وارد شده است. مک کلوی [۷] و برازینسکی و همکاران [۱۰] مدل گسکل را به سیالات قانون توانی گسترش دادند. آلستون و آستیل [۱۱] نیز شبیه این مدل را برای سیالی که لزجت آن تابعیتی هذلولوی از نرخ برش دارد، حل کردند. جاود و همکاران [۱۲] نیز آن را برای سیال الیس توسعه دادند.

پاسلای [۱۳]، توکیتا و وایت [۱۴] مدلی شبیه گسکل را ولی برای یک سیال ویسکوالاستیک حل کردند. پاسلای از یک مدل اولدروید سه متغیره استفاده کرد. او اثر اندرکنش متغیرهای مدل را بر سینماتیک جریان بررسی کرد ولی متأسفانه نیروهای نرمال را در معادله حرکت در نظر نگرفت. توکیتا و وایت [۱۴] ارتباط مشاهدات آزمایشگاهی آسیاب کردن الاستومرها را با پارامترهای رئولوژیکی مدل مبسوط درجه دوم ریولین - اریکسن نشان دادند. آن‌ها اهمیت عدد دیورا  $\lambda(V/L) \simeq \gamma \dot{\lambda} De = V$  (سرعت مشخصه و L فاصله بین دو غلطک است) را در فرآیندهای آسیاب و غلطک‌کاری نشان دادند. هر چند آن‌ها توزیع سرعت و فشار را به دست نیاوردند، ولی اهمیت نیروهای نرمال را در فرآیند غلطک‌کاری نشان دادند.

چانگ [۱۵] قابلیت استفاده از مدل‌های قانون توانی، اولدروید سه متغیره و ریولین - اریکسن درجه دو اصلاح‌شده را در غلطک‌کاری بررسی کرد. دو اشکال در کار وی قابل مشاهده است. اول اینکه وی بیان کرد حداکثر نرخ برش و تنش برشی در حداقل فاصله بین دو غلطک ایجاد می‌شود. دوم اینکه در انتگرال‌گیری از معادله توزیع سرعت برای مدل قانون-توانی علامت گرادیان فشار را اشتباه اعمال کرد. از آنجاکه به دست آوردن توزیع سرعت به صورت تحلیلی برای مدل اولدروید ممکن نبود، چانگ با استفاده از یک مدل نیوتنی توزیع تقریبی فشار را به دست آورد. در مورد مدل ریولین - اریکسن، چانگ تنها با استفاده از اعداد بدون بعد به آنالیز توزیع سرعت پرداخت. چانگ نیروهای جداکننده را در شرایط مختلف عملیاتی برای غلطک‌کاری استات سلولز اندازه گرفت. توکیتا و وایت [۱۴] با

محاسبه می‌شود). دانستن محل جدایی مذاب از غلطک معادل دانستن ضخامت ورقه تولیدی ( $2H_1$ ) است. ضخامت ورق را با توجه به دبی و عرض ورق  $W_1$  و با استفاده از رابطه ۱۷ می‌توان تعیین کرد.

(۱۷)

$$F_N = \frac{3\mu URW}{4H_0} g(\lambda)$$

در این رابطه U سرعت حرکت سطح غلطک است. متأسفانه عرض ورق را با استفاده از این مدل یک‌بعدی (که در آن فرض می‌شود عرض صفحه نامحدود است) نمی‌توان تعیین کرد. بنابراین همان‌گونه که مک کلوی [۷] نیز اشاره نموده است برای استفاده از این مدل‌های یک‌بعدی باید ضخامت صفحه (یا محل جداسدن ورق از غلطک) را با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و به‌عنوان متغیر مدل تعیین کرد. این نقطه ضعف قابلیت پیش‌بینی مدل را محدود می‌کند. برای غلبه بر این محدودیت جریان عمود بر ماشین مذاب نیز باید در مدل در نظر گرفته شود.

البته این مشکل تنها محدودیت مدل گسکل نیست. این مدل قابلیت پیش‌بینی جریان‌های ناحیه ورودی را که در آزمایشگاه مشاهده شده‌اند، ندارد. زیرا اثر جریان پایین دست را بر مخزن مذاب ابتدای غلطک‌ها نمی‌بیند و از مدل‌های غیرنیوتنی و ویسکوالاستیک نیز بهره نمی‌برد. در نهایت این مدل قادر به پیش‌بینی توزیع فشار سه بعدی که در آزمایش دیده شده است [۵، ۸] نیز نمی‌باشد.

بعد از مدل گسکل محققین زیادی این مدل را بهبود و توسعه دادند. اغلب این مدل‌ها بر پایه مدل گسکل هستند ولی مدل‌های رئولوژیکی دقیق‌تری دارند و احیاناً اثرات ناهم‌دمایی را نیز در نظر می‌گیرند. لازم به تذکر است که در مدل اولیه گسکل تنها اثرات ویسکوز (بدون در نظر گرفتن اثرات الاستیک و ناپایایی) در نظر گرفته شده‌اند و مدل حاصل برای سیال نیوتنی و پلاستیک بینگهام حل شده است و به صورت مختصر اثر عدم

زیادی را شامل می‌گردند. شناخت این جزئیات تاثیر به‌سزایی در تنظیمات صحیح آن‌ها به جهت اخذ بهترین کارکرد و نتیجه دارد. کیفیت و کمیت محصول تولیدی در رابطه مستقیم با همین تنظیمات دستگاهی است که نیاز است تا هم در ابتدای فرایند و هم در طول فرایند انجام گیرد. علاوه بر شناخت تجربی که هم‌اکنون نیز در اغلب کارخانه‌های کشور وجود دارد، شناخت تئوری و همچنین مدل‌سازی این نوع فرایندها راه‌گشاست و می‌تواند در کاهش خطای انسانی در کار با این دستگاه‌ها مفید باشد. در این مقاله مدل گسکل به عنوان اساس بسیاری از مدل‌های توسعه داده شده‌ی هیدرودینامیکی جریان بر روی کلندرها معرفی گردید. بر طبق نتایج این مدل، میزان توان مورد نیاز برای گردش غلطک‌ها وابسته به شعاع غلطک، ویسکوزیته سیال، سرعت چرخش (خود وابسته به فرکانس چرخش و شعاع غلطک)، عرض ورق تولیدی، محل جدایش ورق تولیدی از سطح غلطک و کمترین فاصله بین دو غلطک (در محل نیش) است. همچنین نیروی نرمال در راستای جدایش غلطک‌ها از هم وابسته به همین پارامترها ولی به شکلی دیگر است. همان‌طور که گفته شد نیاز است تا این نیرو به روش‌های مختلف خنثی گردد تا کیفیت ورق تولیدی تحت تاثیر قرار نگیرد. مدل گسکل پیش‌فرض‌های ساده‌کننده متنوعی دارد. بنابراین انتظار می‌رود در شرایط واقعی پروفایل‌های سرعت، نیروها و توان به‌دست آمده پیچیده‌تر از پیش‌بینی این مدل باشد. استفاده از نتایج این مدل به‌عنوان حدس اولیه و در مقام طراحی با بهینه‌سازی اولیه مفید است.

### سپاسگزاری

IRM ...

آنالیز داده‌های آزمایشگاهی حاصل از غلطک‌کاری استات سلولز دریافتند که عدد دبورا پارامتری مؤثر و تعیین‌کننده در ایجاد غیریکنواختی موسوم به نرو<sup>۱</sup> در فرآیند غلطک‌کاری است. آگازانت [۱۶] و همکارانش عیوب فرآیند غلطک‌کاری PVC را مطالعه کردند. آن‌ها نیروی جداکننده، توان گشتاور و نسبت ضخامت ورودی غلطک (مخزن) به فاصله بین دو غلطک ( $H_2/H_0$  در شکل ۴) را به صورت توابعی از شرایط عملیاتی غلطک‌ها به‌دست آوردند.

با توجه به اینکه زمان گذر پلیمر از فضای بین دو غلطک (نیش) در مرتبه ثانیه است وایت [۱۷] پیشنهاد داد که برای شبیه‌سازی دقیق‌تر جریان سیال پلیمر در این ناحیه بهتر است از مدل‌های ویسکوالاستیک که اثرات ناپایا مثل اورشوت<sup>۲</sup> تنش را پیش‌بینی می‌کنند استفاده شود. (در واقع جریان بین دو غلطک شبیه جریان فشرده شونده است).

همان‌طور که در مقدمه نیز بیان شد، استفاده از مدل‌های تحلیلی برای پیش‌بینی رفتار مواد در حین گذر از میان غلطک‌ها با محدودیت دقت (به دلیل ساده‌سازی) روبرو است. از این رو استفاده از روش‌های عددی برای تحلیل هیدرودینامیکی کلندرها و جفت غلطک‌ها در دهه‌های اخیر مرسوم گشته است (به عنوان مثال [۱۸-۲۱] را ببینید). اگرچه طراحی و بهینه‌سازی اولیه اغلب روش‌های تحلیلی جوابگو هستند ولی روش‌های عددی با اعمال هزینه‌ی بار محاسباتی بیشتر ولی دقت بیشتری دارند و در موارد ضروری‌تر به‌کار می‌روند.

### نتیجه‌گیری

جفت غلطک‌ها و کلندرها به‌عنوان ابزارهای کاربردی شکل‌دهی مواد پلیمری از جمله لاستیک‌ها در عین سادگی جزئیات عملیاتی

### مراجع

1. Eighmy Jr, G., 'Calendering. Modem Plastics Encyclopedia, McGraw-Hill, New York, 1977: p. 234.

2. Bhowmick, A., Rubber products manufacturing technology. 2018: Routledge.
3. Tadmor, Z. and C.G. Gogos, Principles of polymer processing. 2013: John Wiley & Sons.
4. Unkrüer, W., Beitrag zur Ermittlung des Druckverlaufes und der fließvorgänge im Walzpalt bei der Kalanderverarbeitung von PVC hart zu folien. 1970, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen.
5. Luther, S. and D. Mewes, Three-dimensional polymer flow in the calender bank. *Polymer Engineering & Science*, 2004. 44(9): p. 1642-1647.
6. Gaskell, R., The calendaring of plastic materials. *JOURNAL OF APPLIED MECHANICS-TRANSACTIONS OF THE ASME*, 1950. 17(3): p. 334-336.
7. McKelvey, J.M., Polymer processing. 1962: John Wiley & Sons.
8. Bergen, J. and G. Scott, Pressure distribution in the calendaring of plastic materials. *J. Appl. Mech*, 1951. 18: p. 101-106.
9. Osswald, T.A. and J.P. Hernández-Ortiz, Polymer processing. Modeling and Simulation. Munich: Hanser, 2006: p. 1-651.
10. Brazinsky, I., et al., A theoretical study of liquid-film spread heights in the calendaring of newtonian and power law fluids. *Journal of Applied Polymer Science*, 1970. 14(11): p. 2771-2784.
11. Alston Jr, W.W. and K.N. Astill, An analysis for the calendaring of non-newtonian fluids. *Journal of Applied Polymer Science*, 1973. 17(10): p. 3157-3174.
12. Javed, M.A., N. Ali, and M. Sajid, A theoretical analysis of the calendaring of Ellis fluid. *Journal of Plastic Film & Sheeting*, 2017. 33(2): p. 207-226.
13. Paslay, P., Calendaring of a viscoelastic material. *J Appl Mech*, 1957. 24: p. 602-605.
14. Tokita, N. and J.L. White, Milling behavior of gum elastomers: Experiment and theory. *Journal of Applied Polymer Science*, 1966. 10(7): p. 1011-1026.
15. Chong, J., Calendaring thermoplastic materials. *Journal of Applied Polymer Science*, 1968. 12(1): p. 191-212.
16. Agassant, J. and P. Avenas. Calendaring of PVC. Forecast of Stresses and Torques. in 2nd Intern. Symp. PVC, Lyon, France. 1976.
17. White, J.L., Elastomer rheology and processing. *Rubber chemistry and technology*, 1969. 42(1): p. 257-338.
18. Ding, X.T., et al. Finite Elements Prediction of Temperature Field and Thermal Stresses in Thermal Roll of Calendaring Process. in *Advanced Materials Research*. 2013. Trans Tech Publ.
19. Mitsoulis, E., Numerical simulation of calendaring viscoplastic fluids. *Journal of non-newtonian fluid mechanics*, 2008. 154(2-3): p. 77-88.
20. Polychronopoulos, N.D., I.E. Sarris, and T. Papathanasiou, 3D features in the calendaring of thermoplastics: A computational investigation. *Polymer Engineering & Science*, 2014. 54(7): p. 1712-1722.
21. Lopez-Gomez, I., O. Estrada, and T. Osswald, Modeling and simulation of polymer processing using the radial functions method. *Wak Zeitschrift Kunststofftechnik*, 2007. 3(2).
22. Ehrmann, G. and J. Vlachopoulos, Determination of power consumption in calendaring. *Rheologica Acta*, 1975. 14(8): p. 761-764.





***IRM***

## لیگنین پرکننده‌ای تقویت کننده در آمیزه‌های لاستیکی

### Lignin as reinforcing filler in rubber compound

#### چکیده:

لیگنین پرکننده‌ای است که خصوصیات تقویت‌کنندگی آن به همراه خواصی چون فراوانی، تجدیدپذیری سالانه، بازده بیولوژیکی بالا، سازگاری اکولوژیکی و وزن کم آن باعث شده که مورد توجه بسیاری از محققین قرار گیرد و به‌عنوان جایگزینی برای دوده مطرح شود. در این نوشتار سعی شده به‌طور خلاصه لیگنین مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا به ساختار شیمیایی لیگنین و انواع ساختارهای آن توجه شده است. از دیدگاه کاربردی و فرایندی مشخص شده که این پلیمر به‌خاطر داشتن گروه‌های عاملی قطبی فراوان تمایل کمی برای پخش در بستر لاستیک دارد بدین دلیل در زمان آمیزه‌کاری به‌صورت کلوخه‌ای درآمده و خصوصیت تقویت‌کنندگی آن ظاهر نخواهد شد برای رفع این مشکل و همچنین بهبود خواص کامپوزیت‌های تقویت شده با این پرکننده کارهایی انجام گرفته است. از جمله این کارها اصلاح فرایند اختلاط، افزایش جاذبه آن با بستر لاستیک و تشکیل ساختارهای نانویی و هیبریدی است و در اینجا بخشی از این فعالیت‌ها به‌همراه اثرات این ماده بر خواص پختی، مکانیکی و حرارتی آن به‌طور خلاصه آمده است.

واژه‌های کلیدی: لیگنین، اصلاح شیمیایی، تکنیک‌های اختلاط، خواص لاستیک لیگنین‌دار

نوع مقاله: ترجمه

علی نیک‌اختر\*

۱- دکترای تخصصی، استادیار، مدرس دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

ایمیل نویسندگان و عهده‌دار مکاتبات:

anikakhtar@birjand.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۰

## مقدمه

پلیمری به‌عنوان یک پرکننده تقویت‌کننده شناخته می‌شود. به‌علاوه لیگنین چندین خصوصیت بارز دارد که از آن جمله می‌توان به خواص مکانیکی و خواص فیزیکوشیمیایی مناسب، قابلیت تجزیه بیولوژی، خواص ضد اکسیدانی خوب و پایداری حرارتی عالی اشاره کرد. [۴] در مقابل، وارد کردن و پخش لیگنین در آمیزه لاستیک به‌خاطر برهم‌کنش قوی آن با خودش مشکلاتی دارد. از جمله کارهای انجام شده برای رفع این مشکل می‌توان به افزودن سازگار کننده، اصلاح سطح، ساخت پرکننده‌های هیبریدی آن و ... اشاره کرد.

### شیمی لیگنین و اصلاح خواص آن برای استفاده در لاستیک

لیگنین پلیمری است که زنجیرهای آن شبکه‌ای سه‌بعدی داشته و در ایجاد خواص مکانیکی گیاه نقش دارد. این ماده به‌صورت چسبی در داخل رشته‌ها و بین رشته‌ها می‌باشد و باعث ایجاد مقاومت و سفتی در دیواره سلول گیاهی می‌گردد و سلول‌های گیاهی را در شرایط سخت محیطی مثل محیط‌های پر از آب محافظت می‌کند. اما در مقابل تخریب‌زیستی توسط اشعه UV مقاومت ندارد [۵].

ساختار پایه لیگنین از نوع فنیل پروپانویدی<sup>۱</sup> است، که در شکل (۱) نمایش داده شده است. واحدهای ساختاری اصلی لیگنین پاراکوماریل الکل (پاراتیدروکسیل فنیل الکل، H)<sup>۲</sup>، کونی فریلی الکل (گونی سیل، G)<sup>۳</sup> و سینا فیل الکل (سیر ینگیل S)<sup>۴</sup> است [۶]. به علت فراوانی گروه‌های عاملی بر روی لیگنین می‌توان از آن به‌عنوان یک پرکننده تقویت‌کننده استفاده کرد. با تصحیح شیمیایی گروه‌های عاملی روی سطح، امکان سازگاری آن با انواع بسترهای پلیمری فراهم می‌شود. لیگنین‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند. نوع اول لیگنین چوب نرم است. این نوع لیگنین بیشتر از واحدهای کونی فریلی الکل (G) ساخته می‌شوند. این ماده را می‌توان از انواع فرآیندهای مختلف جداکننده لیگنین از منابع مختلف به‌دست آورد. ساختمان این نوع لیگنین‌ها که از منابع مختلف به‌دست

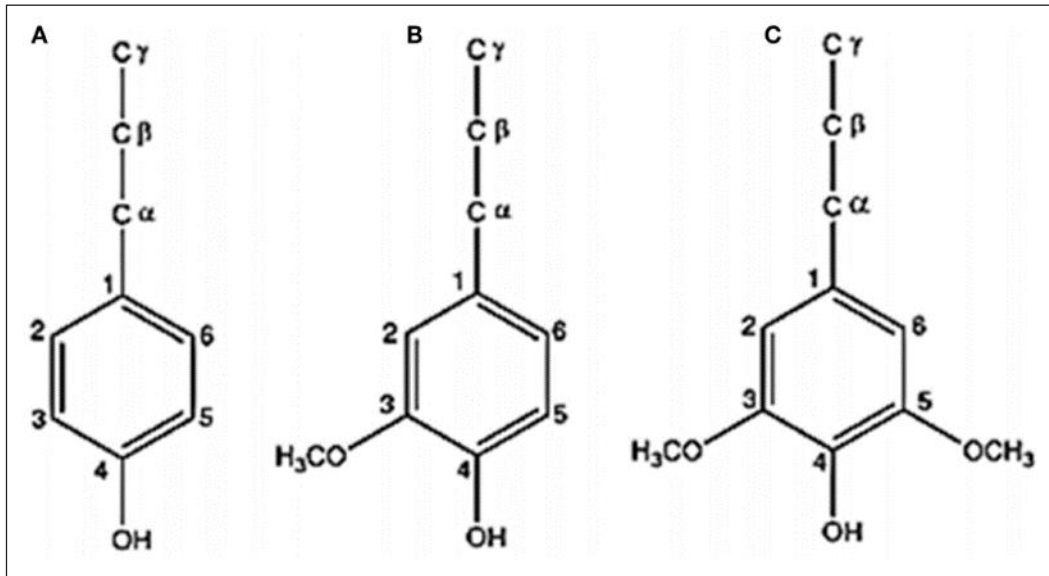
لاستیک‌ها در بخش‌های مختلف زندگی امروز کاربردهای زیادی دارند در هر کاربردی برای رسیدن به عملکرد خوب لاستیک، خواصی موردنیاز است. پرکننده‌های تقویت‌کننده از جمله موادی هستند که نقش مهمی در ایجاد این خواص بر عهده دارند. پرکننده‌ها مخصوصاً در تکنولوژی ساخت تایر بسیار مهم هستند. به‌طور کلی تقویت، به‌عنوان اضافه‌کردن ذرات نرم به آمیزه برای بهترکردن خواص قطعه لاستیکی پس از پخت می‌باشد که از جمله این اثرات می‌توان به‌بهبود سایش، پارگی، برش و مقاومت پارگی بدلیل سفتی و سختی آن اشاره کرد [۱].

تایرهادر بین محصولات لاستیکی چه از نظر حجم تولید و چه از نظر اهمیت، بارزترین می‌باشند. به‌طوری‌که بیشتر لاستیک طبیعی و لاستیک مصنوعی و همچنین ۹۰٪ دوده تولیدی دنیا در این صنعت مصرف می‌شود [۲]. دوده علاوه بر مزایای متعدد استفاده از آن، معایبی نیز دارد که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: ۱- انرژی زیاد برای تولید ۲- ماهیت شیمیایی نفتی ۳- داشتن مواد غیر قابل تخریب ۴- آلاینده‌گی طبیعت ۵- رها شدن میزان زیادی دی‌اکسیدکربن در اتمسفر جهت تولید آن ۶- ایجاد مقاومت غلظتی بالا در تایرها که باعث سوزاندن سوخت بیشتر در خودروها می‌شود. علاوه بر عوامل فوق کاهش ذخایر نفتی و بوجود آمدن بحران‌های زیست محیطی باعث شده که تحقیقات بر روی تایرهای سبز که از مواد تجدیدپذیر بدست می‌آید متمرکز گردد [۳].

پس از دوده، سیلیکا پرکننده بسیار مهمی است که در آمیزه‌های لاستیکی استفاده می‌شود از دیگر پرکننده‌ها دندلايون<sup>۱</sup> و لیگنین<sup>۲</sup> را می‌توان نام برد. در حال حاضر تحقیقات زیادی در زمینه پرکننده‌های سبز انجام می‌شود این کارها با هدف پیشرفت در ساخت آمیزه‌های سبز انجام می‌شود تا بدین ترتیب تایرهای سبز بتوانند توان رقابت در بازار تایر را داشته باشند.

لیگنین در بین پرکننده‌های سبز ماده‌ای است که در بین منابع تجدیدپذیر طبیعی در رتبه دوم می‌باشد این ترکیب با ساختار

1. Dandelion 2. Lignin 3. phenylpropanoid 4. p-coumarylalcohol (p-hydroxyphenyl, H) 5. sinapyl alcohol (syringyl, S)  
6. coniferyl alcohol (guaiacyl, G)



شکل ۱- فنیل پروپانوئید های اصلی تشکیل دهنده لیگنین (A) پاراکوماریل الکل، (B) کونی فریلی الکل (C) سینا فیل الکل [۱۰]

و حرارتی آن به طور خلاصه آمده است. نوع دوم لیگنین چوب سخت است. این‌ها طبقه دیگری از لیگنین‌ها بوده و از مخلوطی از واحدهای G و S ساخته می‌شوند. نوع سوم لیگنین‌ها از واحدهای G.S و H ساخته می‌شوند که در گیاهانی مثل غلات، دانه‌های روغنی و غیرچوبی‌ها یافت می‌شود. حلقه آروماتیک پاراهیدروکسی فنیل (H) واکنش‌پذیری را افزایش می‌دهد چرا که سه و پنج موقعیت فعال در واکنش دارند بخش بزرگی از این گروه‌ها برای ساخت فوم‌های لیگنین به کار می‌روند. لیگنین‌های جدا شده از منابع مختلف، جرم مولکولی در بازه بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ گرم بر مول دارند [۶].

ساختار شیمیایی و خواص لیگنین بسته به گیاهی که از آن به دست می‌آید متفاوت است. همچنین این موضوع به این‌که آیا محصول جانبی است، یا به صورت مستقیم از مواد دارنده لیگنو سلولز بدست آمده مربوط است. علاوه بر این به روش استخراج به کار رفته نیز بستگی دارد. لیگنین مزایای زیادی دارد. ۱- فراوانی ۲- وزن کم ۳- هزینه تولید کم که آن را قابل رقابت می‌سازد

می‌آیند خیلی مشابه به هم بوده و لیگنین پرکننده‌ای است که خصوصیات تقویت‌کنندگی آن به همراه خواصی چون فراوانی، تجدیدپذیری سالانه، بازده بیولوژیکی بالا، سازگاری اکولوژیکی و وزن کم آن باعث شده که مورد توجه بسیاری از محققین قرار گیرد و به عنوان جایگزینی برای دوده مطرح شود. در این نوشتار سعی شده به طور خلاصه لیگنین مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا به ساختار شیمیایی لیگنین و انواع ساختارهای آن توجه شده است. از دیدگاه کاربردی و فرآیندی مشخص شده که این پلیمر به خاطر داشتن گروه‌های عاملی قطبی فراوان تمایل کمی برای پخش در بستر لاستیک دارد، بدین دلیل در زمان آمیزه‌کاری به صورت کلوخه‌ای درآمده و خصوصیت تقویت‌کنندگی آن ظاهر نخواهد شد. برای رفع این مشکل و همچنین بهبود خواص کامپوزیت‌های تقویت‌شده با این پرکننده، کارهایی انجام گرفته است. از جمله این کارها اصلاح فرایند اختلاط، افزایش جاذبه آن با بستر لاستیک و تشکیل ساختارهای نانویی و هیبریدی است. در اینجا بخشی از این فعالیت‌ها به همراه اثرات این ماده بر خواص پختی، مکانیکی

در صنعت لاستیک و مخصوصاً برای آمیزه‌های تایر، استفاده از ماشین میل برای تولید آمیزه‌ها مرسوم است. بخاطر در دسترس بودن این روش تجربیات زیادی در این زمینه وجود دارد. خواص آمیزه به اندازه زیادی به مهارت اپراتور دستگاه و همچنین مواد اولیه تشکیل‌دهنده آمیزه وابسته است. اختلاط مستقیم پودر خشک لیگنین در بستر لاستیک اثرات تقویتی کم و یا اغلب موارد تقویت‌نشدن را باعث می‌گردد و در این حالت پرکننده رفتار خنثی خواهد داشت [۷]. توانایی تقویت لیگنین لاستیک به دو عامل اندازه ذرات لیگنین و برهم‌کنش بین سطوح بستر لاستیک و لیگنین مربوط است که برهم‌کنش سطوح به زیادی محتوای گروه‌های هیدروکسیل سطح لیگنین وابسته است. ایجاد حفره در اطراف کلوخه‌های لیگنین نتیجه‌ناسازگاری است که به‌خاطر چسبیدن ضعیف بین سطوح لیگنین و لاستیک اتفاق می‌افتد.

یک روش دیگر در ساخت آمیزه‌لاستیکی با کمک میل آزمایشگاهی بدین صورت است که ابتدا لیگنین به ENR<sup>۱</sup> اضافه می‌شود و آمیزه‌لاستیکی به کمک بنبوری (مخلوط‌کن داخلی) تحت فرآیند رژیم حرارت‌دهی دینامیکی در دمای بالا ۱۸۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار می‌گیرد. سپس بقیه مواد بر روی میل به آمیزه اضافه می‌شود، استفاده از این روش باعث می‌شود که لیگنین به‌خوبی در آمیزه پخش‌شده و سازگاری عالی با ENR نشان‌داده و آمیزه‌ای فعال ایجاد کند [۸]. به‌طوری‌که در اثر ولکانش مرسوم بیش‌ترین

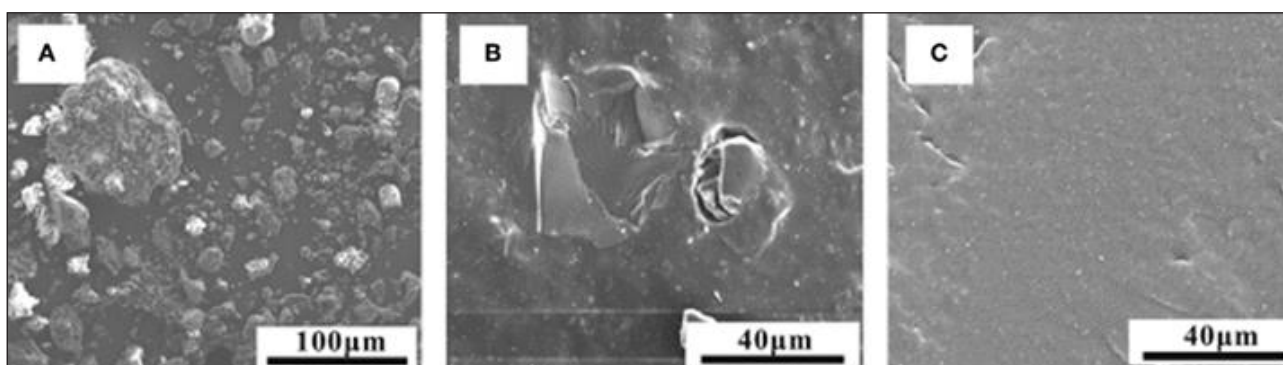
۴- زیست تخریب‌پذیر و دوستدار طبیعت بودن.

رفتار آب دوستی لیگنین باعث مشکلاتی در پخش لیگنین در بستر لاستیک شده واز این روبر خواص نهایی لاستیک نیز تاثیرگذار است. راه‌های زیادی توسط محققین اتخاذ شده تا فرآیند تولید آمیزه‌لاستیکی را بهتر کنند و انعطاف‌پذیری کامپوزیت نهایی را ارتقاء بخشند. شیوه‌های مقابله با این مشکل دو دسته‌اند.

۱- طراحی روش‌های جدید برای آمیزه‌کاری که باعث بهبود توزیع لیگنین در بستر لاستیک می‌شود.

۲- تصحیح سطح لیگنین توسط جفت‌کننده‌ها که باعث سازگاری با بستر لاستیک می‌شود.

روش اختلاط یکی از عوامل تعیین‌کننده خواص آمیزه‌لاستیکی می‌باشد. اگر از روش نامناسبی استفاده گردد، ممکن است محصول کیفیت ضعیفی داشته باشد و کیفیت اختلاط نه تنها بر روی خواص رئولوژی تاثیرگذار است بلکه بر روی خواص مکانیکی و فیزیکی محصول تولیدی نیز موثر است. چرا که وقتی مواد لاستیکی به‌طوریکه‌نواخت مخلوط نشوند فرآیند تقویت و توان‌دهی شروع نخواهد شد. از آنجا که افزودن لیگنین در آمیزه‌لاستیکی به‌صورت پودر باعث کلوخه‌ای شدن آن شده و خواص ضعیفی را در مخلوط باعث می‌گردد، لذاچندین روش اختلاط برای رسیدن به بهترین خواص محصول از نظر خواص رئولوژیکی و مکانیکی بررسی شده‌است.



شکل ۲- تصویر میکروسکوپی الکترونی (A) ذرات لیگنین (B) آمیزه تولیدی بر روی میل دو غلتکی (C) آمیزه تولیدی با روش اصلاح شده [۸]

1. epoxidized natural rubber (ENR)

همان گونه که ذکر گردید دسته دیگر از روش ها بر پایه اصلاح پرکننده لیگنین است. روش اصلاحی را به عنوان روشی می شناسند که به وسیله آن قدرت اتصال سطح بین لیگنین و بستر لاستیک را افزایش می یابد. اصلاح شیمیایی لیگنین به چند صورت انجام می گیرد. ۱- اصلاح سطح لیگنین ۲- جایگزینی بعضی مواد آمیزه با بعضی مواد دیگر در طول اختلاط به طوری که این مواد شامل گروه های عاملی هستند و قادرند به صورت پلی بین لیگنین و بستر لاستیک قرار گیرند ۳- اصلاح بستر لاستیک، سازگاری بهتر و خواص بهتری برای محصول نهایی ایجاد می کند [۲].

عوامل جفت کننده و چسباننده باعث ایجاد پیوند کووالانسی بین لیگنین و بستر لاستیک می شوند. از جمله این اصلاح کننده ها بین لیگنین و بستر لاستیک های غیر قطبی می توان از تترامتلین هگزامین و هگزیل آمین نام برد [۸ و ۱۲]. همچنین واکنش لیگنین و فرمالدئید مقاومت سایشی را عالی می کند و باعث بهبود خواص تایر می شود.

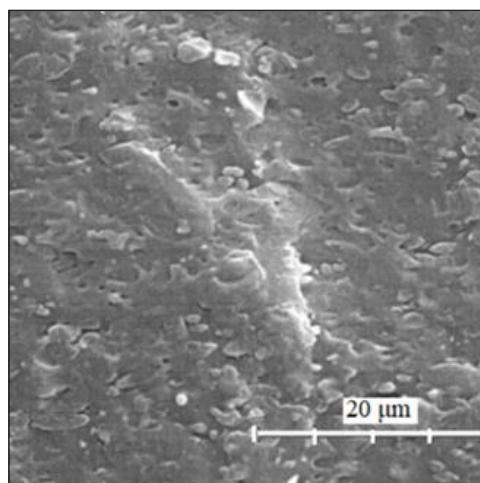
یک روش جدید برای افزایش پراکنش و سازگار کننده لیگنین و بستر لاستیک، تشکیل ساختار شبکه عرضی دوگانه است. یک شبکه اتصال عرضی دوگانه متشکل از پیوندهای کووالانسی بین اتم های گوگرد و کربن در لاستیک و پیوندهای غیر کووالانسی تشکیل شده مربوط به لیگنین و یون های  $Zn^{2+}$  است. کار دیگری که باعث ایجاد عملکرد بالا می گردد، افزودن پیوندهای کئوردیناسیونی بر پایه  $Zn$  و تشکیل شبکه ای متشکل از پیوندهای کووالانسی گوگردی و پیوندهای کئوردیناسیونی که حالت دینامیک دارند (شکل ۴) و این شبکه ساختار محکم و قوی را در محصول لاستیکی ایجاد می کند [۱۳، ۱۴].

روش دیگر ساختن الیاف نانولیگنین و پخش آن در آمیزه در حد مقیاس نانو است که این کار با تشکیل کمپلکس های لیگنین- پلی (دی آلایل دی متیل آمونیوم کلراید) (LPC)  $^2$  کلونیدی انجام می شود و نتیجه آن بهبود تقویت توسط نانوکامپوزیت های NR- لیگنین، همان گونه که در شکل (۵) نشان داده شده است. وقتی

تقویت رخ دهد. موفقیت این روش با عکس های میکروسکوپ الکترونی در شکل (۲) نشان داده شده است. عکس C نمایان گر توزیع کامل لیگنین در بستر لاستیک است.

تشکیل آمیزه لاستیک با پرکننده لیگنین با استفاده از هم رسوبی<sup>۱</sup> با لاتکس لاستیک، روشی است که می توان از آن برای وارد کردن لیگنین در آمیزه لاستیکی و تشکیل مسترچ لاستیکی استفاده کرد. این روش توانایی تقویت را بهبود بخشیده و ویژگی های ترکیب را بهتر می کند. مطالعات نشان دادند که لیگنینی که با استفاده از روش هم رسوبی وارد آمیزه لاستیکی می شود می تواند از نظر تقویت کنندگی به حد کربن فعال و سیلیکا باشد [۸ و ۹].

محلول قلیایی لیگنین می تواند نقش یک پرکننده فعال در آمیزه لاستیکی را داشته باشد. روش هم رسوبی، یعنی رسوب دادن هم زمان لیگنین و لاستیک از محلول، باعث پراکندگی یکنواخت و نرم ذرات لیگنین در آمیزه لاستیکی شده این خصوصیت به کم میکروسکوپ الکترونی، شکل (۳)، نشان داده شده، البته فرایند لخته سازی و صاف کردن هم رسوبی لیگنین به همراه لاستیک بسیار آهسته است که این یک محدودیت جدی بر سر راه توسعه کامپوزیت های لاستیکی بر پایه لیگنین است [۱۰، ۱۱].



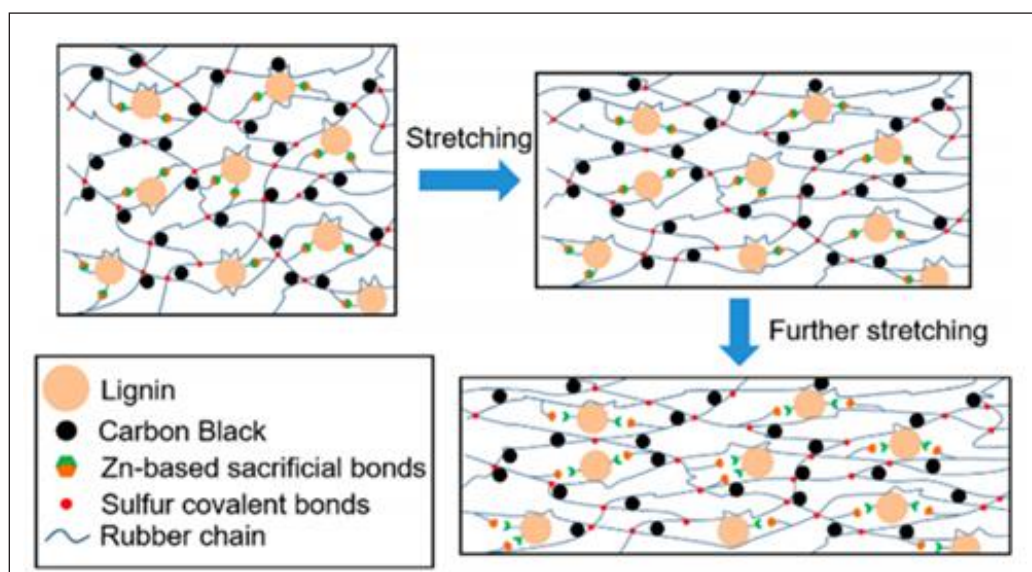
شکل ۳- عکس میکروسکوپ الکترونی آمیزه SBR حاوی ۵۰ phr لیگنین [۱۱]

1. Co-precipitation 2. lignin-Poly(diallyldimethylammonium chloride) (PDADMAC) complexes (LPCs)

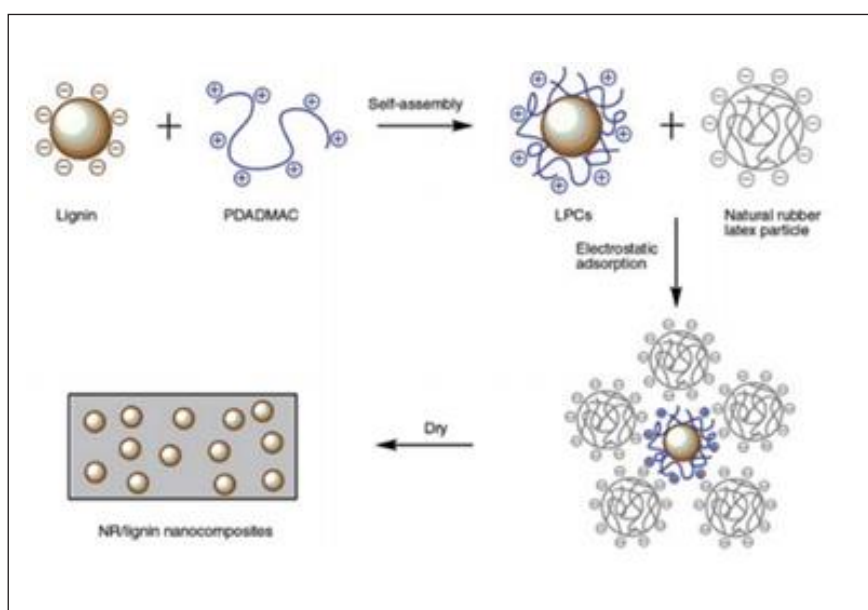


بین لیگنین و زنجیره‌های PDADMAC با کمک FTIR مطالعه شده است [۱۵].  
روش دیگر گرافت کردن پلیمرها بر روی لیگنین است در این روش از پلیمریزاسیون رادیکالی کنترل شده استفاده می‌شود. مشخص شده که این روش نسبت به لیگنین‌های اصلاح شده

گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل روی لیگنین تجزیه می‌شوند لیگنین یک پلی الکترولیت آنیونی می‌شود. LPCها می‌توانند به صورت یکنواخت در بستر NR پخش شوند و کامپوزیت‌هایی از NR/LC ایجاد نماید که خواص مکانیکی، حرارتی بهتر داشته و پایداری اکسیداسیون حرارتی آن افزایش می‌یابد. وجود بهمکنش



شکل ۴- شمای پیوند عرضی دوگانه کامپوزیت لیگنین، دوده و NR [۱۳]



شکل ۵- شمای نانو الیاف سازی لیگنین و ساخت نانو کامپوزیت لیگنین NR [۱۰]



کرده و تعداد پیوند های عرضی تشکیل شده را کاهش می دهند. مشخص شده در صورتی که پخش لیگنین در بستر لاستیک بهتر شود کیفیت پخت بهتر می گردد. اثر سیستم پخت علاوه بر رفتار پختی آمیزه، بر تشکیل انواع پیوندهای عرضی و رفتار مرحله برگشتفرآیند پخت تاثیرگذار است. مشخص شده که افزایش لیگنین باعث افزایش مقاومت حرارتی آمیزه شده و فرآیند مرحله برگشترا کم می کند. همچنین لیگنین پیوندهای عرضی پلی سولفیدی را کم و پیوندهای مونو و دی سولفیدی را تغییر نمی دهد. به علاوه بخاطر ارتباط متقابل گروه های عاملی اسیدی روی لیگنین با آمیزه پایه باعث پوشیده شدن بعضی از موقعیت های پیوندهای عرضی می گردد [۱۸].

با کمک پرکننده های هیبریدی لیگنین می توان توازن بهینه ای در خواصی از تایر مثل مقاومت غلتشی، کشش مرطوب و مقاومت سایشی ایجاد کند. همچنین این پرکننده ها باعث استحکام و پایداری حرارتی بالاتر و مقاومت غلتشی کمتر می گردد. چرا که اجزای پرکننده هیبریدی با همدیگر کار می کنند. لیگنین یک شبکه ایجاد می کند و پرکننده های دیگر به پخش آن کمک می کنند. عیب پرکننده های هیبریدی زمان زیاد برای ساخت آن ها می باشد. وجود لیگنین در آمیزه ها مقاومت آن ها را در مقابل از دست رفتن خواص مکانیکی بواسطه تخریب اکسیداسیونی افزایش می دهد [۱۷].

تنش های محیطی مثل گرما و اکسیژن باعث از بین رفتن شکل پذیری، کیفیت سطح و تغییر در جرم مولکولی و ساختمان می شوند. شکست زنجیرها باعث ایجاد ماکرو رادیکال، پیوند دوگانه کربن-کربن و مولکول های کوچکی مثل آب، دی اکسید کربن و مونومرها می شود و با ایجاد حفره، زمینه ایجاد ترک را فراهم می کند. وجود لیگنین در آمیزه باعث افزایش مقاومت حرارتی می شود چرا که گروه های هیدروکسیل فنلی می توانند نقش جمع کننده رادیکال ها را داشته باشند و از فرایندهای مخرب جلوگیری کنند [۱۹].

مزایایی دارد. این روش با تبدیل کردن گروه های فنلیک یا آلیفاتیک هیدروکسیل به گروه های عاملی جدیدی مثل کتون ها و آلدئیدها باعث بهتر کردن فعالیت سطح می شوند [۱۶]. این فرایند خصوصیات تقویت را نسبت به لیگنین اولیه بهبود می بخشد. ساخت گرافت های لیگنین پتانسیل های زیادی دارد به طوری که حتی می توان نتایج قابل مقایسه ای را با روش مخلوط هم رسوبی به دست آورد اما نسبت به آن زمان کمتری نیاز دارد.

علاوه بر این، تبدیل گروه های هیدروکسیل به گروه های استیل نیز می تواند بهبود مشابهی از لحاظ سازگاری و پراکندگی (پخش) در بستر لاستیک بوجود آورد [۱۷]. با این حال قابلیت دسترسی به گروه های هیدروکسیل باید حفظ شود چرا که باعث ویژگی آنتی اکسیدانی است. اصلاحات سطح خارجی لیگنین باعث نزدیکی بیشتر آن به بستر لاستیک می گردد.

از دیگر روش ها، هیبرید کردن لیگنین با دوده می باشد که توجه زیادی را به خود معطوف داشته است. این تکنیک عمدتاً توانایی تقویت خوبی را با آمیزه لاستیکی فراهم می آورد. با کمک یک پرکننده هیبرید، متشکل از لیگنین و دوده می توان اتلاف خصوصیت ویسکوالاستیک را کم کرد. این روش زمانبر است و برای تولید در مقیاس بزرگ مناسب نیست. با این حال اصلاح لیگنین در یک آمیزه لاستیکی با استفاده از روش هیبرید از نظر پخش لیگنین و برهم کنش لاستیک-لیگنین رضایت بخش است [۱۷].

### اثر لیگنین بر خواص کامپوزیت های لاستیک

افزودن لیگنین به عنوان تقویت کننده در آمیزه لاستیکی بر خواص مکانیکی، پختی، حرارتی و دینامیکی کامپوزیت حاصل تاثیر دارد. افزودن لیگنین زمان پیش پخت و پخت بهینه را زیاد می کند و مقدار گشتاور نهایی را کاهش می دهد چرا که گروه های هیدروکسید فنلیک روی این ماده با جذب رادیکال های موجود در محیط باعث از بین رفتن آن ها شده لذا سرعت واکنش را کم

## چشم انداز آینده

در جهت وارد کردن لیگنین در آمیزه‌هایی بر پایه‌ی الاستومرهای سنتزی دارای پیوند دوگانه است و رسیدن به فرمولاسیون‌هایی با خواص بهینه با لیگنین به‌عنوان یک هدف دنبال می‌شود.

## سپاسگزاری

بدین وسیله نویسنده مقاله مراتب قدردانی خود را از مسئولین محترم شرکت کویر تایر بخاطر همکاری‌های صمیمانه ایشان ابراز می‌دارد *IRM*

لیگنین به‌خاطر خواص منحصر به فردی که دارد باعث علاقه‌مندی بسیاری از محققین در این زمینه شده است. در رابطه با چگونگی ساخت لیگنین و خواص آن کارهای زیادی صورت گرفته است اما برای اینکه به‌عنوان یک محصول تجاری بتواند وارد بازار شده و جایگزین پرکننده‌هایی مثل دوده شود، بایستی تحقیقات بیشتری صورت گیرد. با این وجود دوده به‌خاطر اینکه بر پایه روغن بوده و مضرات زیست محیطی زیادی دارد، لازم است با پرکننده‌های تقویت‌کننده دیگر جایگزین گردد. در حال حاضر بیشتر فعالیت‌ها

## مراجع

1. Medalia A, Kraus G., "Reinforcement of elastomers by particulate fillers," in Science and technology of rubber: Elsevier, pp. 387-418.1994
2. Mohamad Aini N, Othman N, Hussin M, Sahakaro K, Hayeemasae N, "Lignin as Alternative Reinforcing Filler in the Rubber Industry: A Review," Front. Mater.vol. 6,pp1,2020
3. Attharangsana S, Ismail H, Bakar MA, Ismail J., "Carbon black (CB)/rice husk powder (RHP) hybrid filler-filled natural rubber composites: effect of CB/RHP ratio on property of the composites," Polymer-Plastics Technology and Engineering, 517, pp. 655-662, 2012.
4. Frigerio P, Zoia L, Orlandi M, Hanel T, Castellani L., "Application of sulphur-free lignins as a filler for elastomers:effect of hexamethylenetetramine treatment," BioResources, vol. 9, no. 1, pp. 1387-1400, 2014.
5. Singha A, Thakur VK, Mehta I, Shama A, Khanna A, Rana R, et al. "Surface-modified Hibiscus sabdariffa fibers: Physicochemical, thermal, and morphological properties evaluation," International Journal of Polymer Analysis and ChA. Siaracterization, vol. 14, no. 8, pp. 695-711, 2009.
6. Thakur VK, Thakur MK, Raghavan P, Kessler MR. "Progress in green polymer composites from lignin for multifunctional applications: a review," ACS Sustainable Chemistry & Engineering, vol. 2, no. 5, pp. 1072-1092, 2014.
7. Barana D, Ali SD, Salanti A, Orlandi M, Castellani L, Hanel T, et al., "Influence of lignin features on thermal stability and mechanical properties of natural rubber compounds," ACS Sustainable Chemistry & Engineering, vol. 4, no. 10, pp. 5258-5267, , 2016
8. Jiang C, He H, Yao X, Yu P, Zhou L, Jia D., "In situ dispersion and compatibilization of lignin/epoxidized natural rubber composites: reactivity, morphology and property," Journal of Applied Polymer Science, vol. 132, no. 23, 2015.
9. Yu P, He H, Jiang C, Wang D, Jia Y, Zhou L, et al., "Reinforcing styrene butadiene rubber with lignin-novolac

- epoxy resin networks," *Express Polymer Letters*, vol. 9, no. 1, 2015.
10. Jiang C, He H, Jiang H, Ma L, Jia D, "Nano-lignin filled natural rubber composites: Preparation and characterization," *Express Polymer Letters*, vol. 7, no. 5, 2013.
  11. Košíková B, Gregorová A., "Sulfur-free lignin as reinforcing component of styrene-butadiene rubber," *Journal of applied polymer science*, vol. 97, no. 3, pp. 924-929, 2005.
  12. Bahl K, Jana SC, "Surface modification of liginosulfonates for reinforcement of styrene-butadiene rubber compounds," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 131, no. 7, 2014.
  13. Wang H, Liu W, Huang J, Yang D, Qiu X., "Bioinspired engineering towards tailoring advanced lignin/rubber elastomers," *Polymers*, vol. 10, no. 9, p. 1033, 2018.
  14. Zhang HJ, Sun TL, Zhang AK, Ikura Y, Nakajima T, Nonoyama T, et al., "Tough physical double-network hydrogels based on amphiphilic triblock copolymers," *Advanced Materials*, vol. 28, no. 24, pp. 4884-4890, 2016.
  15. Pillai KV, Rennecker S., "Cation- $\pi$  interactions as a mechanism in technical lignin adsorption to cationic surfaces," *Biomacromolecules*, vol. 10, no. 4, pp. 798-804, 2009.
  16. Shukla M, Nigam V, Singh H, Setua D, Mathur G., "Lignin reinforced rubber composites," 1998.
  17. Bahl K, Miyoshi T, Jana SC., "Hybrid fillers of lignin and carbon black for lowering of viscoelastic loss in rubber compounds," *Polymer*, vol. 55, no. 16, pp. 3825-3835, 2014.
  18. Kakroodi A, Sain M., "Lignin-reinforced rubber composites," *Lignin polymer composites*. Elsevier, Toronto, 2016.
  19. Xing W, Yuan H, Yang H, Song L, Hu Y., "Functionalized lignin for halogen-free flame retardant rigid polyurethane foam: preparation, thermal stability, fire performance and mechanical properties," *Journal of Polymer Research*, vol. 20, no. 9, p. 234, 2013.

***IRM***

## بررسی تجربی و نظری ساختار میکروسکوپی، سینتیک پخت و خواص مکانیکی نانوکامپوزیت‌های بر پایه لاستیک نیتریل بوتادین کربوکسیله/رزین اپوکسی تقویت شده با هالوسیت نانوتیوب

**E** Experimental and theoretical investigations of Microstructure, vulcanization kinetics and Mechanical properties of Carboxylated nitrile butadiene rubber /Epoxy/ Halloysite nanotubes Nanocomposites

چکیده:

هدف از انجام این پژوهش، تهیه و بررسی نانوکامپوزیت‌های بر پایه لاستیک آکریلونیتریل بوتادین کربوکسیله (XNBR) و رزین اپوکسی (Epoxy) تقویت شده با هالوسیت نانوتیوب (HNT) می باشد. اثر افزودن ذرات هالوسیت نانو تیوب بر مشخصه‌های پخت، مورفولوژی، سینتیک پخت و خواص مکانیکی سیستم‌های دو جزئی لاستیک XNBR و رزین اپوکسی در غلظت‌های مختلف مورد بحث و بررسی قرار گرفت. بررسی‌های رئومتر پخت نشان دادند که افزودن نانولوله‌های هالوسیت به ماتریس XNBR/Epoxy موجب کاهش زمان برشتگی (Scorch time) به میزان ۲۵ درصد و افزایش گشتاور پخت در ماتریس پلیمری گردیده است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) از سطح شکست نمونه‌های کشش نشان داد که نمونه‌های حاوی HNT دارای سطح شکست زبرتر همراه با توزیع یکنواخت هستند. بررسی سینتیک پخت نمونه‌های تهیه شده نشان داد که افزودن هالوسیت نانوتیوب به سیستم پلیمری موجب کاهش انرژی فعال سازی مورد نیاز برای شروع واکنش پخت به میزان ۴۰ درصد می‌گردد. تست‌های کشش مکانیکی نشان می‌دهند که افزودن HNT به ماتریس XNBR/Epoxy موجب افزایش هم‌زمان مدول تا ۱/۴۶ MPa و استحکام کششی تا ۲/۵۸ MPa شده ولی ازدیاد طول، مقداری کاهش می‌یابد. آنالیزهای انجام شده در خصوص تأثیر افزودن هالوسیت نانوتیوب بر خواص نهایی نانوکامپوزیت‌های بر پایه XNBR/Epoxy نشان می‌دهند که با استفاده از این نانوتقویت کننده‌های طبیعی و ارزان می‌توان به نانوکامپوزیت‌هایی با استحکام مکانیکی بالاتر به میزان ۴۰ درصد نسبت به ماتریس پلیمری دست یافت.

واژه‌های کلیدی: لاستیک نیتریل بوتادین کربوکسیله؛ رزین اپوکسی؛ هالوسیت نانوتیوب؛ نانوکامپوزیت؛ استحکام مکانیکی

نوع مقاله: پژوهشی

- سید محمدرضا پرن<sup>۱\*</sup>، قاسم نادری<sup>۲</sup>، الناز موحدی فر<sup>۳</sup>، محمدرضا صائب<sup>۴</sup>
- ۱- دکترای تخصصی، استادیار پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، تهران، ایران
  - ۲- دکترای تخصصی، استاد پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، تهران، ایران
  - ۳- دکترای تخصصی، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، تهران، ایران
  - ۴- دکترای تخصصی، استادیار دانشگاه تهران، تهران، ایران

ایمیل نویسندگان و عهده‌دار مکاتبات:

- 1- \*m.paran@ippi.ac.ir
- 2- g.naderi@ippi.ac.ir
- 3- e.movahedifar@ippi.ac.ir
- 4- mrsaeb2008@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۰

## ۱- مقدمه

می‌دهند که رزین اپوکسی می‌تواند بر مشخصه‌های پخت و خواص نهایی ترکیب حاصل تأثیرگذار باشد. پیش از این سیستم‌های چندجزئی نظیر XNBR/Epoxy مورد بررسی قرار گرفته و تأثیر افزودن رزین اپوکسی به لاستیک مطالعه شده است. چاکرابورتی (Chakraborty et al) [۶] و همکارانش تأثیر پخت لاستیک XNBR با درصد‌های مختلف رزین اپوکسی را در حضور پرکننده‌های مختلف شامل دوده، سیلیکا و خاک رس بررسی کرده‌اند. طبق گزارش ایشان، با افزایش مقدار رزین اپوکسی مقدار گشتاور ماکزیمم افزایش نشان داده و ویسکوزیته مونی کاهش می‌یابد. این موضوع نشان‌دهنده نقش رزین اپوکسی به‌عنوان کمک فرایند (Processing aid) در طول اختلاط و عامل پخت در طول فرایند ولکانیزاسیون می‌باشد.

هالوسیت نانوتیوب‌ها (HNT) موادی هستند که به‌صورت یکنواخت و در مقیاس نانومتری به‌طور طبیعی و در طول میلیون‌ها سال در زمین تشکیل شده‌اند [۷]. این مواد از دو لایه آلومینیم، سیلیکون، هیدروژن و اکسیژن تشکیل شده‌اند. استفاده از HNT در جهت افزایش پایداری حرارتی پلیمرهایی نظیر لاستیک طبیعی [۸]، آکریلونیتریل بوتادین [۹] و پلی پروپیلن [۱۰] گسترش یافته است. این مواد با استفاده از ساختار فیزیکی خود موجب ایجاد مانع در برابر شعله می‌شوند. این مواد در ترکیب درصد‌های وزنی مختلف به ماتریس پلیمری اضافه گردیده و برای هر ماتریس یک ترکیب درصد بهینه معرفی شده است. نوع ماتریس پلیمری مورد استفاده مختلف بوده و شامل ماتریس‌های ترموپلاستیک و ترموست می‌شود.

هالوسیت نانوتیوب‌ها به‌دلیل آن‌که به‌طور طبیعی در محیط یافت می‌شوند نسبت به سایر مواد مشابه قیمت پایین‌تری داشته و برای انسان‌ها ضرری ندارد [۱۱]. به همین جهت تحقیقات بر روی نانوکامپوزیت‌های پلیمری حاوی هالوسیت نانوتیوب‌ها در سال‌های اخیر گسترش یافته است [۱۲].

در حال حاضر مطالعات صورت گرفته در خصوص استفاده از

لاستیک آکریلونیتریل بوتادین کربوکسیله (XNBR) یکی از لاستیک‌های باخواص بالا بوده که استفاده از آن به‌دلیل نسبت خواص به‌هزینه اقتصادی بالا در صنایع مهم نظیر صنایع هوایی و پتروشیمی رو به افزایش نهاده است. به‌همین دلیل در سال‌های اخیر سیستم‌های نانوکامپوزیتی آن یعنی ترکیب الاستومر و تقویت‌کننده‌های سخت معدنی مثل نانو خاک رس [۱]، نانوتیوب‌های کربنی [۲] و گرافن [۳]، برای افزایش هم‌زمان خواص حرارتی و استحکام مکانیکی مطرح شده‌اند.

ساهو (Sahoo et al) [۴] در سال ۲۰۰۷ از نانو اکسید روی با طول متوسط ۵۰ نانومتر به‌عنوان عامل پخت در لاستیک XNBR استفاده کردند. نتایج رئومتری پخت نشان دادند که نانو اکسید روی در مقایسه با اکسید روی معمولی سرعت پخت را افزایش داده و مقدار گشتاور ماکزیمم نیز افزایش می‌یابد. لاسکوفسکا (Las-kowska et al) [۵] و همکارانش تأثیر ساختارهای مختلف هیدروکسیدهای لایه‌ای منیزیم-آلومینیم (MgAl-LDH) برخواص XNBR را بررسی کرده‌اند. آن‌ها در تحقیقات خود گزارش کرده‌اند که این ماده نه‌تنها به‌عنوان یک تقویت‌کننده عمل می‌نماید بلکه به‌عنوان عامل پخت در لاستیک XNBR نقش داشته و این لاستیک می‌تواند بدون استفاده از عوامل پخت مثل اکسیدروی یا گوگرد، شبکه‌ای شده و تولید یک آمیزه پخت‌شده با خواص مکانیکی قابل قبول نماید. یانگ (Yang et al) [۳] و همکارانش در سال ۲۰۱۹ تأثیر گرافن (GNS) و گرافن اصلاح‌شده با پلی دوپ آمین (Poly dopamine) حاوی گروه‌های هیدروکسی فنولیک (GNS-PDA) بر خواص لاستیک XNBR را مورد بررسی قرار داده‌اند. به‌دلیل وجود پیوند هیدروژنی بین گروه کربوکسیل در لاستیک XNBR با گروه هیدروکسی فنولیک روی گرافن، پخش ذرات نانو در ماتریس الاستومری به‌خوبی صورت می‌پذیرد.

در خصوص سیستم‌های چند جزئی برپایه XNBR می‌توان سیستم XNBR حاوی رزین اپوکسی را نام برد. مطالعات نشان

بوده و محصول شرکت مرک آلمان هستند.

## ۲-۲- تهیه نانوکامپوزیت های XNBR/Epoxy/HNT

پیش از تهیه نانوکامپوزیت ها، HNT به مدت ۲۴ ساعت در دمای °C ۸۰ در آن خلأ خشک گردید. نانوکامپوزیت های برپایه XNBR/Epoxy تقویت شده با نانولوله های هالوسیت با استفاده از غلتک آزمایشگاهی تهیه گردیدند. مقدار رزین اپوکسی در لاستیک XNBR براساس نتایج مطالعات تجربی به میزان ۱۵ درصد وزنی در مخلوط لاستیک و رزین در نظر گرفته شد. نسبت سرعت دو غلتک به یکدیگر ۱ به ۱/۲ انتخاب گردید. اختلاط به مدت ۸ دقیقه برای هر نمونه به طول انجامید. ابتدا لاستیک XNBR به مدت ۱ دقیقه روی غلتک نرم شد. سپس اختلاط با رزین اپوکسی به مدت ۲ دقیقه روی غلتک ادامه یافت. پس از اختلاط لاستیک و رزین، هالوسیت نانوتیوب طبق فرمولاسیون مورد نظر در جدول ۱ به سیستم اضافه شده و اختلاط به مدت ۴ دقیقه ادامه یافت. پس از آن نیز اکسید روی به مقدار ۶ phr و اسید استتاریک به مقدار ۲ phr به فرمولاسیون لاستیک افزوده شدند. اختلاط تا تکمیل شدن زمان ۸ دقیقه ادامه یافت. به منظور امکان مقایسه نتایج، فرمولاسیون های فاقد هالوسیت نیز تحت فرایند مذکور قرار گرفتند. پس از آن نمونه های لازم برای تست های فیزیکی، مکانیکی، دینامیکی مکانیکی، مورفولوژیکی و سایر تست های مورد نیاز با استفاده از روش قالب گیری فشاری تحت دمای °C ۱۷۰ و فشار ۱۰۰ تن تهیه گردیدند. زمان پخت بهینه نمونه ها براساس نتایج رئومتر پخت تعیین شدند.

HNT جهت بهبود خواص مکانیکی سیستم های پلیمری تک فازی بوده [۱۳] و در مورد امکان کاربرد این مواد در سیستم های چند جزئی نظیر XNBR حاوی رزین اپوکسی (Epoxy) گزارش علمی به چاپ نرسیده است. در این تحقیق امکان استفاده از این مواد طبیعی در سیستم های XNBR/Epoxy مورد بررسی قرار گرفته و اثر افزودن تقویت کننده های HNT بر مشخصه های پخت، مورفولوژی، سینتیک پخت و خواص مکانیکی نانوکامپوزیت حاصل هم از دیدگاه تجربی با انجام آزمایشات مختلف و هم از دیدگاه تئوری مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

## ۲- تجربی

### ۲-۱- مواد

لاستیک آکریلو نیتریل بوتادین کربوکسیله (XNBR) مورد استفاده محصول شرکت Lanxess آلمان با نام تجاری Krynac X160 و دارای حداکثر ۳۴ درصد وزنی آکریلونیتریل (ACN) و ویسکوزیته مونی ۵۸ در دمای °C ۱۰۰ و دانسیته ۰/۹۷ است. رزین اپوکسی مورد استفاده متعلق به شرکت Kumho کره جنوبی با نام تجاری KER ۸۲۸ و محصول واکنش بیسفنل A و اپی کلروهیدرین با ویسکوزیته ۱۴-۱۲ Pa.s و دانسیته ۱/۱۶ است. هالوسیت نانوتیوب به کار رفته در تهیه نانوکامپوزیت های XNBR/Epoxy/HNT از نوع Ultrafine محصول شرکت Imerys Tableware کشور نیوزیلند با دانسیته ۲/۵۵ g/cm<sup>3</sup> و سطح ویژه ۲۰ m<sup>2</sup>/g است. سایر مواد شیمیایی مورد استفاده در این پروژه شامل اکسید روی و اسید استتاریک از نوع آزمایشگاهی

جدول ۱- فرمولاسیون های مختلف نانوکامپوزیت های XNBR/Epoxy/HNT جهت بررسی اثر HNT

| Item | Sample code | XNBR/Epoxy (phr) | HNT (phr) | ZnO (phr) | St. acid (phr) |
|------|-------------|------------------|-----------|-----------|----------------|
| 1    | XE15        | 100              | 0         | 6         | 2              |
| 2    | XE15H3      | 100              | 3         | 6         | 2              |
| 3    | XE15H5      | 100              | 5         | 6         | 2              |
| 4    | XE15H7      | 100              | 7         | 6         | 2              |



## ۳-۲- آزمون‌ها

میان‌ه آن برای مقایسه استفاده شد.

سینتیک پخت نمونه‌های تهیه‌شده با استفاده از دستگاه رئومتر پخت Monsanto R-100 در دماهای ۱۷۰، ۱۸۰، ۱۹۰ و ۲۰۰ °C در مدت زمان ۳۰ دقیقه براساس استاندارد ASTM D2084 مورد بررسی قرار گرفت.

## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- مشخصه‌های پخت

منحنی‌های پخت نمونه‌های مختلف تهیه شده برپایه XNBR/Epoxy تقویت شده با نانولوله‌های HNT در دمای ۱۷۰ °C در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. واضح است که افزودن مقدار بیشتر نانولوله به سیستم پلیمری موجب افزایش میزان گشتاور در مراحل ابتدا و انتهای پخت گردیده است. نتایج استخراج شده از نمودارهای پخت در جدول ۲ براساس پارامترهای مفید در فرایند پخت نشان داده شده‌اند. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود Scorch time یا زمان برشتگی و زمان بهینه پخت با اضافه شدن HNT به فرمولاسیون لاستیک کاهش نشان می‌دهند. این پدیده می‌تواند مربوط به برهم کنش گروه‌های فعال روی سطح نانولوله هالوسیت و ماتریس پلیمری باشد که موجب افزایش گشتاور پخت و کاهش زمان بهینه پخت گردیده است [۱۴].

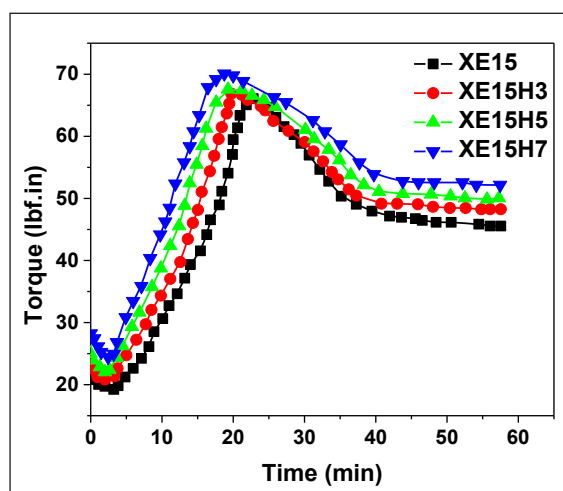
بررسی شکل‌شناسی (مورفولوژی) نانوکامپوزیت‌ها، به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی با دستگاه VegaII XMU ساخت شرکت Tescan (جمهوری چک) استفاده شد. سطح شکست نمونه‌ها بعد از شکست نانوکامپوزیت‌ها در نیتروژن مایع با پوشش‌دهی توسط آلیاژ پالادیم طلا برای مشاهده سطح آماده شدند.

بررسی خواص مکانیکی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه Instron مدل ۶۰۲۵ انجام شد. این آزمون مطابق استاندارد

ASTM D638, Type IV با سرعت کشش ۵۰ mm/min و در دمای ۲۵ °C انجام گرفت. نمونه‌های آزمون کشش به شکل دمبل تهیه شد. از هر ترکیب ۳ نمونه مورد آزمون قرار گرفت و مقدار

جدول ۲- پارامترهای پخت مربوط به نانوکامپوزیت‌های XNBR/Epoxy/HNTs در دمای ۱۷۰ °C

| Sample code | $M_h$ (lb <sub>f</sub> .in) | $M_l$ (lb <sub>f</sub> .in) | $(M_h - M_l)$ (lb <sub>f</sub> .in) | $t_{s2}$ (min) | $t_{c90}$ (min) |
|-------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------|-----------------|
| XE15        | 66.60                       | 18.77                       | 47.83                               | 3.39           | 20.3            |
| XE15H3      | 66.80                       | 19.73                       | 47.07                               | 2.75           | 19.9            |
| XE15H5      | 67.60                       | 21.69                       | 45.91                               | 2.68           | 19.5            |
| XE15H7      | 69.90                       | 24.07                       | 45.83                               | 2.51           | 18.8            |

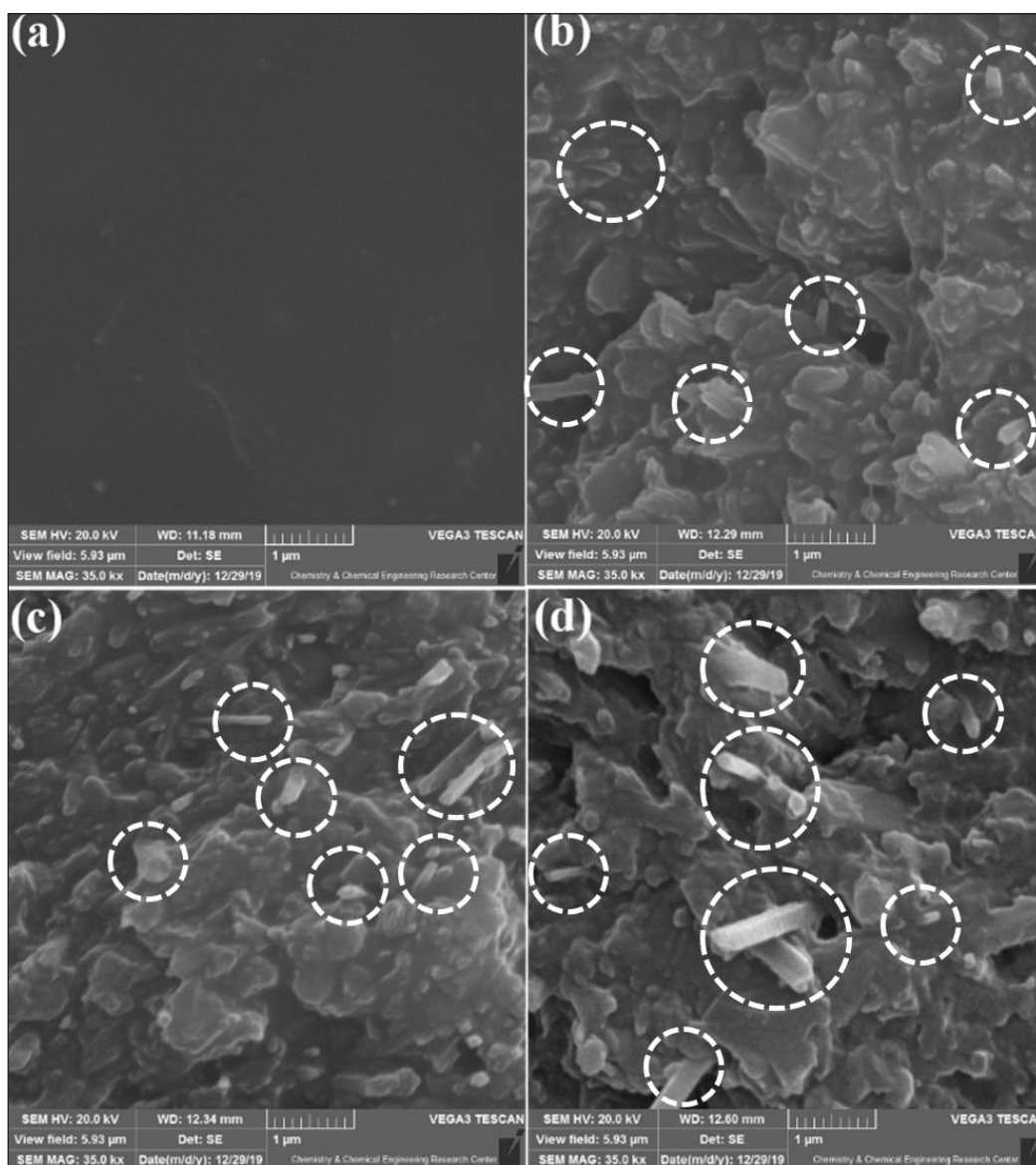


شکل ۱- رفتار پخت نانوکامپوزیت‌های XNBR/Epoxy/HNTs در دمای ۱۷۰ °C

### ۳-۲- مورفولوژی

اندازه قطر بیرونی هالوسیت مورد استفاده در محدوده ۴۰-۵۰ نانومتر متغیر بوده و سطح شکست این نمونه‌ها در مقایسه با آمیزه تقویت‌نشده زبرتر است. این پدیده نشان می‌دهد که میان ذرات نانولوله با ماتریس پلیمری یک برهم کنش فیزیکی وجود دارد [۱۵].

نتایج بررسی‌های مورفولوژی آمیزه‌های XNBR/Epoxy و نانوکامپوزیت‌های آن با HNT در شکل ۲ با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج به دست آمده بر مبنای مشاهدات آزمون SEM از سطح شکست نمونه‌ها در تست کشش می‌باشند. تصاویر SEM مربوط به نانوکامپوزیت‌های XNBR/Epoxy/HNTs نشان می‌دهند که



شکل ۲- تصاویر میکروگراف مربوط به (a)، آمیزه XNBR/Epoxy تقویت نشده و آمیزه های تقویت شده با HNT به میزان ۳ درصد وزنی (b)، ۵ درصد وزنی (c)، ۷ درصد وزنی (d)

### ۳-۳- سینتیک پخت

واکنش پخت یک آمیزه لاستیکی را می‌توان با استفاده از معادله دیفرانسیلی زیر برحسب زمان و دما بیان نمود [۱۶]:

$$\frac{d\alpha}{dt} = K(T)f(\alpha) \quad (1)$$

که در آن  $\alpha$  درجه پخت،  $da/dt$  سرعت پخت،  $t$  زمان و  $K(T)$  ثابت سینتیکی در دمای  $T$  است.  $f(\alpha)$  تابع سینتیکی است که بر مبنای مدل انتخابی تعیین می‌گردد.

تابع سینتیکی بر اساس مدل درجه  $n$  به صورت زیر قابل نمایش است [۱۷]:

$$\frac{d\alpha}{dt} = K(T)(1 - \alpha)^n \quad (2)$$

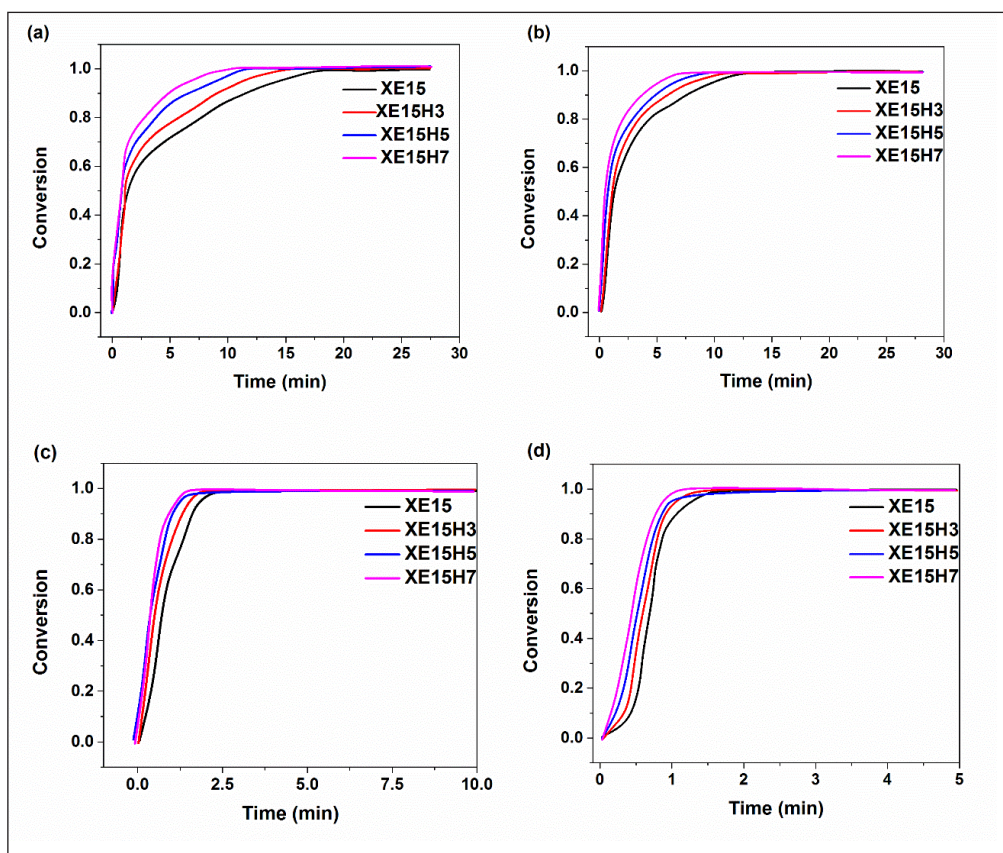
شکل لگاریتمی رابطه فوق به صورت زیر می‌باشد:

(۳)

$$\ln\left(\frac{d\alpha}{dt}\right) = \ln(K) + n\ln(1 - \alpha)$$

منحنی  $\ln(da/dt)$  برحسب  $\ln(1-\alpha)$  یک خط راست است که شیب آن درجه واکنش،  $n$  و عرض از مبدأ آن  $\ln(K)$  است.

شکل ۳ رفتار درجه تبدیل در واکنش پخت نانوکامپوزیت‌های XNBR/Epoxy/HNTs را در غلظت‌های مختلف هالوسیت نشان می‌دهد. همان‌طور که در این نمودارها مشاهده می‌شود هرچه میزان غلظت نانوتیوب در ماتریس پلیمری افزایش یابد، سرعت تبدیل واکنش نیز افزایش نشان می‌دهد. این موضوع در مراحل اولیه واکنش پخت مشهودتر به نظر می‌رسد. همچنین نمودارها نشان می‌دهند که با افزایش دمای گرمادهی سرعت واکنش به خصوص در دماهای  $190-200^\circ\text{C}$  افزایش چشم‌گیری داشته است.



شکل ۳- منحنی های درصد تبدیل واکنش در دماهای مختلف برای نانوکامپوزیت‌های (a)  $200^\circ\text{C}$  (b)  $190^\circ\text{C}$  (c)  $180^\circ\text{C}$  (d)  $170^\circ\text{C}$  XNBR/Epoxy/HNTs

کشش برای نمونه‌های مختلف XNBR/Epoxy/HNTs در شکل ۴ با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود اضافه کردن هالوسیت نانوتیوب به ترکیب XNBR/Epoxy موجب افزایش استحکام کششی نهایی در این سیستم گردیده که این پدیده می‌تواند به دلیل خاصیت تقویت‌کنندگی نانوتیوب و برهم‌کنش‌های احتمالی بین ذرات نانو و ماتریس پلیمری باشد [۱۹].

شکل ۵ میزان تغییرات پارامترهای مربوط به خواص مکانیکی نانوکامپوزیت‌های XNBR/Epoxy/HNTs با غلظت هالوسیت نانوتیوب را نشان می‌دهد. نمودار (a) نشان می‌دهد که افزودن نانوتیوب به ماتریس پلیمری سبب افزایش ۴۰ درصدی در میزان استحکام کششی شده است. هرچند نمودار (b) نشان می‌دهد که میزان ازدیاد طول نهایی به دلیل برخی محدودیت‌های ایجادشده در حرکت زنجیرهای پلیمری به دلیل حضور ذرات نانوتیوب مقداری

پارامترهای سینتیکی ولکانیزاسیون نانوکامپوزیت‌های XNBR/Epoxy/HNTs شامل درجه واکنش (n)، ثابت سینتیک پخت (K)، فاکتور نمایی (A) و انرژی فعال‌سازی واکنش ( $E_a$ ) در جدول ۳ آمده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، ثابت سینتیک با افزایش دما برای هر نمونه روند افزایشی نشان می‌دهد ولی درجه واکنش در دماهای مختلف مقادیر متفاوتی را نشان می‌دهد. همین موضوع در مورد فاکتور نمایی مشاهده می‌گردد. در صورتی که انرژی فعال‌سازی با افزایش غلظت نانوتیوب کاهش نشان می‌دهد. این پدیده نشان‌دهنده تأثیر هالوسیت نانوتیوب بر واکنش پخت ماتریس پلیمری و برهم‌کنش آن‌ها دارد [۱۸].

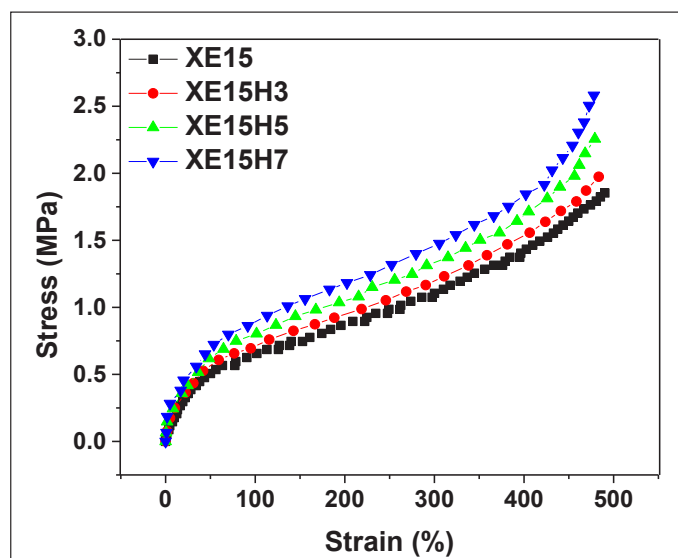
#### ۳-۴- خواص مکانیکی

نتایج حاصل از آزمون کشش تک‌جهته با استفاده از دستگاه

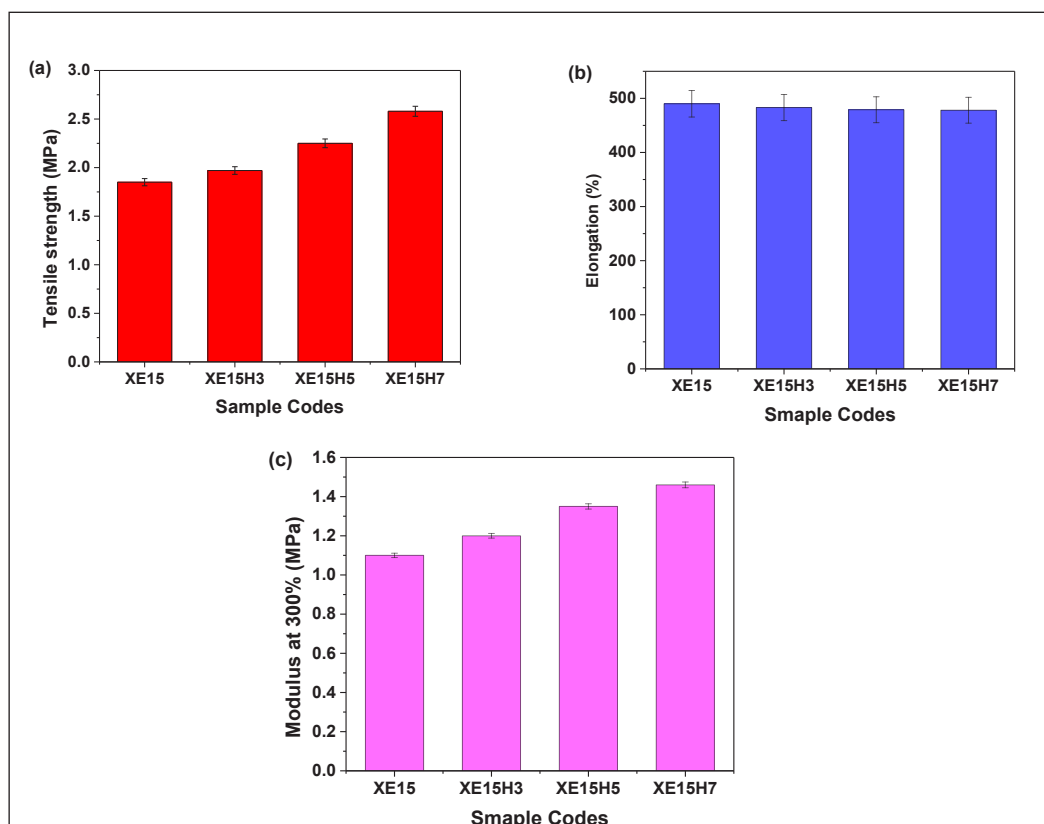
جدول ۳- پارامترهای مربوط به سینتیک پخت نانوکامپوزیت‌های XNBR/Epoxy/HNTs

| Sample code | T (°C) | K    | n    | lnA (s <sup>-1</sup> ) | E <sub>a</sub> (KJ/mol) |
|-------------|--------|------|------|------------------------|-------------------------|
| XE15        | 170    | 1.26 | 1.27 | 9.79                   | 99.83                   |
|             | 180    | 1.32 | 1.73 |                        |                         |
|             | 190    | 1.44 | 0.37 |                        |                         |
|             | 200    | 1.58 | 0.25 |                        |                         |
| XE15H3      | 170    | 1.41 | 1.50 | 11.76                  | 73.09                   |
|             | 180    | 1.48 | 1.48 |                        |                         |
|             | 190    | 1.57 | 0.48 |                        |                         |
|             | 200    | 1.63 | 0.13 |                        |                         |
| XE15H5      | 170    | 1.48 | 2.07 | 12.29                  | 64.39                   |
|             | 180    | 1.51 | 1.42 |                        |                         |
|             | 190    | 1.63 | 1.56 |                        |                         |
|             | 200    | 1.71 | 0.88 |                        |                         |
| XE15H7      | 170    | 1.52 | 2.62 | 16.37                  | 58.73                   |
|             | 180    | 1.58 | 2.26 |                        |                         |
|             | 190    | 1.65 | 0.79 |                        |                         |
|             | 200    | 1.75 | 0.85 |                        |                         |

کاهش نشان می‌دهد. نمودار (c) نشان می‌دهد که میزان مدول پراکنش ذرات و برهم‌کنش‌های آن با ماتریس XNBR/Epoxy در ازیاد طول ۳۰۰ درصد با افزایش غلظت هالوسیت به دلیل نوع افزایش قابل توجهی نشان می‌دهد [۲۰].



شکل ۴- نمودار تنش- کرنش برای نانوکامپوزیت‌های XNBR/Epoxy/HNTs



شکل ۵- خواص مکانیکی نانوکامپوزیت‌های (a) XNBR/Epoxy/HNTs استحکام کششی (b) ازیاد طول (c) مدول در ازیاد طول ۳۰۰٪

## ۴- نتیجه گیری

بوده و با افزایش درصد هالوسیت بر میزان زبری سطح شکست نانوکامپوزیت نیز افزوده می‌شود. سینتیک پخت نانوکامپوزیت‌های XNBR/Epoxy/HNTs بر مبنای مدل درجه nم بررسی گردید و نتایج نشان داد که هالوسیت نانوتیوب بر پخت ماتریس پلیمری اثر گذاشته و میزان انرژی فعال‌سازی با افزایش غلظت نانوتیوب کاهش می‌یابد. بررسی خواص مکانیکی نانوکامپوزیت‌های تهیه شده نشان داد که پارامترهای مدول و استحکام کششی به میزان قابل ملاحظه‌ای با غلظت هالوسیت نانوتیوب افزایش نشان می‌دهند.

## سپاسگزاری

IRM ...

نانوکامپوزیت‌های XNBR/Epoxy/XHNTs با غلظت‌های مختلف هالوسیت نانوتیوب و با استفاده از غلظت آزمایشگاهی تهیه گردیدند و تأثیر هالوسیت نانوتیوب بر رفتار پخت و سینتیک ولکانیزاسیون، مورفولوژی آمیزه و خواص مکانیکی آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج رئومتر پخت نشان داد که افزودن هالوسیت نانوتیوب به سیستم XNBR/Epoxy علاوه بر کاهش زمان برشتگی و زمان پخت بهینه، موجب افزایش گشتاور در منحنی پخت گردیده است. نتایج بررسی مورفولوژی نشان داد که توزیع ذرات نانوتیوب در ماتریس لاستیکی در اغلب نقاط به صورت یکنواخت

## مراجع

1. M. M. Aliabadi, G. Naderi, S. J. Shahtaheri, A. R. Forushani, I. Mohammadfam, and M. Jahangiri, "Mechanical and barrier properties of XNBR-clay nanocomposite: a promising material for protective gloves," Iranian Polymer Journal, vol. 23, no. 4, pp. 289-296, 2014.
2. K. Sasikumar, N. Manoj, T. Mukundan, and D. Khastgir, "Hysteretic damping in XNBR-MWNT nanocomposites at low and high compressive strains," Composites Part B: Engineering, vol. 92, pp. 74-83, 2016.
3. D. Yang et al., "Improved mechanical and electrochemical properties of XNBR dielectric elastomer actuator by poly (dopamine) functionalized graphene nano-sheets," Polymers, vol. 11, no. 2, p. 218, 2019.
4. S. Sahoo and A. K. Bhowmick, "Influence of ZnO nanoparticles on the cure characteristics and mechanical properties of carboxylated nitrile rubber," Journal of applied polymer science, vol. 106, no. 5, pp. 3077-3083, 2007.
5. A. Laskowska, M. Zaborski, G. Boiteux, O. Gain, A. Marzec, and W. Maniukiewicz, "Ionic elastomers based on carboxylated nitrile rubber (XNBR) and magnesium aluminum layered double hydroxide (hydrotalcite)," Express Polymer Letters, vol. 8, no. 6, 2014.
6. S. Chakraborty, A. Bhowmick, S. De, and B. Dhindaw, "Scanning electron microscopy studies of tear of carboxylated nitrile rubber," Rubber Chemistry and Technology, vol. 55, no. 1, pp. 41-50, 1982.
7. R. Kamble, M. Ghag, S. Gaikwad, and B. K. Panda, "Halloysite Nanotubes and Applications: A Review," Journal



of advanced scientific research, vol. 3, no. 2, 2012.

8. S. Rooj, A. Das, V. Thakur, R. Mahaling, A. K. Bhowmick, and G. Heinrich, "Preparation and properties of natural nanocomposites based on natural rubber and naturally occurring halloysite nanotubes," *Materials & Design*, vol. 31, no. 4, pp. 2151-2156, 2010.
9. P. Rybiński and G. Janowska, "Influence synergetic effect of halloysite nanotubes and halogen-free flame-retardants on properties nitrile rubber composites," *Thermochimica acta*, vol. 557, pp. 24-30, 2013.
10. K. Prashantha, M.-F. Lacrampe, and P. Krawczak, "Processing and characterization of halloysite nanotubes filled polypropylene nanocomposites based on a masterbatch route: effect of halloysites treatment on structural and mechanical properties," *Express Polymer Letters*, vol. 5, no. 4, 2011.
11. M. Liu, Z. Jia, D. Jia, and C. Zhou, "Recent advance in research on halloysite nanotubes-polymer nanocomposite," *Progress in polymer science*, vol. 39, no. 8, pp. 1498-1525, 2014.
12. K. Matabola, A. De Vries, F. Moolman, and A. Luyt, "Single polymer composites: a review," *Journal of Materials Science*, vol. 44, no. 23, pp. 6213-6222, 2009.
13. V. Mittal, J. K. Kim, and K. Pal, *Recent advances in elastomeric nanocomposites*. Springer, 2011.
14. R. Berahman, M. Raiati, M. M. Mazidi, and S. M. R. Paran, "Preparation and characterization of vulcanized silicone rubber/halloysite nanotube nanocomposites: Effect of matrix hardness and HNT content," *Materials & Design*, vol. 104, pp. 333-345, 2016.
15. S. Paran, G. Naderi, and M. Ghoreishy, "XNBR-grafted halloysite nanotube core-shell as a potential compatibilizer for immiscible polymer systems," *Applied Surface Science*, vol. 382, pp. 63-72, 2016.
16. S. Vyazovkin and N. Sbirrazzuoli, "Kinetic methods to study isothermal and nonisothermal epoxy-anhydride cure," *Macromolecular Chemistry and Physics*, vol. 200, no. 10, pp. 2294-2303, 1999.
17. M. Jouyandeh et al., "Curing epoxy resin with anhydride in the presence of halloysite nanotubes: the contradictory effects of filler concentration," *Progress in Organic Coatings*, vol. 126, pp. 129-135, 2019.
18. S. M. R. Paran et al., "Crystallization kinetics study of dynamically vulcanized PA6/NBR/HNTs nanocomposites by nonisothermal differential scanning calorimetry."
19. S. R. Paran, G. Naderi, and M. R. Ghoreishy, "Effect of halloysite nanotube on microstructure, rheological and mechanical properties of dynamically vulcanized PA6/NBR thermoplastic vulcanizates," *Soft Materials*, vol. 14, no. 3, pp. 127-139, 2016.
20. S. Paran, G. Naderi, M. Ghoreishy, and C. Dubois, "Multiscale modeling of polymer systems comprising nanotube-like inclusions by considering interfacial debonding under plastic deformations," *Composite Structures*, vol. 194, pp. 302-315, 2018.



## مروری بر کاربردهای نانو ذرات الاستومری شبکه‌ای شده

### A review of the applications of cross-linked elastomeric nanoparticles

#### چکیده:

نانو ذرات الاستومری شبکه‌ای شده (ENPs) به‌طور گسترده‌ای در رزین‌های گرمانرم و گرما سخت مورد استفاده قرار گرفته‌اند و هنگام استفاده در اصلاح سطح پلیمرها، اثرگذاری آن در مقیاس نانو مورد توجه قرار گرفته‌است. اندازه نانو ذرات الاستومری به‌وسیله اندازه ذرات لاتکس (latex) به خوبی کنترل می‌شود و با استفاده از این فرآیند، اندازه ذرات کمتر از ۱۰۰ نانومتر تولید می‌شود و دارای توزیع باریک می‌شوند. نانو ذرات شبکه‌ای شده، چقرمگی و مقاومت گرمایی پلاستیک‌ها را هم‌زمان افزایش می‌دهد و در اغلب مواردی که جهت اصلاح سطح به لاستیک‌ها و گرمانرم‌ها اضافه شده‌اند، باعث پراکنش در ماتریس پلیمری شده‌اند. در این مقاله مروری به آماده‌سازی نمونه، و اثر نانو ذرات الاستومری شبکه‌ای شده و کاربرد آن‌ها، و مطالعه اثر افزودن این نوع نانو ذرات بر مورفولوژی، خواص حرارتی، خواص فیزیکی و مکانیکی رزین‌های گرما سخت و گرمانرم‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌است.

واژه‌های کلیدی: اثرگذاری نانو ذرات، نانو کامپوزیت‌های پلیمری، چقرمگی پلاستیک، نانو ذرات الاستومری شبکه‌ای شده

نوع مقاله: مروری

محمد رضا کالایی<sup>۱\*</sup>، محمد حسین کرمی<sup>۲</sup>

۱- دکترای تخصصی، دانشیار، گروه مهندسی پلیمر، مجتمع فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران

۲- دانشجو دکترا، گروه مهندسی پلیمر، مجتمع فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران

ایمیل نویسندگان و عهده‌دار مکاتبات:

1- \* mohammad.kalaei@gmail.com

2- karami.polymerphd@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۱۴

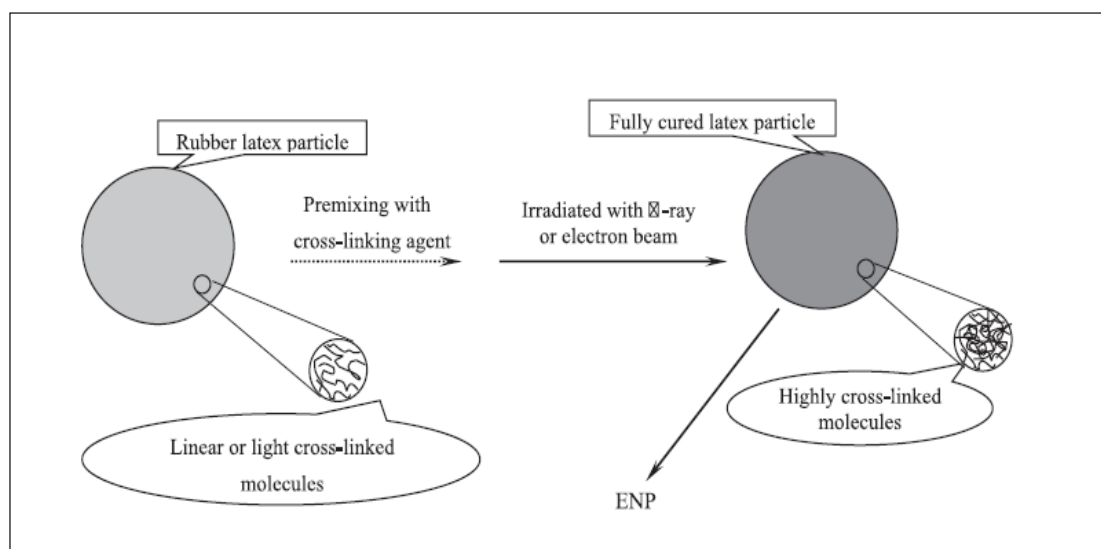
## مقدمه

تماس است که می‌تواند به راحتی کشیده شود. استفاده از نانوذرات رایج می‌تواند باعث افزایش چقرمگی شود ولی مقاومت گرمایی را کاهش می‌دهد که این اثرگذاری مناسب طراحی نانو کامپوزیت‌ها نمی‌باشد. نانوذرات الاستومری هم‌زمان می‌تواند پراکنش مناسب و افزایش مقاومت گرمایی داشته باشد که مغایرت با تئوری کلاسیک دارد [۴-۶]. مواد پرکاربردی با استفاده از نانوذرات الاستومری در ۲۰ سال اخیر توسعه یافته‌است. در این مقاله به بررسی و آماده‌سازی نانوذرات الاستومری شبکه‌ای شده و اثرگذاری و مطالعه اثر افزودن این نوع نانوذرات بر مورفولوژی، خواص حرارتی، خواص فیزیکی و مکانیکی رزین‌های گرماسخت و گرما نرم‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

## آماده‌سازی نمونه نانوذرات الاستومری شبکه‌ای شده

مراحل تهیه و آماده‌سازی نانوذرات الاستومری به صورت شماتیک در شکل ۱، نشان داده شده است. اندازه نانوذرات الاستومری به وسیله اندازه ذرات لاتکس (latex) به خوبی کنترل می‌شود و با استفاده از این فرآیند اندازه ذرات کم‌تر از ۱۰۰ نانومتر تولید می‌شود و دارای توزیع باریک می‌شوند.

استفاده از لاستیک‌ها برای چقرمه کردن پلاستیک‌ها در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است و با گذشت ۴۰ سال از بررسی و تحقیق بر روی این موضوع، چقرمه کردن پلاستیک‌ها هنوز موضوعی جذاب برای تحقیق است. نانو کامپوزیت‌های پلیمری در صنعت خودرو، ساختمان و صنایع الکترونیک کاربرد بسیاری دارد و استفاده از نانوذرات بسیار حائز اهمیت است. در بیشتر تحقیقات به اثر نانوذرات از نوع غیر آلی پرداخته شده است به عنوان مثال نانو ذرات رس<sup>۱</sup> که می‌تواند باعث سدکنندگی نفوذ گاز و افزایش مدول شود و عدم پراکنش مناسب این نوع نانو ذرات، باعث کاهش خواص فیزیکی و مکانیکی می‌شود [۱-۳]. برای غلبه بر این مشکل باید به اصلاح سطح در حضور نانوذرات از نوع آلی بپردازیم که اغلب پیچیده است و هزینه زیادی دارد. نانو ذرات الاستومری شبکه‌ای شده (UFNBR) و (ENPs) با اندازه ۱۰۰ نانومتر و کمتر به نانوذراتی گفته می‌شود که فوق شبکه‌ای است و می‌تواند مقاومت گرمایی پلاستیک‌ها را افزایش دهد و در مقایسه با نانوذرات از نوع غیر آلی، پراکنش بهتری هم دارند. پراکنش مناسب این نوع نانوذرات به علت انتقال نیروی برش به سطح



شکل ۱- شماتیک تهیه و آماده‌سازی نانوذرات الاستومری [۷].

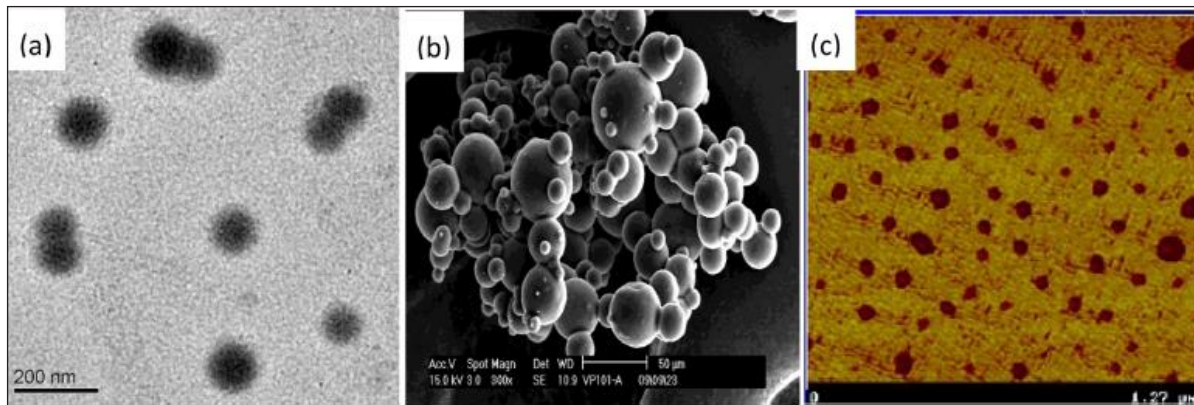
این نوع نانوذرات به وسیله پرتو نوری شبکه‌ای می‌شوند و با اسپری کردن خشک می‌شوند و با روش اسپری کردن کلوخه‌هایی به اندازه ۵۰ میکرومتر تشکیل می‌دهند، اما زمانی که مخلوط می‌شوند این کلوخه‌ها به آسانی جدا می‌شوند (شکل ۲). درجه شبکه‌ای شدن در مرکز نانوذرات الاستومری باعث پراکنش این نوع نانوذرات در مخلوط با مواد دیگر و باعث خواص الاستیستی مناسب می‌شود [۷].

### اثر نانوذرات الاستومری شبکه‌ای شده در چقرمه کردن پلاستیک‌ها

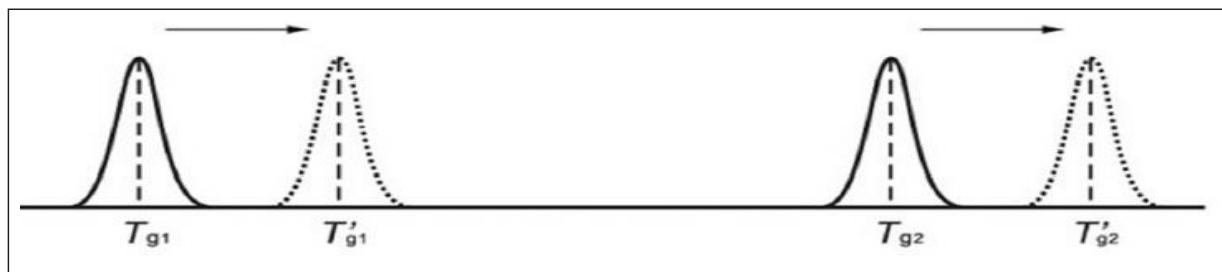
با اضافه کردن نانوذرات الاستومری شبکه‌ای شده به پلاستیک‌ها، دمای انتقال شیشه‌ای و چقرمگی به طور هم‌زمان افزایش پیدا می‌کند که برای اصلاح پلاستیک‌ها این دو خواص مهم هستند و این در تضاد با قانون تئوری کلاسیک پلیمرها است. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌کنید دمای انتقال شیشه‌ای مخلوط نانوذرات الاستومری/ پلاستیک باید ثابت بماند و یا کمتر شود اما با افزودن نانوذرات الاستومری دمای انتقال شیشه‌ای ( $T_g$ ) افزایش پیدا می‌کند (شکل ۴) [۸-۹].

انواع گوناگون نانوذرات الاستومری که در ماتریس‌های پلیمری استفاده می‌شوند به عنوان مثال، کربوکسیلیک آکریلو نیتریل بوتادین رابر (CNBR-ENP)، آکریلو نیتریل بوتادین رابر (NBR-ENP)، استایرن بوتادین وینیل پیریدین رابر (SBP-ENP)، کربوکسیلیک استایرن بوتادین (CSBR-ENP) و استایرن بوتادین رابر (CSBR-ENP) می‌باشند و منظور از

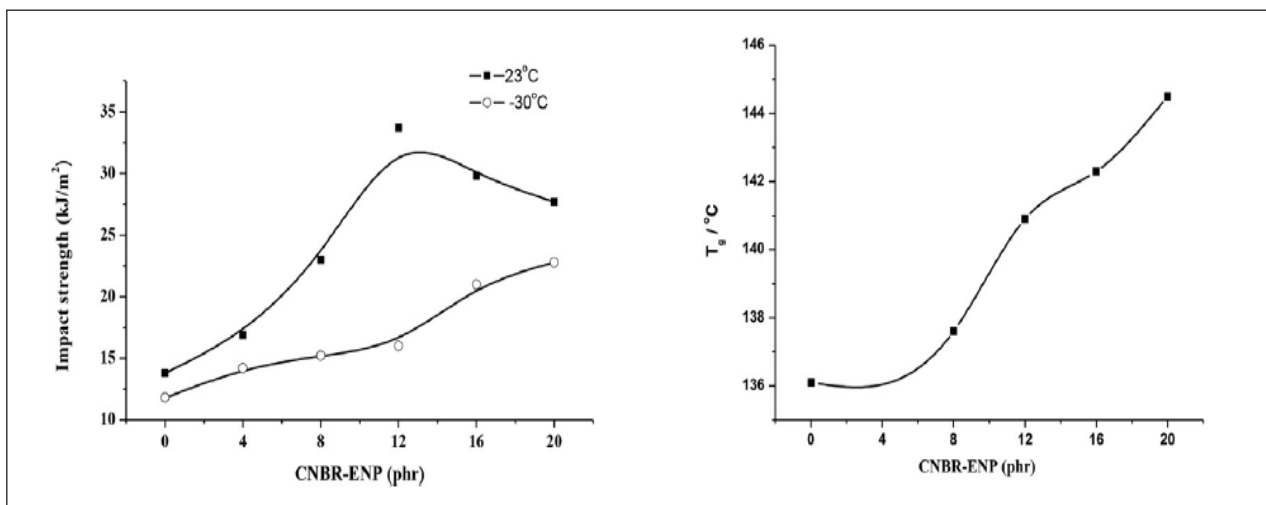
این نوع نانوذرات به وسیله پرتو نوری شبکه‌ای می‌شوند و با اسپری کردن خشک می‌شوند و با روش اسپری کردن کلوخه‌هایی به اندازه ۵۰ میکرومتر تشکیل می‌دهند، اما زمانی که مخلوط می‌شوند این کلوخه‌ها به آسانی جدا می‌شوند (شکل ۲). درجه شبکه‌ای شدن در مرکز نانوذرات الاستومری باعث پراکنش این نوع نانوذرات در مخلوط با مواد دیگر و باعث خواص الاستیستی مناسب می‌شود [۷].



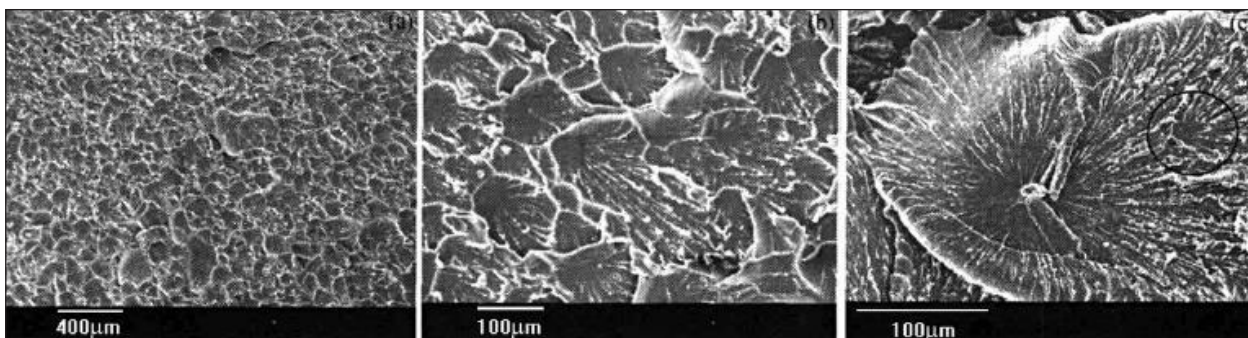
شکل ۲- تصاویر TEM نانو ذرات استایرن بوتادین رابر (a) پرتو نوری (b) بعد خشک کردن با اسپری AFM (c) در ماتریس پلی پروپیلن [۷].



شکل ۳- دمای انتقال شیشه‌ای نانوذرات الاستومری/پلاستیک [۸-۹].



شکل ۴- نمودارهای استحکام ضربه و دمای انتقال شیشه‌ای نانوذرات الاستومری/پلاستیک [۹-۱۸].



شکل ۵- نمونه نانوذرات الاستومری و نانوذرات الاستومری شبکه‌ای شده / رزین اپوکسی [۱۱-۱۰].

شبکه‌ای شده، واکنش شیمیایی اتفاق افتاده است. مکانیسم چقرمه‌کردن این نوع نانوذرات برای چقرمه‌کردن رزین اپوکسی متفاوت است. اضافه‌کردن نانوذرات الاستومری شبکه‌ای شده (CNBR-ENP) به رزین فنولیک را نسبت به نانوذرات الاستومری (NBR-ENP) بهتر اصلاح کرده‌است. جدول ۱، نشان می‌دهد که نانوذرات الاستومری نقش بازدارنده در واکنش پخت رزین فنولیک دارد و انرژی اکتیواسیون افزایش می‌یابد و درجه شبکه‌ای شدن کاهش می‌یابد. تصاویر SEM (شکل ۶) نشان داد که مقدار زیادی

تصاویر SEM زیر نمونه نانوذرات الاستومری و نانوذرات الاستومری شبکه‌ای شده / رزین اپوکسی را نشان می‌دهد، نتایج نشان داد که در سطوح شکست این نمونه چاله‌هایی وجود دارد که هرچاله به نظر می‌رسد شبیه برگ گیاه است که هر یک در برگ بزرگ‌تر موجود هستند [۱۱-۱۰].

اضافه‌کردن نانوذرات الاستومری شبکه‌ای شده به رزین فنولیک هم‌زمان مقاومت گرمایی و چقرمگی را افزایش داده‌است و همچنین آنالیز FTIR نشان داد که بین رزین فنولیک و نانوذرات الاستومری

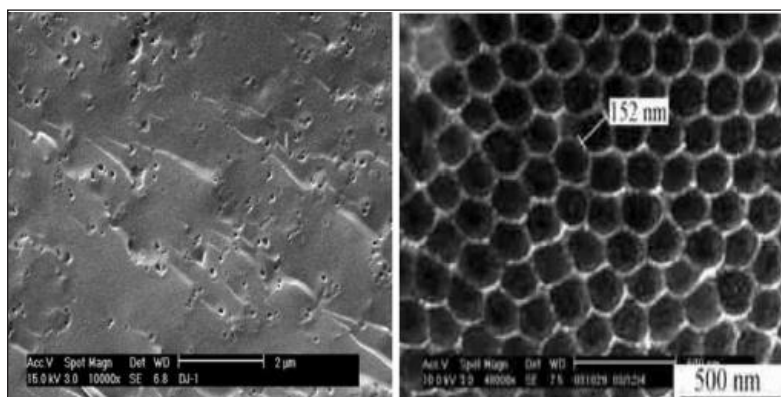
است [۱۰-۱۱].

فهمیدن این موضوع که نانوذرات الاستومری چگونه می‌تواند مقاومت گرمایی را افزایش دهد مشکل است. آیا اثر نانوذرات الاستومری است؟ شکل ۷ (الف)، تصویر AFM نشان می‌دهد که اضافه کردن نانوذرات الاستومری شبکه‌ای شده، رزین اپوکسی را اصلاح کرده است که به علت فصل مشترک بین رزین اپوکسی و نانوذرات الاستومری است که سخت‌تر از رزین اپوکسی خالص است و اندازه فصل مشترک برای نمونه نانوکامپوزیت اپوکسی ۱۳ نانومتر است. گروه نیتریل در سطح CNBR-ENP در واکنش پخت اپوکسی

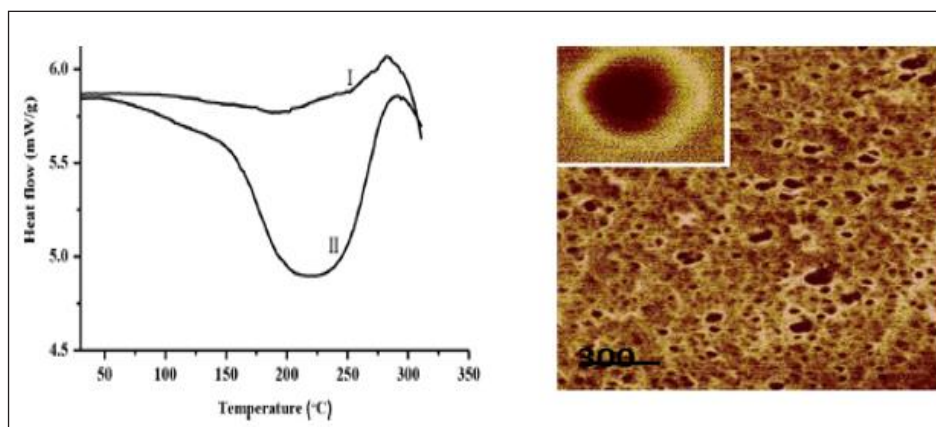
میکرو ترک و حفره در سطح شکست کامپوزیت‌های رزین فنولیک و نانوذرات الاستومری وجود دارد. هنگامی که رزین فنولی اصلاح شده تحت تأثیر ضربه قرار بگیرد، تعداد زیادی میکرو ترک توسط ذرات لاستیک ایجاد می‌شود و سپس میکرو ترک‌ها توسط ذرات لاستیک مجاور گسترش یافتند، که می‌تواند انرژی ضربه زیادی را مصرف کند و به عبارت دیگر بر اثر ضربه در حفره‌ها ساختار کندو عسلی مشاهده می‌شود و اندازه لانه زنبورها برابر با ۱۵۰ نانومتر است. این نوع ساختار لانه زنبوری ظرفیت و تحمل بر نیروهای وارده را افزایش می‌دهد که بسیار سودمند برای استحکام و خواص HDT

جدول ۱- خواص رزین فنولیک و درصد های متفاوت نانوذرات الاستومری [۱۰-۱۱].

| Sample              | Izod Impact Strength (K J/m <sup>2</sup> ) | Flexural Strength (Mpa) | Flexural Modulus (Gpa) | HDT (°c) | E (KJ/mol) | Degree of crosslinking (%) |
|---------------------|--|-------------------------|------------------------|----------|------------|----------------------------|
| Neat Phenolic resin | 5.20                                       | 98.5                    | 7.96                   | 141.5    | 128.3      | 88.1                       |
| +5 wt % NBR -ENP    | 7.75                                       | 101.0                   | 7.11                   | 160.3    | 134.5      | 84.8                       |
| +5 wt%CNBR-ENP      | 8.70                                       | 107.9                   | 7.36                   | 167.9    | 155.6      | 74.0                       |



شکل ۶- نمونه نانوذرات الاستومری و رزین فنولیک و بزرگ‌نمایی حفره‌ها [۱۰-۱۱].



شکل ۷- نمونه نانوذرات الاستومری و رزین اپوکسی الف) تصویر AFM و ب) نمودار جریان گرمایی [۱۱-۱۲].



شرکت کرده و به نظر می‌رسد که برخی واکنش‌های شبکه‌ای شدن باید از سطح ذرات ENP به دلیل خاصیت کاتالیستی گروه نیتریل در سطح CNBR-ENP شروع شود. بنابراین، رزین اپوکسی باید درجه اتصال متقابل بالاتر از ماتریس اپوکسی داشته باشد (شکل ۷.ب). واکنش بین سطحی گروه نیتریل نانو ذرات الاستومری و رزین اپوکسی به علت پیوند کووالانسی بین دوماده بسیار قوی است و همچنین گروه کربوکسیل (COOH) موجود در نانوذرات الاستومری شبکه‌ای شده باعث تضعیف گروه نیتریل که نقش کاتالیزور دارد شده است و برای رفع این مشکل و اصلاح کردن رزین اپوکسی از نانوذرات الاستومری بدون گروه COOH استفاده شد که با این تغییر در نانوذرات الاستومری دمای انتقال شیشه‌ای بالا رفت [۱۲-۱۱]. دمای انتقال شیشه‌ای رزین اپوکسی افزایش پیدا می‌کند که علت این افزایش واکنش‌های شبکه‌ای شدن سطوح نانوذرات الاستومری است و عامل شتاب‌دهنده TEA (تری اتانول آمین) اثری در این افزایش ندارد و نمی‌تواند با نانو ذرات الاستومری

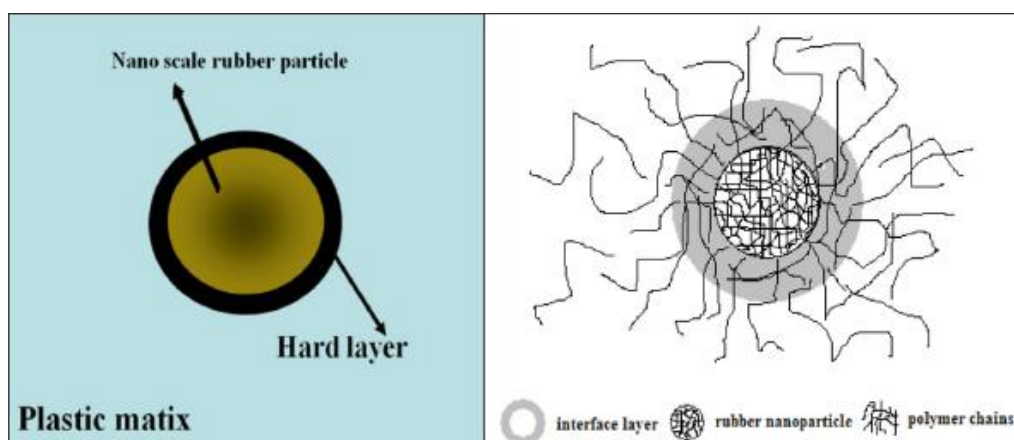
برای افزایش دمای انتقال شیشه‌ای رقابت کند. همچنین دمای HDT نانوکامپوزیت اپوکسی در حضور نانوذرات الاستومری بدون حضور عامل شتاب‌دهنده واکنش تا  $40^{\circ}\text{C}$  می‌تواند افزایش داشته باشد (جدول ۲) [۱۲].

بدیهی است که مکانیسم اصلی افزایش Tg در گرماسخت‌های اصلاح‌شده توسط ENP تشکیل سطوح خاص با سختی بالا به دلیل درجه شبکه‌ای شدن بالا می‌باشد. بنابراین، یک مدل برای مخلوط لاستیک/پلاستیک با چقرمگی و مقاومت گرمایی بالاتر در برابر حرارت بالاتر، در شکل ۸ نشان داده شده است [۱۲].

به طور خلاصه می‌توان گفت که، هنگامی که اندازه ذرات لاستیک در مقیاس نانو باشد و توزیع اندازه ذرات یکنواخت باشد، فضای بین ذرات لاستیک در ماتریس پلاستیک به قدری کم است که لایه انتقال بین سطحی به یکدیگر مربوط می‌شود، در نتیجه باعث محدود کردن آزاد حرکت مولکول‌های ماتریس می‌شوند، بنابراین  $T_g$  ماتریس می‌تواند افزایش یابد و ذرات لاستیک نه تنها

جدول ۲- خواص رزین اپوکسی و درصد‌های متفاوت نانوذرات الاستومری [۱۲]

| Sample           | Izod Impact Strength (K J/m <sup>2</sup> ) | Flexural Strength (Mpa) | Flexural Modulus (Gpa) | Tg (°c) | HDT (°c) |
|------------------|--|-------------------------|------------------------|---------|----------|
| Neat epoxy resin | 9.0  | 105                     | 3.18                   | 102     | 94       |
| +NBR-ENP and TEA | 16.3                                       | 84.8                    | 2.75                   | 114     | 111      |
| +NBR-ENP         | 15.6                                       | 96.51                   | 2.86                   | 133     | 132      |



شکل ۸- نمونه نانوذرات الاستومری و رزین اپوکسی (الف) مدل پلاستیک/نانو رابر و (ب) گرمانرم/نانو رابر [۱۲].

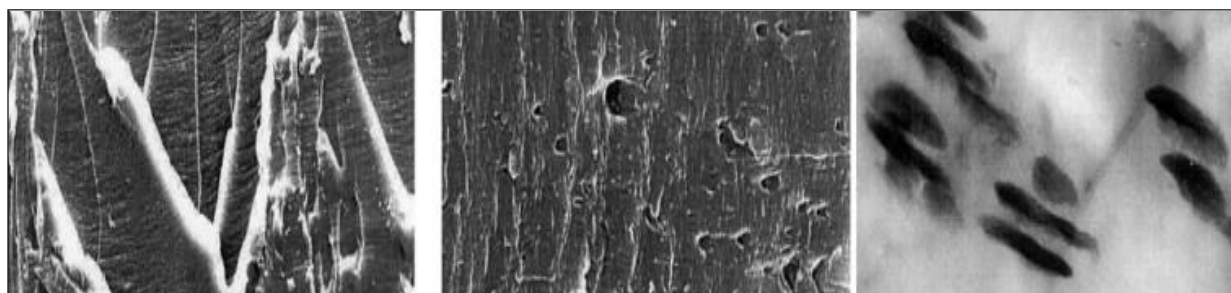
لاستیکی نه تنها مقاومت بسیار بالادارد، بلکه مقاومت در برابر حرارت بسیار بالایی را نیز به نمایش می‌گذارد. پس از اصلاح، HDT کامپوزیت ۵۷ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و به ۱۷۸ درجه سانتی‌گراد رسید، در حالی که مقاومت در اثر ضربه ۱۰۷ درصد افزایش یافت و به ۲۱/۱ کیلوژول در متر مربع رسید. در حقیقت، گزارش شده است که مایسل‌های استوانه‌ای با قطری در اندازه نانوذرات نیز می‌توانند افزایش یابند و دمای انتقال شیشه‌ای رزین اپوکسی و چقرمگی به‌طور هم‌زمان افزایش می‌یابد که با اثرگذاری نانوذرات مطابقت دارد. این مزیت برای گرمانرم‌ها به‌عنوان مثال PPC (CO<sub>2</sub> copolymer)، PVC، PP، PA6 گزارش شده است [۱۶-۱۴]. نتایج آزمایشات بر روی PVC نشان داد که اضافه کردن نانو ذرات الاستومری با مقدار زیاد آکریلونیتریل دمای انتقال شیشه‌ای را افزایش داد جدول (۳) [۱۷، ۱۸].

همچنین اضافه کردن نانوذرات الاستومری به PVC (پلی وینیل کلراید)، استحکام ضربه را افزایش داده است. شکل ۹، تصاویر SEM

می‌تواند پلاستیک را سخت کند، بلکه می‌تواند مقاومت در برابر حرارت آن را بهبود بخشد و می‌تواند یک کامپوزیت اپوکسی با چقرمگی بالا و مقاومت در برابر حرارت بسیار بالا طراحی و آماده کرد [۱۳]. وقتی اندازه ذرات لاستیک در مقیاس نانو باشد و توزیع اندازه ذرات یکنواخت است فضای بین ذرات لاستیک در ماتریس پلاستیک به قدری کم است که لایه انتقال بین فازی به یکدیگر ارتباط دارند، در نتیجه مقدار آزاد حرکت مولکول‌های ماتریس کم می‌شود. بنابراین، T<sub>g</sub> ماتریس می‌تواند افزایش یابد، و لاستیک نه تنها می‌تواند پلاستیک را چقرمه کند، بلکه می‌تواند مقاومت در برابر حرارت آن را بهبود بخشد. رزین اپوکسی TDE-85 با مقاومت ضربه ۱۰/۲ کیلوژول در متر مکعب، دمای اعوجاج گرما (HDT) ۱۲۱ درجه سلسیوس و دمای انتقال شیشه ۱۲۷ درجه سلسیوس به‌عنوان ماتریس کامپوزیت، CNB-ENP با قطر حدود ۱۰۰ نانومتر و پوشش داده شده با تری اتانول آمین روی سطح به‌عنوان اصلاح‌کننده انتخاب شد. رزین اپوکسی اصلاح شده

جدول ۳- خواص پلی وینیل کلراید و درصدهای متفاوت نانوذرات الاستومری [۱۷، ۱۸].

| Sample | Diameter of ENP(nm)<br>(content acrylonitrile/%) | Izod impact strength(K J/m <sup>2</sup> ) | Tensile Strength<br>(Mpa) | Elongation (%) | Tg(°c) |
|--------|--|---|---------------------------|----------------|--------|
| Pvc    | -  | 3.1                                       | 41.7                      | 144            | 78     |
| Pvc-1  | 150(33)  | 4.1                                       | 43.1                      | 208            | 82     |
| Pvc-2  | 90(33)   | 4.6                                       | 44.2                      | 216            | 86     |
| Pvc-3  | 70(26)   | 6.3                                       | 39.8                      | 136            | 81     |



شکل ۹- تصاویر SEM و TEM نایلون ۶ و نانو ذرات الاستومری از نوع SBR (استاتیرن بوتادین رابر) [۱۹].

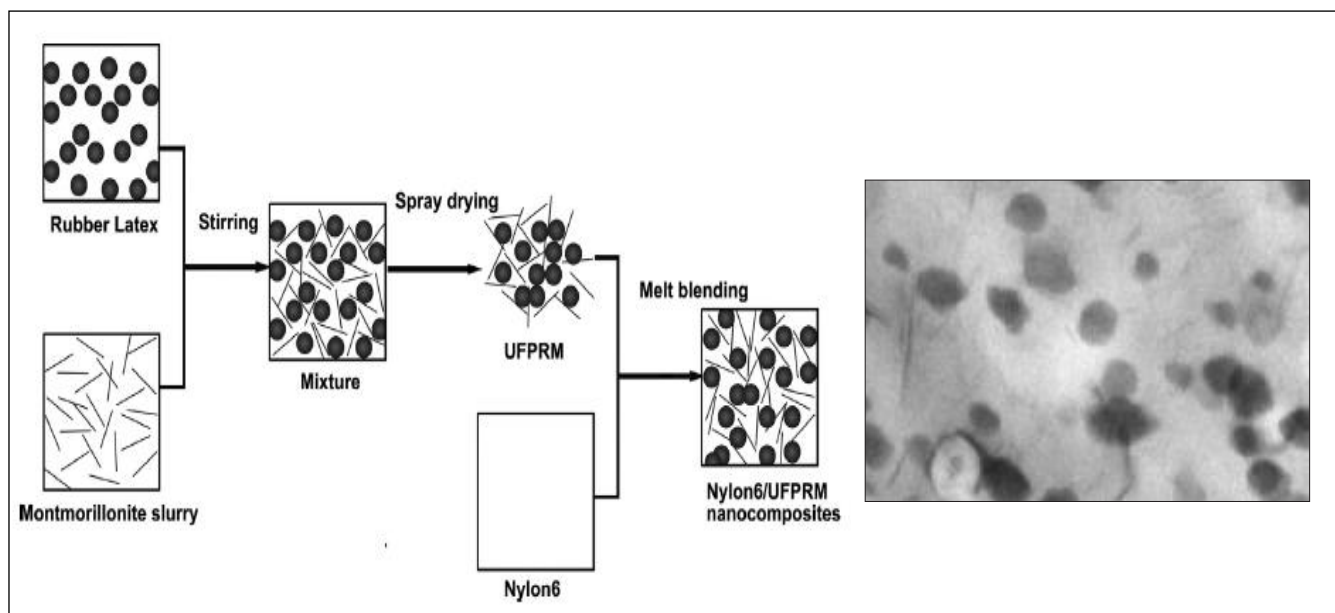


از نوع SBR و NBR با توجه به پایداری اصطکاک می‌تواند در تولید لنت ترمز جایگزین SBR و NBR شود. شکل ۱۱، آماده‌سازی نمونه نایلون ۶، در حضور نانوذرات الاستومری و نانوذرات رس را نشان می‌دهد. نتایج TEM نشان می‌دهد که نانوذرات الاستومری در بین نانو ذرات رس خوب پخش شده است و لایه‌های سیلیکا در ماتریس نایلون ۶، به خوبی ورقه‌ای شده (Exfoliated) است [۱۹]. شکل ۱۲، تصویر SEM نانو کامپوزیت PP/CNT, CNBR-ENP را نشان می‌دهد، نتایج نشان داد که، اضافه کردن دو نوع نانو ذره

و TEM نایلون ۶ و نانو ذرات الاستومری از نوع SBR (استاتین بوتادین رابر) نشان داد که با اضافه کردن ۵ درصد وزنی مورفولوژی شکست نایلون ۶ تغییر می‌کند که به علت اثر برش تسلیم (shear yielding)، نزدیک سطوح شکست است [۱۷، ۱۹، ۱۸]. نانو ذرات الاستومری در زمین های گوناگون کاربرد دارند به عنوان مثال در مواد قالب گیری فنولیک که مقاوت حرارتی بالایی دارند استفاده می‌شوند [۲۰]. همان طور که در شکل ۱۰، مشاهده می‌کنید نانوذرات الاستومری

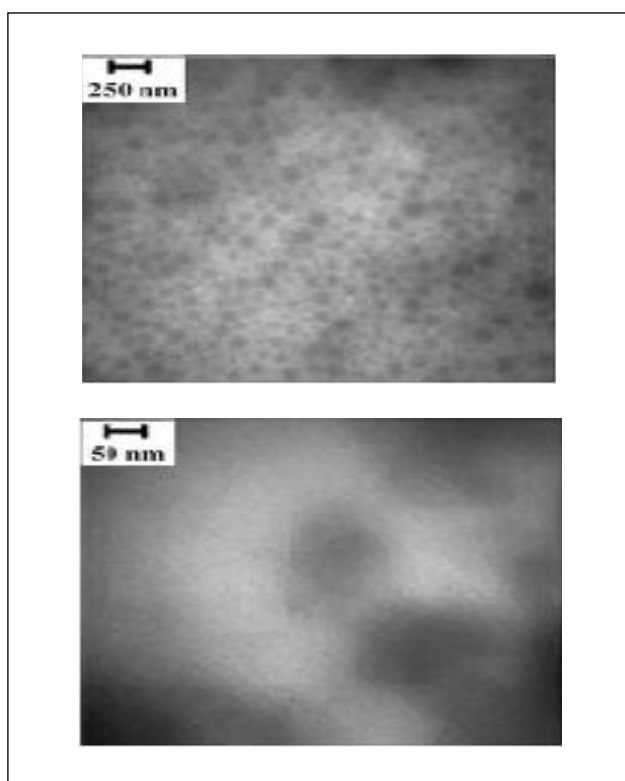


شکل ۱۰- محصولات ساخته شده از نانوذرات الاستومری [۲۰].



شکل ۱۱- TEM و آماده سازی نایلون ۶ و نانو ذرات الاستومری و نانو ذرات رس [۱۹].

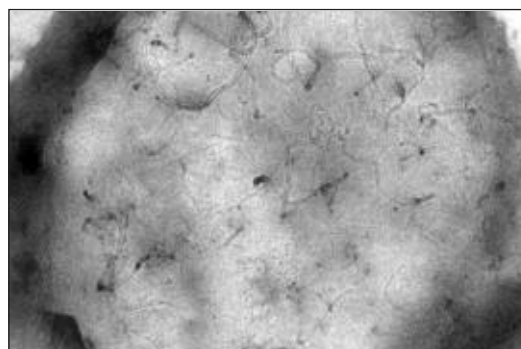
برای بررسی چسبندگی رزین اپوکسی تقویت شده با نانوذرات کوپلیمر الاستومری، کوپلیمر استایرن بوتیل آکریلات اتیلن گلیکول دی متیل متاکریلات (St- BA-EGMA) را در مقادیرهای مختلف و همچنین برای بهبود چقرمگی به رزین اپوکسی به همراه عامل پخت پیریدین اضافه کردند. در شکل ۱۴، تصویر TEM، را با ۲۰ درصد نانو ذرات کوپلیمر الاستومری در رزین اپوکسی با دو بزرگنمایی مشاهده می کنید.



شکل ۱۴- تصویر TEM، با ۲۰ درصد نانوذرات کوپلیمر الاستومر در چسب اپوکسی با دو بزرگنمایی [۲۳].

نتایج نشان داد قسمت های تاریک در شکل مربوط به ذرات نانو الاستومری می باشد که این نشان می دهد، ذرات کروی نانو ذرات کوپلیمر الاستومری به خوبی در ماتریس اپوکسی با اندازه ذرات ۹۷

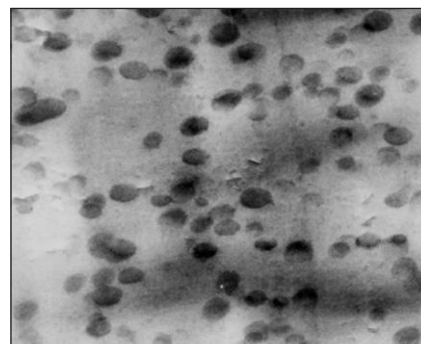
گوناگون به ماتریس پلی پروپیلن، باعث می شود نانولوله های کربنی، (CNT) در فاز پراکنش نانوذرات الاستومری CNBR قرار گیرد و خواص مکانیکی افزایش می یابد [۲۱].



شکل ۱۲- تصویر TEM نانوکامپوزیت PP/CNT, CNBR-ENP [۲۱].

#### تاثیر نانوذرات الاستومری در مورفولوژی رزین اپوکسی

تاثیر نانوذرات الاستومری (ENP) روی چقرمگی و مقاومت گرمایی رزین های اپوکسی بررسی شد و همان طور که در شکل زیر مشاهده می کنید، ذرات نانو الاستومر می تواند بدون تجمع پراکنده شوند. سطح ذرات نانو الاستومر با متوسط سایز ذرات ۹۰ نانومتر، ۱۰ برابر بزرگتر از مواد CTBN-carboxyl (terminated butadiene acrylonitrile) با ذرات ۱۰۰۰ نانومتر است. بنابراین فصل مشترک بین الاستومر و ماتریس اپوکسی بزرگ تر از زمانی است که CTBN استفاده می شود پیوند هیدروژنی بین گروه های کربوکسیل ذرات الاستومر و گروه های هیدروکسیل اپوکسی در فصل مشترک افزایش می یابد [۲۲].

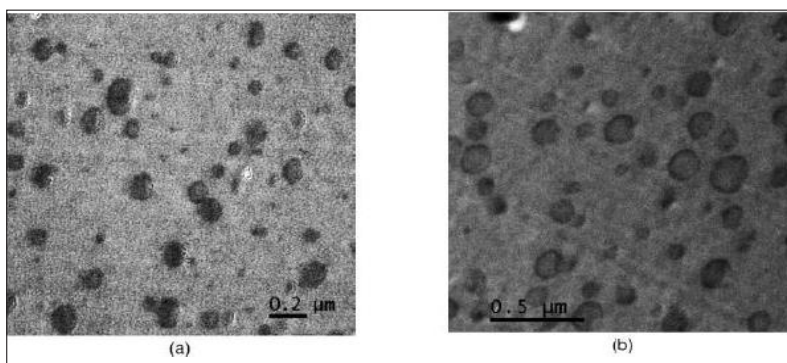


شکل ۱۳- تصویر TEM با ۱۲ واحد از نانو الاستومر [۲۲].

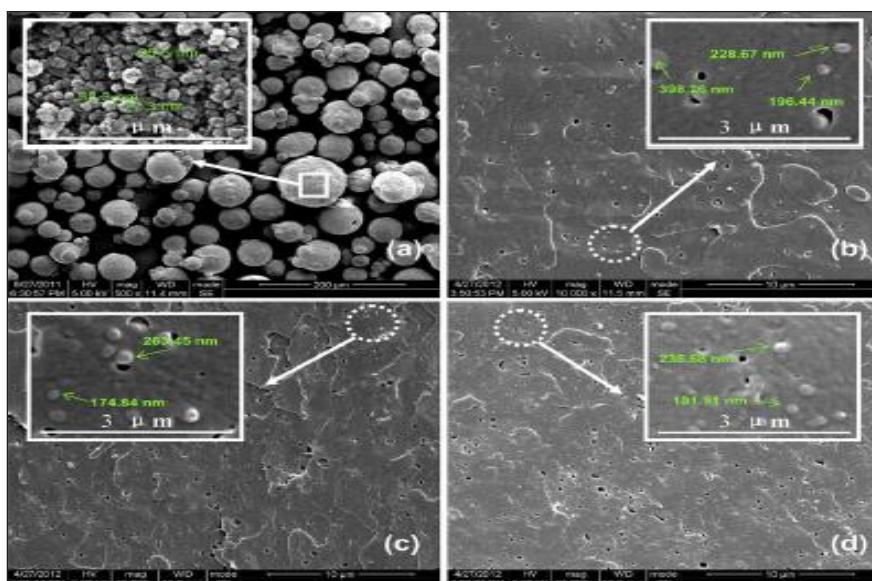
افتاده است. بنابراین استفاده از درصدهای بالا توصیه نمی‌شود و همچنین استفاده از دو نوع نانو ذره متفاوت نشان داد که استفاده از نوع کربوکسیلیک (CNBENP) و بدون کربوکسیلیک NBENP، پخش یکسان و مناسب دارند [۲۴].

همان‌طور که در شکل SEM زیر مشاهده می‌کنید، اثر نانو ذرات اتیل آکریلات الاستومری بر پلیمر گرمانرم پلی لاکتیک اسید نشان داد که با اضافه کردن مقادیر ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی، پراکنش خوبی بین این نوع نانو ذرات و پلیمر گرمانرم پلی لاکتیک اسید داریم، که به علت چسبندگی خوب بین سطحی این دو ماده است اما ترکیب این دو ماده باعث کلوخه‌ای شدن نانو ذرات با اندازه ۲۰۰ نانومتر می‌شود و به صورت یکسان پخش می‌شوند. [۲۵].

نانومتر پخش شده است و به نظر می‌رسد که مکانیزم پخش شدن نانو ذرات ناشی از برهم‌کنش‌های فیزیکی و شیمیایی است [۲۳]. تاثیر نانو ذرات الاستومری بر روی خواص رزین فنولیک نشان داد که با افزودن نانو ذرات خواص استحکام ضربه و استحکام خمش و مقاومت گرمایی بهبود پیدا می‌کند. نتایج TEM این نانو کامپوزیت را در شکل زیر مشاهده می‌کنید. نانو ذرات الاستومر به صورت یکنواخت و یک شکل با اندازه ذرات ۱۰۰ نانومتر در رزین فنولیک پخش شده است. این نانو کامپوزیت فصل مشترک بیشتری دارد و علت آن سطح مخصوص بزرگ‌تر نانو ذرات می‌باشد، که با پخش شدن یکسان و با اختصاص دادن زمان کافی تضمین خواهد شد و همچنین تجمع ذرات در مقدار بالای ۵ درصد وزنی اتفاق



شکل ۱۵- نتایج TEM نانو کامپوزیت فنولیک با (a) 5%NBENP (b) CNBENP [۲۴]



شکل ۱۶ - نتایج SEM نانو کامپوزیت پلی لاکتیک اسید با (a) نانو ذرات اتیلن آکریلات الاستومر (b) ۱ درصد نانو ذرات الاستومر و پلی لاکتیک اسید (c) ۳ درصد نانو ذرات الاستومر و پلی لاکتیک اسید (d) ۵ درصد نانو ذرات الاستومر و پلی لاکتیک اسید [۲۵].

### بررسی تاثیر افزودن نانو ذرات الاستومری بر خواص حرارتی رزین اپوکسی و گرمانرم‌ها

مطالعه خواص حرارتی رزین اپوکسی در حضور نانوذرات NBR شبکه‌ای شده و CTBN<sup>۱</sup> بررسی شد. نتایج نشان داد که همان‌طور که در جدول زیر مشاهده می‌کنید مقاومت گرمایی بالاتر اپوکسی و نانو ذرات الاستومری نتیجه مستقیم دمای انتقال شیشه‌ای اپوکسی می‌باشد. دمای انتقال شیشه‌ای مخلوط پلیمر بین دمای انتقال شیشه‌ای هر یک از پلیمرهاست، بنابراین انتظار می‌رود با افزودن نانوذرات الاستومری با دمای انتقال شیشه‌ای کمتر، دمای انتقال شیشه‌ای مخلوط کاهش یابد ولی همان‌طور که در جدول ۴ می‌بینید، دمای انتقال شیشه‌ای مخلوط با افزودن ذرات الاستومری افزایش یافته که به علت برهم‌کنش بسیار قوی و ایجاد پیوند هیدروژنی بین رزین اپوکسی و نانو ذرات الاستومری است [۲۸].

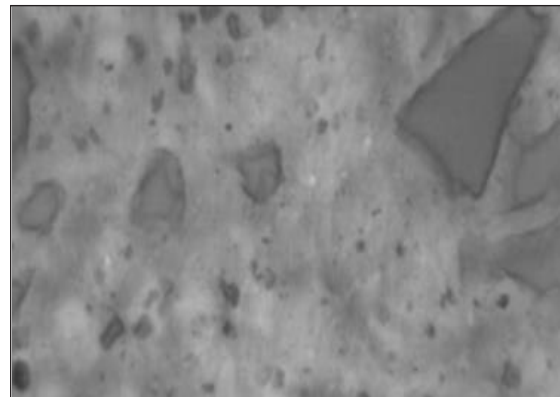
| Tg(°C)          | CTBN  | CNBENP | Epoxy network | Epoxy network toughened with CTBN | Epoxy network toughened with CNBENP |
|-----------------|-------|--------|---------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Tg <sub>1</sub> | -43.6 | -21.9  | -             | - 41.0                            | -20.7                               |
| Tg <sub>2</sub> | -     | -      | 114.1         | 107.4                             | 122.0                               |

جدول ۴- دمای انتقال شیشه‌ای رزین اپوکسی با نانو ذرات الاستومری و مقایسه با CTBN [۲۸].

حضور نانو ذرات NBR کراس‌لینک شده در رزین اپوکسی وجود پیوند هیدروژنی را در مخلوط تایید می‌کند و به این علت است که دمای انتقال شیشه‌ای بالاتر رفته است و با افزایش نانو ذرات الاستومری پیک جذب گروه هیدروکسیل پهن‌تر و نامتقارن‌تر شده، که علت آن وجود پیوند هیدروژنی در فصل مشترک دو جز است [۲۹].

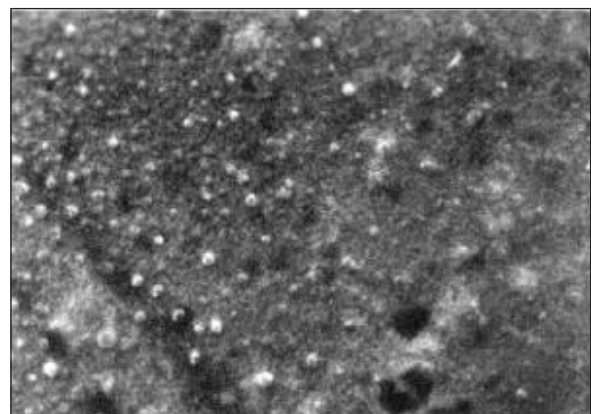
نمودار TGA رزین اپوکسی تقویت‌شده با مقادیر ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی نانوذرات کوپلیمر استایرن بوتیل آکریلات اتیلن گلیکول دی‌متاکریلات (St-BA-EGDMA)، در شکل زیر مشاهده

اضافه کردن ۹ درصد وزنی نانو ذرات NBR در ماتریس پلی‌بوتیلن ترفتالات بررسی شد، نتایج TEM نشان داد بعضی ذرات کلوخه‌ای شده‌اند، ولی بیشتر نانو ذرات خوب پخش می‌شود و سطح مشترک بزرگی بین این دو ماده تشکیل می‌شود که منجر به سازگاری بین این دو ماده می‌شود [۲۶].



شکل ۱۷- نتایج TEM نانو کامپوزیت پلی‌بوتیلن ترفتالات تقویت شده با ۹ درصد وزنی نانو ذرات [۲۶].

اثر افزودن ۵ درصد وزنی نانو ذرات SBR بر ماتریس پلی‌پروپیلن بررسی شد و نتایج AFM در شکل، نشان داد که با افزودن این نوع نانو ذرات در ماتریس پلی‌پروپیلن پراکنش خوبی داریم و اندازه ذرات کم‌تر از ۱۰۰ نانومتر است و همچنین نانو ذرات شبکه‌ای شده می‌تواند به علت ساختار شبکه‌ای فوق‌زیاد، از کلوخه‌ای شدن ذرات جلوگیری کند [۲۷].

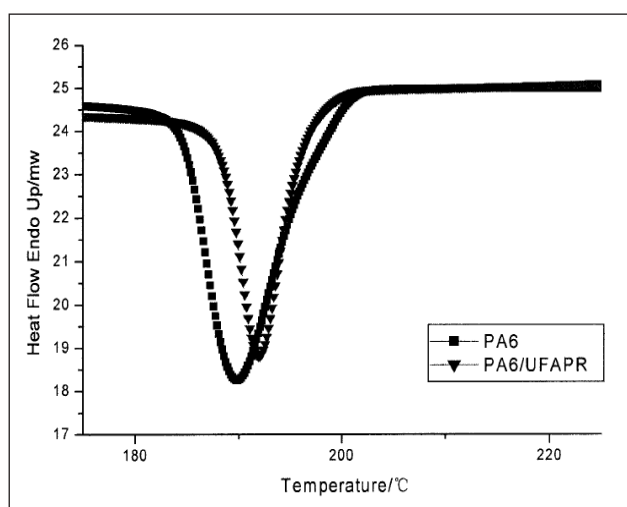


شکل ۱۸- نتایج AFM، پلی‌پروپیلن اصلاح شده با ۵ درصد وزنی نانو SBR [۲۷].

1. carboxyl-terminated butadiene acrylonitrile



با افزودن UFAPR باریک می‌شود و سرعت تبلورافزایش می‌یابد و زمانی که UFAPR به PA6 افزوده می‌شود، شعاع اسفرولیت به وضوح کاهش می‌یابد، تعداد آن افزایش می‌یابد و توزیع آن‌ها یکنواخت‌تر می‌شود. UFAPR به‌عنوان یک عامل تشکیل هسته عمل می‌کند و سبب کوچک شدن اندازه اسفرولیت و افزایش سرعت تبلور می‌شود [۳۱].

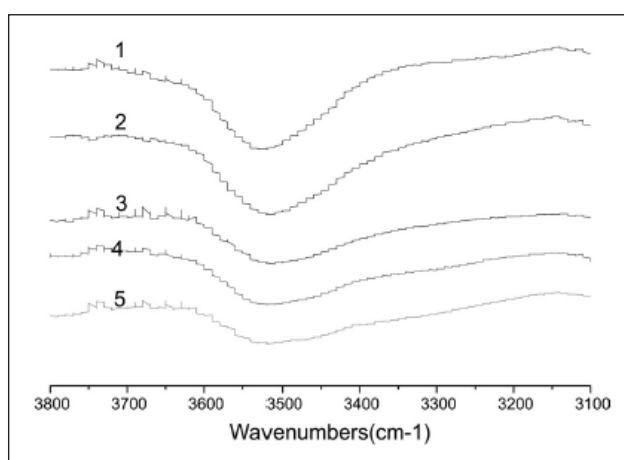


شکل ۲۱- منحنی روبش سرد شدن DSC (۱۰ کلون در دقیقه) از حالت مذاب [۳۱]

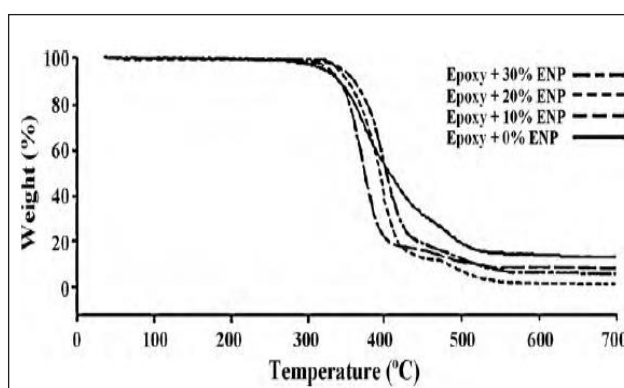
اثر نانو ذرات الاستومری SBR از نوع VP101 بر فاکتور اتلاف پلی‌پروپیلن بررسی شد، نتایج نشان داد (شکل ۲۲)، که فاکتور اتلاف با افزایش UFPR به دمای پایین‌تر جابه‌جا می‌شود و همچنین افزایش نانو ذرات در درصدهای وزنی ۱۴ و ۲۲ در نمودار، باعث ایجاد دو قله پیک در می‌شود. با افزودن مقادیر بیشتر نانو ذرات الاستومری شبکه‌ای، پیک‌های دو قله‌ای تمایل دارند به هم نزدیک‌تر شوند و این به این معنی است که این نانو ذرات سازگاری خوبی با پلی‌پروپیلن دارند [۳۲].

رفتار حرارتی PVC را در حضور نانو ذرات الاستومری و سدیم مونت موریلونیت در شکل زیر مشاهده می‌کنید. آنالیز DMTA<sup>۱</sup> و TGA ثابت می‌کند که نانو کامپوزیت PVC نسبت به PVC خالص دمای انتقال شیشه‌ای و دمای تخریب بالاتری دارد و چقرمگی آن

می‌کنید، دمای تجزیه اولیه با افزایش مقدار نانو ذرات الاستومری افزایش یافته است، که علت این امر تجزیه فیزیکی بخش‌های شبکه‌ای شده در حضور نانو ذرات الاستومری می‌باشد و با افزایش درصد وزنی نانو ذرات الاستومر دمایی که در آن ۵۰ درصد وزنی کاهش وزن ایجاد شده، افزایش می‌یابد، می‌تواند فضای زنجیر را افزایش دهد و هدایت گرمایی کاهش یابد و پایداری گرمایی بهبود یابد [۳۰].



شکل ۱۹- منحنی FTIR رزین اپوکسی و درصدهای ۰، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ phr نانو ذرات NBR کراس‌لینک شده [۲۹]



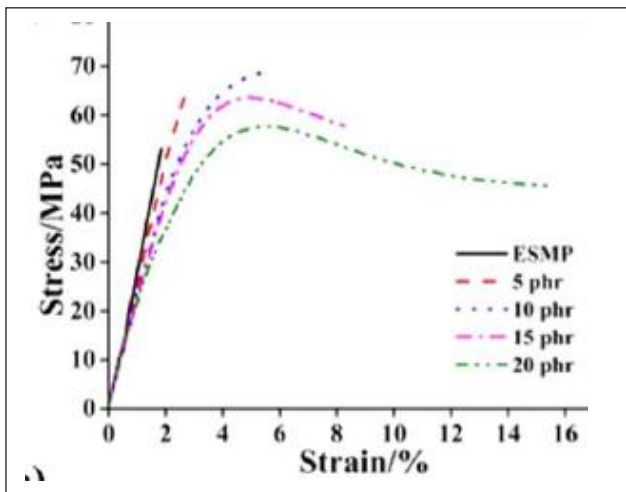
شکل ۲۰- منحنی TGA اپوکسی با مقادیر مختلفی از نانو ذرات الاستومری [۳۰].

خواص حرارتی نایلون ۶ در حضور نانو ذرات الاستومری از نوع آکریلات در شکل زیر بررسی شد و نتایج نشان داد که دمای پیک

1. Dynamic Mechanical Thermal Analysis

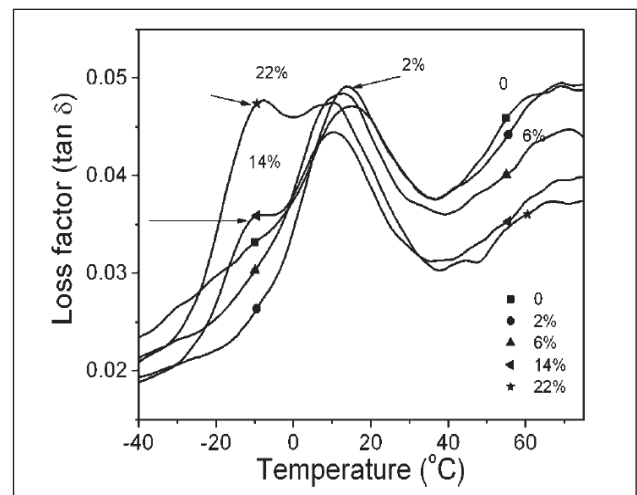
### بررسی تاثیر نانو ذرات الاستومری بر خواص فیزیکی و مکانیکی

خواص مکانیکی نانو ذرات CNBR بر رزین اپوکسی از نوع حافظه شکلی در شکل زیر نشان داد که با افزودن این نوع نانو ذرات الاستومری به مقدار ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ phr به این سامانه باعث می‌شود از حالت شکننده به حالت چقرمه و از حالت خطی به غیرخطی تبدیل شود. همچنین سطح رزین اپوکسی خالص صاف می‌باشد [۳۴].

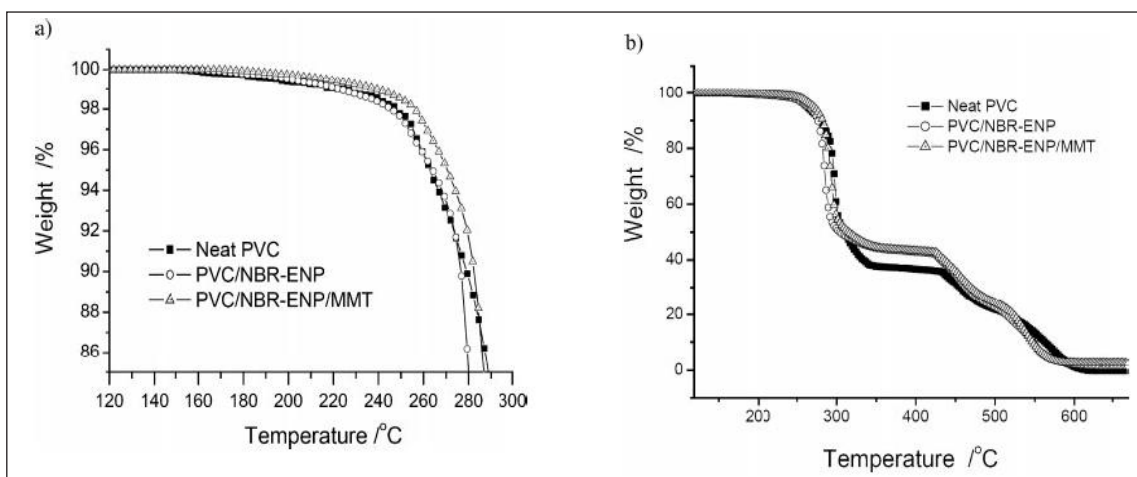


شکل ۲۴- منحنی تنش- کرنش رزین اپوکسی با مقادیر مختلفی از نانو ذرات الاستومری [۳۴].

افزایش یافته است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود دمای انتقال شیشه‌ای در حضور نانو ذرات الاستومری بهبود قابل توجهی پیدا کرده‌است. دمای شروع تخریب برای نمونه در حضور نانو الاستومر ۱۶۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در حالی که برای حاوی نانوذرات الاستومری در حدود ۲۷۲ درجه سانتی‌گراد و برای نمونه خالص ۲۶۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد، به این علت است که در دمای شروع تخریب پلی وینیل کلراید، HCL آزاد می‌شود و در حضور نانو ذرات الاستومری NBR بهبود قابل توجهی پیدا کرده است [۳۳].



شکل ۲۲- منحنی فاکتور اتلاف پلی پروپیلن و نانو ذرات الاستومری VP101 [۳۲].

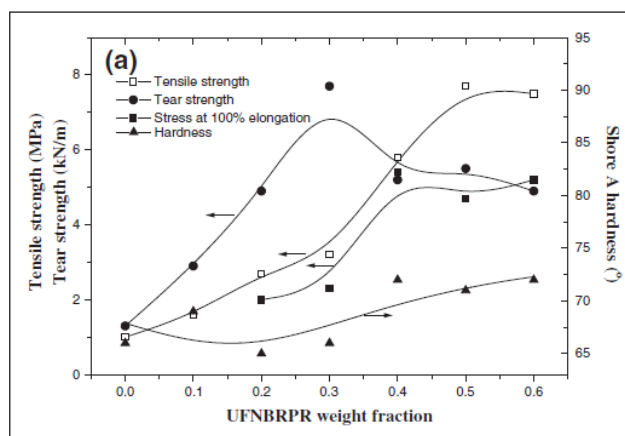


شکل ۲۳- نمودارهای آنالیز TGA برای PVC در حضور نانو ذرات الاستومری [۳۳]

اثر نانو ذرات SBR بر دو نوع مختلف پلی استایرن بررسی شد. نتایج در جداول ۵ و ۶ نشان داد که با اضافه کردن ۵ درصد وزنی از این نوع نانو ذرات به پلی استایرن از نوع مقاوم به ضربه (HIGH IMPACT)، مقاومت به ضربه به طور قابل توجهی افزایش یافته است و استحکام کششی به طور آهسته کاهش می یابد. همچنین با افزایش ۱۵ درصد وزنی نانو ذرات الاستومری، خواص چقرمگی پلی استایرن بهبود پیدا کرده است. با توجه به توزیع اندازه نانو ذرات الاستومری در نمونه حاوی پلی استایرن ضربه پذیر، مقدار مناسب نانو ذرات الاستومری جهت چقرمگی این ماده در مقدارهای کم نانو ذرات توصیه می شود [۳۶].

اثر مقدار نانو ذرات SBR بر خواص مکانیکی پلی پروپیلن و فیلر ضدشعله آمونیوم پلی فسفات ( $NH_4PO_3$ ) را نشان می دهد (شکل ۲۶)، با افزایش مقدار نانو ذرات الاستومری مقدار تغییر طول در نقطه شکست افزایش و بعد کاهش می یابد و با افزودن نانو ذرات در مقدارهای کم، خواص مکانیکی و فصل مشترک دو ماده به علت

اضافه کردن نانو ذرات NBR به لاستیک EPDM<sup>۱</sup> در شکل زیر نشان داد که با افزایش مقادیر متفاوت از نانو ذرات الاستومر، تنش افزایش ۱۰۰ درصدی تغییر شکل از خود نشان می دهد و همچنین این ترکیب دارای افزایش قابل توجهی در سختی، مقاومت کششی و مقاومت پارگی است [۳۵].



شکل ۲۵- منحنی تنش- کرنش رزین اپوکسی با مقدارهای مختلفی از نانو ذرات الاستومری [۳۵].

جدول ۵- خواص مکانیکی نانو ذرات الاستومری و پلی استایرن [۳۶].

| Ryber Content(Wt%) | Tensile Strength (Mpa) | Elongation at (%) break | Notched Izod impact strength(J/m) |
|--------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| 0                  | 51.6                   | 6                       | 31                                |
| 10                 | 46.0                   | 6                       | 32.5                              |
| 15                 | 35.2                   | 32                      | 99.5                              |

جدول ۶- خواص مکانیکی نانو ذرات الاستومری و پلی استایرن مقاوم به ضربه [۳۶].

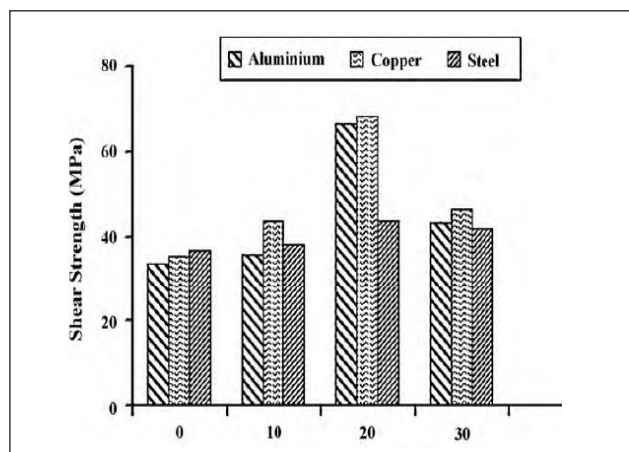
| Ryber Content(Wt%) | Tensile Strength (Mpa) | Elongation at (%) break | Notched Izod impact strength(J/m) |
|--------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| 0                  | 32.6                   | 35                      | 136                               |
| 10                 | 30.0                   | 39                      | 169                               |
| 15                 | 23.8                   | 38                      | 173                               |
| 25                 | 19.8                   | 34                      | 182                               |



نانو ذرات کوپلیمر الاستومری بررسی شد، نتایج نشان می‌دهد که با افزودن نانو ذرات کوپلیمر الاستومری، اتصال چسبندگی بهبود یافته است و با افزودن ۲۰ درصد نانو ذرات کوپلیمر الاستومری، استحکام چسبندگی افزایش یافته است. که به علت افزایش در دمای انتقال شیشه‌ای نانو ذرات کوپلیمر الاستومری با رزین اپوکسی است [۳۹].

جدول ۷- خواص مکانیکی اثر نانو ذرات NBR بر خواص مکانیکی پلی‌وینیل کلراید و نانو ذرات کربنات کلسیم اصلاح‌نشده [۳۸].

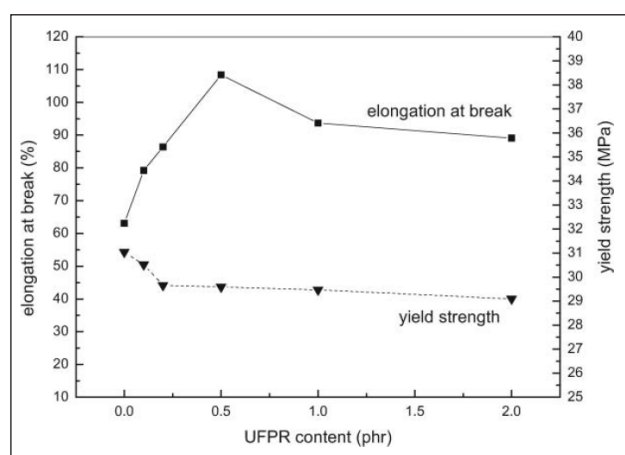
| Sample           | Izod Impact Strength (K J/m <sup>2</sup> ) | Flexural Strength (Mpa) | Flexural Modulus (Gpa) | Tg (°c) | HDT (°c) |
|------------------|--|-------------------------|------------------------|---------|----------|
| Neat epoxy resin | 9.0  | 105                     | 3.18                   | 102     | 94       |
| +NBR-ENP and TEA | 16.3                                       | 84.8                    | 2.75                   | 114     | 111      |
| +NBR-ENP         | 15.6                                       | 96.51                   | 2.86                   | 133     | 132      |



شکل ۲۷- استحکام اتصال چسبندگی با محتوی نانو ذرات کوپلیمر الاستومر [۳۹].

اثر افزودن نانو ذرات الاستومری از نوع عامل هسته‌ساز بر پلی‌پروپیلن نشان داد (شکل ۲۸)، که با افزودن این نوع از نانو ذرات با درصد وزنی بین صفر تا ۲۶، خواص استحکام ضربه را افزایش می‌دهد که با نتایج قبلی تحقیق پلی‌پروپیلن با کوپلیمر SBS

بهبود در چسبندگی بین ماتریس و فیلر بهتر می‌شود و افت خواص در اثر فرآیند کشش و حضور فیلر بهبود پیدا می‌کند و همچنین مقدار تغییر طول در نقطه شکست با افزایش نانو ذرات الاستومری افزایش پیدا می‌کند و مقدار ناچیزی کاهش پیدا می‌کند که به علت چسبندگی نانو ذرات SBR است. استحکام تسلیم با افزودن نانو ذرات SBR کاهش پیدا می‌کند که به علت کمبود مقدار استحکام تسلیم نانو ذرات الاستومری SBR از ماتریس پلی‌پروپیلن است [۳۷].



شکل ۲۶- نمودار خواص فیزیکی اثر مقدار نانو ذرات بر تغییر طول در نقطه شکست پلی‌پروپیلن و فیلر تاخیرانداز شعله [۳۷].

در جدول زیر خواص مکانیکی کامپوزیت‌های پر شده با نانو ذرات NBR و نانو ذرات کربنات کلسیم اصلاح‌نشده در پلی‌وینیل کلراید بررسی شد نتایج نشان داد کامپوزیت ternary پر شده با دو نوع نانو ذرات خواص بهتری نسبت به کامپوزیت‌های binary دوگانه دارند. همچنین نانو ذرات کربنات کلسیم اصلاح نشده نمونه ternary، پراکنش بهتری نسبت به بقیه نمونه‌ها دارند و اثر کلوخه‌ای شدن کمتری در آن‌ها مشاهده شده است [۳۸].

مقایسه استحکام چسبندگی بر سطوح مختلف آهن، مس و آلومینیوم با تست استحکام لبه برشی را در شکل ۲۷ مشاهده می‌کنید. استحکام چسبندگی با مقادیر متفاوت درصدهای وزنی

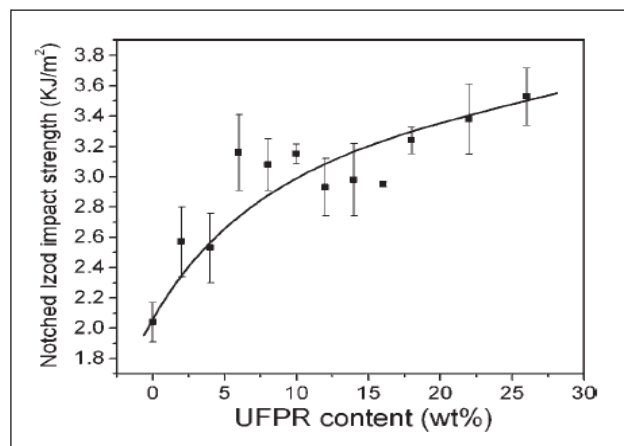
استاین بوتادی ان استاین مطابقت دارد [۴۰-۴۱].

### نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی اثر نانو ذرات الاستومری شبکه‌ای شده بر خواص فیزیکی و مکانیکی، حرارتی و مورفولوژی رزین‌های اپوکسی فنولیک و گرما نرم‌ها و کاربردهای آن پرداخته شد. نانو ذرات الاستومری در زمینه‌های گوناگون کاربرد دارند به‌عنوان مثال در مواد قالب‌گیری فنولیک که مقاوت حرارتی بالایی دارند استفاده می‌شوند. افزودن نانو ذرات الاستومری به پلاستیک‌ها هم‌زمان دمای انتقال شیشه‌ای و مدول ماتریس را افزایش داده و خواص فیزیکی و مکانیکی بهبود می‌یابد. درجه شبکه‌ای شدن در مرکز نانو ذرات الاستومری باعث پراکنش این نوع نانو ذرات در مخلوط با مواد دیگر می‌شود و همچنین باعث خواص الاستیسیته مناسب می‌شود. نانو ذرات شبکه‌ای شده می‌تواند به علت ساختار شبکه‌ای فوق‌زیاد از کلوخه‌ای شد ذرات جلوگیری کند. اضافه کردن نانو ذرات الاستومری شبکه‌ای شده، رزین اپوکسی را اصلاح کرده است که به علت فصل مشترک بین رزین اپوکسی و نانو ذرات الاستومری است که سخت‌تر از رزین اپوکسی خالص است. نانو ذرات الاستومری به‌عنوان یک عامل تشکیل هسته عمل می‌کند و سبب کوچک شدن اندازه‌ی اسفرولیت و افزایش سرعت تبلور می‌شود و همچنین با افزودن نانو ذرات کوپلیمر الاستومری، اتصال چسبندگی بهبود یافته است

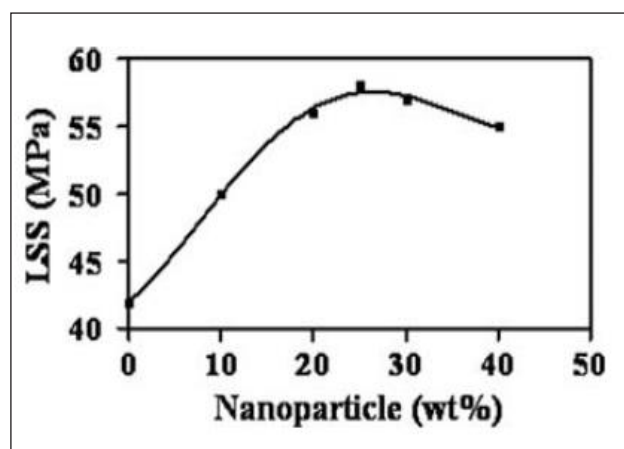
### سپاسگزاری

IRM ...



شکل ۲۸- نمودار استحکام نانو ذرات پلی پروپیلن [۴۰-۴۱].

خواص چسبندگی پلی ایمید (Lap-Shear Strength) در حضور نانو ذرات الاستومری کوپلیمر بررسی شد. نتایج در شکل زیر نشان داد که تاثیر نانو ذرات الاستومری کوپلیمر در این آزمون بر روی زمینه آلومینیوم قابل توجه بود. انرژی چسبندگی نمونه‌ها در ابتدا با افزایش محتوی نانو الاستومر افزایش یافت و سپس کاهش یافت. با افزایش مقدار نانو ذرات تا ۲۵ درصد استحکام چسبندگی بالا می‌رود و ترشوندگی سطح بهبود می‌یابد و پس از آن استحکام چسبندگی با افزودن نانو ذرات کوپلیمر کاهش می‌یابد که علت آن کاهش استحکام بین پیوندهای پلی ایمید می‌باشد [۳۷].



شکل ۲۹- نمودار اندازه‌گیری Lap-Shear Strength (LSS)، برای نانو کامپوزیت پلی ایمید/ نانو ذرات کوپلیمر الاستومر [۳۷].

1. J. Wang, X. Zhang, L. Jiang, J. Qiao, Advances in toughened polymer materials by structured rubber particles, *Prog. Polym. Sci.* 98 ,(2019) ,101160.
2. Jinliang Qiao, Elastomeric nano-particle and its applications in polymer modifications, *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, Volume 3, Issue 2,( 2020), Pages 47-59.
3. Song, J.-H.,Zhou, F.Wang, X.,Ren, Y.,Zhang, X.-H.,Guo, M.-M., Qiao, J.-L., Preparation and Properties of Cellulose/Full-vulcanized Elastomeric Nanoparticles Composite Films, *Acta Polymerica Sinica*, (2017), 4, 676-682.
4. Y.Q. Liu, X.H. Zhang, G.S. Wei, J.M. Gao, F. Huang, M.L. Zhang, M.F. Guo,J.L. Qiao, The special effect of ultra-fine rubber particles in plastics toughening, *Chin. J. Polym. Sci.* 20, (2002) ,93-98.
5. F. Huang, L.Q. Liu, X.H. Zhang, G.S. Wei, J.M. Gao, Z.H. Song, M.L. Zhang, Effect of elastomeric nanoparticles on toughness and heat resistance of epoxy resins, *Macromol. Rapid Commun.* 23, (2002), 786-790.
6. F. Huang, L.Q. Liu, X.H. Zhang, J.M. Gao, Z.H. Song, B.H. Tang, G.S. Wei, J.L. Qiao, Interface and properties of epoxy resin modified by elastomeric nano-particles, *Sci. China, Ser. B* ,34,(2004) 432-440.
7. J.L.Qiao, G.S.Wei, X.H.Zhang, S.J.Zhang, J.M.Gao, W.Zhang, Y.Q.Liu, J.Q.Li, F.R.Zhang, J.B.Shao, R.L.Zhai, K.K.Yan, H.Yin, Fully Vulcanized Powdery Rubber Having a Controllable Particle Size, Preparation and Use thereof, 2002, USP6423760(B); ZL 00816450.9; EP 1262510 (B1).
8. F. Huang, L.Q. Liu, X.H. Zhang, G.S. Wei, J.M. Gao, Z.H. Song, M.L. Zhang, Effect of elastomeric nanoparticles on toughness and heat resistance of epoxy resins, *Macromol. Rapid Commun.* 23 (2002) 786-790.
9. F. Huang, L.Q. Liu, X.H. Zhang, J.M. Gao, Z.H. Song, B.H. Tang, G.S. Wei, J.L. Qiao, Interface and properties of epoxy resin modified by elastomeric nano-particles, *Sci. China, Ser. B* 34 (2004) 432-440.
10. H.Y. Ma, G.S. Wei, Y.Q. Liu, X.H. Zhang, J.M. Gao, F. Huang, B.H. Tan, Z.H. Song, J.L. Qiao, Effect of elastomeric nanoparticles on properties of phenolic resin, *Polymer* 46 (2005) 10568-10573.
11. H.Y. Ma, G.S. Wei, X.H. Zhang, Y.Q. Liu, F. Huang, J.L. Qiao, Study on modification of phenolic resin by elastomeric nanoparticles of nitrile butadiene, *Acta Polym. Sin.* 3, (2005), 467-470.
12. G.C. Qi, X.H. Zhang, B.H. Li, Z.H. Song, J.L. Qiao, The study of rubber-modified plastics with higher heat resistance and higher toughness and its application, *Polym. Chem.* 2 ,(2011), 1271-1274.
13. Binghai Li, Xiaohong Zhang, Guicun Qi, Xiang Wang, Jiangru Zhang, Peng Han, Yue Ru and Jinliang Qiao, A rubber-modified epoxy composite with very high toughness and heat resistance, *Polym.. Compos.* 27 (9) (2019) 582-586.
14. M.L. Zhang, Y.Q. Liu, X.H. Zhang, J.M. Gao, F. Huang, Z.H. Song, G.S. Wei, J.L. Qiao, The effect of elastomeric nano-

- particles on the mechanical properties and crystallization behavior of polypropylene, *Polymer* 43 (2002) 5133-5138.
15. Y.Q. Liu, X.H. Zhang, J.M. Gao, F. Huang, B.H. Tan, G.S. Wei, J.L. Qiao, Toughening of polypropylene by combined rubber system of ultrafine full vulcanized powdered rubber and SBS, *Polymer* 45 (2004) 275-286.
  16. J. Peng, J.L. Qiao, S.J. Zhang, G.S. Wei, A novel impact modifier for nylon 6, *Macromol. Mater. Eng.* 287 (2002) 867-870.
  17. Q.G. Wang, X.H. Zhang, H. Gui, W.F. Dong, J.M. Lai, J.M. Gao, Z.H. Song, J.L. Qiao, Effect of ultrafine vulcanized powdered nitrile rubber on the properties of PVC, *Acta Polym. Sin.* 4 (2007) 332-336.
  18. Q.G. Wang, X.H. Zhang, S.Y. Liu, H. Gui, J.M. Lai, Y.Q. Liu, J.M. Gao, F. Huang, Z.H. Song, B.H. Tan, J.L. Qiao, Ultrafine full-vulcanized powdered rubbers/PVC compounds with higher toughness and higher heat resistance, *Polymer* 46 (2005) 10614-1061.
  19. W.F. Dong, Y.Q. Liu, X.H. Zhang, J.M. Gao, F. Huang, Z.H. Song, B.H. Tan, J.L. Qiao, Preparation of high barrier and exfoliated-type nylon-6/ultrafine fullvulcanized powdered rubber/clay nanocomposites, *Macromolecules* 38 (2005) 4551-4553.
  20. Y.Q. Liu, Z.Q. Fan, H.Y. Ma, Y.G. Tan, J.L. Qiao, Application of nano powdered rubber in friction materials, *Wear* 261 (2006) 225-229.
  21. Y.L. Zhu, X.H. Zhang, Z.H. Song, G.C. Qi, X. Wang, B.H. Li, H.S. Wang, J.L. Qiao, The effect of selective location of carbon nanotubes on electrical properties of thermoplastic vulcanizates, *J. Appl. Polym. Sci.* 127 (2013) 3885-3890.
  22. Fan Huang, Yiqun Liu, Xiaohong Zhang, Genshuan Wei, Jianming Gao, Zhihai Song, Manli, Jinliang Qiao, Effect of Elastomeric Nanoparticles on Toughness and Heat Resistance of Epoxy Resins Zhang, *Macromol.RapidCommun.*(.2002),23,786-790.
  23. Sepideh Khoei, Narges Hassani, Adhesion strength improvement of epoxy resin reinforced with nanoelastomeric copolymer, *Materials Science and Engineering A*, 527, (2010), 6562–6567,
  24. Hengyi Ma, Genshuan Wei, Yiqun Liu, Xiaohong Zhang, Jianming Gao, Fan Huang, Banghui Tan, Zhihai Song, Jinliang Qiao, Effect of elastomeric nanoparticles on properties of phenolic resin, *Polymer* ,46 ,(2005) ,10568-10573.
  25. Qinna Zhao, Yu Ding, Biao Yang, Nanying Ning, Qiang Fu, Highly efficient toughening effect of ultrafine full-vulcanized powdered rubber on poly(lactic acid)(PLA), *Polymer Testing*, 3,2 (2013), 299-305,
  26. Fumei Wu , Tingxiu Xie , Guisheng Yang, Properties of toughened poly(butylene terephthalate) by blending with reactive ultra-fine full-vulcanized acrylonitrile butadiene rubber particles (UFNBRP), *Polym. Bull.* 65, 731–742, (2010).
  27. Manli Zhang, Yiqun Liu, Xiaohong Zhang, Jianming Gao, Fan Huang, Zhihai Song, Genshuan Wei, Jinliang Qiao, The effect of elastomeric nano-particles on the mechanical properties and crystallization behavior of polypropylene, *Polymer* 43 (2002).
  28. Fan Huang, Yiqun Liu, Xiaohong Zhang, Genshuan Wei, Jianming Gao, Zhihai Song, Manli Zhang, Jinliang Qiao, Effect of Elastomeric Nanoparticles on Toughness and Heat Resistance of Epoxy Resins, *Macromol. Rapid Commun.*( 2002), 23,

786–790.

29. Gu He, Xiang Wang, Mengnan Zhou, Xiaohong Zhang and Jinliang Qiao, Novel thermo-thickening lubricant with elastomeric nano-particles, *RSC Advances*, 5(82), pp. 67343-67347,(2015).
30. Ming TIAN, Yuan-Wang TANG, Yong-Lai LU, Jinliang QIAO, Tie LI, and Li-Qun ZHANG, Novel Rubber Blends Made from Ultra-Fine Full-Vulcanized Powdered Rubber (UFPR), *Polymer Journal*, Vol. 38, No. 1, pp. 50–56 (2006),
31. Daishuang Li, Haibing Xia, Jing Peng, Maolin Zhai, Genshuan Wei, Jiuqiang Li-, Jinliang Qiao, Radiation preparation of nano-powdered styrene-butadiene rubber (SBR) and its toughening effect for polystyrene and high-impact polystyrene, *Radiation Physics and Chemistry* ,76, (2007) ,1732-1735.
32. YI LI, BO YIN, MING-BO YANG, AND JIAN-MIN FENG, Effect of Ultrafine Full-Vulcanized Powdered Rubber on the Properties of the Intumescent Fire Retardant Polypropylene, *Journal of Macromolecular Science* , Part B: Physics, 49:143–154, (2010).
33. Qingguo Wang, Xiaohong Zhang, Weifu Dong, Hua Gui, Jianming Gao, Jinmei Lai, Yiqun Liu, Fan Huang, Zhihai Song, Jinliang Qiao, Novel rigid poly(vinyl chloride) ternary nanocomposites containing ultrafine full-vulcanized powdered rubber and untreated nano-sized calcium carbonate, *Materials Letters*, 61, (2007) ,1174–1177.
34. Xuejia Ding, Riwei Xu, Dingsheng Yu, Hong Chen, Run Fan, Effect of Ultrafine, Fully Vulcanized Acrylate Powdered Rubber on the Mechanical Properties and Crystallization Behavior of Nylon 6, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 90, 3503–3511, (2003).
35. Dachun Sun, Qiang Yuan, Wei Jiang, Thermal Properties and Crystallization Behavior of Ultrafine Fully-Vulcanized Powdered Rubber Particle Toughened Polypropylene, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 110, 1318–1323 (2008) .
36. Qingguo Wang, Xiaohong Zhang, Yan Jin, Hua Gui, Weifu Dong, Jinmei Lai, Yiqun Liu, Jianming Gao, Fan Huang, Zhihai Song, Jinliang Qiao, Preparation and Properties of PVC Ternary Nanocomposites Containing Elastomeric Nanoscale Particles and Exfoliated Sodium-Montmorillonite, *Macromol. Mater. Eng.* (2006), 291, 655–660.
37. Sepideh Khoee Ali Reza Mahdavian, Warahram Bairamy, Mohsen Ashjari, An investigation into the improvement of adhesive strength of polyimides by incorporation of elastomeric nanoparticles, *Journal of Colloid and Interface Science* ,336,(2009) ,872–878.
38. Shahin Akhlaghi, Mohammadreza Kalae, Effat Jowdar, Ali Nouri, Saeedeh Mazinani, Mehdi Afshari, Mohamadhosein Navid Famili, Navid Amini and Toktam Behrouz , Simultaneous study of cure kinetics and nanocomposites rheology of montmorillonite/vinyl ester resin nanocomposites , *Polym. Adv. Technol.* (2012), 23 534–544.
39. Raju Thomas, Sebastien Durix, Christophe Sinturel, Tolib Omonov, Sara Goossens, Gabriel Groeninckx, Paula Moldenaers, Sabu Thomas, Cure kinetics, morphology and miscibility of modified DGEBA-based epoxy resin e Effects of a liquid rubber

inclusion, Polymer, 48, (2007), 1695-1710,

40. Shahin Akhlaghi, Mohammadreza Kalae, Effat Jowdar, Ali Nouri, Saeedeh Mazinani, Mehdi Afshari, Mohamadhosein Navid Famili, Navid Amini and Toktam Behrouz ,Simultaneous study of cure kinetics and nanocomposites rheology of montmorillonite/vinyl ester resin nanocomposites , Polym. Adv. Technol. (2012), 23 534–544.
41. Hong-Qiu Wei, Ye Chen, Tao Zhang, Liwu Liu, Jinliang Qiao, Yanju Liu , Jinsong Leng, Thermal, mechanical, and shape-memory properties of nanorubber-toughened, epoxy-based shape-memory nanocomposites, Journal of Applied Polymer Science, 135(6), 45780, (2018).



## شبیه‌سازی توزیع دمایی ناشی از اتلاف انرژی در تایر رادیال باری با استفاده از تکنیک های پردازش تصویر

# S Simulation of Temperature Distribution of energy dissipation in Truck Radial Tire

### چکیده:

رابر یکی از مهم‌ترین اجزای تایر می‌باشد و قسمت عمده تایر شامل رابر است. در طی عملکرد تایر به علت خاصیت هیسترسیز رابر و در اثر تغییر شکل، در تایر تولید گرما می‌شود. دما در اجزای تایر بستگی به عوامل مختلفی همچون هندسه تایر، فشار داخلی، مقدار بارگذاری بر روی تایر، سرعت وسیله نقلیه، نوع سطح جاده، دما و شرایط محیطی می‌باشد. در این مطالعه سعی شده است، با استفاده از تئوری تولید گرما در داخل تایر و تکیه بر المان محدود و محاسبه میدان تنش و کرنش نقاط مختلف تایر، میدان دمایی اجزای داخل تایر رادیال باری در حالت شرایط پایدار پیش‌بینی شود. در این پیش‌بینی المان محدود از نرم افزار ABAQUS استفاده شده است. در نهایت نشان داده شده است که این نتایج پیش‌بینی با استفاده از نرم افزار ABAQUS با نتایج آزمایشگاهی که در میدان تست گروه صنعتی بارز انجام شده است، در تطبیق خوبی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تایر، دما، انتقال حرارت

نوع مقاله: پژوهشی

مرتضی رشیدی مقدم\*

دکترای تخصصی، اداره تحقیقات و توسعه گروه صنعتی بارز، تهران، ایران

ایمیل نویسندگان و عهده‌دار مکاتبات:

morteza\_rashidi@alumni.iust.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۸

## مقدمه

اثرات هیسترسیز<sup>۵</sup> عامل تولید گرما هستند که این عامل تولید گرما ناشی از تغییر شکل رابر در اثر حرکت دورانی تایر می‌باشد. در حوزه تعیین توزیع دما، به علت وجود آزمایش‌های هزینه‌بر در حوزه مالی و زمانی، استفاده از روش المان محدود بسیار موثرتر و کارایی بهتری خواهد داشت. دمای تایر به عوامل مختلفی همچون هندسه تایر، فشار داخلی تایر، بار وارده بر تایر، سرعت تایر و شرایط محیطی وابسته است. در این پژوهش به بررسی پیش‌بینی توزیع دمای در سطح بیرونی تایر و اجزای داخلی تایر با استفاده از روش المان محدود و یک تئوری تولید گرما در داخل تایر پرداخته شده است.

## تئوری تولید گرما در داخل تایر

تولید گرما یا همان اتلاف انرژی مربوط به رابر، به علت هیسترسیز داخلی می‌باشد. به عبارت دیگر مقدار انرژی بازیابی شده بر اثر تغییر شکل الاستیک، کمتر از مقدار انرژی مورد نیاز برای ایجاد تغییر شکل الاستیک می‌باشد [۵]. هیسترسیز به علت یک خاصیت ذاتی مربوط به رابر می‌باشد که این خاصیت ذاتی که عامل اتلاف انرژی می‌باشد، ویسکوالاستیک نامیده می‌شود. توجه شود که رابر جزء اصلی تایر می‌باشد و اطلاعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که برای سرعت‌های در محدوده 120Km/h، سهم هیسترسیز در اتلاف انرژی ۹۰ تا ۹۵٪ می‌باشد و اتلاف انرژی اصطکاک بین تایر و سطح جاده ۲ تا ۱۰٪ و مقاومت هوا سهمی بین ۱٫۵ تا ۳٫۵٪ درصد خواهد داشت [۶]. در پژوهش انجام شده فرض می‌شود که تمامی تولید گرما در تایر بر اثر هیسترسیز چرخش تایر می‌باشد. تست‌های مکانیکی به خصوص DMA، برای مشخص کردن خواص هیسترسیز رابرها به کار می‌رود.

هیسترسیز می‌تواند به صورت زیر تعریف شود که حاصل تقسیم چگالی انرژی کرنشی اتلاfi به انرژی کرنشی کل می‌باشد [۷]:

$$H = \frac{U_{loss}}{U_{total}}$$

1. Stiffness 2. Rupture energy 3. Fatigue resistance 4. Tear and Tensile strength 5. hysteresis

فضای اقتصادی کنونی و رکود بازار کالا مستلزم آن است که صنعت تاپرسازی بر کاهش هزینه‌ها ضمن بهبود ایمنی تمرکز کند. خرابی حرارتی تایر از مهم‌ترین دلایل نگهداری و یا تعویض آن‌ها در صنعت حمل و نقل و همچنین معادن است. در معادن، اقدامات عملی از جمله برنامه نظارت بر تایر مایل در ساعت (TMPH) برای پیش‌بینی محدودیت دمای تایر برای مشاغل معین استفاده شده است. اما مشکل خرابی‌های مربوط به گرما در تایر هنوز یک چالش برای صنعت حمل و نقل است. ماتریس الاستومری یک تایر با ترکیبات ذره‌ای و الیافی (کامپوزیت) تقویت می‌شود تا سختی<sup>۱</sup>، انرژی پارگی<sup>۲</sup>، مقاومت در برابر خستگی<sup>۳</sup>، پارگی و مقاومت در برابر کشش<sup>۴</sup> را بهبود بخشد [۱].

در زمینه شبیه‌سازی، روش‌های اجزای محدود (FEM) از دهه‌های گذشته به طور فشرده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است تا ساختار تایر را بهتر درک کند و با این روش مقادیر عددی، قبل از تولید در زمینه‌های مختلف از جمله مقاومت غلتشی قابل شبیه‌سازی بود. قریشی در یک مقاله به صورت مفصل به جمع‌آوری پژوهش‌های پیشین در زمینه شبیه‌سازی تایر پرداخته است [۲].

چو و همکارانش [۳]، مقاومت غلتشی و توزیع دمایی برای یک تایر دارای پترن در حالت سه بعدی که ناشی از دست دادن هیسترسیز مربوط به کامپاند رابر ویسکوالاستیک می‌باشد، با استفاده از مدل تایر دارای پترن سه بعدی به صورت عددی پیش‌بینی کردند. ناندی و همکارانش [۴] در سال ۲۰۱۴ نشان دادند که محاسبه اتلاف انرژی ویسکوالاستیک با در نظر گرفتن مدل ویسکوالاستیک خطی برای کرنش‌های محدود دقیق نمی‌باشد. آن‌ها علاوه بر محاسبه اتلاف انرژی ویسکوالاستیک بر اثر چرخش تایر، به صورت مختصر به بررسی توزیع دما در تایر به علت اتلاف انرژی پرداختند.

یکی دیگر از موارد بسیار مورد نیاز در صنعت تایر بحث شبیه‌سازی توزیع دمای تایر در شرایط مختلف می‌باشد. به علت این‌که یکی از اجزای اصلی تایر، رابر تایر می‌باشد و رابرها به علت

برای تحلیل المان محدود توزیع دمایی استفاده کرد. سائز در نظر گرفته شده برای یک تایر رادیال باری (385/65R22.5) می باشد که در این پژوهش برای شبیه سازی در نظر گرفته شده است. مراحل شبیه سازی به صورت زیر می باشد:

### ایجاد هندسه دوبعدی

ابتدا یک سکشن در راستای عمود بر تایر همانند شکل ۱ مدل سازی می شود که این مدل سازی شامل رابرها و اجزای مربوط به سیم می باشد. رابرها به وسیله مدل مونی-ریولین<sup>۱</sup> و لایه های سیمی ماده الاستیک خطی در نظر گرفته می شود، به طوری که بدنه تایر از یک لایه از جنس فولاد و ناحیه بلت ها شامل چهار بلت از جنس فولاد می باشد و چیفر یک لایه سیمی می باشد. در این مدل از المان CAX4H برای نمایش همه قسمت های الاستیک استفاده شده است. این المان از نوع غیر خطی چهار گره ای می باشد، به همراه قابلیت پیچش و فشار ثابت برای در نظر گرفتن ویژگی غیر قابل تراکم پذیر بودن لاستیک می باشد. اجزای استحکام دهنده تایر هم چون لایه، بلت، چیفر سیمی با استفاده از یک ویژگی به نام Rebar به همراه المان سطحی SFMAX1 مدل سازی شده است که این المان از نوع المان سطحی متقارن محوری خطی دو گره ای می باشد. این مدل دوبعدی تولید شده شامل ۴۰۲ گره و ۸۰۸ المان می باشد در این مدل متقارن محوری، آنالیز فشار داخلی و رینگ کردن در دوبعد پیاده سازی شده است.

### ایجاد هندسه سه بعدی

با استفاده از دستور revolve، مدل سه بعدی حاصل از این مدل دو بعدی حول محور تقارن خود حاصل می شود (شکل ۲). در این مدل سه بعدی در ناحیه تماس با سطح جاده، اندازه المان ها را برای افزایش دقت تاحد ممکن کوچک در نظر گرفته می شود. این مدل سه بعدی تولید شده شامل ۸۰۴۰ گره و ۱۶۱۶۰ المان سه بعدی می باشد. ابتدا قسمت پاشنه بید به اندازه ۶mm به سمت مرکز

انرژی کرنشی در واقع انرژی پتانسیل ذخیره شده در طی تغییر شکل الاستیک می باشد. چگالی انرژی کرنشی از تقسیم انرژی کرنشی بر واحد حجم بدست می آید. در این پژوهش از چگالی انرژی کرنشی و هیسترسیز برای محاسبه گرما تلف شده در طی چرخش تایر استفاده شده است. با ضرب چگالی انرژی کرنشی کلی محاسبه شده از مدول تغییر شکل در هیسترسیز، چگالی انرژی کرنشی اتلافی بدست خواهد آمد:

$$U_{loss} = H \cdot U_{total}$$

چگالی انرژی کرنشی مربوط به اتلاف انرژی در واقع آن انرژی می باشد که بعد از تغییر شکل بازبایی نمی شود و در این پژوهش فرض شده است که تمام این اتلاف انرژی باعث تولید گرما داخلی در تایر شده است. برای محاسبه نرخ تولید گرما، نرخ چرخش تایر مورد نیاز می باشد. فرکانس (f) به عنوان تقسیم سرعت خطی ( $V_L$ ) بر مسافت محیطی مربوط به چرخش تایر ( $L_c$ ) بدست می آید که در فرمول زیر آمده است:

$$L_c = 2\pi R$$

$$f = V_L / L_c$$

در فرمول بالا R شعاع چرخش تایر می باشد. برای محاسبه نرخ گرمای تولید شده بر واحد حجم ( $\dot{q}_v$ ) با واحد  $J/m^3$  در هر المان از ضرب چگالی انرژی کرنشی اتلافی در فرکانس چرخش تایر بدست خواهد آمد.

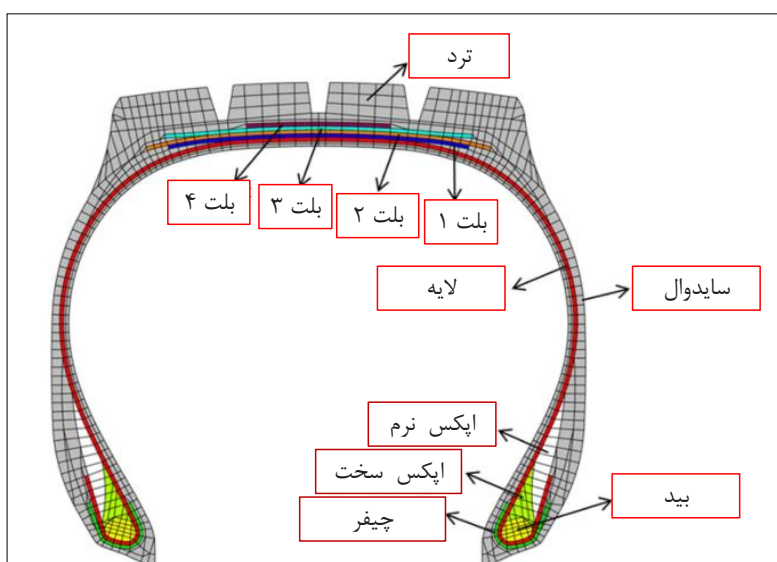
$$\dot{q}_v = U_{loss} \cdot f$$

### روش عددی در پیش بینی توزیع دمایی تایر

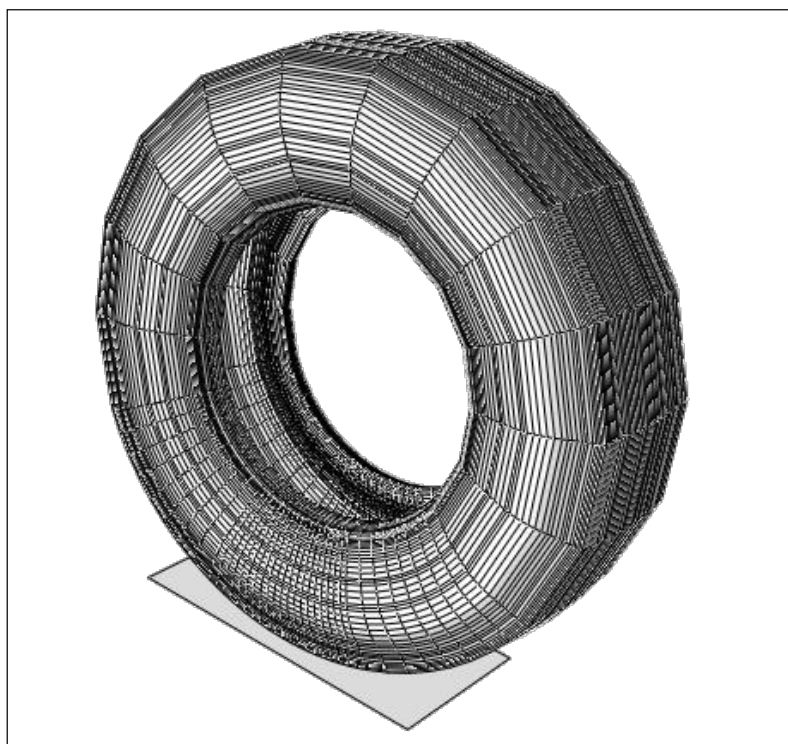
برای شبیه سازی توزیع دمایی یک تایر با استفاده از نرم افزار المان محدود همان طور که در قسمت قبل توضیح داده شد، هدف اولیه پیدا کردن مقدار چگالی انرژی کل ( $U_{tot}$ ) می باشد، بنابراین باید در ابتدا یک تحلیل المان محدود مکانیکی داشته باشیم و از نتایج آن

1. Mooney-Rivlin Model

تایر حرکت داده می‌شود تا فرایند رینگ کردن شبیه‌سازی شود و سپس تحت بارگذاری فشار داخلی ثابت به مقدار  $0.862\text{MPa}$  قرار می‌گیرد و یک نیروی عمودی ( $39240\text{N}$ )  $4000\text{Kg}$  ( $80\%$  درصد بار مجاز) به تایر اعمال می‌شود تا سطح فوت پرینت تایر بر روی سطح جاده حاصل شود.



شکل ۱- مدل دوبعدی حاصل از تایر رادیال باری 315/80R22.5 [۶]



شکل ۲- مدل سه‌بعدی تایر رادیال باری 315/80R22.5 حاصل از دوران مدل دوبعدی [۶]

## آنالیز مکانیکی تایر در حال دوران

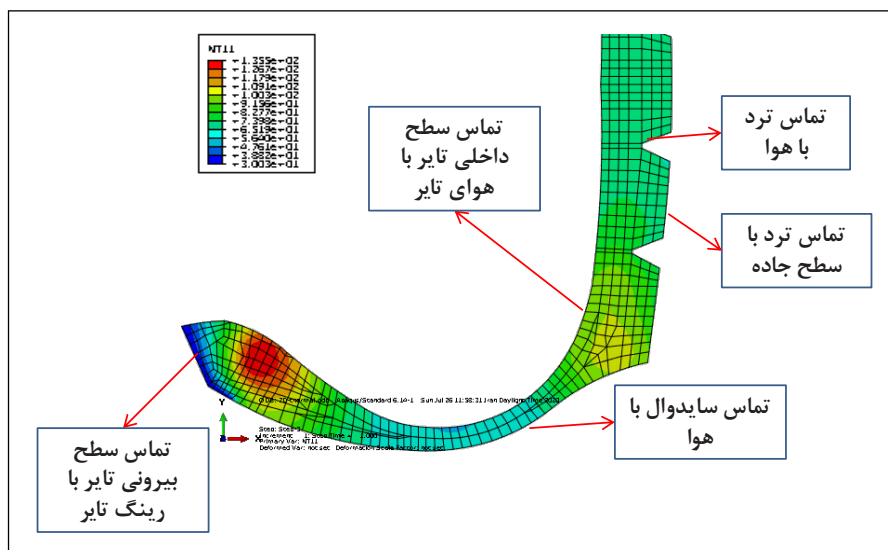
آنالیز دوران در حالت پایدار نیازمند به تمام نتایج آنالیز قسمت‌های قبل می‌باشد. در این آنالیز به یک محور یا نقطه مرجع نیازمند است که این مرجع فقط دارای سرعت انتقالی می‌باشد و سرعت دورانی آن صفر است. سرعت انتقالی تایر را برابر با  $27.78\text{m/s}$  در نظر گرفته می‌شود و این سرعت ثابت در نظر گرفته می‌شود، با در نظر گرفتن سرعت چرخشی  $60\text{rad/s}$  یک فرایند شتاب‌گیری حاصل خواهد شد. از این آنالیز حالت پایدار<sup>۱</sup> برای محاسبه چگالی انرژی کرنشی (ESEDEN) که در واقع همان  $U_{tot}$  می‌باشد، استفاده شده است که نهایتاً با استفاده از فرمول  $\dot{q}_V = U_{loss} \cdot f$  مقدار تولید گرما در هر المان بدست خواهد آمد.

## آنالیز حرارتی ناشی از اتلاف انرژی

در نهایت، یک تجزیه و تحلیل حرارتی متقارن دوبعدی برای مطالعه مقدار دما در تایر به دلیل تولید گرما انجام می‌شود. مش‌بندی این شبیه‌سازی حرارتی با سطح مقطع شبیه‌سازی دوبعدی برای تحلیل مکانیکی یکسان باید در نظر گرفته شود. به‌عنوان اولین تقریب، فرض می‌شود که خواص حرارتی با تغییر شکل مکانیکی دچار تغییر خاصی نمی‌شوند، از این‌رو شبیه‌سازی گرمایی با شبیه‌سازی مکانیکی که قبلاً انجام شده کوپل نمی‌شود. ضرایب انتقال حرارت از مطالب<sup>[۱]</sup> گرفته شده و در جدول ۱ خلاصه شده است. دمای محیط  $25$  درجه سانتی‌گراد و سطح جاده  $35$  درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود و دمای داخل تایر  $40$  درجه سانتی‌گراد فرض می‌شود. در نهایت، با این روش مقدار توزیع

جدول ۱- ضرایب انتقال حرارت استفاده شده برای شرایط مرزی گرمایی در شبیه‌سازی مدل انتقال حرارت تایر

| محل شرط مرزی                     | ضریب انتقال حرارت ( $W/m^2\text{°C}$ ) | دما مرجع ( $\text{°C}$ ) |
|----------------------------------|--|--------------------------|
| ترد/سطح جاده                     | 12000                                  | 25                       |
| ترد/هوا                          | 16.18                                  | 25                       |
| سایدوال/هوا                      | 16.18                                  | 25                       |
| سطح داخلی تایر با هوای داخل تایر | 5.9                                    | 40                       |
| تماس سطح بیرونی تایر با رینگ     | 88000                                  | 25                       |



شکل ۳- شبیه‌سازی توزیع دمایی اجزای داخلی و سطح بیرونی تایر

### 1. Steady State

می‌باشد، بنابراین این روش شبیه‌سازی می‌تواند یک روش کارآمد و موثر در پیش‌بینی توزیع دمای تایر در سطح بیرونی و اجزای داخلی تایر می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

براساس شبیه‌سازی‌های صورت گرفته، مشخص شده‌است که دما در نواحی نوک بِلت ۲ و ۳ بسیار بیشتر از نواحی اطراف خود می‌باشد. این مساله به علت وجود تنش‌های فزاینده در این ناحیه می‌باشد که باعث تغییرشکل‌های زیاد و نهایتاً تولید گرما و حبس گرما می‌شود و این ناحیه از نظر تنش و گرما جز نواحی بحرانی تایر محسوب می‌شود.

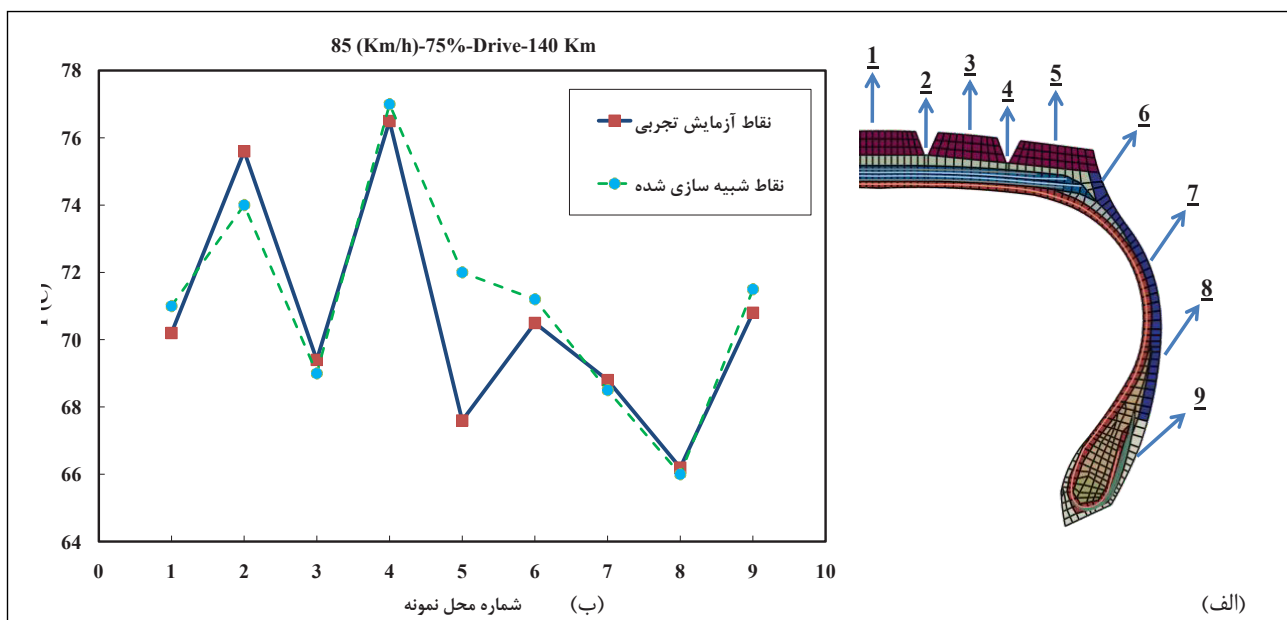
### سپاسگزاری

IRM ...

دما در سطح بیرونی و داخلی تایر در سرعت خطی 85Km/h برای تایر رادیال باری R22.5 385/65 بدست خواهد آمد (شکل ۳).

### اعتبارسنجی

در راستای اعتبارسنجی این روش از شبیه‌سازی با تئوری تولید گرما در داخل تایر، به دلیل آن‌که دسترسی به دمای داخل تایر موجود نمی‌باشد، نوع اعتبارسنجی را فقط در محدوده سطح بیرونی تایر در نظر گرفته می‌شود. برای این منظور در میدان تست گروه صنعتی بارز کرمان، خودرو با تایرهای رادیال باری (385/65 R22.5) آماده‌سازی شد و پس از پیمایش در حدود ۱۴۰ کیلومتر با سرعت ۸۵ کیلومتر بر ساعت و ۷۵ درصد بار مجاز و پس از رسیدن دمای تایر به دمای حالت تعادل، پس از توقف وسیله نقلیه، سریعاً دمای سطح بیرونی تایر با دماسنج لیزری در نقاط مشخص شده اندازه‌گیری شد. طبق شکل ۴ مشخص شده‌است که در بسیاری از نقاط شبیه‌سازی دمای سطح بیرونی تایر نزدیک به مقادیر تجربی



شکل ۴- الف) نقاط مشخص شده در سطح بیرونی تایر در راستای اندازه‌گیری دمای تایر، ب) مقایسه نتایج شبیه‌سازی و آزمایش‌های تجربی تایر رادیال باری



1. Nyaaba, W., Frimpong, S., Somua-Gyimah, G., & Galecki, G. (2016). FEA Prediction of Off-Road Tire Temperature Distribution.
2. Ghoreishy, M.H.R. (2008). State of the Art Review of the Finite Element Modelling of Rolling Tyres, January Iranian Polymer Journal 17:571-597.
3. Cho, J., Lee, H., Jeong, W., Jeong, K., and Kim, K., "Numerical Estimation of Rolling Resistance and Temperature Distribution of 3-D Periodic Patterned Tire," International Journal of Solids and Structures 50(1):86-96, 2013.
4. Nandi, B., Dalrymple, T., Yao, J., and Lapczyk, I. (eds.), "Importance of Capturing Non-Linear Viscoelastic Material Behavior in Tire Rolling Simulations," in Te Meeting of the Tire Society, USA, September 8-10, 2014.
5. Ebbott, T.G., Hohman, R.L., Jeusette, J.P., Kerchman, V. (1999). Tire Temperature and Rolling Resistance Prediction with Finite Element Analysis. Tire Sci Technol 27: 2-21.
6. Wong, J.Y. (2001). Theory of Ground Vehicles, 3rd Ed., Wiley.
- Lin, Y.J., Hwang, S.J. (2004). Temperature Prediction of Rolling Tires by Computer Simulation. Math Comput Simulat 67: 235-249.
7. مرتضی رشیدی مقدم، آرش عبدالمهی، تحلیل مقاومت غلتشی تایر با استفاده از نرم افزار ABAQUS، کنفرانس بین المللی تایر و صنایع وابسته، ۱۳۹۷، تهران، هتل المپیک



***IRM***

## تبیین متغیرهای مالی موثر در پیش بینی درماندگی مالی: کاربرد شبکه عصبی مصنوعی

# Explaining Financial Variables Affecting Financial Distress Forecast: Application the ANN Method

چکیده:

پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌ها، یکی از مهمترین مباحث پیش‌روی مدیران است و می‌تواند به موفقیت و تداوم حیات شرکت‌ها کمک زیادی بکند؛ زیرا با ارائه سیگنال‌های هشدار برانگیز و به موقع می‌تواند مدیران شرکت‌ها را نسبت به وقوع درماندگی مالی و ورشکستگی آگاه نماید و در نتیجه، با مدیریت صحیح از به هدر رفتن منابع و خسارت‌های ناشی از ورشکستگی جلوگیری شود. هدف اصلی این تحقیق، انتخاب متغیرهای مالی موثر جهت پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران و سپس پیش‌بینی درماندگی مالی با روش شبکه عصبی مصنوعی است. بنابراین ابتدا ۱۰۶ شرکت با روش نمونه گیری تصادفی ساده انتخاب شدند و داده‌های مالی آن‌ها از سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۸ استخراج و با آزمون همبستگی پیرسون رابطه بین متغیرها بررسی و از ۳۴ نسبت مالی، ۲۴ نسبت که دارای رابطه معنی‌دار بودند، انتخاب گردید و در نهایت با روش شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌ها انجام، که درماندگی یا عدم درماندگی، ۱۰۳ شرکت بدرستی پیش‌بینی گردید و با مقایسه پیش‌بینی انجام شده توسط روش شبکه عصبی مصنوعی با مقادیر واقعی متغیر وابسته در سال ۹۸، مشخص شد که در بیش از ۹۷ درصد موارد، این روش، درماندگی مالی شرکت‌ها را به درستی پیش‌بینی کرده است.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی، درماندگی مالی، شبکه عصبی مصنوعی، آزمون همبستگی پیرسون، بورس اوراق بهادار

نوع مقاله: پژوهشی

حمید رحیمی<sup>۱</sup>، مهرزاد مینویی<sup>۲\*</sup>، محمدرضا فتحی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- دکترای تخصصی، استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- دکترای تخصصی، استادیار، بخش تخصصی مدیریت صنعتی و فناوری، پردیس فارابی دانشگاه تهران، قم، ایران

ایمیل نویسندگان و عهده‌دار مکاتبات:

1- h\_rahimi57@yahoo.com

2- \*mehrzad\_m44@yahoo.com

3- reza.fathi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۱۵

## مقدمه

شرکت‌ها و بنگاه‌های اقتصادی که در در عصر حاضر، با توجه به سرعت تغییرات، محیط به شدت رقابتی و ایجاد پیچیدگی در روابط اقتصادی و تجاری، فعالیت می‌کنند چنانچه شرایط فعالیت خود را با فرایند رشد و توسعه شرکت‌های پیشرو و نیز رشد تکنولوژی مطابقت ندهند، به تناوب دچار درماندگی مالی شده و در صورت عدم انجام اقدام موثر ورشکسته می‌شوند. در چنین شرایطی مسلماً بالندگی اقتصادی در گرو تصمیم‌گیری صحیح و تخصیص بهینه‌ی منابع خواهد بود و این مهم می‌تواند از طریق معرفی ابزارها و الگوهای مناسب برای ارزیابی وضعیت مالی شرکت‌ها از جمله درماندگی مالی<sup>۱</sup> و ورشکستگی<sup>۲</sup> انجام شود (بادامی، ۱۳۹۳). مرحله قبل از ورشکستگی، مرحله درماندگی مالی نامیده می‌شود. درماندگی مالی به شرایطی گفته می‌شود که شرکت نتواند به طور کامل به تعهدهای خود در برابر تأمین‌کنندگان مالی عمل کرده و در برآورده کردن آن‌ها با مشکل مواجه شود. درماندگی مالی لزوماً به ورشکستگی نمی‌انجامد و مجموعه اقدامات مدیریتی برای خروج از شرایط درماندگی می‌تواند شرکت را از خطر ورود به مرحله ورشکستگی نجات دهد (مهرانی، کامیابی و غیور، ۱۳۹۸). درماندگی مالی و ورشکستگی، رویه‌ای است که تاثیر زیادی بر مدیریت، سهامداران، کارکنان، بستانکاران، مشتریان و سایر افراد ذینفع می‌گذارد. از این رو درماندگی مالی و ورشکستگی هم از نظر اجتماعی و هم از لحاظ اقتصادی کشور را به چالش می‌کشد (ودیدی و میراسماعیلی، ۱۳۹۱؛ آلتمن<sup>۳</sup>، ۱۹۶۸). درماندگی مالی و ورشکستگی شرکت‌ها به هدر رفتن منابع و عدم بهره‌گیری از فرصت‌های سرمایه‌گذاری منجر می‌شود. پیش‌بینی درماندگی مالی با طراحی شاخص‌ها و الگوهای مناسب می‌تواند شرکت‌ها را نسبت به وقوع درماندگی مالی و ورشکستگی آگاه سازد (بادامی، ۱۳۹۳). درماندگی مالی اغلب به ورشکستگی یا مرگ یک شرکت منجر می‌شود. مجموعه جدید از بحران‌های مالی شرکت‌ها را به‌طور فزاینده‌ای نسبت به این خطر محتاط کرده‌است (چن<sup>۴</sup>،

۲۰۱۲). از سوی دیگر، فعالان بازار سرمایه و بازار پول نیازمند آگاهی و دانش نسبت به وضعیت مالی شرکت‌های موجود و کارایی آن‌ها می‌باشند. با توجه به شرایط اقتصادی امروز کشور، تعداد شرکت‌های درمانده و اهمیت درماندگی مالی روزبه‌روز در حال افزایش است. حتی حسابرسی که دارای دانش خوبی از وضعیت مالی شرکت هستند، نمی‌توانند قضاوتی درست در مورد تداوم فعالیت‌های شرکت داشته باشند. مسئله‌ی ارزیابی درماندگی مالی شرکت به دلیل هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم زیاد برای ذینفعان، همواره بسیار حائز اهمیت بوده است (بادامی، ۱۳۹۳). استفاده از نسبت‌های مالی به منظور ارزیابی درماندگی مالی شرکت‌ها همیشه مورد توجه اعتباردهندگان، سهام‌داران و تحلیل‌گران مالی قرار داشته‌است. ارزیابی و پیش‌بینی صحیح می‌تواند تصمیم‌گیرندگان را در یافتن راه‌حل بهینه و پیش‌گیری از درماندگی مالی یاری کند (لی و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۷). بنابراین، پیش‌بینی درماندگی مالی برای موسسات مالی، بستانکاران و سرمایه‌گذاران از اهمیت زیادی برخوردار است (چن، ۲۰۱۲). پیش‌بینی درماندگی مالی و ورشکستگی شرکت‌ها مقوله‌ای است که توجه بسیاری از جوامع علمی و تجاری را در سده اخیر برانگیخته است (مرادی و همکاران، ۱۳۹۱؛ تسای<sup>۶</sup>، ۲۰۰۹). این پیش‌بینی‌ها از این جهت دارای اهمیت هستند که با ارسال سیگنال‌های هشداربرانگیز و به موقع و در نتیجه برخورد صحیح و منطقی با شرایط به وجود آمده، از برخورد خسارات مادی و معنوی جلوگیری می‌کند (چیانگ‌یه<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۹؛ مرادی و همکاران، ۱۳۹۱). تصمیم‌گیری در مسایل مالی همواره با ریسک عدم اطمینان همراه بوده‌است. یکی از راه‌های کمک به سرمایه‌گذاران ارائه الگوهای پیش‌بینی درباره دورنمای کلی شرکت است، هر چه پیش‌بینی‌ها به واقعیت نزدیک‌تر باشند، مبنای تصمیم‌های صحیح‌تری قرار خواهند گرفت (فلاح پور و راعی، ۱۳۸۷). تاکنون الگوهای گوناگونی برای ارزیابی درماندگی مالی استفاده شده است (موسوی و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۱۹). این الگوها کاربرد بسیار زیادی در تصمیم‌های فعالان بازار مالی

1. Financial Distress 2. Bankruptcy 3. Altman 4. Chen 5. Li et al., 6. Tsai 7. Chiang Yeh 8. Mousavi et al.

مالی چگونه است؟

### ادبیات نظری و پیشینه تحقیق نسبت‌های مالی

در بسیاری از موارد، تجزیه و تحلیل صورت‌های مالی محدود به تجزیه و تحلیل نسبت‌های مالی است که امکان مقایسه یک شرکت با یک معیار (مثلاً متوسط صنعت) را فراهم می‌آورد. نسبت‌هایی که با متوسط صنعت تفاوت زیادی دارند، به‌عنوان نسبت‌هایی که نیاز به بررسی بیشتر دارند در نظر گرفته می‌شوند. نسبت‌های مالی از ابزارهای بسیار ارزشمند در تحلیل بنیادی شرکت‌ها و باخبر شدن از وضعیت مالی و عملیاتی آن‌ها می‌باشد. مهم‌ترین طبقه‌بندی که از نسبت‌های مالی ارائه می‌شود، شامل چهار گروه زیر است:

- نسبت‌های نقدینگی: با استفاده از این نسبت‌ها می‌توان قدرت شرکت در پرداخت بدهی‌های جاری را تعیین کرد. درحقیقت این نسبت‌ها رابطه بین دارایی‌های جاری و بدهی‌های جاری یک شرکت را نشان می‌دهند.

- نسبت‌های فعالیت: با کمک این نسبت‌ها می‌توان درجه کارایی شرکت را از نظر استفاده موثر از منابع تعیین کرد.

- نسبت‌های اهرمی: به‌وسیله این نسبت‌ها می‌توان نشان داد که یک شرکت تا چه حدی از طریق بدهی‌ها تامین مالی کرده‌است.

- نسبت‌های سودآوری: توانایی شرکت در به دست آوردن سود به وسیله‌ی این نسبت‌ها نشان داده می‌شود. همچنین این نسبت‌ها تاثیر سیاست‌های نقدینگی، فعالیت (مدیریت دارایی‌ها) و اهرمی (مدیریت بدهی‌ها) را بر نتایج عملیاتی نشان می‌دهند.

معمولاً یک نسبت نشان‌دهنده رابطه نسبی بین دو متغیر است. نسبت باعث می‌شود که بتوان چندین شرکت را با هم مقایسه کرد، حتی اگر میزان فعالیت آن‌ها بسیار متفاوت باشد. یکی از مهم‌ترین اهداف در تجزیه و تحلیل نسبت‌های مالی کمک در امر پیش‌بینی متغیرهای آینده شرکت است. سرمایه‌گذاران در پیش‌بینی ورشکستگی شرکت‌ها از مجموعه‌ای از نسبت‌ها استفاده می‌کنند،

دارد و همواره تلاش برای افزایش دقت پیش‌بینی و ارزیابی این الگوها با استفاده از روش‌های پیشرفته‌تر صورت پذیرفته است (بادامی، ۱۳۹۳). درحالی‌که تحقیقات جاری کماکان ادامه دارد، بیان این نکته جالب است که هنوز تئوری واحد و مشخصی از این‌که چگونه و چرا شرکت‌های بزرگ با شکست مواجه شده‌است توسعه نیافته است. با توجه به فقدان چارچوب مفهومی، یک سری از تکنیک‌ها و مدل‌های طبقه‌بندی بکار گرفته شده‌اند و با توجه به عملکرد آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. به‌طور تقریباً فراگیر، ملاک تصمیم‌گیری مورد استفاده برای ارزیابی سودمندی مدل‌ها این بوده‌است که آن‌ها با چه دقتی یک شرکت را در مقایسه با وضعیت واقعی شرکت که به پس از واقعیت (واقعی) شناخته شده‌است به‌عنوان ورشکسته و یا غیر ورشکسته طبقه‌بندی می‌کنند (ارم، ۱۳۹۲). از طرف دیگر، همان‌طور که پیش از این نیز مطرح شد، با توجه به هزینه‌های بالای فردی، اقتصادی و اجتماعی که مساله درماندگی مالی می‌تواند بر افراد، شرکت‌ها و به‌طور کلی بر اقتصاد کشور تحمیل کند، توجه به حل این مساله و انجام تحقیقی که بتواند در جلوگیری شرکت‌ها از درماندگی و به تبع آن ورشکستگی کمک کند و همین‌طور از به هدر رفتن منابع و ثروت ملی جلوگیری نماید، ضرورت می‌یابد. بنابراین در تحقیق حاضر، ابتدا متغیرهای مناسب جهت پیش‌بینی درماندگی مالی انتخاب و سپس با روش شبکه عصبی مصنوعی، درماندگی مالی شرکت‌ها بررسی می‌گردد. بنابراین با توجه به موارد ذکر شده، هدف از انجام این پژوهش تبیین متغیرهای مالی موثر جهت پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران و طراحی مدل شبکه عصبی برای پیش‌بینی پویا درماندگی مالی است. سؤالات اصلی این تحقیق را می‌توان به‌صورت ذیل بیان نمود:

- عوامل اصلی و مؤثر برای پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌ها در بورس اوراق بهادار تهران کدامند؟
- طراحی مدل شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی درماندگی

ژنتیک<sup>۱</sup>، استدلال مبتنی بر مورد<sup>۱</sup> و غیره. در بیش‌تر مدل‌هایی که برای پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌ها استفاده می‌شود، از دو گروه شامل شرکت‌های درمانده مالی و شرکت‌های سالم به عنوان نمونه‌های تحقیق استفاده می‌شود (فلاح‌پور، ۱۳۸۳). با توجه به اهمیت پیش‌بینی درماندگی مالی، پژوهش‌های زیادی در این زمینه در خارج از کشور و تعدادی نیز در داخل کشور انجام گرفته است و مطالعات برخی از پژوهش‌گران به ارائه مدلی برای پیش‌بینی درماندگی مالی منجر شد که هرکدام از این مدل‌ها با درصدی از اطمینان قابلیت پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌ها را دارند. در ادامه به برخی از تحقیقات خارجی و داخلی صورت‌گرفته پرداخته خواهد شد.

### تکنیک‌های پیش‌بینی

در پژوهش‌های زیادی به مقوله پیش‌بینی پرداخته شده‌است. چنان‌که پیش‌بینی داده‌ها در دوره‌های زمانی آتی جهت کاربردهای متنوعی مورد استفاده قرار گرفته‌است. در این مقالات تکنیک‌های متنوعی در پیش‌بینی ارائه شده‌است. با توجه به این‌که در این پژوهش به دنبال پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌های عضو سازمان بورس هستیم لذا به معرفی پیشینه پژوهشی در خصوص این تکنیک‌ها می‌پردازیم.

- شبکه عصبی مصنوعی
- تحلیل پوششی داده‌ها
- رگرسیون لجستیک<sup>۱۱</sup>

### شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)

شبکه عصبی مصنوعی<sup>۱۲</sup>، یک پارادایم محاسباتی نسبتاً جدید است که برانگیخته از سیستم‌های بیولوژیکی بوده و با الهام گرفتن از طبیعت و مخصوصاً مغز انسان ظهور یافته‌است. مغز، یک سیستم پیچیده، غیر خطی و پردازشگر موازی اطلاعات است که توانایی سازماندهی واحدهای سازنده خود را برای انجام محاسبات

درحالی‌که این نسبت‌ها در تحقیقات مختلف پژوهش‌گران متفاوت است. با استفاده از تجزیه و تحلیل نسبت‌ها پژوهش‌گران دریافته‌اند که سرمایه‌گذاران می‌توانند تا ۵ سال پیش از ورشکستگی شرکت، آن رویداد را پیش‌بینی کنند. بدیهی است هر قدر شرکت به زمان ورشکستگی نزدیک‌تر شود دقت پیش‌بینی مدل‌ها بیش‌تر می‌شود (روشن قلب، ۱۳۸۶). یکی از راه‌های پیش‌بینی وقوع بحران مالی در شرکت‌ها استفاده از نسبت‌های مالی جهت پیش‌بینی اوضاع آتی شرکت می‌باشد. سرمایه‌گذاران، مدیران و تحلیل‌گران مالی اغلب از نسبت‌های مالی به منظور ارزیابی وضع موجود و پیش‌بینی آینده شرکت‌ها استفاده می‌کنند.

- نسبت‌های مالی معمولاً در ۵ گروه زیر طبقه‌بندی می‌شوند:
- نسبت‌های نقدینگی
- نسبت‌های فعالیت
- نسبت‌های سرمایه‌گذاری یا اهرمی
- نسبت‌های سودآوری
- نسبت‌های مربوط به قیمت بازار سهام

### درماندگی مالی

توسعه مدل‌های پیش‌بینی درماندگی مالی<sup>۱</sup> و ورشکستگی<sup>۲</sup> به‌عنوان یک موضوع مهم، همواره مورد توجه جامعه دانشگاهی و بنگاه‌های اقتصادی بوده‌است. پیش‌بینی درماندگی مالی می‌تواند اثر مهمی بر تصمیمات مربوط به اعطای تسهیلات و سودآوری نهادهای مالی داشته‌باشد. در واقع ارائه الگوهای پیش‌بینی از دورنمای شرکت، یکی از شیوه‌های موثر کمک به سرمایه‌گذاران و سهام‌داران است و نزدیک‌تر بودن این الگوهای پیش‌بینی به واقعیت، منجر به تصمیم‌گیری‌های صحیح‌تر خواهد شد. تا به حال مدل‌های زیادی به منظور پیش‌بینی درماندگی مالی و ورشکستگی ارائه شده‌است. مانند تحلیل نسبت یک متغیری<sup>۳</sup>، تحلیل ممیز چندگانه<sup>۴</sup>، تحلیل لوجیت و پروبیت<sup>۵</sup>، الگوریتم افراز بازگشتی<sup>۶</sup>، شبکه‌های عصبی مصنوعی<sup>۷</sup>، ماشین بردار پشتیبان<sup>۸</sup>، الگوریتم

1. Financial Distress 2. Bankruptcy 3. Univariate Ratio Analysis 4. Multiple Discriminant Analysis (MDA) 5. Logit & Probit Analysis  
6. Recursive Partitioning Algorithm (RPA) 7. Artificial Neural Network 8. Support Vector Machine 9. Genetic Algorithm  
10. Case Based Reasoning (CBR) 11. Logistic regression 12. Artificial Neural Networks



دانش مغز انسان توسعه یافت. شبکه عصبی، پشتیبانی بااهمیتی از لحاظ سازماندهی، طبقه‌بندی و تلخیص داده ارائه می‌دهد، همچنین مستلزم مفروضات اندکی است و به درجه بالایی از دقت پیش‌بینی دست می‌یابد (ونگ، سلوی، ۱۳۹۸).

### پیشینه پژوهش

در این بخش، تحقیقاتی که در زمینه پیش‌بینی درماندگی مالی انجام شده در جدول شماره ۱ مرور می‌گردد.

خاص چند برابر سریع‌تر از سریع‌ترین کامپیوترها دارد. از جمله این محاسبات خاص می‌توان به شناسایی الگوها، ادراک و کنترل اشاره کرد. شبکه عصبی مصنوعی از دو جهت با مغز شباهت دارد. کسب دانش توسط شبکه از محیط آن که از طریق فرآیند یادگیری صورت می‌گیرد. قوت ارتباط بین نرونی (وزن های سیناپسی) برای ذخیره‌سازی دانش کسب شده استفاده می‌شوند. تکنولوژی شبکه‌های عصبی برای تقلید از مهارت‌های سازماندهی و کسب

جدول ۱- خلاصه‌ای از تحقیقات انجام‌شده در خصوص درماندگی مالی

| ردیف | محققین                        | خلاصه پژوهش   |
|------|-------------------------------|---|
| ۱    | طهماسی و همکاران (۱۳۹۷)       | این تحقیق با استفاده از مدل‌های درخت تصمیم و رگرسیون لجستیک به پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران پرداخته شد. نتایج تحقیق آنها نشان می‌دهد هر دو مدل قابلیت پیش‌بینی درماندگی مالی را دارا می‌باشند، اما مدل درخت تصمیم از قدرت پیش‌بینی بالاتری نسبت به مدل رگرسیون لجستیک برخوردار است.                                   |
| ۲    | وقفی و همکاران (۱۳۹۹)         | در این پژوهش به بررسی عوامل موثر بر درماندگی مالی و پیش‌بینی آن با استفاده از الگوریتم آدابوست و طبقه‌بندی احتمالی بیز پرداخته شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم تقویت انطباقی آدابوست با استفاده از داده های مالی و اقتصادی توانایی بالاتری نسبت به روش طبقه‌بندی احتمالی بیز در پیش‌بینی درماندگی مالی دارد.                                      |
| ۳    | خردپار و همکاران (۱۳۹۷)       | در این پژوهش یک سیستم استنتاج فازی عصبی انطباق پذیر (ANFIS) مبتنی بر تحلیل مولفه های اصلی (PCA) جهت پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت ها پیشنهاد شده است. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد سیستم استنتاج فازی عصبی انطباق پذیر (ANFIS) مبتنی بر تحلیل مولفه های اصلی (PCA) قابلیت پیش‌بینی وقوع درماندگی مالی شرکت های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران را دارد. |
| ۴    | منصور فر و همکاران (۱۳۹۵)     | یافته های حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از کیفیت سود در پیش‌بینی درماندگی مالی بطور معناداری دقت پیش‌بینی درماندگی مالی را افزایش می‌دهد. همچنین در مقایسه با سایر مدل‌ها، مدل آلتمن دقت بیشتری در پیش‌بینی درماندگی مالی داشته و ابزار مناسب تری برای پیش‌بینی محسوب می‌شود.  |
| ۵    | وقفی و همکاران (۱۳۹۸)         | این پژوهش، به بررسی عوامل موثر بر درماندگی مالی و پیش‌بینی آن به وسیله روش های یادگیری ماشین (الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب چندهدفه و کلونی زنبور عسل) پرداخته است. نتایج تحقیق حاکی از تاثیر غیرمستقیم نسبت مدیران غیرموظف و نسبت مالکان نهادی و تاثیر مستقیم مدیریت سود و اعتمادبه نفس کاذب مدیریت بر درماندگی مالی از بین سایر متغیرهای مدیریتی می‌باشد.  |
| ۶    | رمضان زاده (۱۳۹۸)             | در این پژوهش مدل پیش‌بینی درماندگی مالی با استفاده از مدیریت سود شرکت ها بسط داده شده است و ضمن طراحی مجدد مدل پیش‌بینی درماندگی مالی آلتمن (۱۹۸۳) با متغیر مدیریت سود واقعی به عنوان یک متغیر پیش‌بین، عملکرد مدل اولیه و مدل تعدیل شده در پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران مورد مطالعه تطبیقی قرار گرفت.                |
| ۷    | وقفی، دارایی (۱۳۹۸)           | این پژوهش به بررسی عوامل موثر بر درماندگی مالی و پیش‌بینی آن به وسیله الگوریتم های هوش مصنوعی (روش درخت تصمیم، ماشین بردار پشتیبان و طبقه بندی بیز) پرداخته است. نتایج تحقیق حاکی از تاثیر مستقیم تورم و ریسک مالی و تاثیر معکوس نسبت مدیران غیرموظف، بازده سالانه سهام و نسبت وجه نقد عملیاتی بر درماندگی مالی می‌باشد.  |
| ۸    | محبی هره دشت و همکاران (۱۳۹۹) | این پژوهش به بررسی تاثیر شاخص های غیرمالی بر پیش‌بینی وقوع درماندگی مالی در بانک شهر با استفاده از رویکرد مدل یابی معادلات ساختاری می‌پردازد. نتایج نشان دادند که شاخص های حاکمیت شرکتی، توانایی مدیریت و رقابت پذیری، شاخص هایی با ماهیت غیرمالی هستند که می‌توانند در پیش‌بینی وقوع درماندگی مالی بسیار موثر باشند  |

| ادامه جدول ۱ |                               |  |
|--------------|-------------------------------|--|
| ۹            | ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۷)     | در این تحقیق تلاش شده است که متغیرهای توضیحی اثرگذار در پیش بینی درماندگی مالی از بین مجموعه متغیرهای حسابداری و بازار شناسایی شوند و سپس با استفاده از مدل کاکس الگوی پیش بینی مناسبی ارائه شود.  |
| ۱۰           | صوفی و همکاران (۱۳۹۹)         | در این پژوهش از ترکیب تکنیک های شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک بر مبنای نسبت های پیش بینی زمینسکی برای مدل سازی پیش-بینی درماندگی مالی استفاده شده است.   |
| ۱۱           | میرعرب بایگی و همکاران (۱۳۹۹) | در این تحقیق، به بهره گیری از مدل مالیم کویبست برای تبیین درماندگی مالی شرکت های پذیرفته شده در بورس پرداخته شده است که نتایج نشان می دهد که این روش، از توانایی بالایی در تشخیص درماندگی مالی شرکت ها دارد و مسیله ناکارآمدی روش های پیشین را رفع می کند.   |
| ۱۲           | فلاح پور، ارم (۱۳۹۵)          | پژوهش حاضر به مطالعه پیش بینی درماندگی مالی شرکت ها با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان می پردازد. نتایج به دست آمده از تحقیق بیانگر آن است که روش الگوریتم کلونی مورچگان در پیش بینی درماندگی مالی شرکت ها، به طور معناداری نسبت به روش تحلیل ممیز چندگانه عملکرد بهتری دارد   |
| ۱۳           | بت شکن و همکاران (۱۳۹۷)       | در این پژوهش رویکردی جدید برای انتخاب متغیرهای موثر در پیش بینی درماندگی مالی با استفاده از نظر خبرگان و الگوریتم های تصمیم گیری ارائه شده است.  |
| ۱۴           | پیری، خداکریمی (۱۳۹۶)         | با توجه به نتایج تحقیق می توان گفت که ترکیبی از اطلاعات حسابداری و بازار، توانایی پیش بینی کنندگی درماندگی شرکت ها را داشته و باتوجه به بررسی تداوم فعالیت شرکت ها می تواند موجب ارتقاء کیفی تصمیم گیری سهامداران و ذینفعان گردد.  |
| ۱۵           | مهرانی و همکاران (۱۳۹۸)       | نتایج تحقیق نشان می دهد که مدل های مستخرج از شاخص های حسابداری به طور معنی داری نسبت به مدل های مبتنی بر شاخص های غیر حسابداری از دقت پیش بینی بالاتری برخوردارند و اضافه نمودن شاخص های غیر حسابداری به مدل های مبتنی بر شاخص های حسابداری، قدرت پیش بینی آنها را به طور معنی داری افزایش نمی دهد.                                    |
| ۱۶           | شاه و مرتزا (۲۰۰۰)            | با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی به پیش بینی ورشکستگی شرکت ها پرداختند. آن ها در تحقیق خود از ۸ نسبت مالی استفاده کردند که دقت پیش بینی مدل آن ها ۷۳ درصد بود  |
| ۱۷           | آلفار و گارسبایه (۲۰۰۸)       | محققین به منظور پیش بینی درماندگی مالی شرکت ها دو مدل آدابوست و شبکه های عصبی مصنوعی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق حاکی از آن بود که الگوریتم آدابوست نسبت به شبکه های عصبی مصنوعی عملکرد بهتری دارد و دقت پیش بینی این روش ۹۹/۱ درصد بود.   |
| ۱۸           | گامل و همکاران (۲۰۱۶)         | بر اساس مطالعاتی که صورت گرفته، استفاده از شبکه های عصبی (NNS) در پیش بینی درماندگی مالی شرکت ها از دقت بالاتری نسبت به روش های آماری نظیر رگرسیون لجستیک و تجزیه و تحلیل تمایز چندگانه داشته است  |
| ۱۹           | حیدری و همکاران (۲۰۱۹)        | برای پیش بینی مالی شرکت ها از مدل الگوریتم ژنتیک استفاده کرده اند. نتایج تحقیق آن ها حاکی از آن بود که مدل ژنتیک علاوه بر قابلیت پیش بینی درماندگی مالی، قابل فهم برای استفاده کنندگان نیز بوده است  |
| ۲۰           | خواجوی و همکاران (۲۰۱۹)       | محققین به وسیله ماشین بردار پشتیبان اقدام به طراحی مدلی برای پیش بینی درماندگی مالی شرکت ها نمودند و نتایج مدل SVM را با مدل MVA و LR و شبکه عصبی پس انتشار (BPN) مقایسه کردند. نتایج تحقیق نشان داد که مدل SVM برای داده های آموزشی و آزمایشی به ترتیب با ۸۸/۰۱ و ۸۳/۰۶ درصد در مقایسه با سایر مدل ها از صحت بیشتری برخوردار بوده است |

| ادامه جدول ۱ |                            |  |
|--------------|----------------------------|--|
| ۲۱           | مجیسون و همکاران (۲۰۱۹)    | با استفاده از ماشین بردار پشتیبان در فرایند پیش‌بینی به مقایسه نتایج آن با مدل شبکه‌های مصنوعی پرداختند. نتایج این مقایسه نیز از تعمیم‌پذیری و دقت کلی بیش‌تر مدل SVM در مقایسه با شبکه عصبی خبر داده است  |
| ۲۲           | ژو و همکاران (۲۰۰۹)        | محققین با وارد ساختن کارایی به عنوان یک متغیر مستقل در کنار نسبت‌های مالی، اقدام به پیش‌بینی درماندگی مالی به وسیله ماشین بردار پشتیبان، رگرسیون لوجستیک و تحلیل ممیزی چندگانه نمودند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از امتیاز کارایی در مدل‌های فوق اساساً صحت پیش‌بینی‌ها را در مقایسه با زمانی که از کارایی استفاده نمی‌شود، افزایش خواهد داد  |
| ۲۳           | لی و همکاران (۲۰۱۷)        | از روش استدلال بر مبنای مورد (CBR) به عنوان یکی از روش‌های استدلال مهم در زمینه هوش مصنوعی، برای پیش‌بینی درماندگی مالی استفاده کرده‌اند   |
| ۲۴           | صالحی و همکاران (۲۰۱۷)     | روش‌های داده‌کاوی را برای پیش‌بینی درماندگی مالی و ورشکستگی به کار گرفته‌اند: درخت تصمیم‌گیری، تئوری مجموعه-های فازی، استدلال مبتنی بر مورد؛ پارک و هان، (۲۰۰۲)، الگوریتم ژنتیک، ماشین بردار پشتیبان، تحلیل پوششی داده‌ها، تئوری مجموعه اولیه، انواع شبکه‌های عصبی، شبکه‌های عصبی احتمالی، شبکه‌های عصبی خود سازمان‌ده،  |
| ۲۵           | تینوکو و همکاران (۲۰۱۷)    | محققین طی تحقیقی برای نخستین بار از شبکه‌های بیز برای پیش‌بینی ورشکستگی استفاده کردند. آن‌ها در تحقیق خود از مدل ساده و پیچیده بیز استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که مدل ساده بیز با ۸۰ درصد اطمینان و مدل پیچیده بیز با ۸۸ درصد اطمینان وضعیت ورشکستگی را درست پیش‌بینی کردند.   |
| ۲۶           | وکیلی فرد و همکاران (۲۰۱۸) | در مقاله‌ای تحت عنوان «یک تجزیه و تحلیل آماری برای پیش‌بینی درماندگی مالی» از ۴۵ نسبت مالی استفاده کردند و آن‌ها را به دو متغیر کلی جدید به نام ریسک و بازدهی تقسیم کردند. آن‌ها در تحقیق خود با استفاده از رگرسیون لجستیک احتمال درماندگی مالی شرکت‌ها را در کوتاه مدت پیش‌بینی کردند.  |
| ۲۷           | شیلپا و همکاران (۲۰۱۷)     | محققین در تحقیقی به کاربرد انتگرال Choquet در دسته‌بندی چندگانه تجمیعی به منظور پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌ها پرداخته و در نهایت یافته‌های تحقیق خود را با داده‌های واقعی شرکت‌های چینی به منظور تعیین دقت دسته‌بندی مورد مقایسه قرار داد. نتایج تحقیق نشان داد که پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌ها با استفاده از روش دسته‌بندی‌کننده ترکیب مبتنی بر انتگرال Choquet نسبت به دسته‌بندی‌کننده‌های واحد از دقت و ثبات بیش‌تری برخوردار است. |
| ۲۸           | کیهوتو و همکاران (۲۰۱۷)    | در تحقیقی تحت عنوان «توسعه مدل‌های SFNN برای پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌های ساختمانی» روش جدیدی به منظور پیش‌بینی درماندگی مالی ارائه کردند و مدل پیش‌بینی خود را از ترکیب سه روش بهینه‌سازی نقشه ویژگی خود سازمان‌دهنده ۱ گازی ۲ شبکه‌های عصبی ترکیبی هاپر-رکتانگولر ۳ ارائه کردند. این مدل توانسته‌است با دقت ۸۵/۱ درصد درماندگی مالی شرکت‌ها را درست پیش‌بینی کند  |

## روش تحقیق

ره آورد نوین و صورت‌های مالی حسابرسی شده و سایت کدال استخراج و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SPSS و MATLAB استفاده شده‌است. جامعه آماری پژوهش حاضر متشکل است از کلیه شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران. به‌منظور انتخاب نمونه آماری اطلاعات مربوط به ۱۰۶ شرکت در سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۹ با روش نمونه‌گیری تصادفی ساده انتخاب شدند مد نظر است. متغیر وابسته در مدل شبکه

از آنجا که هدف این تحقیق، تبیین متغیرهای مالی موثر در پیش‌بینی درماندگی مالی و پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌ها با روش شبکه عصبی مصنوعی، در جرگه پژوهش‌های کاربردی به شمار رفته و به لحاظ روش، پژوهشی توصیفی - تبیینی می‌باشد. در این تحقیق برای جمع‌آوری اطلاعات از روش کتابخانه‌ای استفاده شده و اطلاعات متغیرهای مالی از نرم‌افزار

در نمونه براساس این که در آن سال خاص احتمال درماندگی مالی آن کمتر از ۱۰۰٪ شده، را به عدد ۰ و آنهایی که بزرگتر یا مساوی از ۱۰۰٪ شده است را به عدد ۱ گرد کرده ایم. بنابراین رمزگذاری متغیر وابسته در این مدل به دو دسته ۰ و ۱ (باینری) تقسیم شده است.

### متغیر مستقل

یکی از مهم ترین تصمیم‌هایی که در هنگام ایجاد چنین مدلی برای پیش‌بینی درماندگی مالی باید اتخاذ شود، انتخاب متغیرهای مستقل مناسب است که در دقت و صحت نتایج نقش بسیار مهمی دارد. با توجه به اینکه در ادبیات تحقیق اشاره ای به حضور قطعی هیچ نسبت مالی خاصی در مدل نشده است، در این تحقیق جهت انتخاب متغیرهای مستقل (همان نسبت‌های مالی) که قرار است وارد مدل شوند، ابتدا داده‌های مالی ۱۰۶ شرکت از سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۸ استخراج و با آزمون همبستگی پیرسون رابطه بین متغیرها بررسی و از ۳۴ نسبت مالی، ۲۴ نسبت که دارای رابطه معنی‌دار بودند، انتخاب گردید. که نتایج آزمون همبستگی در جدول شماره ۳ می‌باشد. با توجه به نتایج آزمون همبستگی پیرسون، متغیرهای مستقل در این تحقیق شامل ۲۴ متغیر اعم از نسبت‌ها و ارقام مالی هر یک از شرکت‌های نمونه است.

عصبی، شامل درصدی از احتمال درماندگی مالی ۱۰۶ سهام بورس اوراق بهادار تهران (موجود در نمونه‌ی تحقیق) در دوره بین سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۳۹۸ است. در هر یک از سال‌های دوره تحقیق، تک تک سهام موجود در نمونه براساس این که در آن سال خاص احتمال درماندگی مالی آن کمتر از ۱۰۰٪ شده، را به عدد ۰ و آنهایی که بزرگتر یا مساوی از ۱۰۰٪ شده است را به عدد ۱ گرد کرده ایم. بنابراین رمزگذاری متغیر وابسته در این مدل به دو دسته ۰ و ۱ (باینری) تقسیم شده است. متغیرهای مستقل در این تحقیق شامل ۲۴ متغیر اعم از نسبت‌ها و ارقام مالی هر یک از شرکت‌های نمونه است. فهرست متغیرها و نحوه محاسبه آن در بخش تجزیه و تحلیل داده‌ها آمده است. عوامل اصلی متغیرهای مالی و تعداد آن‌ها مطابق جدول شماره ۲ می‌باشد.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

#### متغیر وابسته

متغیر وابسته در مدل شبکه عصبی، شامل درصدی از احتمال درماندگی مالی ۱۰۶ سهام بورس اوراق بهادار تهران (موجود در نمونه‌ی تحقیق) در دوره بین سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۳۹۸ است. در هر یک از سال‌های دوره تحقیق، تک تک سهام موجود

جدول ۲- متغیرهای مستقل

| نسبت کفایت نقد         | بازده دارایی ثابت    | حاشیه سود خالص              |
|------------------------|----------------------|-----------------------------|
| نسبت گردش نقد          | سنجش سودمندی وام     | حاشیه سود ناخالص            |
| سرمایه در گردش خالص    | نسبت جاری            | حاشیه سود عملیاتی           |
| دوره گردش موجودی کالا  | نسبت آنی             | حاشیه سود ناویژه            |
| دوره وصول مطالبات      | نسبت نقدینگی         | سود به سود ناویژه           |
| نسبت بار مالی وام      | گردش دارایی‌های ثابت | بازده دارایی‌ها ROA         |
| نسبت بدهی به ارزش ویژه | گردش مجموع دارایی‌ها | بازده سرمایه ROI            |
| نسبت مالکانه           | نسبت بدهی            | نسبت بدهی جاری به ارزش ویژه |

جدول ۳: متغیرهای مستقل

| متغیر | تعریف                       | فرمول  | توضیحات   | نتیجه آزمون همبستگی پیرسون   |
|-------|-----------------------------|--|---|------------------------------|
| X1    | حاشیه سود خالص              | سود خالص / درآمد   |   | تایید وجود رابطه معنادار     |
| X2    | حاشیه سود ناخالص            | سود ناخالص / درآمد   |   | تایید وجود رابطه معنادار     |
| X3    | حاشیه سود عملیاتی           | سود عملیاتی / درآمد  |   | تایید وجود رابطه معنادار     |
| X4    | حاشیه سود ناویژه            | سود ناویژه / درآمد   |   | تایید وجود رابطه معنادار     |
| X5    | سود به سود ناویژه           | سود / سود ناویژه   |   | تایید وجود رابطه معنادار     |
| X6    | بازده دارایی‌ها ROA         | سود (زیان) خالص / کل داراییها  |   | تایید وجود رابطه معنادار     |
| X7    | بازده سرمایه ROI            | سود (زیان) خالص / سرمایه   |   | تایید وجود رابطه معنادار     |
| X8    | بازده حقوق صاحبان سهام ROE  | سود (زیان) خالص / حقوق صاحبان سهام   |   | عدم تایید وجود رابطه معنادار |
| X9    | بازده سرمایه در گردش        | سود خالص (قبل از کسر مالیات) / سرمایه در گردش  | سرمایه در گردش خالص = دارایی‌های جاری - بدهی‌های جاری | عدم تایید وجود رابطه معنادار |
| X10   | بازده دارایی ثابت           | سود (زیان) خالص / دارایی ثابت  |   | تایید وجود رابطه معنادار     |
| X11   | سنجش سودمندی وام            | ROE / ROA  |   | تایید وجود رابطه معنادار     |
| X12   | نسبت جاری                   | دارایی‌های جاری / بدهی‌های جاری  |   | تایید وجود رابطه معنادار     |
| X13   | نسبت آنی                    | دارایی‌های جاری (بدون در نظر گرفتن موجودی کالا و پیش پرداخت‌ها) / بدهی‌های جاری  |   | تایید وجود رابطه معنادار     |
| X14   | نسبت نقدینگی                | دارایی‌های نقدی / بدهی‌های جاری  |   | تایید وجود رابطه معنادار     |
| X15   | نسبت دارایی‌های جاری        | دارایی‌های جاری / کل دارایی‌ها   |   | عدم تایید وجود رابطه معنادار |
| X16   | نسبت کفایت نقد              | وجه نقد حاصل از عملیات / (سود نقدی تقسیم شده + خرید دارایی‌های ثابت + بازپرداخت بدهی‌های بلند مدت + سود پرداختی بابت تسهیلات مالی) |   | تایید وجود رابطه معنادار     |
| X17   | نسبت گردش نقد               | وجه نقد حاصل از عملیات / بدهی‌های جاری   |   | تایید وجود رابطه معنادار     |
| X18   | سرمایه در گردش خالص         | دارایی‌های جاری / بدهی‌های جاری  |   | تایید وجود رابطه معنادار     |
| X19   | دوره گردش موجودی کالا       | (موجودی کالا * ۳۶۵) / بهای تمام شده کالای فروش رفته  |   | تایید وجود رابطه معنادار     |
| X20   | دوره وصول مطالبات           | متوسط حساب‌های دریافتی * ۳۶۵ / فروش  |   | تایید وجود رابطه معنادار     |
| X21   | نسبت کالا به سرمایه در گردش | موجودی کالا / سرمایه در گردش   |   | عدم تایید وجود رابطه معنادار |
| X22   | گردش سرمایه جاری            | فروش / سرمایه در گردش  |   | عدم تایید وجود رابطه معنادار |

| ادامه جدول ۳ |                                    |   |                              |  |
|--------------|------------------------------------|---|------------------------------|--|
| X23          | گردش دارایی‌های ثابت               | فروش خالص / دارایی های ثابت   | تایید وجود رابطه معنادار     |  |
| X24          | گردش مجموع دارایی‌ها               | فروش خالص / کل دارایی ها  | تایید وجود رابطه معنادار     |  |
| X25          | نسبت بدهی                          | کل بدهی ها / کل دارایی ها   | تایید وجود رابطه معنادار     |  |
| X26          | نسبت بدهی به ارزش ویژه             | کل بدهی ها / ارزش ویژه  | تایید وجود رابطه معنادار     | ارزش ویژه<br>به‌عنوان ارزش<br>دفتری دارایی یا حقوق<br>صاحبان سهام شناخته<br>می‌شود |
| X27          | نسبت بدهی بلند مدت به<br>ارزش ویژه | بدهی های بلند مدت / ارزش ویژه   | عدم تایید وجود رابطه معنادار |  |
| X28          | نسبت بدهی جاری به<br>ارزش ویژه     | بدهی های جاری / ارزش ویژه   | تایید وجود رابطه معنادار     |  |
| X29          | نسبت مالکانه                       | جمع حقوق صاحبان سهام / کل دارایی ها   | تایید وجود رابطه معنادار     |  |
| X30          | نسبت پوشش بدهی                     | خالص درآمد عملیاتی / بدهی ها  | عدم تایید وجود رابطه معنادار |  |
| X31          | نسبت پوشش بهره                     | سود عملیاتی / هزینه مالی  | عدم تایید وجود رابطه معنادار |  |
| X32          | نسبت بار مالی وام                  | سود قبل از کسر بهره و مالیات / (هزینه بهره+پرداختی از اصل تسهیلات / (۱-<br>نرخ مالیات)) | تایید وجود رابطه معنادار     |  |
| X33          | هزینه‌های مالی به سود<br>خالص      | هزینه مالی / سود خالص   | عدم تایید وجود رابطه معنادار |  |
| X34          | هزینه‌های مالی به سود<br>عملیاتی   | هزینه مالی / سود عملیاتی  | عدم تایید وجود رابطه معنادار |  |

### گام‌های ایجاد مدل شبکه عصبی

۱۳۹۸ با داده‌های حاصل از شبکه عصبی مقایسه می‌شود تا با پیش‌بینی‌های شبکه عصبی مصنوعی مقایسه شوند. قدرت شبکه عصبی مصنوعی در لایه‌های پنهان است. می‌توان از لایه‌های پنهان به‌عنوان هسته‌ی مرکزی الگوریتم پس انتشار خطا نام برد. به‌علاوه، لایه‌های پنهان می‌توانند ویژگی‌های برتری به شبکه عصبی مصنوعی بدهند و باعث شوند شبکه‌های عصبی قابلیت تعمیم به دوره‌های برون نمونه‌ای پیدا کنند. تحقیقات در زمینه معماری شبکه عصبی مصنوعی نشان می‌دهند که حداکثر استفاده از ۲۰ لایه در شبکه عصبی مصنوعی کافی است. در این تحقیق برای پیش‌بینی بازده توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی از یک

برای تشکیل مدل شبکه عصبی در درجه اول، نیاز به یک دوره آموزش و یک دوره آزمایش داریم. دوره آموزش که در این تحقیق داده‌های ۱۳۸۶-۱۳۹۷ را شامل می‌شود، دوره‌ای است که متغیرهای مستقل و متغیرهای وابسته متناظر با آن‌ها به شبکه ارائه می‌شود و شبکه ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته را کشف می‌کند. در مرحله آزمایش به‌صورت برون نمونه‌ای با شبکه برخورد می‌شود، یعنی متغیرهای مستقل برای سال ۱۳۹۸ به مدل ارائه می‌شود و شبکه باید متغیر وابسته این سال را به‌عنوان خروجی خود ارائه دهد که در این مرحله داده‌های واقعی بازده سال



### نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی

جدول شماره ۴ داده‌های واقعی و همچنین نتایج بدست آمده از پیش‌بینی شبکه عصبی مصنوعی را برای سال ۹۸ نشان می‌دهد.

ستون "درماندگی رمزگذاری شده" در جدول شماره ۴ برگرفته از ستون "احتمال درماندگی واقعی" است که اگر در آن سال خاص احتمال درماندگی مالی آن کمتر از ۱۰۰٪ شده، به عدد ۰ و آن‌هایی که بزرگتر یا مساوی از ۱۰۰٪ شده‌است را به عدد ۱ گرد کرده‌ایم. بنابراین رمزگذاری متغیر وابسته در این مدل به دو دسته ۰ و ۱ (باینری) تقسیم شده است. در ستون "متغیر وابسته شبکه عصبی" احتمالاتی است که شبکه عصبی مصنوعی برای احتمال درماندگی مالی در سال ۹۸ پیش‌بینی نموده است و در ستون آخر که موارد بدست آمده از ستون "متغیر وابسته شبکه عصبی" است را به این صورت که اگر کوچکتر از ۰.۵ را به ۰ و اگر بزرگتر یا مساوی از ۰.۵ شد را به ۱ گرد کرده‌ایم تا اعداد به دست آمده به دو دسته ۰ و ۱ دسته‌بندی گردد.

### بحث و نتیجه‌گیری

بسیاری از محققان، شبکه عصبی مصنوعی را از نظر قدرت پیش‌بینی بر مدل‌های رگرسیونی ترجیح داده‌اند، اگرچه بیان شده‌است که به دلیل زمان‌بر بودن ایجاد مدل شبکه عصبی، باید تنها زمانی نسبت به استفاده از آن اقدام کرد که دقت و صحت مورد نیاز برای پیش‌بینی، فوق‌العاده بالا باشد که نسبت به زمان صرف شده برای طراحی و اجرای این مدل برتری داشته باشد. با توجه به نتایجی که از بررسی توانایی شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران بدست آمد، مشخص شد که در دوره زمانی این تحقیق و با داده‌های در دسترس، مدل شبکه عصبی مصنوعی توانایی پیش‌بینی درماندگی مالی را دارد. براساس نتایج بدست آمده از ۱۰۶ شرکتی که در خصوص درماندگی یا عدم درماندگی

شبکه عصبی پیشخور با یک لایه پنهان که در آن ۱۵ نرون قرار گرفته‌است استفاده شد. الگوریتم آموزش برای مدل شبکه عصبی مصنوعی الگوریتم TrainLM بوده‌است. همچنین تابع محرک (تابع تبدیل) مورد استفاده برای لایه پنهان و لایه خروجی به ترتیب purelin و tansig بوده‌است. این معماری براساس آزمون و خطا بر روی تعدادی از معماری‌های مختلف بدست آمد.

### آموزش شبکه عصبی مصنوعی

آموزش شبکه عصبی مصنوعی برای یادگیری الگو، از طریق ارائه داده‌ها و جواب‌های صحیح به شبکه انجام می‌پذیرد. شبکه عصبی مصنوعی با تصحیح کردن مقادیر وزن‌ها سعی در یادگیری الگوی موجود در مجموعه داده‌های یادگیری می‌کند. با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی آموزش داده شده، ما این توانایی را داریم که داده‌های نادیده در آینده را بدست آوریم. این پیش‌بینی براساس الگویی که شبکه عصبی مصنوعی بدست آورده‌است امکان‌پذیر است. در نتیجه در مدل ارائه شده، بهترین شبکه عصبی مصنوعی که کمترین خطا را در مرحله تست مدل داشته است مشخص می‌شود. دوره آموزش در نظر گرفته شده در این تحقیق ۱۳۸۶-۱۳۹۷ است.

### تست شبکه عصبی مصنوعی با ورودی‌های جدید

پس از آن‌که یادگیری شبکه عصبی مصنوعی به اتمام رسید، با استفاده از داده‌های مجموعه تست اقدام به بررسی عملکرد شبکه می‌کنیم. در این زمان با ارائه داده‌های ورودی به شبکه‌ی آموزش دیده و مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر واقعی، عملکرد شبکه عصبی مصنوعی بررسی می‌شود. دوره تست در نظر گرفته شده در این تحقیق، سال ۱۳۹۸ است. لازم به ذکر است که موارد بدست آمده از شبکه عصبی به صورت درصدی (پیوسته) بوده لذا باید آن‌ها را گرد کنیم تا اعداد بدست آمده به دو دسته ۰ و ۱ دسته‌بندی شوند.

جدول ۴- مقایسه بازدهی واقعی و پیش بینی مدل ها

| ردیف | نماد   | نام شرکت          | سال  | احتمال درمادگی واقعی (درصد) | درمادگی واقعی رنر گذاری شده | متغیر وابسته شبکه عصبی | رنر درمادگی شبکه عصبی مصنوعی |
|------|--------|-------------------|------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------------|
| ۱    | دالبر  | البرزدارو         | ۱۳۹۸ | ۰                           | ۰                           | -0.0226813150309200    | ۰                            |
| ۲    | فاما   | اما               | ۳۹۸  | ۰                           | ۰                           | -0.00987620168124082   | ۰                            |
| ۳    | بترانس | ایران ترانسفو     | ۳۹۸  | ۰                           | ۰                           | -0.0424801924579157    | ۰                            |
| ۴    | خودرو  | ایران خودرو       | ۳۹۸  | ۹۶                          | ۰                           | -0.0938377361645153    | ۰                            |
| ۵    | خاور   | ایران خودرو دیزل  | ۳۹۸  | ۱۰۰                         | ۱                           | 1.05169195855355       | ۱                            |
| ۶    | لابسا  | آبسال             | ۳۹۸  | ۰                           | ۰                           | -0.0489634156681220    | ۰                            |
| ۷    | فالوم  | آلومتک            | ۳۹۸  | ۷۳                          | ۰                           | -0.000759049400209655  | ۰                            |
| ۸    | خاهن   | آهنگری تراکتور    | ۳۹۸  | ۰                           | ۰                           | -0.0276216299416818    | ۰                            |
| ۹    | کاما   | باما              | ۳۹۸  | ۰                           | ۰                           | -0.315083042452611     | ۰                            |
| ۱۰   | غبهنوش | بهنوش             | ۳۹۸  | ۰                           | ۰                           | 0.111395932121533      | ۰                            |
| ۱۱   | نگرجی  | بیسکویت گرجی      | ۳۹۸  | ۰                           | ۰                           | 0.0233025346001416     | ۰                            |
| ۱۲   | شپمچا  | پارس پامچال       | ۳۹۸  | ۰                           | ۰                           | 0.122448914995450      | ۰                            |
| ۱۳   | لخزر   | پارس خزر          | ۳۹۸  | ۰                           | ۰                           | 0.0341356389703513     | ۰                            |
| ۱۴   | خپارس  | پارس خودرو        | ۱۳۹۸ | ۱۰۰                         | ۱                           | 0.326689528585344      | ۰                            |
| ۱۵   | دپارس  | پارس دارو         | ۳۹۸  | ۰                           | ۰                           | 0.156957606199443      | ۰                            |
| ۱۶   | شپنا   | پالایش نفت اصفهان | ۳۹۸  | ۰                           | ۰                           | -0.0141591435301626    | ۰                            |
| ۱۷   | شپترو  | پتروشیمی آبادان   | ۳۹۸  | ۱۰۰                         | ۱                           | 0.232856233650434      | ۰                            |
| ۱۸   | شخارک  | پتروشیمی خارک     | ۳۹۸  | ۰                           | ۰                           | 0.0298902682862350     | ۰                            |
| ۱۹   | شاراک  | پتروشیمی سازند    | ۳۹۸  | ۰                           | ۰                           | -0.0238706914094833    | ۰                            |

ادامه جدول ۴

|   |                      |   |     |     |                   |         |    |
|---|----------------------|---|-----|-----|-------------------|---------|----|
| ۱ | 0.804255827475939    | ۱ | ۱۰۰ | ۳۹۸ | پتروشیمی فارابی   | شفارا   | ۲۰ |
| . | 0.130313860752756    | . | .   |     |                   |         |    |
| . | 0.00971608161994825  | . | .   | ۳۹۸ | تامین ماسه        | کماسه   | ۲۲ |
| ۱ | 0.940864378938602    | ۱ | ۱۰۰ | ۳۹۸ | جوش و اکسیژن      | فجوش    | ۲۳ |
| . | 0.0708872292092466   | . | .   | ۳۹۸ | چادرملو           | کچاد    | ۲۴ |
| . | 0.102132547216234    | . | .   | ۳۹۸ | چرخشگر            | خچرخش   | ۲۵ |
| . | 0.327287632870027    | . | .   | ۳۹۸ | خاک چینی ایران    | کخاک    | ۲۶ |
| . | -0.0239653158537323  | . | .   | ۳۹۸ | داده پردازی ایران | مداران  | ۲۷ |
| . | -0.00420472098166225 | . | .   | ۳۹۸ | دارو ابوریحان     | دابور   | ۲۸ |
| . | -0.0121881697243171  | . | .   | ۳۹۸ | دارو اسوه         | داسوه   | ۲۹ |
| . | 0.0428983523371262   | . | .   | ۳۹۸ | دارو اکسیر        | دلر     | ۳۰ |
| . | 0.0423499180575919   | . | .   | ۳۹۸ | دارو جابراین حیان | دجابر   | ۳۱ |
| . | -0.0151513310181435  | . | .   | ۳۹۸ | دارو رازک         | درازک   | ۳۲ |
| . | 0.119909249635203    | . | ۹۹  | ۳۹۸ | دارو زهراوی       | دزهراوی | ۳۳ |
| . | 0.0974399124124466   | . | .   | ۳۹۸ | دارو فارابی       | دفارا   | ۳۴ |
| . | 0.0252359157197637   | . | .   | ۳۹۸ | داروسازی کوثر     | دکوثر   | ۳۵ |
| . | -0.00755411178584620 | . | .   | ۳۹۸ | درخشان تهران      | پدرخش   | ۳۶ |
| . | -0.00936388859073345 | . | .   | ۳۹۸ | دوده صنعتی پارس   | شدوص    | ۳۷ |
| . | -0.0183247647199701  | . | .   | ۳۹۸ | ذغالسنگ نگین      | کطبس    | ۳۸ |
| . | -0.0203742855748676  | . | .   | ۳۹۸ | رادیاتور ایران    | ختور    | ۳۹ |
| . | -0.0471203547949490  | . | .   | ۳۹۸ | ریخته گری تراکتور | ختراک   | ۴۰ |

ادامه جدول ۴

|   |                      |   |     |     |                |        |    |
|---|----------------------|---|-----|-----|----------------|--------|----|
| ۰ | 0.130737570352210    | ۰ | ۹۸  | ۳۹۸ | رینگ سازی مشهد | خرینگ  | ۴۱ |
| ۰ | 0.103180435971760    | ۰ | ۵۴  | ۳۹۸ | زامیاد         | خزامیا | ۴۲ |
| ۰ | -0.155111329554507   | ۰ | ۹۵  | ۳۹۸ | سایپا          | خسایپا | ۴۳ |
| ۱ | 1.17513304104938     | ۱ | ۱۰۰ | ۳۹۸ | سایپا دیزل     | خکاوه  | ۴۴ |
| ۰ | -0.0647988457528311  | ۰ | ۰   | ۳۹۸ | سرماآفرین      | لسرما  | ۴۵ |
| ۰ | -0.00367340246867753 | ۰ | ۰   | ۳۹۸ | سیمان ارومیه   | ساروم  | ۴۶ |
| ۰ | 0.0472838085245349   | ۰ | ۰   | ۳۹۸ | سیمان تهران    | ستران  | ۴۷ |
| ۰ | -0.0270032041590360  | ۰ | ۰   | ۳۹۸ | سیمان خزر      | سخزر   | ۴۸ |
| ۰ | 0.155774938759213    | ۰ | ۷۰  | ۳۹۸ | سیمان دورود    | سدور   | ۴۹ |
| ۰ | -0.0291982953454124  | ۰ | ۰   | ۳۹۸ | سیمان شاهرود   | سرود   | ۵۰ |
| ۰ | 0.0985992965803123   | ۰ | ۰   | ۳۹۸ | سیمان صوفیان   | سصوفی  | ۵۱ |
| ۰ | -0.0278682942924730  | ۰ | ۰   | ۳۹۸ | سیمان غرب      | سغرب   | ۵۲ |
| ۰ | -0.0332663370662827  | ۰ | ۰   | ۳۹۸ | سیمان قائن     | سقاین  | ۵۳ |
| ۰ | -0.0235900472516979  | ۰ | ۰   | ۳۹۸ | سینادارو       | دسینا  | ۵۴ |
| ۰ | -0.464686710167278   | ۰ | ۰   | ۳۹۸ | شهد ایران      | غشهد   | ۵۵ |
| ۰ | 0.0126971060379946   | ۰ | ۰   | ۳۹۸ | شهید قندی      | بکام   | ۵۶ |
| ۰ | 0.0443860137740382   | ۰ | ۰   | ۳۹۸ | شیشه و گاز     | کگاز   | ۵۷ |
| ۰ | 0.0780258061862261   | ۰ | ۰   | ۳۹۸ | شیمیایی سینا   | شسینا  | ۵۸ |
| ۰ | -0.00813599502781526 | ۰ | ۰   | ۳۹۸ | صنعتی بارز     | پکرمان | ۵۹ |
| ۰ | 0.292826206246289    | ۱ | ۱۰۰ | ۳۹۸ | صنعتی دریایی   | خصدرا  | ۶۰ |
| ۰ | -0.0415209775662268  | ۰ | ۰   | ۳۹۸ | صنعتی سپاهان   | فسپا   | ۶۱ |

ادامه جدول ۴

|   |                      |   |     |      |                      |        |    |
|---|----------------------|---|-----|------|----------------------|--------|----|
| ۰ | 0.143443197805817    | ۰ | ۷۲  | ۳۹۸  | فارسیت اهواز         | سفاسی  | ۶۲ |
| ۰ | -0.0638235898158196  | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | فرآوری مواد معدنی    | فرآور  | ۶۳ |
| ۰ | -0.0201989162780765  | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | فروسلیس ایران        | فروس   | ۶۴ |
| ۰ | -0.0260097792849787  | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | فترسازی خاور         | خفنر   | ۶۵ |
| ۰ | 0.0207433452527178   | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | فترسازی زر           | خزر    | ۶۶ |
| ۰ | -0.0383020630502002  | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | فولاد امیرکبیر کاشان | فجر    | ۶۷ |
| ۰ | 0.228778289555064    | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | فولاد مبارکه اصفهان  | فولاد  | ۶۸ |
| ۰ | -0.0282655108143240  | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | فولادخراسان          | فخاسی  | ۶۹ |
| ۰ | 0.0330627233416541   | ۰ | ۱۹  | ۳۹۸  | فیبر ایران           | چفیر   | ۷۰ |
| ۰ | -0.0308674125403918  | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | قند اصفهان           | قصفها  | ۷۱ |
| ۰ | -0.0488918914816474  | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | قند قزوین            | قزوین  | ۷۲ |
| ۰ | 0.0902404054478913   | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | قند نقش جهان         | قنقش   | ۷۳ |
| ۰ | 0.0362954896039805   | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | کارتن ایران          | چکارن  | ۷۴ |
| ۰ | -0.00656490197918980 | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | کاشی الوند           | کلوند  | ۷۵ |
| ۰ | -0.0107547111167770  | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | کاشی پارس            | کپارس  | ۷۶ |
| ۰ | 0.155145314445415    | ۰ | ۸۳  | ۳۹۸  | کاشی حافظ            | کحافظ  | ۷۷ |
| ۰ | 0.0403350811045263   | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | کاشی سعدی            | کسعدی  | ۷۸ |
| ۰ | -0.0208009049122504  | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | کاشی سینا            | کساوه  | ۷۹ |
| ۱ | 0.719372956634949    | ۱ | ۱۰۰ | ۱۳۹۸ | کاغذ سازی کاوه       | چکاوه  | ۸۰ |
| ۰ | 0.0432998926205854   | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | کالسیمین             | فاسمین | ۸۱ |
| ۰ | 0.0589689229516651   | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | کربن ایران           | شکربن  | ۸۲ |

ادامه جدول ۴

|   |                      |   |     |      |                    |        |     |
|---|----------------------|---|-----|------|--------------------|--------|-----|
| ۰ | 0.00503042882725463  | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | کیمیادارو          | دکیمی  | ۸۲  |
| ۰ | 0.0672528073049304   | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | گروه بهمن          | خبهمن  | ۸۴  |
| ۰ | -0.268535613029574   | ۰ | ۹   | ۳۹۸  | گروه صنعتی سدید    | وسدید  | ۸۵  |
| ۰ | 0.00275578609110616  | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | گل گهر             | کگل    | ۸۶  |
| ۰ | 0.0425685967866087   | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | لاستیک سهند        | پسهند  | ۸۷  |
| ۰ | -0.0349186442163126  | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | لامپ پارس شهاب     | بشهاب  | ۸۸  |
| ۰ | 0.198887950587627    | ۰ | ۵۳  | ۳۹۸  | لبنیات پاک         | غپاک   | ۸۹  |
| ۰ | 0.164256220866525    | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | لعابیران           | شلعاب  | ۹۰  |
| ۰ | -0.0588667404565606  | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | لنت ترمز           | خلنت   | ۹۱  |
| ۰ | 0.104344422701572    | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | لوله و ماشین سازی  | فلوله  | ۹۲  |
| ۰ | -0.0313879822829690  | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | مس باهنر           | فباهنر | ۹۳  |
| ۰ | 0.120511020163995    | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | معادن روی ایران    | کروی   | ۹۴  |
| ۰ | -0.00268201488139774 | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | معدنی املاح ایران  | شاملا  | ۹۵  |
| ۰ | -0.00549628975645833 | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | معدنی دماوند       | کدماح  | ۹۶  |
| ۰ | -0.0313225402723881  | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | ملی سرب و روی      | فسرب   | ۹۷  |
| ۰ | 0.128101130814142    | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | ملی صنایع مس ایران | فملی   | ۹۸  |
| ۱ | 0.680460468927743    | ۱ | ۱۰۰ | ۳۹۸  | مهرکام پارس        | خمهر   | ۹۹  |
| ۰ | 0.114539320212048    | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | نساچی بروجرد       | نبروج  | ۱۰۰ |
| ۰ | 0.00357172401614542  | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | نفت بهران          | شبهرن  | ۱۰۱ |
| ۰ | -0.0380375274286635  | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | نفت پارس           | شنفت   | ۱۰۲ |
| ۰ | -0.0532729036279789  | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | نورد آلومینیوم     | فتوال  | ۱۰۳ |
| ۰ | -0.00563469596611110 | ۰ | ۰   | ۳۹۸  | نوش مازندران       | غشوش   | ۱۰۴ |
| ۰ | -0.00245484741294993 | ۰ | ۰   | ۱۳۹۸ | نیرو محرکه         | خمحرکه | ۱۰۵ |
| ۰ | -0.0265812780418848  | ۰ | ۰   | ۱۳۹۸ | نیروترانس          | بنیرو  | ۱۰۶ |

سایر اعضای جامعه‌ی آماری بایستی با احتیاط عمل نمود. به هر حال باتوجه به نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های این تحقیق و به منظور انجام تحقیقات بیشتر در زمینه پیش‌بینی درماندگی مالی با استفاده از نسبت‌های مالی و مدل‌های هوش مصنوعی و به منظور گسترش این پژوهش، می‌توان با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و تلفیق آن با منطق فازی یا بهینه‌سازی استوار به پیش‌بینی تغییرات در فاکتورهای این شرکت‌ها پرداخت. این رهیافت، موجب اتخاذ رویکردی متناسب شرایط عدم قطعیت خواهد شد. از آنجایی‌که این تحقیق تنها داده‌های سیزده سال را برای پیش‌بینی مدل‌ها بکار برده‌است، تحقیقات آتی می‌تواند با انتخاب سال‌های بیشتر برای پیش‌بینی و به جلو غلطاندن داده‌های آموزش در شبکه عصبی مصنوعی دامنه کاربرد این مدل را در بازه‌های زمانی طولانی‌تر مورد بررسی قرار دهند.

### سپاسگزاری

IRM ...

آن‌ها پیش‌بینی انجام شده‌است، ۱۰۳ مورد به‌درستی پیش‌بینی شده، که نشان‌دهنده این است که شبکه عصبی بدست آمده با احتمال ۹۷٪ جواب‌ها را پیش‌بینی نموده‌است. بنابراین، با توجه به ارتباطها و پیش‌بینی‌ها موجود می‌توان احتمال داد که این شبکه به‌درستی عمل نموده‌است. سه شرکتی که درماندگی مالی آن‌ها به‌درستی پیش‌بینی نشده مطابق جدول شماره ۵ می‌باشد.

از محدودیت‌های این تحقیق در دسترس نبودن برخی نسبت‌ها و ارقام مالی برای برخی شرکت‌های موجود در نمونه بود که مستلزم رجوع به صورت‌های مالی شرکت‌های مذکور برای استخراج ارقام مالی بوده و موجبات طولانی شدن زمان جمع‌آوری و تلخیص داده‌ها را فراهم آورده‌است. همچنین وجود برخی داده‌های خارج از عرف و غیر منطقی، باعث بروز مشکلاتی در فراهم‌آوردن داده‌های این پژوهش شده‌است. و نیز باتوجه به این‌که داده‌های این تحقیق تنها برای دوره زمانی سال‌های ۸۶-۹۸ بوده و تنها نمونه‌ای از شرکت‌های تولیدی بورس اوراق بهادار تهران (که بصورت قضاوتی انتخاب شده است) را دربر می‌گیرد، لذا جهت تعمیم‌دهی داده‌ها و نتایج به

جدول ۵- خطای پیش‌بینی مدل

| ردیف | نماد  | نام شرکت        | سال  | احتمال درماندگی واقعی (درصد) | درماندگی واقعی رمز گذاری شده | رمز درماندگی شبکه عصبی مصنوعی | مغیر وابسته شبکه عصبی |
|------|-------|-----------------|------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| ۱    | خپارس | پارس خودرو      | ۱۳۹۸ | ۱۰۰                          | ۱                            | ۰                             | 0.326689528585344     |
| ۲    | شبترو | پتروشیمی آبادان | ۳۹۸  | ۱۰۰                          | ۱                            | ۰                             | 0.232856233650434     |
| ۳    | خصدرا | صنعتی دریایی    | ۳۹۸  | ۱۰۰                          | ۱                            | ۰                             | 0.292826206246289     |



## مراجع

۱. بادامی، محمدحسین. (۱۳۹۳). پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌ها با استفاده از روش ELECTRE در بورس اوراق بهادار تهران، دانشگاه تهران. دانشکده مدیریت. تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.
۲. ودیعی، محمدحسین، میراسماعیلی، سیدحسین. (۱۳۹۱). پیش‌بینی ورشکستگی با استفاده از مدل‌های تحلیل لوجیت اهلسون و تحلیل چندگانه فولمر و مقایسه آن‌ها. فصلنامه تحقیقات حسابداری و حسابرسی، دوره ۴، شماره ۱، صص ۱۴۶-۱۷۲.
۳. مرادی، محسن. شفیع‌ی سردشت. مرتضی. ابراهیم پور. ملیحه. (۱۳۹۱). پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌ها به وسیله مدل‌های ماشین بردار پشتیبان تحلیل ممیزی چندگانه. فصلنامه بورس اوراق بهادار. شماره ۱۵، صص ۱۱۳-۱۳۶.
۴. راعی، رضا؛ فلاح پور، سعید؛ (۱۳۸۷)، کاربرد ماشین بردار پشتیبان در پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌ها با استفاده از نسبت‌های مالی، فصلنامه بررسی‌های حسابداری و حسابرسی، شماره ۵۳، صص ۱۷.
۵. ارم، اصغر. (۱۳۹۳). پیش‌بینی درماندگی مالی (Financial Distress) شرکت‌ها با استفاده از الگوریتم مورچگان (ACA)، دانشگاه تهران. دانشکده مدیریت. تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.
۶. راعی، رضا؛ فلاح پور، سعید؛ (۱۳۸۳) پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌ها با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، نشریه تحقیقات مالی، صفحه: ۳۹.
۷. مهرانی، ساسان، کامیابی، یحیی، غیور، فرزاد (۱۳۹۸). بررسی توانایی شاخص‌های حسابداری و غیرحسابداری مؤثر بر پیش‌بینی درماندگی مالی و مقایسه روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک، پژوهش‌های تجربی حسابداری، شماره ۳۴، صص ۴۹-۷۱.
۸. روشن قلب. (۱۳۸۶). بررسی و شناخت نسبت‌های مؤثر بر پیش‌بینی ورشکستگی در شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران. تهران: دانشگاه تهران- دانشکده مدیریت.
۹. طهماسبی، رسول؛ علی اصغر انواری رستمی، عباس؛ خورشیدی، سیدجلال؛ صادقی، شریف؛ (۱۳۹۷) پیش‌بینی ریسک درماندگی مالی شرکت‌های بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از مدل‌های تحلیل عاملی، درخت تصمیم و رگرسیون لجستیک، فصلنامه دانش سرمایه‌گذاری، شماره ۲۷، صص ۱۸۹-۲۰۶.
۱۰. وقفی، سید حسام؛، حیدری، زهره؛ خواجه زاده، سامیران؛ کامران راد، صدیقه؛ (۱۳۹۹) تحلیل درماندگی مالی در بخش کشاورزی و مواد غذایی با تاکید بر نقش متغیرهای کلان اقتصادی و حسابداری، مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی، سال دوازدهم شماره ۳، صص ۲۱۱-۲۳۶.
۱۱. خریدار، سینا؛ قلی زاده، محمدحسین، لطفی، فروغ (۱۳۹۷)، پیش‌بینی درماندگی مالی با استفاده از روش ترکیبی PCA-ANFIS و الگوریتم فراابتکاری بهینه‌سازی ازدحام کبوتر، فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، شماره ۳۷، صص ۱۲۳-۱۵۷.
۱۲. منصورفر، غلامرضا؛ غیور، فرزاد؛ اسدی، مریم؛ (۱۳۹۵) اثر تعدیل‌گر کیفیت سود در پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌های پذیرفته شده بورس اوراق بهادار مجله راهبرد مدیریت مالی، شماره ۱۵، صص ۲۵-۴۴.
۱۳. وقفی، سیدحسام؛ مام صالحی، پرویز، فیاض، علی، خواجه زاده، سامیران؛ (۱۳۹۸)، رویکرد مدیریتی در تحلیل درماندگی مالی بخش صنعت و معدن بازار سرمایه ایران با بکارگیری روش‌های یادگیری ماشین (NSGA-II, ABC)، دو ماهنامه بررسی‌های بازرگانی، صص: ۳۸-۵۵.
۱۴. رمضان زاده زیدی، عباس؛ فغانی ماکرانی، خسرو؛ جعفری، علی؛ (۱۳۹۸)، بسط مدل سازی درماندگی مالی با استفاده از مدیریت سود شرکت‌ها در محیط اقتصادی ایران، فصلنامه مدل‌سازی اقتصادی، شماره ۴۶، صص ۱۰۱-۱۱۱.
۱۵. وقفی، سید حسام؛ دارابی، رویا؛ (۱۳۹۸) اعتبارسنجی الگوریتم‌های هوش مصنوعی در پیش‌بینی درماندگی مالی

- در بخش صنعت و معدن با تاکید بر نقش متغیرهای کلان اقتصادی، مالی، مدیریتی و ریسک، پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۹۱، صص ۲۴۳-۲۱۳.
۱۶. محبی هره دشت، بهنام؛ چاوشی، سید کاظم؛ جهانگیرنیا، حسین؛ غلامی جمکرانی، رضا؛ (۱۳۹۹)، بررسی تاثیر شاخص های غیرمالی بر پیش بینی وقوع درماندگی مالی از دیدگاه مدیران شهری (مورد مطالعه: بانک شهر)، فصلنامه اقتصاد و مدیریت شهری، شماره ۳۰، صص ۳۸-۲۳.
۱۷. ابراهیمی سرو علیا، محمدحسن؛ باباجانی، جعفر؛ آخوند، محمدرضا؛ فاخر، اسلام؛ (۱۳۹۷) ارائه الگویی برای پیش بینی پویای درماندگی مالی با استفاده از تحلیل بقاء، فصلنامه اقتصاد مقداری، شماره ۵۹، صص ۱۹۸-۱۶۷.
۱۸. صوفی، منصور؛ همایون فر، مهدی؛ فدایی، مهدی؛ (۱۳۹۹)، تعیین روش بهینه پیش بینی درماندگی مالی شرکتها مطالعه موردی: شرکت های بورس اوراق بهادار تهران، فصلنامه دانش سرمایه گذاری، شماره ۲۵، صص ۱۰۰-۸۵.
۱۹. میرعرب بایگی، علیرضا؛ مکاری، هاشم؛ آذریون، آرش؛ (۱۳۹۹)، پیش بینی پویا در ورشکستگی مالی با استفاده از روش مال کویست (مورد مطالعه: شرکت های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران) نشریه کارافن، شماره ۴۹ صص ۲۲۰-۲۰۳.
۲۰. فلاح پور، سعید؛ ارم. اصغر؛ (۱۳۹۵)؛ پیش بینی درماندگی مالی شرکت ها با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان، نشریه تحقیقات مالی، شماره ۴۲، صص ۳۶۸-۳۴۷.
۲۱. بت شکن، محمدهاشم؛ سلیمی، محمد جواد؛ فلاحگر متحدجو، سعید (۱۳۹۷)، ارائه یک روش ترکیبی به منظور پیش بینی درماندگی مالی شرکت های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران، نشریه تحقیقات مالی، شماره ۵۰، صص ۱۹۲-۱۷۳.
۲۲. پیری، پرویز؛ خداکریمی، پری؛ (۱۳۹۶)، پیش بینی درماندگی مالی شرکت ها بر مبنای الگوی ترکیبی از اطلاعات حسابداری و بازار با رویکرد رگرسیون لجستیک، فصلنامه مطالعات تجربی حسابداری مالی، شماره ۵۵، صص ۱۴۵.
23. Altman, E. I. (1968). Financial ratios, discriminant analysis and the prediction of corporate bankruptcy. The journal of finance, 23(4), 589-609.
24. Chen, J. H. (2012). Developing SFNN models to predict financial distress of construction companies. Expert Systems with Applications, 39(1), 823-827.
25. Li, Z., Crook, J., & Andreeva, G. (2017). Dynamic prediction of financial distress using Malmquist DEA. Expert Systems with Applications, 80, 94-106.
26. Xu, X., & Wang, Y. (2009). Financial failure prediction using efficiency as a predictor. Expert Systems with Applications, 36(1), 366-373.
27. Mousavi, M. M., Ouenniche, J., & Tone, K. (2019). A comparative analysis of two-stage distress prediction models. Expert Systems with Applications, 119, 322-341.
28. Wong, B., & Selvi, Y. (1998). Neural network applications in finance: A review and analysis of literature (1990-1996). Information & Management, 21(2), 129-139.
29. Shah, J., & Murtaza, M. (2000). A neural network based clustering procedure for bankruptcy Prediction. American Business Review, 2(18), 80-86.
30. Alfaro, E., & Garcia, N. (2008). Bankruptcy Forecasting: an Empirical Comparison of Ad Boost and Neural

- Networks. *International Advances in Economic Research*, 25(2), 110-122.
31. Gameel, M., & El-Geziry, K. (2016). Predicting financial distress: multi scenarios modeling using neural network. *International Journal of Economics and Finance*, 11(8), 159-168.
  32. Heydary Farahany, M., ghayour, F., & mansourfar, G. (2019). The effect of management behavioral strains on financial distress. *Journal of Financial Accounting Research*, 3(11), 117-134.
  33. Khajavi, S., & Ghadirian-Arani, M. (2018). The role of managerial ability in financial distress prediction. *Journal of Financial Accounting Research*, 9(4), 83-102.
  34. Megginson, W., Meles, A., Sampagnaro, G., & Verdoliva, V. (2019). Financial distress risk in initial public offerings: how much do venture capitalists matter? *Journal of Corporate Finance*, 25(1), 10-30.
  35. Li, Z., Crook, J., & Andreeva, G. (2017). Dynamic prediction of financial distress using Malmquist DEA. *Expert Systems with Applications*, 6(80), 9.
  36. Salehi, A., Elhaeisahar, M., & Savari, A. (2017). Investment decisions of firms under financial distress. *Financial Management Perspective*, 22(13), 19-34.
  37. Tinoco, M., Holmes, P., & Wilson, N. (2018). Polytomous response financial distress models: The role of accounting, market and macroeconomic variables. *International Review of Financial Analysis*, 24(2), 112-124.
  38. Vakilifard, H., Ahmadvand, M., & Sadehvand, M. (2018). The relationship between financial distress risk and momentum anomaly in Tehran stock exchange. *Financial Knowledge of Securities Analysis*, 38(11), 43-55.
  39. Shilpa, N., & Amulya, M. (2017).
  40. Kihooto, E., Omagwa, J., & Ronald, M. (2016). Financial distress in commercial and services companies listed at Nairobi Securities Exchange. Kenya. *European Journal of Business and Management*, 27(8), 86-89.

## تحلیل تأثیر مدیریت کیفیت جامع و گرایش به کارآفرینی بر عملکرد شرکت‌های کوچک و متوسط

### Analysing the Impact of Total Quality Management and Entrepreneurial Orientation on Performance of SMEs

#### چکیده:

هدف پژوهش حاضر، تحلیل تأثیر مدیریت کیفیت جامع و گرایش به کارآفرینی بر عملکرد شرکت‌های کوچک و متوسط بود. این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، توصیفی-همبستگی است. جامعه آماری پژوهش را ۴۶۰ شرکت کوچک و متوسط شهرک صنعتی جی اصفهان تشکیل می‌دادند. حجم نمونه براساس جدول کرجسی و مورگان و به روش تصادفی ساده، ۲۱۰ شرکت تعیین گردید. برای جمع‌آوری داده‌ها از پرسشنامه‌های مدیریت کیفیت جامع جایارام (۲۰۱۰)، گرایش به کارآفرینی هیوگز و مورگان (۲۰۰۷) و عملکرد شرکت ساهو و یاداو (۲۰۱۷) استفاده شد. روایی پرسشنامه‌ها با بهره‌گیری از روایی محتوایی و روایی سازه تأیید شد و پایایی آن‌ها با روش آلفای کرونباخ به ترتیب ۰/۸۱۹، ۰/۸۲۲ و ۰/۸۸۶ بدست آمد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و آزمون فرضیه‌ها، از مدلیابی معادلات ساختاری به کمک نرم‌افزار پیشرفته MPLUS استفاده شد. یافته‌های پژوهش نشان داد که مدیریت کیفیت جامع و گرایش به کارآفرینی تأثیر مستقیم و معناداری بر عملکرد شرکت‌ها دارند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، مدیریت کیفیت جامع و گرایش به کارآفرینی می‌توانند در جهت بهبود عملکرد در شرکت‌های کوچک و متوسط موثر واقع شوند.

واژه‌های کلیدی: مدیریت کیفیت جامع، گرایش به کارآفرینی، عملکرد شرکت، شرکت‌های کوچک و متوسط

نوع مقاله: پژوهشی

احسان مسعودی\*

کارشناسی ارشد، گروه پژوهش مدیریت کیفیت دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

ایمیل نویسندگان و عهده‌دار مکاتبات:

\*ehsanma74@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۲۳

## ۱- مقدمه

شرکت‌های کوچک و متوسط<sup>۱</sup> نقش مهمی را در رشد اقتصادی کشورهای جهان ایفا می‌کنند. از آنجایی که این شرکت‌ها به عنوان تأمین‌کنندگان سازمان‌های بزرگ کار می‌کنند و در حال تبدیل شدن به بخشی از زنجیره‌های تأمین شرکت‌های بزرگ‌تر هستند، کیفیت محصولاتشان نقش مهمی در بهبود رقابتشان دارد. در طول دو دهه گذشته، سازمان‌ها در هر اندازه‌ای، در حال تجربه تغییرات چشم‌گیری در محیط کسب و کارشان هستند که می‌توان به پدیده‌هایی نظیر افزایش آگاهی مصرف‌کننده از کیفیت، انتقال فناوری سریع، جهانی شدن و رقابت با هزینه کم اشاره کرد [۱]. بنابراین شرکت‌های کوچک و متوسط تولیدی که مایل به بهبود عملکرد کسب و کار خود و دستیابی به مزیت رقابتی پایدار در بازارهای جهانی می‌باشند، نیاز به دنبال کردن الگوهای مدیریتی جدیدی هستند که منجر به پیشرفت واقعی در قابلیت تجاری خود می‌شوند [۲].

سازمان‌ها روش‌های مختلفی را برای ارتقاء عملکرد کسب و کار خود اتخاذ می‌کنند. مدیریت کیفیت جامع<sup>۲</sup> ابزار مهمی است که به‌طور گسترده توسط سازمان‌های تولیدی و خدماتی به‌عنوان رویکردی برای بهبود در عملکرد کسب و کار پذیرفته شده است [۳]. از سوی دیگر، گرایش به کارآفرینی<sup>۳</sup> در بهبود برتری در رقابت و عملکرد شرکت مهم و اساسی است. شرکت کارآفرین، در نوآوری محصول تعهد دارد تا حدودی مخاطرات پرریسک را قبول کرده و به‌طور فعال فعالیت کند تا اولین شرکت در ارائه محصولات، تکنولوژی‌ها و تکنیک‌های اجرایی جدید باشد [۴]. گرایش به کارآفرینی گاهی اوقات در مطالعات کارآفرینی به عنوان ذهنیت شرکت‌ها در پیگیری و به‌کارگیری فرصت‌ها توصیف می‌شود. تحقیق بر روی گرایش به کارآفرینی بر روی تعریف، ارزیابی و ارتباط با عملکرد شرکت‌ها متمرکز می‌باشد. به عبارت دقیق‌تر، مبحث تأثیر گرایش کارآفرینانه بر روی عملکرد در محیط‌های متفاوت و انواع متفاوتی از شرکت‌ها

یک موضوع تحقیقاتی مهم بوده است [۵].

شناخت عواملی که باعث می‌شود برخی از شرکت‌ها رقابتی‌تر از دیگران فعالیت کنند و در نتیجه سودآوری بیشتری نسبت به رقبای خود داشته‌باشند، موضوعی است که نه تنها برای دانشگاهیان بلکه برای مدیران نیز مهم است [۶].

پیاده‌سازی مدیریت کیفیت جامع توسط شرکت‌های کوچک و متوسط تولیدی، از طریق جنبه‌های کارآفرینی و رهبری اثربخش، نگرانی عمده برای همه شرکت‌ها به‌خصوص شرکت‌های کوچک و متوسط شده است. بنابراین گرایش به کارآفرینی شرکت‌ها با اتخاذ ابتکارات بهبود کیفیت استراتژیک مانند مدیریت کیفیت جامع می‌تواند برای تبدیل شدن به موضوع تحقیقات حیاتی باشد؛ این که شرکت‌های کوچک و متوسط تولیدی چگونه از طریق چنین طرح‌های اجرایی استراتژی که مبتنی بر کارآفرینی است، می‌توانند با هدف دستیابی به یک فرصت در بازار بسیار رقابتی هدایت شوند [۷].

باتوجه به این که گرایش به کارآفرینی و توجه به فرهنگ کیفیت و مشتری مداری از شاخصه‌های اصلی سازمان‌های پیشرو در عصر حاضر می‌باشد و همچنین شرکت‌های کوچک و متوسط سطح بسزایی در اشتغال و توسعه اقتصادی کشورها دارند و محیط تولیدی فعلی، بیش از پیش رقابتی‌تر شده و اغلب شرکت‌های کوچک و متوسط به دلیل پیچیده‌تر شدن بازارها و تغییر نیازهای مشتری تحت فشار رقابتی شدیدی قرار دارند، در نتیجه این شرایط زمینه مناسبی را برای پژوهشگران در این حوزه ایجاد کرده است. شناخت عواملی که باعث می‌شود برخی شرکت‌ها عملکرد بهتری داشته‌باشند و بنابراین سهم بازار بیشتری را نصیب خود کرده و در نتیجه سودآوری بیشتری داشته‌باشند، موضوعی است که برای مدیران بسیار مهم است. بر همین اساس در پژوهش حاضر به موضوع تحلیل تأثیر مدیریت کیفیت جامع و گرایش به کارآفرینی در بین مدیران شرکت‌های کوچک و متوسط تولیدی پرداخته شده است.

1. Small & Medium Enterprises size (SMEs) 2. Total Quality Management (TQM) 3. Entrepreneurial Orientation

## ۲- ادبیات موضوع

### ۱- ۲- شرکت‌های کوچک و متوسط

استخدام کرده، حجم معاملات آن‌ها بیش از ۵ میلیون یورو نبوده و ترازنامه سالیانه این شرکت‌ها از ۴۳ میلیون یورو تجاوز نمی‌کند. یک شرکت کوچک کمتر از ۵۰ نفر و یک شرکت متوسط کمتر از ۲۵۰ نفر کارمند دارد [۱۰].

برخی از مشخصه‌های مشترک که شرکت‌های کوچک و متوسط را از شرکت‌های بزرگ متمایز می‌کند در جدول ۱ نشان داده شده است [۱۱].

### ۲-۲- عملکرد شرکت

عملکرد یکی از سازه‌های مورد بحث در پژوهش‌های مدیریتی است و بدون شک مهم‌ترین معیار سنجش موفقیت در شرکت‌ها به حساب می‌آید [۱۲]. تحلیل درباره عملکرد، اندازه‌گیری و مقایسه سطح واقعی دستیابی به اهدافی خاص است. این تحلیل بر روی عملکرد شرکت‌ها برای اندازه‌گیری اثربخشی تخصیص منابع و نتیجه اهداف شرکت‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. عملکرد شرکت‌ها به طور کلی می‌تواند به عنوان عملکردهای مالی و عملیاتی یا غیرمالی طبقه‌بندی شود [۱۳].

عملکرد در لغت یعنی حالت یا کیفیت کارکرد. معروف‌ترین تعریف عملکرد از سوی نیلی و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۲) ارائه شده است:

شرکت‌های کوچک و متوسط به دلیل سهم قابل توجه خود در اقتصاد، توجه روزافزونی را در بین پژوهشگران و سیاست‌گذاران دارند. شرکت‌های کوچک و متوسط به عنوان اساس یک سیستم اقتصادی در کشور شناخته می‌شوند. زیرا آن‌ها اشتغال ایجاد می‌کنند، سطح درآمد را افزایش می‌دهند و به تولید ناخالص داخلی کمک می‌کنند [۸]. به طور مثال، در اروپا شرکت‌های کوچک و متوسط بیش از ۸۰ درصد از کل تعداد شرکت‌ها را در بخش تولید تشکیل می‌دهند که حدود ۶۰ درصد از اشتغال را دربر می‌گیرند. بنابراین اهمیت شرکت‌های کوچک و متوسط تولیدی برای رشد اقتصاد، اشتغال و ایجاد ثروت به طور گسترده‌ای پذیرفته شده است [۹].

شرکت‌های کوچک و متوسط در هر دو اقتصاد توسعه یافته و در حال توسعه با تعدادی از عوامل و معیارها مانند مکان، اندازه، سن، ساختار، تعداد کارکنان، حجم فروش، ارزش دارایی‌ها، مالکیت از طریق نوآوری و فناوری تعریف شده‌اند. کمیسیون اروپا<sup>۱</sup> (۲۰۰۵) بیان می‌کند که هم شرکت‌های خیلی کوچک و هم شرکت‌های کوچک و متوسط، شرکت‌هایی هستند که کمتر از ۲۵۰ نفر را

جدول ۱- مشخصه‌های شرکت‌های کوچک و متوسط

| مشخصه  | از لحاظ... |
|--|------------|
| ۱- ساختار تخت با چند لایه از مدیریت؛ ۲- درجه اعمال نفوذ از سوی مدیران فردی؛ ۳- استراتژی‌های غیررسمی ۴- مکان تک مقره؛ ۵- پتانسیل واکنش‌های سریع به تغییرات بیرونی؛ ۶- درجه پایین تخصص؛ ۷- فرهنگ یکپارچه و ۸- منابع مالی محدود | ساختار     |
| ۱- فعالیت در بازارهای محدود با یک پایگاه مشتری کوچک ۲- مخاطبین بیرونی محدود  | ارتباط     |
| ۱- فرآیندهای انعطاف‌پذیر؛ ۲- درجه پایین استانداردسازی؛ ۳- ذهنیت واکنشی و عکس‌العملی و ۴- نتیجه‌گرا بودن  | فرآیندها   |
| ۱- کمال سرمایه انسانی و دانش؛ ۲- کاتالیزورهای تغییر داخلی بسیار کمی هستند؛ ۳- افراد می‌توانند نتیجه تلاش‌های خود را ببینند و ۴- وقوع کم اتحادیه‌سازی   | افراد      |

1. European Commission 2. Nili et al.

فراگیر بسط مفهوم فلسفه‌ای است که اعتقاد دارد خدمات و کالاها، همواره با کیفیتی بهتر در دسترس مشتریان درونی و بیرونی سازمان گذاشته شود و بر آن است که با در نظر گرفتن بازخورد از همین مشتریان، مشخصات کیفی هر تولید یا خدمتی را تعیین کند [۱۶].

از لحاظ قدمت، پژوهش‌های درباره مدیریت کیفیت، عمدتاً بر روی شرکت‌های بزرگ متمرکز شده‌اند. در حالی که شرکت‌های بزرگ مهم هستند، شرکت‌های کوچک و متوسط برای اقتصاد ملی بسیار مهم هستند و اکثریت شرکت‌ها و مشاغل را تشکیل می‌دهند. این امر مستلزم توجه ویژه‌ای به شرایط شرکت‌های کوچک و متوسط می‌باشد. اگرچه دیدگاه‌های متفاوتی در خصوص ویژگی‌های متمایزکننده شرکت‌های کوچک و متوسط وجود دارد، یک دیدگاه مشترک این است که این شرکت‌ها متفاوت از شرکت‌های بزرگ فعالیت می‌کنند.

بر اساس پژوهش جایارام و همکاران (۲۰۱۰) مدیریت کیفیت جامع از پنج بعد طراحی محصول با عملکرد متقابل، مدیریت کیفیت فرآیند، توانمندسازی کیفیت، آموزش کارکنان و کاربرد اطلاعات کیفیت تشکیل شده است. طراحی محصول با عملکرد متقابل به دخیل بودن مدیریت، کارکنان و تأمین‌کنندگان در فرآیند برنامه‌ریزی در بهبود کیفیت محصولات اشاره دارد. مدیریت کیفیت فرآیند به علل پیدایش ضایعات و دوباره‌کاری‌ها و اقدامات اصلاحی در جهت رفع مشکل کیفیتی محصولات اشاره دارد. توانمندسازی کیفیت به وجود تیم‌های شناسایی‌کننده نقص و خطا در تولید و بهبود در کیفیت اشاره دارد. آموزش کارکنان به برنامه‌های منابع انسانی در جهت آموزش و مهارت در حوزه کیفیت و بهبود در حرفه کارکنان اشاره داد و در نهایت کاربرد اطلاعات کیفیت به استفاده از اطلاعات درباره عملکرد و کیفیت محصول به منظور شناسایی علل ریشه‌ای مشکلات در شرکت‌ها اشاره دارد [۱۷].

عملکرد یعنی فرآیند تبیین کیفیت اثربخشی و کارایی اقدامات گذشته. طبق این تعریف، عملکرد به دو جزء تقسیم می‌شود: ۱. کارایی: که توصیف‌کننده چگونگی استفاده سازمان از منابع در تولید خدمات یا محصولات است، یعنی رابطه بین ترکیب واقعی و مطلوب درون‌دادها برای تولید بروندادهای معین و ۲. اثربخشی: که توصیف‌کننده درجه نیل به اهداف سازمانی است [۱۴].

بر اساس پژوهش ساهو و یاداو (۲۰۱۷) عملکرد شرکت از چهار بعد عملکرد طراحی، کیفیت فرآیند، کیفیت محصول و رضایت مشتری تشکیل شده است. عملکرد طراحی به میزان زمان تولید، تعداد مولفه‌های مورد استفاده در تولید و میزان سهم بازار از تولید محصولات جدید اشاره دارد. کیفیت فرآیند به میزان کاهش ضایعات، دوباره‌کاری‌ها و موجودی شرکت اشاره دارد. کیفیت محصول به میزان کاهش در برگشت محصولات، کاهش تعداد ادعاهای ضمانت، کاهش تعداد شکایات و برنامه بهبود کیفیت محصولات اشاره دارد و در نهایت رضایت مشتری به بهبود در میزان رضایت مشتریان از محصولات و افزایش سهم بازار از طریق برنامه بهبود کیفیت اشاره دارد.

### ۳-۲- مدیریت کیفیت جامع

مدیریت کیفیت فراگیر (جامع) برای اولین بار در اواسط دهه ۱۹۲۰ در کارخانه وسترن الکتریک<sup>۱</sup>، برای طراحی یک سیستم زنگ تلفن مطرح شد. منشأ و مبدأ مدیریت کیفیت جامع را می‌توان نظریه‌ها و فعالیت‌های بزرگانی چون دمینگ<sup>۲</sup>، جوران<sup>۳</sup>، فیگنباوم<sup>۴</sup>، ایشی کاوا<sup>۵</sup> و کرازبی<sup>۶</sup> دانست، که موجب غلبه صنعت خودروی ژاپن بر بازار دنیا شده است [۱۵].

مدیریت کیفیت فراگیر، یک سیستم مدیریت کیفیت است که بر بهبود مستمر کلیه فعالیت‌های یک سازمان تأکید می‌کند. هدف نهایی مدیریت کیفیت فراگیر، بهبود کیفیت محصولات و خدمات از طریق بهبود منابع انسانی، فرآیندها و تجهیزات موجود و به موازات آن کاهش هزینه‌های حوزه عملیاتی است. مدیریت کیفیت

1. Sahoo & Yadav 2. Western Electric 3. Deming 4. Juran 5. Feigenbaum 6. Ishikawa 7. Crosby



#### ۴-۲- گرایش به کارآفرینی

مفهوم گرایش به کارآفرینی بیش از ۳۰ سال پیش شکل گرفته است [۱۸]. نیمه اول قرن بیستم به تعریف مفهوم کارآفرینی و شناسایی نقش آن در توسعه اقتصادی کشورها اختصاص داده شد. طی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ مطالعاتی بر روی عوامل موثر بر کارآفرینی انجام گرفته است. بین سال‌های ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ محققان به شناسایی ابعاد گرایش به کارآفرینی پرداختند [۱۹].

گرایش به کارآفرینی یک مزیت راهبردی است که در بررسی فرصت‌های شرکت محقق شده است تا این امور را به منظور امکان استفاده از این فرصت‌ها سازماندهی کند. عوامل گرایش به کارآفرینی اغلب با هم فعالیت می‌کنند تا عملکرد کارآفرینانه یک سازمان را بهبود دهند [۲۰]. گرایش به کارآفرینی تمایل یک شرکت برای جلوتر ماندن از رقبا و به دست آوردن فرصت‌های جدید برای مشارکت در نوآوری در یک محیط متغیر را تعیین می‌کند [۲۱].

بر اساس پژوهش هیوگز و مورگان (۲۰۰۷) گرایش به کارآفرینی از ۵ بعد نوآوری، پیشگامی، ریسک‌پذیری، رقابت‌تهاجمی و استقلال تشکیل شده است. نوآوری به تمایل شرکت به ایده‌های جدید، تحقیق و توسعه و فرآیندهای خلاق می‌باشد، که نتیجه آن ممکن است محصولات، خدمات و یا فرآیندهای تکنولوژیکی جدید باشد. پیشگامی به گرایش شرکت‌ها در ارائه ایده‌ها، خدمات و محصولات جدید نسبت به رقبا اشاره دارد. ریسک‌پذیری به فعالیت‌های شرکت در راستای اکتشافات و آزمایش بر روی فرصت‌ها و تأمین سریع منابع اشاره دارد. رقابت‌تهاجمی به تمایل شرکت‌ها به چالش‌های سخت و مستقیم با رقبا برای بهبود بازار خودشان اشاره دارد. استقلال اشاره به فعالیت‌های مستقل کارکنان و تیم‌ها در ایجاد ایده و اجرای آن‌ها اشاره دارد [۲۲].

#### ۵-۲- رابطه مدیریت کیفیت جامع و عملکرد شرکت

در ادبیات مدیریت عملیات، عملکرد شرکت توانایی و قابلیت یک سیستم عملیاتی برای پشتیبانی از اولویت‌های رقابتی انتخاب شده

یک سازمان مثل قیمت محصول یا خدمات، کیفیت و زمان تحویل را نشان می‌دهد. از سوی دیگر، مدیریت کیفیت جامع فلسفه‌ای است که عمدتاً تحت سلطه شرکت‌های بزرگ است، اما ترس از دست دادن قراردادها از شرکت‌های بزرگ باعث می‌شود که شرکت‌های کوچک و متوسط کیفیت را به سیستم خود بیاورند.

ارتباط بین مدیریت کیفیت جامع و عملکرد توسط دانشمندان متعددی مورد بررسی قرار گرفته است. در حالی که دانش پژوهان رابطه بین مدیریت کیفیت جامع و عملکرد را بررسی می‌کنند، آنان از انواع گوناگون عملکردها استفاده کرده اند مانند: مالی، نوآوری، عملیاتی عملکرد کیفی، اگرچه اثرات مدیریت کیفیت جامع بر انواع عملکردها با هم سازگار نیست، ولی عملکرد به طور کلی رابطه‌ای قوی و مثبت با آن داشته است [۲۳].

دیانتی دیلمی و پورچنگیز (۱۳۹۳) و نصراللهی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهش‌های خود به این نتیجه رسیدند که اجرای مدیریت کیفیت جامع باعث بهبود عملکرد شرکت‌ها شده است. صادق اغلو و زهیر<sup>۱</sup> (۲۰۱۰) و تای و جی<sup>۲</sup> (۲۰۱۸) در پژوهش‌های خود به این نتیجه رسیدند که مدیریت کیفیت جامع بر عملکرد شرکت‌ها تأثیرگذار است.

#### ۶-۲- رابطه گرایش به کارآفرینی و عملکرد شرکت

محققان اغلب گرایش به کارآفرینی را به عنوان یک متغیر مستقل در نظر می‌گیرند که عملکرد شرکت را ایجاد یا حفظ می‌کند. به طور خاص، نوآوری، شرکت‌ها را جلوتر از رقبا نگه می‌دارد تا مزایای رقابتی کسب کنند. فعال بودن به شرکت‌ها توانایی ارائه محصولات و خدمات جدید به بازار، پیش از رقبا را می‌دهد و استراتژی‌های پر ریسک منجر به میانگین عملکردی بالاتر در بلندمدت می‌شوند [۲۴].

گرایش به کارآفرینی یک شرکت و موقعیت استراتژیک آن نسبت به نوآوری، به شرکت این امکان را می‌دهد تا فعالیت‌هایی تاحدودی ریسک‌پذیر را تقبل کرده و رقبا را شکست دهند. اهمیت نهفته

1. Sadikoglu & Zehir 2. Thai & Jie

شرکت‌های کوچک و متوسط به‌طور ویژه به دنبال بررسی دو فرضیه می‌باشد:

۱. مدیریت کیفیت جامع بر عملکرد شرکت تأثیر دارد.
۲. گرایش به کارآفرینی بر عملکرد شرکت تأثیر دارد.

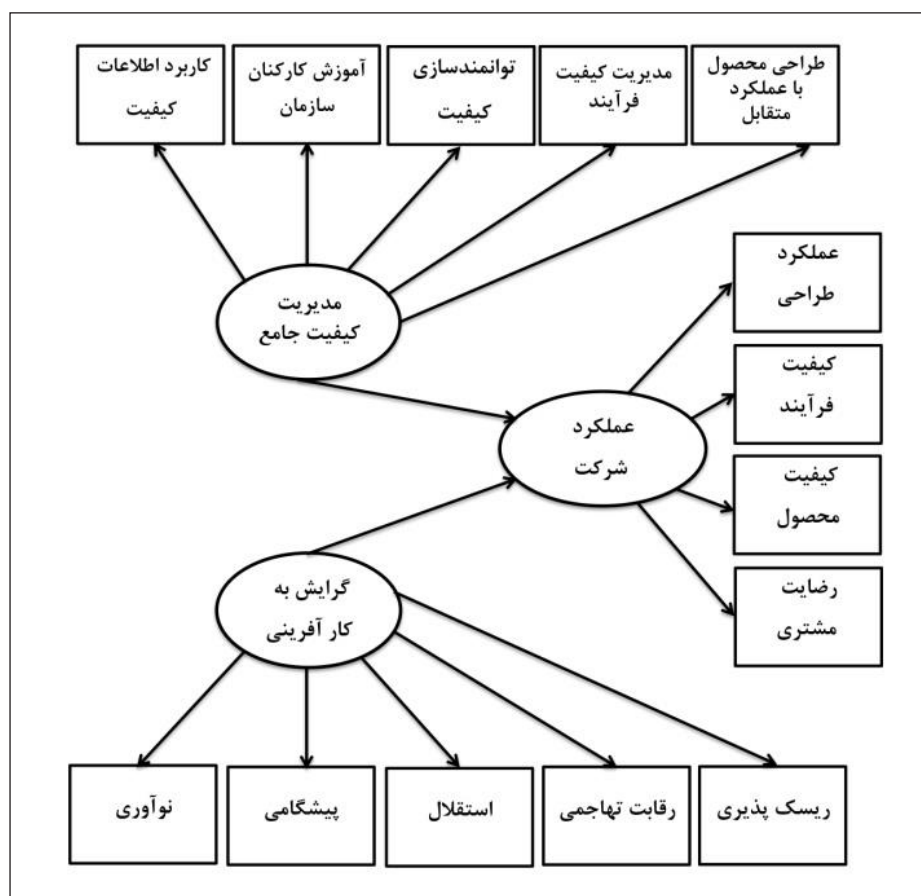
### ۳- روش‌شناسی

پژوهش حاضر از نظر هدف، جزء پژوهش‌های کاربردی و از نظر روش پژوهش از نوع توصیفی-همبستگی است که در آن، رابطه میان متغیرها بر اساس هدف پژوهش تحلیل می‌شود و به‌طور مشخص، مبتنی بر معادلات ساختاری است. این پژوهش در یک مقطع زمانی سه‌ماهه در پاییز سال ۱۳۹۸ انجام گرفته‌است. به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات در زمینه مبانی نظری و ادبیات

گرایش کارآفرینانه در ارتباط قوی آن با عملکرد شرکت است [۲۵]. مبارکی و همکاران (۱۳۹۱)، حسینی مقدم و حجازی (۱۳۹۳)، کریمی و رحمانی (۱۳۹۴) و جعفری‌نیا و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهش‌های خود به این نتیجه رسیدند گرایش به کارآفرینی تأثیر مثبت بر عملکرد شرکت داشته‌است. الجفری و السویدی<sup>۱</sup> (۲۰۱۶) و رضایی و اورت<sup>۲</sup> (۲۰۱۸) در پژوهش‌های خود به این نتیجه رسیدند که گرایش به کارآفرینی بر عملکرد تأثیرگذار می‌باشد.

مدل مفهومی پژوهش، مبتنی بر روابط نظری میان متغیرهای اثرگذار بر موضوع پژوهش است که در شکل ۱ نمایش داده شده‌است.

بر اساس مدل مفهومی فوق، پژوهش حاضر با هدف بررسی رابطه علی مدیریت کیفیت جامع و گرایش به کارآفرینی بر عملکرد



شکل ۱- مدل مفهومی پژوهش

خیلی موافقم) استفاده شده است. لازم به توضیح است که شهرک صنعتی جی اصفهان دارای ۴۶۰ واحد تولیدی فعال می‌باشد. روش نمونه‌گیری در این مطالعه به صورت نمونه‌گیری تصادفی ساده بوده است. با استفاده از جدول کرجسی و مورگان تعداد ۲۱۰ نمونه محاسبه شد. در ادامه این تعداد پرسش‌نامه بین مدیران توزیع شد. پرسش‌نامه این پژوهش شامل دو بخش است: بخش اول مربوط به پرسش‌های جمعیت‌شناختی و شامل تعداد کارکنان (کمتر از ۵۰، ۵۰ الی ۱۰۰، ۱۰۱ الی ۱۵۰، ۱۵۱ الی ۲۰۰ و ۲۰۱ الی ۲۵۰ نفر)؛ سن (کمتر از ۳۰، ۳۰ الی ۴۰، ۴۰ الی ۵۰، ۵۱ الی ۶۰ و بالای ۶۰ سال) و میزان تحصیلات (فوق دیپلم و پائین تر، کارشناسی، کارشناسی ارشد و بالاتر) است. بخش دوم شامل پرسش‌های تخصصی است که برای متغیر مدیریت کیفیت جامع از پژوهش جایارام (۲۰۱۰)، برای متغیر گرایش به کارآفرینی از پژوهش هیوگن و مورگان (۲۰۰۷) و برای متغیر عملکرد شرکت از پژوهش ساهو و یاداو (۲۰۱۷) استفاده گردید.

در این پرسشنامه متغیر مدیریت کیفیت جامع حاوی ۲۶ پرسش با ابعاد (کاربرد اطلاعات کیفیت، آموزش کارکنان سازمان، توانمندسازی کیفیت، مدیریت کیفیت فرآیند و طراحی محصول با عملکرد متقابل) و گرایش به کارآفرینی با ۱۸ پرسش با ابعاد (نوآوری، پیشگامی، ریسک‌پذیری، رقابت تهاجمی و استقلال) به‌عنوان متغیرهای مستقل به‌کار گرفته شدند و در نهایت ۱۶ پرسش برای سنجش متغیر عملکرد شرکت با ابعاد (عملکرد طراحی، کیفیت فرآیند، کیفیت محصول و رضایت مشتری) که به‌عنوان متغیر وابسته بکار گرفته شد.

برای دستیابی به اعتبار پرسش‌نامه از روایی محتوا استفاده شده است. ابتدا با مطالعه ادبیات متغیرهای پژوهش از منابع مختلف داخلی و خارجی پرسش‌نامه مقدماتی تهیه شد. سپس پرسش‌نامه از سوی افراد صاحب نظر و خبره (چند نفر از اساتید و مدیران شرکت‌ها) بررسی و بعد از اعمال نظرهای اصلاحی، سرانجام پرسش‌نامه نهایی تهیه و تدوین شد و در اختیار نمونه آماری قرار

موضوع، از منابع کتابخانه‌ای، مقالات و نیز از پایگاه‌های اطلاعات علمی و مجله‌های الکترونیکی استفاده شده است. برای جمع‌آوری داده‌ها، از روش میدانی به کمک پرسشنامه استفاده شد. در پایان برای سنجش و مدل‌سازی روابط میان متغیرها از مدل‌سازی معادلات ساختاری به کمک نرم افزار پیشرفته MPLUS ورژن 7.4 استفاده شد.

نرم افزار آماری MPLUS یک نرم‌افزار مدل‌سازی معادلات ساختاری از خانواده نرم‌افزارهای کوواریانس محور مثل لیزرل، ایموس و EQS می‌باشد که در سال ۱۹۹۸ اولین نسخه آن توسط سازندگان به نام‌های لیندا موتن<sup>۱</sup> و بنگت موتن<sup>۲</sup> به بازار عرضه گردید. این نرم‌افزار در واقع مجموعه کاملی از ابزارهای تحلیل آماری برای استفاده در مواجهه با انواع نیازهای تحلیلی از مدل‌های بسیار ساده مثل رگرسیون خطی تا مدل‌های پیچیده که دارای متغیرهای آشکار و پنهان هستند، می‌باشد [۲۶].

MPLUS نرم‌افزاری است که براساس تخمین رگرسیون، تحلیل مسیر، تحلیل عاملی اکتشافی، تحلیل عاملی تأییدی، مدل‌سازی معادلات ساختاری و مدل‌های سری زمانی و با حضور متغیرهای آشکاری که می‌توانند کمی (پیوسته)، باینری (دو وجهی)، ترتیبی و همچنین ترکیبی از متغیرها باشند اجرا می‌گردد. همچنین نرم‌افزار MPLUS تحلیل‌هایی مثل خوشه‌بندی داده‌ها، تعاملی و غیرخطی را توسط روش مشهور حداکثر نمایی انجام می‌دهد. از دیگر کاربردهای این نرم‌افزار می‌توان به تحلیل مدل‌های آمیخته، تحلیل چندسطحی و تحلیل بیزین اشاره کرد [۲۷].

با توجه به این که مدیران آگاهی بیشتری نسبت به دیگر افراد سازمان به وضعیت سازمان دارند، مدیران عامل شرکت‌های کوچک و متوسط واقع در شهرک صنعتی جی اصفهان جامعه آماری این پژوهش را تشکیل می‌دهند.

در پژوهش حاضر، برای گردآوری اطلاعات از پرسشنامه‌ای حاوی ۶۰ پرسش با طیف ۵ گزینه‌ای لیکرت (از خیلی مخالفم تا

1. Linda Muthen 2. Bengt Muthen

گرفت. برای ارزیابی پایایی متغیرهای پرسش‌نامه و ابعاد متغیرها از ضریب آلفای کرونباخ استفاده شد. شاخص آلفای کرونباخ به متغیرهای مربوط به اندازه‌گیری یک سازه وزن یکسانی می‌دهد که همبستگی سوالات هر متغیر را نشان می‌دهد. اگر این عدد بالاتر از ۰/۷ باشد نشان‌دهنده همبستگی خوب سوالات هر متغیر می‌باشد. همچنین در پژوهش حاضر برای به‌دست آوردن ضریب آلفای کرونباخ، میانگین، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی تمامی متغیرها و ابعادشان از نرم افزار SPSS24 استفاده شد که نتایج آن در جدول ۲ گزارش شده است.

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود ضریب آلفای کرونباخ هر سه متغیر اصلی پژوهش به همراه ابعادشان بالاتر از ۰/۷ می‌باشد که نشان‌دهنده همبستگی خوب سوالات هر متغیر می‌باشد. همچنین همان‌طور که مشاهده می‌شود میانگین کلیه متغیرها در

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود ضریب آلفای کرونباخ هر سه متغیر اصلی پژوهش به همراه ابعادشان بالاتر از ۰/۷ می‌باشد که نشان‌دهنده همبستگی خوب سوالات هر متغیر می‌باشد. همچنین همان‌طور که مشاهده می‌شود میانگین کلیه متغیرها در

#### ۴- یافته‌ها

بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده، از نظر تعداد کارکنان، شرکت‌های با تعداد کارکنان کمتر از ۵۰ نفر با ۵۱/۹٪ معادل

جدول ۲- نتایج آمار توصیفی متغیرهای پژوهش و آلفای کرونباخ

| متغیرهای پژوهش               | آلفای کرونباخ | میانگین | انحراف معیار | چولگی  | کشیدگی |
|------------------------------|---------------|---------|--------------|--------|--------|
| کاربرد اطلاعات کیفیت         | ۰/۸۳۳         | ۳/۴۶۵   | ۰/۶۵۲        | -۱/۱۳۲ | ۰/۷۳۶  |
| آموزش کارکنان سازمان         | ۰/۷۰۱         | ۳/۷۱۷   | ۰/۸۴۹        | -۱/۰۷۳ | ۱/۵۹۵  |
| توانمندسازی کیفیت            | ۰/۷۳۵         | ۳/۳۶۴   | ۰/۶۷۵        | -۰/۳۴۶ | ۱/۱۲۵  |
| مدیریت کیفیت فرآیند          | ۰/۷۲۲         | ۳/۵۰۸   | ۰/۶۷۱        | -۰/۳۴۰ | ۰/۷۰۰  |
| طراحی محصول با عملکرد متقابل | ۰/۷۹۰         | ۳/۴۳۴   | ۰/۶۵۷        | -۰/۷۵۵ | ۱/۹۸۸  |
| مدیریت کیفیت جامع            | ۰/۸۱۹         | ۳/۴۹۰   | ۰/۶۲۸        | -۱/۵۰۸ | ۲/۹۸۷  |
| نوآوری                       | ۰/۷۵۵         | ۳/۵۹۹   | ۰/۶۹۲        | -۰/۷۹۷ | ۱/۱۹۸  |
| پیشگامی                      | ۰/۷۹۸         | ۳/۶۰۴   | ۰/۶۱         | -۰/۷۸۶ | ۰/۰۴۴  |
| استقلال                      | ۰/۷۸۹         | ۳/۵۲۵   | ۰/۵۹۳        | -۰/۷۴۸ | ۰/۰۸۰  |
| رقابت تهجمی                  | ۰/۸۲۲         | ۳/۴۵۲   | ۰/۶۷۷        | -۰/۵۲۵ | ۰/۰۲۱  |
| ریسک پذیری                   | ۰/۷۴۱         | ۳/۰۰۸   | ۰/۷۵۳        | -۰/۱۲۶ | ۰/۲۹۲  |
| گرایش به کارآفرینی           | ۰/۸۲۲         | ۳/۴۵۲   | ۰/۷۴۵        | -۰/۱۶۵ | ۱/۵۰۷  |
| عملکرد طراحی                 | ۰/۷۰۱         | ۳/۲۷۵   | ۰/۶۹۲        | -۰/۵۸۶ | ۰/۵۶۳  |
| کیفیت فرآیند                 | ۰/۷۶۲         | ۳/۱۷۰   | ۰/۵۷۹        | -۰/۲۵۰ | ۰/۹۲۷  |
| کیفیت محصول                  | ۰/۷۳۲         | ۳/۲۹۸   | ۰/۶۷۶        | -۰/۶۵۹ | -۰/۲۰۷ |
| رضایت مشتری                  | ۰/۷۹۲         | ۳/۵۴۷   | ۰/۵۹۴        | -۰/۷۵۵ | ۰/۳۰۶  |
| عملکرد شرکت                  | ۰/۸۱۶         | ۳/۵۱۵   | ۰/۵۸۵        | -۱/۳۵۱ | ۱/۷۳۶  |

اندازه‌گیری قابل قبول است. جدول ۳ نتایج مربوط به معادلات اندازه‌گیری در حالت معناداری ضرایب متغیرهای پژوهش را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در جدول ۳ مشخص است تمامی سوالات متغیرهای پژوهش مقدار بازه بحرانی آن‌ها (□-□□□□□) خارج از بازه (+۱/۹۶ و -۱/۹۶) می‌باشند، بنابراین در سطح اطمینان ۹۹٪ ضرایب بحرانی سوالات معنادار است یعنی همگی آن‌ها شرط اول لازم را برای ماندن در مدل دارند. خوشبختانه در شرط دوم لازم برای برقراری روایی و پایایی سازه، کلیه سوالات مقدار بار عاملی آن‌ها بالای عدد ۰/۵ است، بنابراین شرط دوم لازم را نیز دارا هستند پس هیچ یک از سوالات متغیرها از مدل پژوهش حذف نمی‌شوند و این نشان‌دهنده انتخاب پرسشنامه مناسب برای اندازه‌گیری این متغیرها می‌باشد و مدل روایی و پایایی سازه آن برقرار می‌باشد. مدل مشاهده شده در نمونه پژوهش که با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده از عملیات میدانی بدست آمده است باید با مدل مورد انتظار در جامعه واقعی تطابق و مشابهت داشته‌باشد.

۱۰۹ شرکت دارای بیشترین فراوانی و شرکت‌های با تعداد کارکنان بالای ۲۰۱ نفر با ۲/۳۹٪ معادل ۵ شرکت دارای کمترین فراوانی بودند. از نظر سن، بیشتر پاسخ دهندگان بین ۴۱ تا ۵۰ سال با درصد فراوانی ۳۵/۷۱٪ معادل ۷۵ نفر از مدیران بودند و مدیران بالای ۶۰ سال با ۸/۵۸٪ معادل ۱۸ نفر کمترین مقدار فراوانی را داشتند. از لحاظ مدرک تحصیلی بیشتر مدیران دارای مدرک تحصیلی کارشناسی با درصد فراوانی ۴۵/۲۴٪ معادل ۹۵ نفر و دارندگان مدرک کارشناسی ارشد و بالاتر ۱۵/۷۲٪ معادل ۳۳ نفر کمترین مقدار فراوانی را در نمونه آماری داشتند.

داده‌ها ابتدا در قالب مدل اندازه‌گیری در نرم‌افزار MPLUS برای بررسی رابطه متغیرهای مکنون و سوالات اندازه‌گیری کننده متغیرها که فرآیند تحلیل عاملی تأییدی است و بدنبال بررسی برقراری روایی و پایایی متغیرها است اجرا گردید. پایایی با سنجش بارهای عاملی از طریق مقدار همبستگی شاخص‌های یک سازه با آن سازه محاسبه می‌شود که در MPLUS اگر این مقدار برابر یا بیشتر از ۰/۵ باشد، مؤید این است که پایایی در مورد آن مدل

جدول ۳- معادلات اندازه‌گیری در حالت معناداری ضرایب متغیرهای پژوهش

| متغیر (سازه)       | ابعاد                        | تعداد سوال | بار عاملی (min-max) | T-Value (min-max) |
|--------------------|------------------------------|------------|---------------------|-------------------|
| مدیریت کیفیت جامع  | کاربرد اطلاعات کیفیت         | ۵          | (۰/۰-۶۰/۸۰)         | (۱۰/۱۹-۶۲/۰۶)     |
|                    | آموزش کارکنان سازمان         | ۴          | (۰/۰-۶۵/۷۶)         | (۱۲/۱۸-۹۲/۰۸)     |
|                    | توانمندسازی کیفیت            | ۴          | (۰/۰-۷۱/۸۳)         | (۱۷/۲۶-۱۱/۳۴)     |
|                    | مدیریت کیفیت فرآیند          | ۷          | (۰/۰-۷۰/۸۷)         | (۱۷/۳۷-۴۰/۴۹)     |
|                    | طراحی محصول با عملکرد متقابل | ۶          | (۰/۰-۷۲/۸۵)         | (۱۸/۳۱-۶۰/۰۵)     |
| گرایش به کارآفرینی | نوآوری                       | ۵          | (۰/۰-۶۵/۸۳)         | (۱۴/۲۹-۰۰/۳۳)     |
|                    | پیشگامی                      | ۳          | (۰/۰-۸۹/۹۲)         | (۴۸/۵۹-۰۳/۷۷)     |
|                    | استقلال                      | ۴          | (۰/۰-۸۳/۸۵)         | (۱۳/۱۳-۰۳/۴۶)     |
|                    | رقابت تهاجمی                 | ۳          | (۰/۰-۶۵/۸۵)         | (۱۳/۲۶-۸۲/۶۷)     |
| عملکرد شرکت        | ریسک‌پذیری                   | ۳          | (۰/۰-۷۶/۸۸)         | (۲۱/۳۳-۴۰/۴۱)     |
|                    | عملکرد طراحی                 | ۳          | (۰/۰-۷۸/۹۱)         | (۲۴/۳۷-۰۰/۹۸)     |
|                    | کیفیت فرآیند                 | ۴          | (۰/۰-۷۳/۸۸)         | (۱۹/۳۳-۰۵/۴۳)     |
|                    | کیفیت محصول                  | ۴          | (۰/۰-۷۶/۸۵)         | (۱۹/۲۸-۹۳/۲۶)     |
|                    | رضایت مشتری                  | ۵          | (۰/۰-۷۴/۸۷)         | (۲۰/۳۸-۸۵/۸۲)     |

آن در جدول ۵ گزارش شده است. همان‌طور که در جدول ۵ قابل مشاهده است خوشبختانه کلیه CRها بالای ۰/۷ می‌باشند پس مدل دارای پایایی سازه می‌باشد. همچنین کلیه ضرایب AVE بالای ۰/۵ است و کلیه مقادیر CR هر متغیر بزرگ‌تر از AVE متناظر خود می‌باشد، بنابراین شرط روایی برقرار است. از طرفی ضرایب AVE از ضرایب MSV و ASV متناظر خود بزرگ‌تر هستند، بنابراین می‌توان ادعا کرد هیچ یک از سوالات متغیرهای پژوهش با سوالات متغیرهای دیگر هم‌پوشانی یا هم‌خطی ندارند. بنابراین مدل پژوهش دارای روایی و پایایی سازه است و محقق می‌تواند به آزمون فرضیات برای تشخیص رد یا تأیید آن‌ها در قالب مدل ساختاری برود. مدل‌های ساختاری پژوهش در حالت‌های تخمین ضرایب غیراستاندارد و استاندارد در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده‌است. همچنین نتایج مربوط به فرضیات پژوهش در جدول ۶ گزارش شده‌است.

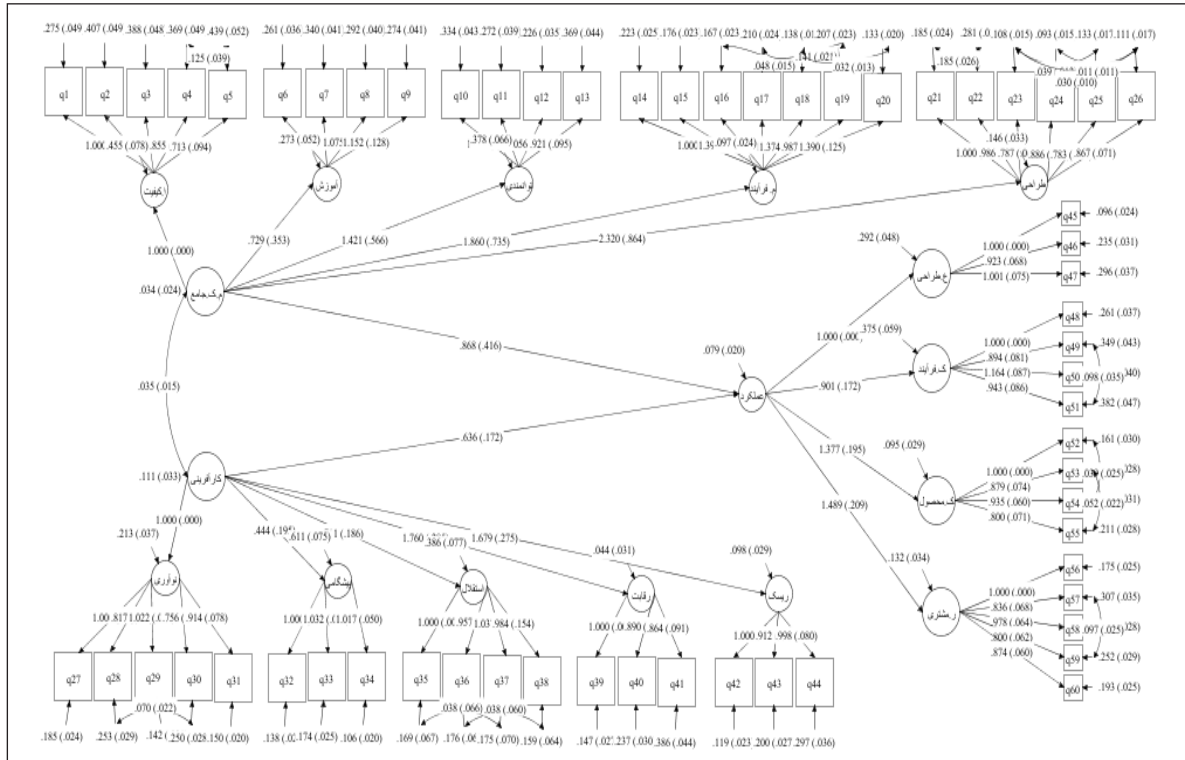
برای این منظور در MPLUS از پنج شاخص برازشی استفاده می‌گردد که نتایج آن در جدول ۴ آورده شده است. همان‌طور که در جدول ۴ مشخص است متأسفانه مدل اولیه اندازه‌گیری پژوهش به جز شاخص برازش  $X^2/df$  که به حد مجاز خود رسیده است بقیه شاخص‌های برازش به حد مجاز خود نرسیده‌اند. بنابراین محقق برای رفع این مشکل که مربوط به انطباق مشاهدات با مدل مورد انتظار در جامعه است، پیشنهادات برآمده از نرم‌افزار را مبنای اصلاحات خود قرار داده‌است. بنابراین بار دیگر و با اعمال پیشنهادات نرم‌افزار، مدل در نرم‌افزار MPLUS اجرا گردید. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود تمامی شاخص‌های برازشی به حد مجاز خود رسیده‌اند بنابراین نیکویی برازش مورد تأیید قرار می‌گیرد و محقق به صورت قاطع می‌تواند ادعا کند که مدل پژوهش و مشاهدات او در نمونه با مدل مورد انتظار در جامعه انطباق دارد. اکنون محقق به سراغ وظیفه اصلی مدل اندازه‌گیری یعنی بررسی روایی و پایایی سازه می‌رود که نتایج

جدول ۴: شاخص‌های برازش مدل اندازه‌گیری در حالت‌های اولیه و اصلاح شده

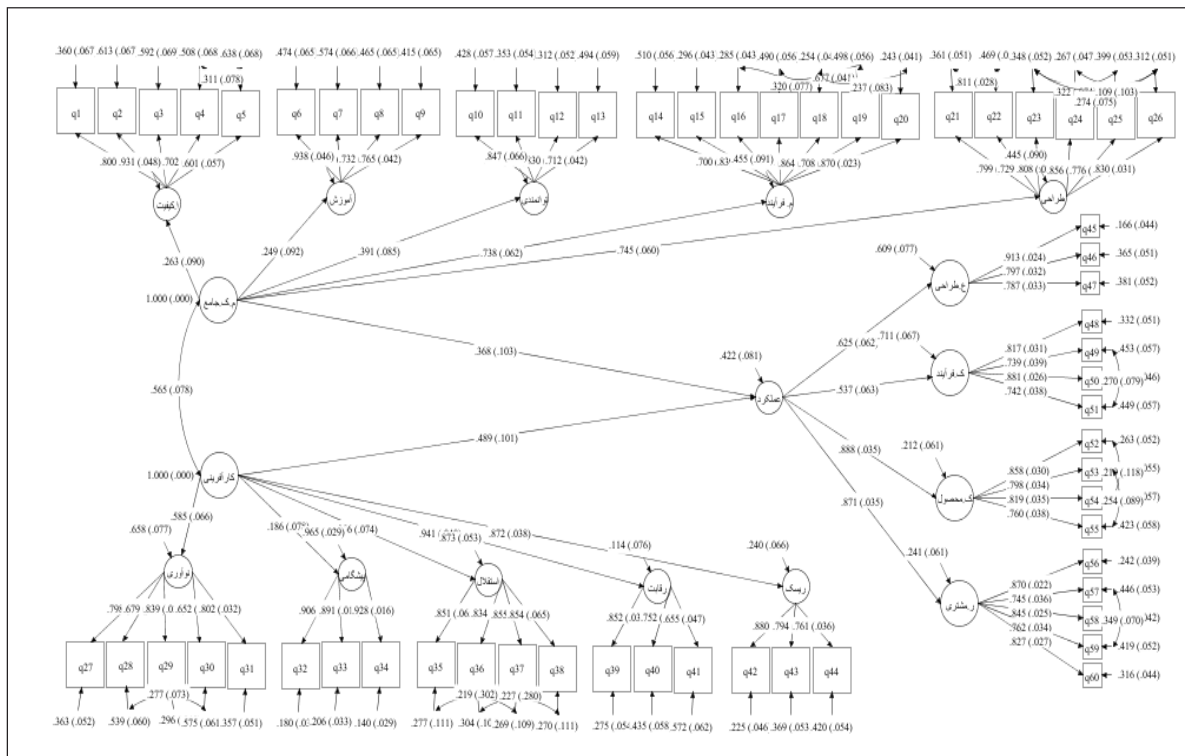
| شاخص‌های برازش | حد مجاز      | مقدار بدست آمده در حالت اولیه | مقدار بدست آمده در حالت اصلاح شده |
|----------------|--------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| $X^2/df$       | کمتر از ۳    | ۲/۸۵۱                         | ۲/۵۳۴                             |
| RMSEA          | کمتر از ۰/۰۸ | ۰/۰۸۱                         | ۰/۰۷۶                             |
| CFI            | بیشتر از ۰/۹ | ۰/۸۹۷                         | ۰/۹۱۴                             |
| TLI            | بیشتر از ۰/۹ | ۰/۸۹۲                         | ۰/۹۱۱                             |
| SRMR           | کمتر از ۰/۰۸ | ۰/۰۸۳                         | ۰/۰۷۸                             |

جدول ۵: بررسی روایی و پایایی سازه

| متغیرها            | CR    | AVE   | MSV   | ASV   |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|
| مدیریت کیفیت جامع  | ۰/۸۲۷ | ۰/۵۰۸ | ۰/۴۴۵ | ۰/۳۰۸ |
| گرایش به کارآفرینی | ۰/۸۷۵ | ۰/۶۱۱ | ۰/۱۵۷ | ۰/۰۸۱ |
| عملکرد شرکت        | ۰/۸۲۹ | ۰/۵۱۲ | ۰/۲۷۶ | ۰/۲۰۵ |



شکل ۲- مدل معادلات ساختاری در حالت تخمین ضرایب غیراستاندارد



شکل ۳- مدل معادلات ساختاری در حالت تخمین ضرایب استاندارد



جدول ۶- نتایج آزمون فرضیات پژوهش

| نتیجه آزمون | Pvalue (sig) | خطای استاندارد | Tvalue | ضریب مسیر | فرضیه‌های پژوهش                  |
|-------------|--------------|----------------|--------|-----------|----------------------------------|
| تأیید فرضیه | ۰/۰۰۰        | ۰/۱۰۳          | ۳/۵۷۲  | ۰/۳۶۸     | مدیریت کیفیت جامع ← عملکرد شرکت  |
| تأیید فرضیه | ۰/۰۰۰        | ۰/۱۰۱          | ۴/۸۴۳  | ۰/۴۸۹     | گرایش به کارآفرینی ← عملکرد شرکت |

فرضیه اول پژوهش مبنی بر تأثیر مدیریت کیفیت جامع بر عملکرد شرکت می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود با توجه به مقدار Tvalue یا همان نسبت بحرانی که ۳/۵۷۲ بدست آمده‌است و این مقدار خارج از بازه (۱/۹۶+ و ۱/۹۶-) می‌باشد و نیز مقدار sig (سطح معناداری) که ۰/۰۰۰ بدست آمده‌است و کمتر از ۰/۰۱ می‌باشد در سطح اطمینان ۹۹٪ این فرضیه تأیید می‌شود یعنی مدیریت کیفیت جامع بر عملکرد شرکت تأثیر دارد. حال به سراغ جهت و معنادار بودن این فرضیه می‌رویم. با توجه به علامت مسیر در فرضیه و نیز شدت مدیریت کیفیت جامع به اندازه ۰/۳۶۸ بر روی عملکرد شرکت، شدت تأثیر و نیز علامت تأثیر مثبت می‌باشد. بنابراین مدیریت کیفیت جامع بر عملکرد شرکت تأثیر مثبت و معناداری دارد. فرضیه دوم پژوهش مبنی بر تأثیر گرایش به کارآفرینی بر عملکرد شرکت می‌باشد. با توجه به مقدار Tvalue که ۴/۸۴۳ بدست آمده‌است و این مقدار خارج از بازه (۱/۹۶+ و ۱/۹۶-) می‌باشد و نیز مقدار sig که ۰/۰۰۰ بدست آمده‌است و کمتر از ۰/۰۱ می‌باشد در سطح اطمینان ۹۹٪ این فرضیه تأیید می‌شود یعنی گرایش به کارآفرینی بر عملکرد شرکت تأثیر دارد. از سوی دیگر با توجه به علامت مسیر در فرضیه و نیز شدت گرایش به کارآفرینی به اندازه ۰/۴۸۹ بر روی عملکرد شرکت، شدت تأثیر و نیز علامت تأثیر مثبت می‌باشد. بنابراین گرایش به کارآفرینی بر عملکرد شرکت تأثیر مثبت و معناداری دارد.

تأیید این فرضیه نشان‌دهنده این است که مدیریت کیفیت جامع به یک سیستم مفید برای بهبود در عملکرد شرکت‌های کوچک و متوسط و رضایت کلی مشتریان تبدیل شده‌است. مدیریت کیفیت

## ۵- بحث و نتیجه گیری

امروزه ظهور بازارهای رقابتی و لزوم بر رشد و توسعه اقتصادی شرکت‌ها موجب توجه خاص جوامع بر عملکرد شرکت‌ها شده‌است.

این پژوهش نشان می‌دهد که سازمان‌ها باید همیشه توجه داشته باشند که قبل از برنامه‌ریزی برای اجرای هر استراتژی یا شیوه‌های جدید، آن‌ها باید فرهنگ حمایت‌کنندگی را توسعه داده و مورد توجه قرار دهند. بدون یک فرهنگ حمایتی، هرگونه تغییر سازمانی می‌تواند یک شکست منجر شود. در محیط کسب و کار جهانی امروز، هر استراتژی که می‌خواهد اجرایی شود، باید با هدف اصلی خود یعنی رضایت مشتریان تطابق داشته باشد. در مقایسه با سازمان‌های بزرگ، شرکت‌های کوچک و متوسط دارای ساختار سازمانی تخت و با حداقل بوروکراسی هستند که این امر تأثیر مثبتی بر انعطاف‌پذیری، سازگاری و سرعت در پاسخ دادن به تغییرات محیطی و ایجاد یک فرهنگ حمایتی دارد. علاوه بر این، روابط بین مدیریت کیفیت، استراتژی کارآفرینی و عملکرد می‌تواند در طول زمان تغییر و تکامل یابد، به‌ویژه هنگامی که این پویایی شامل مجموعه وسیعی از عوامل رفتاری، سازمانی و محیطی است که ممکن است همه آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. گرایش به کارآفرینی به همراه مدیریت کیفیت جامع، شرکت‌های کوچک و متوسط را قادر می‌سازد تا الگوهای مختلف کسب و کار و شرایط و چشم‌اندازهای رشد را کشف کنند که منجر به ایجاد طرح‌های استراتژی جدیدی شده و منجر به تولید مزایای رقابتی گردیده و موقعیت سازمان‌ها را برای رقابت حفظ کرده و در نهایت منجر به عملکرد بهتر شرکت‌ها می‌گردد. در مجموع می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که مدیریت کیفیت جامع و گرایش به کارآفرینی در شرکت‌های کوچک و متوسط برای بهبود عملکرد ضروری هستند.

با توجه به نتایج پژوهش پیشنهادهای ذیل را به مدیران می‌توان ارائه کرد:

۱. انتخاب مدیرانی با مشخصات کارآفرینی که در ایجاد نوآوری ریسک‌پذیر هستند و همچنین مدیریت کیفیت را اتخاذ کنند.
۲. از طریق دوره‌های آموزشی، مدیران با مبانی نظری گرایش به کارآفرینی و استراتژی مدیریت کیفیت جامع بیشتر آشنا شوند.

جامع به عنوان مفهومی مشتری‌گرا است که ارتباط مستحکمی با عملکرد شرکت‌ها برقرار می‌کند چرا که عملکرد نیز دارای بعدی مهم به اسم رضایت مشتری است که در نهایت هدف آن به دنبال رقابت‌پذیری و عملکرد بهتر می‌باشد. در واقع در صورتی که دو مقوله مدیریت کیفیت جامع و عملکرد در کنار هم مورد توجه قرار گیرند با افزایش کیفیت محصولات، خدمات و فرآیندها در سازمان، توان رقابتی دائمی و رو به بهبود مستمری را بوجود می‌آورد.

یافته‌های حاصل از بررسی فرضیه دوم پژوهش نشان داد که گرایش به کارآفرینی با ضریب مسیر ۰/۴۸۹ تأثیر مثبت و معناداری بر عملکرد شرکت دارد. نتایج این فرضیه با نتایج پژوهش‌های مبارکی و همکاران (۱۳۹۱)، حسینی مقدم و حجازی (۱۳۹۳)، کریمی و رحمانی (۱۳۹۴)، جعفری‌نیا و همکاران (۱۳۹۸)، الجفری و السویدی (۲۰۱۶) و رضایی و اورت (۲۰۱۸) هماهنگ و هم‌سو است. نتایج پژوهش‌های مذکور نیز نشان‌دهنده این بود که گرایش به کارآفرینی تأثیر مثبت و معناداری بر عملکرد شرکت دارد.

تأیید این فرضیه نشان‌دهنده این است که شرکت‌ها نیازمند سیستمی هستند که گرایش به کارآفرینی را پشتیبانی کند. به عبارت دیگر، اگر گرایش به کارآفرینی به سمت توسعه توانایی‌های نوآورانه فعالیت کند و از سوی دیگر این که شرکت‌های کوچک و متوسط شرکت‌های کارآفرین محسوب می‌گردند، این شرکت‌ها باید منابع خود را به سمت ابعاد کارآفرینی مثل نوآوری، پیشگامی، استقلال، رقابت تهاجمی و ریسک‌پذیری هدایت کنند تا از این طریق عملکرد شرکت‌ها ارتقاء یابد.

در واقع نتایج این پژوهش می‌تواند به متخصصین، مدیران و تصمیم‌گیرندگان کمک کند تا عملکرد شرکت خود را از طریق اجرای مدیریت کیفیت جامع به عنوان یک نتیجه از ویژگی‌های کارآفرینی افزایش دهند. به عبارت ساده‌تر، مدیریت کیفیت جامع می‌تواند به شرکت‌های با گرایش به کارآفرینی کمک کند تا مزیت رقابتی بدست آورند و سازمان را از رقبای خود متمایز کند و موقعیت بازار خود را ارتقاء ببخشند. مهم‌تر این که یافته‌های

۳. باید به افزایش ارتباط بین دانشگاه و صنعت از طریق انتقال دانش از مزایای گرایش به کارآفرینی برای ایجاد نوآوری استفاده کرد. دانشگاهیان می‌توانند ابتکارات مختلفی را برای ارتقاء یک نگرش کارآفرینانه در کارکنان و شرکت‌ها اتخاذ کنند.
۴. پژوهش حاضر را می‌توان در سازمان‌های خدماتی نیز پیاده‌سازی کرد.
۵. این پژوهش در بین شرکت‌های کوچک و متوسط صورت گرفته‌است و می‌تواند در آینده بر روی شرکت‌های بزرگ صنعتی انجام گیرد.
۶. از لحاظ مورد مطالعه در بین شرکت‌های کوچک و متوسط می‌توان این پژوهش را روی یک صنعت خاص مثلاً مواد غذایی یا الکترونیک انجام داد.
۷. به محققان آتی پیشنهاد می‌گردد که با توجه به وجود ادبیات پژوهش در ارتباط بین گرایش به کارآفرینی و مدیریت کیفیت جامع، تأثیر گرایش به کارآفرینی بر مدیریت کیفیت جامع را مورد تحلیل قرار دهند.

### سپاسگزاری

*IRM ...*

### مراجع

1. Singh, R.K. (2011). Analyzing the interaction of factors for success of total quality management in SMEs. *Asian Journal on Quality*, 12(1), 6-19.
2. Ribeiro, F. L. & Fernandes, M. T. (2010). Exploring agile methods in construction small and medium enterprises: a case study. *Journal of Enterprise Information Management*, 23(2), 161-180.
3. Bajaj, SH., Garg, R. & Sethi, M. (2018). Total quality management: A critical literature review using Pareto analysis. *The Journal of Productivity and Performance Management*, 67(1), 128-154.
4. Altinay, L. & Wang, C. The influence of an entrepreneur's socio cultural characteristics on the entrepreneurial orientation of small firms. *Journal of Small Business and Enterprise Development*, 18(4), 673-694.
5. Fayolle, A., Basso, O. & Bouchard, V. (2010). Three levels of culture and firms Entrepreneurial orientation: A research agenda. *Entrepreneurship & Regional Development: An International Journal*, 22(7-8), 707-730.
6. Fernandez, E., Antelo, S., Lopez, V., Rey, M. & Jardon, C.M. (2018). Firm and industry effects on small, medium-sized and large firm performance. *Business Research Quarterly*, 21(4), 1-11.
7. Sahoo, S. & Yadav, S. (2017). Entrepreneurial orientation of SMEs, total quality management and firm performance. *Journal of Manufacturing Technology*, 28(7), 892-912.
8. Rasheed, M.A., Shahzad, KH., Conroy, CH., Nadeem, S. & Siddique, M.U. (2017). Exploring the role of employee voice between high-performance work system and organizational innovation in small and medium enterprises.

- Journal of Small Business and Enterprise Development, 24(4), 670-688.
9. Soto-Acosta, P., Popa, S. & Palacios-Marques, D. (2016). E-Business, organizational innovation and firm performance in manufacturing SMEs: an empirical study in Spain. *Technological and Economic Development of Economy*, 22(6), 885-904.
10. Makanyeza, CH. & Dzvukeye, G. (2015). The influence of innovation on the performance of small and medium enterprises in Zimbabwe. *Journal of African Business*, 16(1-2), 198-214.
11. Assarlind, M. & Gremyr, I. (2014). Critical factors for quality management initiatives in small- and medium- sized enterprises. *Total Quality Management & Business Excellence*, 25(4), 397-411.
۱۲. نکوئی زاده، م. و گل محمدی، ع. (۱۳۹۵). رابطه قابلیت های بازاریابی و عملکرد شرکت های بیمه شهر ایلام با توجه به نقش میانجی کیفیت خدمات. مدیریت استاندارد و کیفیت. سال ۶، شماره ۲، ۷۰-۸۲.
13. Lu, CH. & Yang, CH. (2010). Logistics service capabilities and firm performance of international distribution center operators. *The Service Industrial Journal*, 30(2), 281-298.
۱۴. مهدی زاده، م. و طالقانی، م. (۱۳۹۴). قابلیت محوری، راهبرد رقابتی و عملکرد شرکت های کوچک و متوسط ساختمانی. فرآیند مدیریت و توسعه، دوره ۲۸، شماره ۴، ۱۰۹-۱۳۸.
۱۵. مروتی شریف آبادی، ع. زنجیرچی، س. م. و اسدیان اردکانی، ف. (۱۳۹۳). مدیریت کیفیت و بهره وری. چاپ کنکاش، انتشارات دانشگاه یزد.
۱۶. شاهین، آ. (۱۳۹۵). مدیریت کیفیت فراگیر. چاپ نگار، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد اصفهان.
17. Jayaram, J., Ahire, S.L. & Dreyfus, P. (2010). Contingency relationships of firm size, TQM duration, unionization and industry context on TQM implementation – a focus on total effects. *Journal of Operations Management*, 28(4), 345-356.
18. Shirkova, G., Bogatyreva, K., Beliaeva, T. & Puffer, S. (2016). Entrepreneurial orientation and firm performance in different environmental settings: Contingency and configurational approaches. *Journal of Small Business and Enterprise Development*, 23(3), 703-727.
۱۹. اتقی زاده، ر. و فکرت، م. (۱۳۹۵). تأثیر گرایش به کارآفرینی و عملکرد مالی بنگاه های کوچک و متوسط استان آذربایجان غربی. فصلنامه مجلس و راهبرد، سال ۲۳، شماره ۸۸، ۲۳۱-۲۵۲.
۲۰. زارعی، ع. و شعبانی، ع. (۱۳۹۵). تأثیر گرایش کارآفرینانه بر عملکرد کسب و کار منتج از ظرفیت جذب و آشفستگی بازار. دوفصلنامه کاوش های مدیریت بازرگانی، سال ۸، شماره ۱۵، ۱۰۹-۱۳۱.
21. Chen, H.L. & Hsu, CH. (2013). Entrepreneurial orientation and firm performance in non-profit service organizations: contingent effect of market orientation. *The Service Industries Journal*, 33(5), 445-466.
22. Hughes, M. & Morgan, R.E. (2007). Deconstructing the relationship between entrepreneurial orientation and business performance at the embryonic stage of firm growth. *Industrial Marketing Management*, 36(5), 651-661.
۲۳. عسگری، م. ر. و دادرس، ع. ر. (۱۳۹۷). اثر کارکردهای مدیریت کیفیت فراگیر بر عملکرد کیفیت و عملکرد نوآوری.

مدیریت استاندارد و کیفیت، سال ۸، شماره ۲، ۲۷-۳۰.

24. Lee, T. & Chu, W. (2017). The relationship between entrepreneurial orientation and firm performance: Influence of family governance. *Journal of Family Business Strategy*, 8(4), 213-223.
25. Au, E., Qin, X. & Zhang, Z. (2017). Beyond personal control: When and how executives beliefs in negotiable fate foster entrepreneurial orientation and firm performance. *Organizational Behavior and Human Decision*, Vol.143, 69-84.
26. Vendenberg, R. J. (2006). Software Review: Mplus 3.0. *Organizational Research Methods*, 9(3), 408-412.
۲۷. جعفری نیا، س.، نورعلی، م.ر. و رزم آور، ت. (۱۳۹۸). بررسی تأثیر گرایش به کارآفرینی و قابلیت های پویا بر عملکرد شرکت با نقش میانجی گری دوسوتوانی. مدیریت نوآوری در سازمان های دفاعی، سال ۲، شماره ۳، ۱۱۹-۱۴۲.
۲۸. حسینی مقدم، م. ر. و حجازی، ر. (۱۳۹۳). تأثیر گرایش کارآفرینانه بر عملکرد بانک ها با متغیر میانجی بازرگاری. فصلنامه توسعه کارآفرینی، دوره ۷، شماره ۲، ۲۱۱-۲۲۹.
۲۹. دیانتی دلمی، ز. و پورچنگیز، م. (۱۳۹۳). بررسی تأثیر بکارگیری مدل مدیریت کیفیت جامع بر روند عملکرد مالی شرکت. پژوهش های مدیریت در ایران، دوره ۱۸، شماره ۳، ۱۱۳-۱۳۱.
۳۰. کریمی، آ. و رحمانی، س. (۱۳۹۴). تأثیر گرایش کارآفرینانه بر عملکرد کسب و کارها با میانجی گری فرآیند خلق دانش. ابتکار و خلاقیت در علوم انسانی، دوره ۵، شماره ۳، ۱۷۱-۱۴۳.
۳۱. مبارکی، م.ح.، زالی، م.ر.، عبدالوهاب، س. و مقیمی اسفندیاری، ح. (۱۳۹۱). اثر گرایش کارآفرینانه بر اساس مدل لامپکین و دس بر عملکرد شرکت های بیمه خصوصی در ایران. پژوهشنامه بیمه، سال ۲۷، شماره ۳، ۷۱-۹۵.
۳۲. نصراللهی، م.، فتحی، م.ر. و نظری، ح. (۱۳۹۶). بررسی تأثیر مدیریت کیفیت جامع بر عملکرد مالی شرکت های صنعتی البرز استان قزوین: نقش میانجی قابلیت یادگیری سازمانی و نوآوری. بررسی های بازرگانی، دوره ۱۴، شماره ۸۱، ۴۳-۶۲.
33. Al-Dhaafri, H.S. & Al-Swidi, A. (2016). The impact of total quality management and entrepreneurial orientation on organizational performance. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 33(5), 597-614.
34. Muthe'n, L. K., & Muthe'n, B. O. (1998–2017). *Mplus user's guide* (8th ed.). Los Angeles, CA: Author.
35. Rezaei, J. & Ortt, R. (2018). Entrepreneurial orientation and firm performance: the mediating role of functional performances. *Management Research Review*, 41(7), 878-900.
36. Sadikoglu, E. & Zehir, C. (2010). Investigating the effects of innovation and employee performance on the relationship between total quality management practices and firm performance. *International Journal of Production Economics*, 127(1), 13-26.
37. Thai, V. & Jie, F. (2018). "The impact of total quality management and supply chain integration on firm performance of container shipping companies in Singapore". *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 30(3), 605-626.

## مدیریت کیفیت جامع قرن بیست و یکم: پارادایم تکوینی

# T Twenty-first century Total Quality Management: The Emergence Paradigm

### چکیده:

هدف این مقاله ارائه چارچوب یک پارادایم چهارم در حوزه مدیریت کیفیت است زیرا سه پارادایم فعلی، دیگر برای درک آنچه که در گذشته رخ داده و درک آنچه در حال حاضر در حال رخ دادن است و آنچه که در آینده نیازمند خواهد بود، کافی نیستند. در پژوهش حاضر یک بررسی ادبیات‌محور بر روی دیدگاه‌های مختلف مدیریت کیفیت انجام شده است. اصول زیربنایی به سه پارادایم کیفیت منجر شده است. این ادبیات در مورد مدل‌های چهارگانه برای تعیین سه پارادایم موجود و شناسایی ویژگی‌های احتمالی پارادایم چهارم، مورد بررسی قرار گرفته است. می‌توان چهار پارادایم کیفیت در مدیریت کیفیت را تشخیص داد: پارادایم تجربی، پارادایم مرجع، پارادایم انعکاسی و پارادایم تکوینی. استفاده از این پارادایم‌ها با توجه به زمینه هدف، متفاوت است. آن‌ها با هم یک مفهوم به نام مدیریت کیفیت جامع را تشکیل می‌دهند. در حال حاضر، پارادایم تکوینی به اندازه کافی مورد توجه قرار نگرفته است، اگرچه ممکن است بهترین تجویزات برای یافتن روش‌های جدید کار برای سازمان‌ها در زمینه فعلی باشد. در مرور ادبیات، نویسندگان از پایگاه داده هفت مجله را انتخاب کردند که عبارتند از: مدیریت کیفیت جامع (مدیریت کیفیت جامع و برتری تجاری)، آکادمی مدیریت بررسی؛ مدیریت تولید و عملیات؛ دینامیک‌های سازمانی؛ مرور کسب‌وکار هاروارد؛ بررسی مدیریت اسلون و رفتار و عملکرد سازمانی. در حالت جستجوی پیشرفته، نویسندگان به دو موضوع ورود کردند: مدیریت کیفیت و پارادایم. نتایج انتخاب شده (در مجموع ۲۸۹ مقاله) برای آمادگی برای پاسخ به موضوعات فوق مورد بررسی قرار گرفتند. این امر منجر به انتخاب ۶ مقاله شد که در پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. پارادایم تکوینی می‌تواند بیشتر در کاربرد آن برای مدیریت کیفیت در سازمان‌ها در زمان تغییر جدید مورد بررسی قرارگیرد. در این‌جا چند دیدگاه اولیه ارائه شده است. پارادایم تکوینی می‌تواند فراتر از حوزه مدیریت کیفیت تأثیرگذار باشد. این مقاله بینش‌های جدیدی را در ماهیت مدیریت کیفیت در زمان‌های تغییر و وضوح در قابلیت استفاده از ایده‌ها و ابزارهای چهار پارادایم متفاوت در قرن بیست و یکم ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: مدیریت کیفیت جامع، زمینه، تغییر جدید، تعریف کیفیت، پارادایم کیفیت، چشم‌انداز کیفیت

نوع مقاله: ترجمه

احسان مسعودی<sup>۱</sup>، قاسم بهرامی‌کیا<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد، گروه پژوهش مدیریت کیفیت دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

۲- دکترای تخصصی، مربی، دکترای مدیریت بازرگانی، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، ایران

ایمیل نویسندگان و عهده‌دار مکاتبات:

1- \*ehsanma74@yahoo.com

2- g\_bahramikia@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۴

مدیریت: مدیریت کیفیت جامع قرن بیست و یکم ... ۱۰۱

## ۱- مقدمه

مدیریت کیفیت از زمان پیدایش خود به شدت پیشرفت کرده است. برخی تاریخ پیدایش حوزه مدیریت کیفیت<sup>۱</sup> را در زمان فراغنه مصر قرار داده‌اند. با این حال، بیشتر اوقات گفته می‌شود که مدیریت کیفیت مدرن با مدیریت علمی آغاز شده‌است و در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم پیشرفت داشته‌است. در سال ۱۹۴۶، انجمن کنترل کیفیت آمریکا<sup>۲</sup> که بعدها انجمن کیفیت آمریکا (ASQ)<sup>۳</sup> نامیده شد تأسیس<sup>۴</sup> گردید که جلودار جنبش کیفیت بوده‌است. در سال ۱۹۵۶، پنج کشور اروپای غربی (فرانسه، ایتالیا، آلمان غربی، هلند و انگلستان) یک سازمان مشابه اروپایی برای کیفیت تأسیس کردند (EOQ) که در آن زمان سازمان کنترل کیفیت<sup>۵</sup> نامیده می‌شد. در دهه ۱۹۵۰، استانداردهای ایزو<sup>۶</sup> نیز توسعه یافتند. در دهه بعدی، مدل‌های کیفیت مانند مدل جایزه مالکوم بالدريج<sup>۷</sup> و مدل تعالی EFQM<sup>۸</sup> طراحی شدند. ادغام در نظر گرفته‌شده بین EFQM و EOQ شکست خورد. سپس در نظام بهداشت و درمان<sup>۹</sup> و آموزش عالی<sup>۱۰</sup>، سیستم‌های بازبینی و اعتبارسنجی یکسانی معرفی شدند. برای توضیح آنچه که دانشمندانی مانند هاردیونو (۱۹۹۵)، جوزلین دی نوری (۲۰۰۴)، شیبای و والدن (۲۰۰۶) و وینکنبورگ (۲۰۰۶) استدلال‌هایی را بیان کردند که تفاوت بین ایزو، EFQM و وضعیت موجود در نظام بهداشت و درمان را می‌توان به‌عنوان یک تفاوت در طرز فکر درک کرد که برخی آن را تفاوت در پارادایم می‌گویند. ون کمند (۲۰۱۰)، ۲۰۱۴ (a, b) مقایسه‌ای از طرز فکری که در آن زمان مطرح شده‌بود انجام داد. ما اکنون آن‌ها را پارادایم تجربی<sup>۱۱</sup>، پارادایم انعکاسی<sup>۱۲</sup> و پارادایم مرجع<sup>۱۳</sup> می‌نامیم. هر پارادایم چشم‌انداز خود را در تعریف کیفیت دارد. در گذشته چیزهای زیادی درباره کیفیت گفته شده‌است. متخصصان مشهور کیفیت مانند جوران و همکاران (۱۹۷۴)، کرازبی (۱۹۷۹)، فیگنباوم (۱۹۸۶) و دمینگ (۱۹۸۶) همگی در این بحث شرکت داشته‌اند. هم‌چنین در مقالات افرادی مانند گاروین (۱۹۸۴)، هاروی و گرین (۱۹۹۳)، ریوز و بدنر

(۱۹۹۴) و کونتی (۲۰۰۶) مفهوم کیفیت به‌طور کامل مورد بحث قرار گرفته‌است و البته بسیاری از کارشناسان کیفیت در جستجوی کیفیت خود به رابرت پرسینگ (۱۹۷۴) و کتاب‌هایش به اسامی "ذن و هنر تعمیر و نگهداری موتور"<sup>۱۴</sup> یا کتاب "لی لا" اثر پرسینگ (۱۹۹۱) اشاره کرده‌اند. بیشتر اوقات بیان می‌شود که یک تعریف از کیفیت وجود ندارد. کیفیت مفهومی مبهم و تیره است. کیفیت در چشم بیننده قرار دارد. بهترین کاری که می‌توانید انجام دهید این است که در مورد آن صحبت و بحث کنید. تغییرات کیفیت در طول زمان تغییر می‌کند و باید در یک زمینه جدید تعریف شود. از آن جایی که تعریف کیفیت به شرایط وابسته است مدیریت کیفیت نیز به روش‌ها، ابزارها و روش‌های تفکر مختلفی نیاز دارد. ظهور و سقوط مدیریت علمی، توسعه مدل‌های کیفیت، شکست ادغام بین EFQM و EOQ و دیدگاه‌های مختلف در مورد کیفیت را می‌توان با سه پارادایم کیفیت توضیح داد. با این حال، برخی رویدادها را نمی‌توان درک کرد و با این مفاهیم توضیح داد. چگونه ممکن بوده‌است که مدیریت کیفیت در ژاپن پس از جنگ جهانی دوم بسیار موفقیت‌آمیز باشد، با این حال دمینگ و جوران در ایالات متحده بدون چنین موفقیت‌هایی فعال بودند؟ چگونه می‌توانیم روند توسعه کنونی را توضیح دهیم، مثلاً در نظام بهداشت و درمان، چگونه در آن ابزارها و روش‌های تمام پارادایم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند؟

بحث در یک آکادمی هلندی برای کیفیت، منجر به بینش‌های جدیدی شد. در میان سایرین، وینکنبورگ (۲۰۰۷)، ۲۰۱۰، ۲۰۰۹، ۲۰۱۳، ون کمند و هاردیونو (۲۰۱۱) و وان اسپچجندل و ون کمند (۲۰۱۱) در این بحث شرکت کردند. نتیجه این شد که یک پارادایم چهارمی مورد نیاز است. در این مقاله، ما سفر خود را در جستجوی این پارادایم چهارم بر اساس استنتاج از محدوده مدل‌های چهارگانه از ولبر (۲۰۰۰) و هاردیونو (۱۹۹۵)؛ مدل Sqeme از ون ولزن و همکاران (۲۰۰۲)؛ و Cynefin (اسنودن، ۱۹۹۹) ارائه می‌کنیم. ما پارادایم تکوینی<sup>۱۵</sup> را پیدا کردیم. در این

1. Quality Management 2. American Society for Quality Control 3. American Society for Quality 4. European Organisation for Quality  
5. European Organization for Quality Control 6. ISO standards 7. Malcolm Baldrige Award Model 8. EFQM Excellence Model 9. Healthcare  
10. Higher Education 11. Empirical Paradigm 12. Reflective Paradigm 13. Reference Paradigm 14. Zen & Art of Maintenance of Motorcycle 15. Emergence Paradigm  
نشریه صنعت لاستیک ایران / سال ۲۵ / شماره ۱۰۱ / بهار ۱۴۰۰



۱- آغاز قرن بیستم: دوره بازرسی؛

۲- ۱۹۳۰ تا ۱۹۵۰: دوره کنترل کیفیت؛

۳- ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰: دوره تضمین کیفیت؛ و

۴- ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰: دوره کیفیت جامع.

او می‌گوید، هریک از این دوره‌ها با رویکردی خاص، مفاهیم، روش‌ها و منابع خاصی مشخص می‌شوند. همچنین هدف مدیریت کیفیت متفاوت است. در هنگام بازرسی، مقصود، تشخیص عیب و نقص است؛ در دوران کنترل کیفیت، هدف، ماهرشدن در کنترل کیفیت محصول نهایی است؛ در دوره تضمین کیفیت، مقصود ساخت دائمی کیفیت متوسط و نهایی است و در دوره کیفیت جامع، هدف، مدیریت جهانی کیفیت در فعالیت‌ها و محصولات است. مضمون دوره، از واکنش، تنظیم مقررات، پیشگیری و اقدام حرفه‌ای می‌آید. این به صحبت‌های گاروین (۱۹۸۴) نزدیک است که به‌عنوان آخرین دوره کنترل کیفیت استراتژیک<sup>۱</sup> نامیده می‌شود. دلگارد (۱۹۹۹) مشخص کرد که مراحل گاروین و همل از نظر فرهنگی تعیین شده‌اند. دلگارد (۱۹۹۹) در مورد فازها و مراحل توصیف توسعه مدیریت کیفیت در ژاپن صحبت کرد.

۱- مرحله اول: از اواسط دهه ۱۹۴۰ تا اوایل دهه ۱۹۶۰: وارد

کردن / پذیرش / یادگیری؛

۲- مرحله دوم: از اوایل دهه ۱۹۶۰ تا اوایل دهه ۱۹۷۰: دریافت/

اجرا / تطبیق (ژاپنی شدن: ایجاد ارتباط با شرایط محلی)؛

۳- مرحله سوم: از اوایل دهه ۱۹۷۰ تا دهه ۱۹۹۰: تسلط و

توسعه بیشتر و صادرات مدل ژاپنی مدیریت کیفیت به کشورهای

دیگر.

دلگارد (۱۹۹۹) تغییری در مفهوم کیفیت مشاهده کرد. در

مرحله اولیه، مفهوم کیفیت مربوط به محصولات بود و درجه

انطباق با استانداردهای تخصصی مورد توجه اصلی بود. به تدریج،

اصطلاح جوران<sup>۲</sup> "مناسب برای استفاده" از اهمیت بیشتری برخوردار

شد و بعدها، کیفیت به معنای برآورده کردن نیازهای مشتریان

تغییر کرد. "جلسه الزامات"<sup>۳</sup> به "رضایت مشتریان" تغییر یافت و

جا ما چارچوب این پارادایم را ارائه می‌کنیم. ما فکر می‌کنیم راهی پیدا کرده‌ایم که روشن کند چرا گاهی اوقات بحث‌های مربوط به کیفیت که ما انجام می‌دهیم منجر به اجماع و یا حتی درک متقابل نمی‌شود. آینده‌نگر بودن این پارادایم جدید می‌تواند به سازمان‌ها کمک کند تا با محیط پیچیده‌ای که سریع در حال تغییر است، در دوران مدرن جواب‌گویی ما باشد. در پاراگراف آخر، ما نشان می‌دهیم که چگونه پارادایم تکوینی می‌تواند در عمل اعمال شود. بخشی از تحقیقات ما این است که متوجه شدیم که دچار سوءتفاهمی شده‌ایم و دمنینگ و پرسینگ بیشتر به اشتباه درک شده‌اند. و چرا شش سیگما<sup>۴</sup> و ناب<sup>۵</sup> نباید هم‌زمان با یکدیگر به کار برده شوند. در پاراگراف‌های بعدی، ما ابتدا در مورد توسعه مدیریت کیفیت و پارادایم‌های مختلف که در تئوری مدیریت کیفیت و عمل‌ها استفاده شده‌اند، نگاهی می‌اندازیم. این منجر به توصیف سه الگوی کیفیت می‌شود. در عصر جاری با تغییر دائمی و سریع، پارادایم جدید چهارمی نیز مورد نیاز است. در جستجوی پارادایم چهارم، ما یک پارادایم تکوینی را پیشنهاد و توصیف می‌کنیم که به نظر ما، تاکنون به اندازه کافی مورد توجه قرار نگرفته است.

## ۲- نگاهی به توسعه مدیریت کیفیت

### ۱-۲- مدل‌ها، دوره‌ها و مراحل

توافق کمی در مورد وجود پارادایم‌های کیفیت وجود دارد، چه

برسد به این‌که پارادایم‌ها را تعریف کرد. بسیاری از دانشمندان از

استفاده کلمه پارادایم اجتناب می‌کنند. اسپنسر (۱۹۹۴) و چافی

(۱۹۸۵) سه مدل استراتژی را ذکر کردند. آن‌ها هر دو به تمایز بین

مکانیسم، ارگانیزم و مدل جامعه فرهنگی اشاره می‌کنند. گولین

(۱۹۹۴) سه مدل مدیریتی به نام‌های مدیریت علمی<sup>۶</sup>، روابط

انسانی<sup>۴</sup> و تحلیل ساختاری<sup>۵</sup> را تشخیص داد. او مدیریت کیفیت

جامع<sup>۶</sup> را یک مدل ترکیبی مبتنی بر تمام این تأثیرات نامید.

همل (۱۹۹۷) چهار دوره بزرگ را از ابتدای قرن بیستم تا دهه

۱۹۸۰ درباره مدیریت کیفیت توصیف کرد:

1. Six Sigma 2. Lean 3. Scientific Management 4. Human Relations 5. Structural Analysis 6. Total Quality Management(TQM)  
7. Strategic Quality Management 8. Meeting Requirements

در دهه ۱۹۸۰ دارد که با پیشرفت‌های اخیر مانند شش سیگما، نگهداری تولید جامع<sup>۵</sup>، تفکر ناب<sup>۶</sup> و غیره افزایش می‌یابد. مدیریت کیفیت جدید دغدغه‌چندانی برای کاهش تدریجی تغییرات روزمره در سازمان به منظور اطمینان از تأثیرگذاری در پاسخ‌گویی به بحران‌ها و زمانی که اتفاقی رخ می‌دهد، ندارد.

هلموند (۲۰۰۷) چهار حوزه مدیریت کیفیت را ارائه کرد: تولید، خدمات، روابط و شبکه. در حوزه روابط، کیفیت در تعاملات و فرآیندهای مشترک بین شرکت‌ها قرار دارد نه در فرآیندهای داخلی، محصولات و یا در برخورد با مشتریان. ارتباط نزدیک با در نظر گرفتن روابط فردی با اهمیت این است که مجموعه‌ای از شرکت‌های مرتبط را در نظر بگیریم؛ یعنی شبکه‌ای که به‌عنوان حوزه‌ای که مزیت رقابتی و کیفیت یک شرکت در آن شکل می‌گیرد. جالب‌تر ایده گلچین این نویسندگان (روزمن و ویلسون ، ۱۹۹۱؛ گولین، ۱۹۹۴؛ آلن ، ۱۹۹۸) است: مدیریت کیفیت با استفاده از ابزارها و روش‌های مختلف در یک زمان است.

مرور ادبیات بالا، افکار و ایده‌های متفاوتی را درباره مدل‌ها، دوره‌ها و مراحل مدیریت کیفیت به ما می‌دهد. در این تحقیق تعریف و بررسی خاصی از بازه زمانی مورد استفاده توسط همل (۲۰۰۷) و دلگارد (۱۹۹۹) وجود ندارد. هدف از مرور ادبیات یافتن ویژگی‌های پارادایم‌های مختلف در مدیریت کیفیت بود.

## ۲-۲- پارادایم‌ها

برخی از دانشمندان در واقعیت از کلمه پارادایم استفاده می‌کنند. آلن (۱۹۹۸) چهار پارادایم تحقیقی را برای انجام تحقیقات در مورد مدیریت کیفیت توصیف کرد: اثبات‌گرایی، تفسیرگرایی، تحقیقات عملی و گلچینی. گلچینی به این معنی است که در مدیریت کیفیت هیچ پارادایمی نمی‌تواند تمام پارامترهای سوال پژوهشی را که ممکن است مطرح شود، مورد بررسی قرار دهد. او به روزمن و ویلسون (۱۹۹۱) اشاره کرد که یک تحقیق مشهور در زمینه مدیریت کیفیت به اسم "گلچین‌کننده بی‌شرمانه"<sup>۱</sup> انجام دادند.

در حال حاضر "رضایت مشتریان" به "شادکردن مشتریان" تغییر کرده‌است. در این روند در حال تغییر، موضوعات مفهوم کیفیت نیز از ویژگی‌های ملموس محصولات به هر چیزی که برای مشتری ملموس و غیرملموس است تغییر کرده‌است.

مارتنسن و دلگارد (۱۹۹۹) خواستار "رویکرد جدیدی" در مدیریت کیفیت هستند. آن‌ها دریافتند که هشت معیار جزئی در هنگام ایجاد استراتژی‌ها و برنامه‌های نوآورانه در سازمان‌های خلاق و یادگیرنده مرتبط هستند. این می‌تواند در یک سیکل دوحلقه‌ای برنامه‌ریزی انجام مطالعه اقدام توسعه<sup>۱</sup> داده‌شود. حلقه اول نشان‌دهنده حلقه استراتژی و دومی حلقه فرهنگ است. تریوسکی و همکاران (۱۹۹۹) سه "رویکرد عملی" را پیشنهاد کردند که سازمان‌ها برای اجرای مدیریت کیفیت از آن استفاده می‌کنند: رویکرد مبتنی بر استانداردها<sup>۲</sup>، رویکرد معیار- جایزه<sup>۳</sup> و رویکرد عنصری<sup>۴</sup> (که شامل ایده‌های زیادی است که توسط مشاوران و کارشناسان در این حوزه ترویج داده می‌شوند).

وایتینگتون (۲۰۰۰) چندین نظریه در مورد استراتژی را از پنج دهه گذشته با هم ترکیب کرد و آن‌ها را به چهار دیدگاه در مورد استراتژی دسته‌بندی کرد: کلاسیک، فرآیندی، تکاملی و دیدگاه سیستمی.

دراکر (۲۰۰۰) در قرون اخیر تغییر از نیروی کار دستی به اقتصاد ماشین محور و هم‌اکنون به سمت جامعه دانش‌محور و اقتصاد را مشاهده کرد. امروزه مردم مهمترین سرمایه در یک شرکت هستند. این در راستای ایده‌های کونتی (۲۰۰۶) است که بیان داشت روابط انسانی و اجتماعی مهم‌ترین جنبه برای تعالی سازمانی هستند. ویلیامز و سایرین (۲۰۰۶) این استدلال را مطرح کردند که دو نوع مدیریت کیفیت "قدیمی" یا مدیریت کیفیت کلاسیک و مدیریت کیفیت "جدید" وجود دارد. مدیریت کیفیت کلاسیک مبتنی بر پیش‌گیری از نقص‌ها، کاهش ضایعات، بهبود کارایی عملیاتی، کاهش تنوع و غیره است و از طیفی از رویکردها، سیستم‌ها، ابزارها و تکنیک‌ها استفاده می‌کند. آن ریشه در تفکر مدیریت کیفیت

1. Plan-Do-Study-Act Cycle 2. Standards-Based Approach 3. Prize-Criteria Approach 4. Elemental Approach  
5. Total Productive Maintenance 6. Lean Thinking 7. Shamelessly Eclectic

منطقه اشتیاق) را تشخیص دادند که می‌تواند باعث تحریک و یا مانع برای رقابت شود.

همچنین مگوئند (۲۰۰۶) "حرکت به سمت یکپارچگی بیشتر بین سیستم‌های مبتنی بر تحلیل و رویکرد مهندسی آماری به کیفیت و رویکرد روابط انسانی مبتنی بر روانشناسی" را پیش‌بینی کرد.

لای و همکاران (۲۰۰۹) اظهار داشتند که مهم است که یک دیدگاه یکپارچه از تئوری سازمانی و دیدگاه مبتنی بر منابع از شرکت ترسیم شود تا بهبود کیفیت توضیح داده‌شود. مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد که بهبود کیفیت، به واسطه شایستگی‌های اصلی، مانند سرمایه انسانی خود تقویتی، میانجی‌گری می‌شود که بر پایه یک موسسه اثری مبتنی بر اعتماد شناختی است. برای موفقیت یک نهاد موثر، ما پیشنهاد می‌کنیم که صرفاً تمرکز بر یک سیستم نهادی نظارتی یا هنجاری، کافی یا مناسب نیست. یک شرکت نیاز به تمرکز بر یک سیستم نهادی شناختی برای ایجاد یک محیط سازمانی بر پایه اعتماد دارد.

در مرور ما سه دیدگاه که عمیق تر وارد این موضوع می‌شوند را پیدا کردیم: بک و کوآن و سیستم‌های ارزش دینامیک اسپیرال<sup>۲</sup>، جوزلین دی نوری و انقلابش<sup>۳</sup> و مدارس وینکنبورگ.

بک و کوآن و سیستم‌های ارزشی آن‌ها: بک و کوآن (۲۰۰۰) تقسیم بندی کرده‌اند که مردم به سیستم ارزش یا الگوهای رفتاری فکر می‌کنند. در اصل آن‌ها سیستم‌های ارزش بیشتری را توصیف کردند، اما ما توصیف خود را در این جا به پنج اصل محدود می‌کنیم:

- ۱- نیروی صداقت، تمرکز بر قدرت، اخلاقیات، قوانین و سنت؛
- ۲- تحریک به تلاش کردن، تمرکز بر موفقیت، رشد، مصرف‌گرایی و فرصت‌ها؛
- ۳- پیوند انسانی، تمرکز بر جامعه، اصالت، اشتراک گذاری و مراقبت؛
- ۴- جریان انعطافی، تمرکز بر روی سیستم‌ها، سازماندهی خود، شبکه‌سازی.

یئونگ و همکاران (۲۰۰۶) به این نتیجه رسیدند که مدیریت کیفیت جامع یک پارادایم جدید نیست. فرضیه این است که مدیریت کیفیت جامع صرفاً انعکاسی از شیوه‌های مدیریت کیفیت نیست و صرفاً از فرهنگ‌های متمایزکننده و پارادایم‌هایی که منجر به عملکرد منحصر به فرد می‌شود، پشتیبانی نمی‌شود.

با این حال، بیشتر تحقیقات از دهه ۱۹۹۰ تاکنون موافقت از زمانی که مدیریت کیفیت جامع پیاده‌سازی شده‌است، ماقطعا باید یک تغییر پارادایم انجام دهیم. این کار توسط دیگر متخصصان کیفیت حمایت می‌شود. به گفته هاردیونو (۱۹۹۹): "می‌توان یک خط تقسیم دقیق را از طریق دنیای مدیریت کیفیت بین دقیق بودن و قابلیت انعطاف ایجاد کرد." او EOQ و ASQ را به عنوان بخشی از "دقیق بودن" و مدیریت کیفیت جامع مثل EFQM را بخشی از "قابلیت انعطاف" در نظر گرفت. این دو نمی‌توانند به آسانی با هم ترکیب شوند. عدم ادغام بین EOQ و EFQM از این واقعیت ناشی شد که هر دو به پارادایم‌های متفاوتی تعلق داشتند. بسیاری از مقالات مورد مطالعه نشان دادند که تغییر پارادایم از "سخت" به مفاهیم و مهارت‌های "نرم" در مدیریت کیفیت وجود دارد. به عنوان مثال، این مسأله توسط کونتی و سایرین (۲۰۰۳) و اوکلند (۲۰۰۵) حمایت می‌شود. وادل و مالن (۲۰۰۱) تکامل مدیریت کیفیت را از ریشه بسیار منطقی و کاملاً آماری خود تا تمرکز اخیر بر روی مفاهیم "نرم" مانند توانمندسازی کارکنان و مشارکت مشاهده کردند. آن‌ها ظهور یک پارادایم کیفیت جدید را ذکر کردند که در آن کیفیت باید به عنوان ارزشی بین همه سازمان باشد: کیفیت، یک شیوه زندگی.

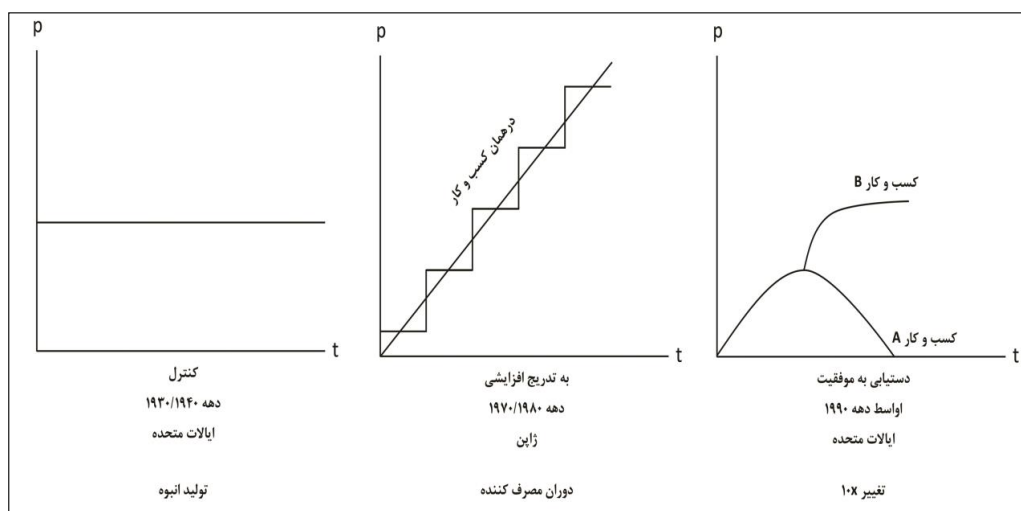
بعدها براچ و قوشل (۲۰۰۳) اظهار داشتند که به مدت ۵۰ سال عملکرد و تئوری مدیریت یک رویکرد فنی و تحلیلی را اتخاذ کرده‌اند که در آن نقش عوامل به اصطلاح نرم، مانند احساسات و هیجانات، تا حد زیادی رد شده‌است. حالا نقشی که احساسات در شکل‌دادن رفتار شرکت دارد تأیید می‌شود. آن‌ها چهار انرژی سازمانی (منطقه راحتی، منطقه تسلیم، منطقه پرخاشگری و

1. Precise 2. The Pliable 3. Beck and Cowan and their Spiral Dynamics 4. Jouslin de Noray and his revolutions

(۵) دید کلی، تمرکز بر کل گرایی، کیهان (گیتی و نظام آن)، معنویت. ون کمند (۲۰۱۴a)، که حرف‌هایش عمدتاً براساس بک و کوآن استوار است، آینده‌ای از کیفیت را پیش‌بینی کرد که در آن، زمینه مهم‌ترین عنصر است. هم‌چنین لالوکس (۲۰۱۴)، دینامیک اسپیرال را بر روی سازمان‌ها اعمال کرد. او خواستار یکپارچگی، گوش دادن به هدف و خودمدیریتی بود. رهبر آینده نمی‌گوید کجا باید برویم، اما به جایی که سازمان می‌خواهد برود گوش می‌دهد. هیچ فرمان و کنترلی وجود ندارد، اما احساس و پاسخ وجود دارد. جوزلین دی نوری و انقلاب هایش: در می و سپتامبر ۲۰۰۴، جوزلین دی نوری مقاله‌ای را به ترتیب در کپنهاگ و مسکو تحت عنوان "تئوری و فنون تغییرات دست‌یافتنی" ارائه کرد. با توجه به گفته‌های جوزلین دی نوری، جنبش کیفیت، همان‌طور که ما

جدول ۱- چهار دوران در مدیریت کیفیت براساس دیدگاه جوزلین دی نوری (۲۰۰۴)

| رسیدن به ضروریات       | پیشرفت غیرمنتظره  | بهبود مستمر                | کنترل                  |
|------------------------|---|----------------------------|------------------------|
| منطق                   | غرور در پیروزی  | گوش دادن                   | اعتماد به ناشناخته     |
| قرارداد                | چالش  | اکتشاف                     | از دست دادن کنترل      |
| ضمانت                  | موفقیت  | رویا                       | اهداف غیرقابل تصور     |
| مطابقت داشتن           | کار تیمی  | پذیرا بودن                 | صلح در جامعه با دیگران |
| رضایت از کار انجام شده | اطمینان حاصل کنید و موفقیت را بررسی کنید آن‌چه را که اتفاق می‌افتد احساس کنید به خاطر این‌که در صلح، اعتماد و احساس | و گوش فرا دهید             | آرامش می‌کنید          |
| حفاظت                  |   | شور و شوق رسیدن به یک رویا |                        |
| تهدید                  |   |                            |                        |
| بدون ابتکار عمل        |   |                            |                        |
| حرکت سنجی              |   |                            |                        |



شکل ۱- سه پارادایم براساس دیدگاه شیبا و والدن

#### 1. Theory and techniques on breakthrough change

ویژگی‌ها و پیشگامان آن‌ها آشنا کرد. ما تعریف کیفیت، تفکر، تمرکز، هدف، مسئله و راه‌حل آن را مطرح می‌کنیم و بوسیله ابزارهایی که از آن استفاده می‌کنیم، توانایی‌های سازمانی، علوم غالب، رهبری مورد نیاز و خطرات پارادایم را تعریف می‌کنیم. پارادایم‌ها در دیدگاه‌های وایتینگتون (۲۰۰۰) و منطق فریدسون (۲۰۰۱) به‌طور آهسته در حال پیشروی است. هر پارادایم در یک استعاره توصیف می‌شود.

### ۳-۱- پارادایم تجربی

#### کیفیت، سازگاری با الزامات است

در طول دهه ۱۹۲۰ قرن گذشته، رویکرد سیستماتیک مدیریت کیفیت شروع به کار کرد. در آغاز، مشخصه اصلی این پارادایم کیفیت، تمرکز بر محصول نهایی بود. وقتی تولید انبوه رایج شد، بازرسی هریک از محصولات، بیش از حد پرهزینه بود. با کمک کنترل فرآیند آماری، نمونه برداری به عنوان یک روش بازرسی کیفی در دسترس قرار گرفت. ASQ و EOQ از آن دوران نشأت می‌گیرند و تحت سلطه آن چیزی هستند که ما آن را پارادایم تجربی می‌نامیم. پارادایم تجربی نام خود را از روش خود استخراج می‌کند. دانش در مورد واقعیت، بوسیله تجربه در اکنون و در حال حاضر و بوسیله ادراک حسی به دست می‌آید. این بر پایه شواهد است. دانش کیفی دارای ویژگی‌های قابل مشاهده جنبه‌هایی از موجودیت‌ها، مانند محصولات، خدمات و فرآیندها است. پارادایم

وینکنبورگ و مدارسش: وینکنبورگ (۲۰۰۶، ۲۰۰۷، ۲۰۰۹، ۲۰۱۳) اظهار داشت که واقعیت را می‌توان در سه حوزه طبیعت، درون انسان و فرهنگ تقسیم‌بندی کرد. مدیریت کیفیت به اندازه کافی به درون تمرکز نمی‌کند، غیرقابل اندازه‌گیری، ذهنی و غیرقابل کنترل است. در ابتدا، براساس سه حوزه از ویلبر (۲۰۰۰)، "من"، "ما" و "آن"، که بعداً توضیح داده خواهد شد، سه مدرسه را تشخیص داد. او در سال ۲۰۰۷ از اصطلاحات آماری، مدیریتی و انعکاسی استفاده کرد. اشیاء متعلق به حوزه "آن" توسط کنترل قابل مدیریت هستند، درحالی‌که حوزه "من" و "ما" را می‌توان از طریق تعهد تحت تأثیر قرارداد. در نشریات بعدی، وینکنبورگ خود را از ویلبر جدا کرد. او سه مدرسه را ذکر کرد و این مدرسه‌ها را مجدداً نام‌گذاری کرد: مدرسه تجربی، مدرسه هنجاری و مدرسه انعکاسی (جدول ۲ را ببینید).

وینکنبورگ (۲۰۱۳) خواهان جستجوی مدرسه چهارم نبود. در بحث خود، او به دنبال رسیدگی به مشکلاتی بود که مدرسه با آن مواجه می‌شود، نشانه‌هایی که با آن مبارزه کند و به دنبال تشخیص و درمان و بهبود آن‌ها بود. او مدرسه را بالاتر از پارادایم ترجیح داد، زیرا مدارس او الزامات تعریف کوهن (۱۹۶۲) از یک پارادایم را برآورده نمی‌کنند.

### ۳- سه پارادایم کیفیت

بررسی ادبیات تاکنون، ما را به توصیف سه پارادایم کیفیت با

جدول ۲- مدارس بر اساس وینکنبورگ (۲۰۰۶، ۲۰۰۷)

| ویلبر (۲۰۰۰)       |                |                                  | وینکنبورگ (۲۰۰۶، ۲۰۰۷)  |                          |           |             |
|--------------------|----------------|----------------------------------|---|--------------------------|-----------|-------------|
| جنبه               | پارادایم       | مشخصه                            | کیفیت   | موجودیت                  | سنجش      | خواسته‌ها   |
| فردی / بیرونی (آن) | پارادایم کنترل | ۱. مدرسه آماری (مدرسه تجربی)     | کیفیت نتایج غیرقابل اجتناب از یک فرآیند کنترل شده است.                    | محصول و فرآیند اولیه     | هدف       | تاثیر درست  |
| داخلی / جمعی (ما)  | پارادایم تعهد  | ۲. مدرسه مدیریتی (مدرسه هنجاری)  | کیفیت حوزه ای است که ماهیت و ویژگی‌های آن مطابق با الزامات است.           | سازمان به عنوان یک سیستم | درون-ذهنی | درست، معتبر |
| داخلی / فردی (من)  |                | ۳. مدرسه انعکاسی (مدرسه انعکاسی) | کیفیت یک رویداد است که در آن قلب لمس شده است و به کیفیت زندگی کمک می‌کند. | گروه و فردی انسانی       | ذهنی      | فقط، معتبر  |

رهبری، دستوری و فنی است. یک استعاره برای این روش تفکر، ارتش است. فریدسون (۲۰۰۱) سه روش سازماندهی را مورد بحث قرارداد: در اصطلاح خود این پارادایم با مدیر کنترل مطابقت دارد. ما پارادایم تجربی را در سیستم‌های کنترل کیفیت می‌شناسیم. خطر الگوی تجربی، دیوان سالاری است.

### ۳-۲- پارادایم مرجع

#### کیفیت برای استفاده مناسب است

با این حال، همه‌چیز را نمی‌توان به راحتی در متر، کیلوگرم، ثانیه یا امپر اندازه‌گیری کرد. یا اگر این کار را بکنید، ماهیت وجود آن را درک نمی‌کنید. زیبایی، عشق، عقل و اعتماد نمونه‌هایی از این هستند؛ و این شامل سازمان نیز می‌شود. برای حل مشکل این مدل‌های کیفیت معیوب، چارچوب‌های مرجعی که در آن معیارها و یا حوزه‌هایی که باید مورد توجه قرار گیرند، طراحی شده‌اند. ما آن را پارادایم مرجع می‌نامیم. این پارادایم واقعیت را به عنوان نقطه شروع نمی‌گیرد (این که چطور است)، بلکه باورهای مربوط به این که واقعیت چگونه باید باشد یا چه چیزی نیاز است را در نظر می‌گیرد (این که چگونه باید باشد). این پارادایم الزامات هنجاری را برای به دست آوردن جایزه نشان می‌دهد. به جای قوانین، دستورالعمل‌ها و مدل‌ها را فراهم می‌کند. مقیاس پارادایم مرجع، گواهینامه‌ها و اعتبارسنجی‌ها را با استفاده از مدل‌هایی نظیر سری ایزو ۹۰۰۰، اعتباربخشی مشترک بین‌المللی کمیسیون درمانی<sup>۱</sup>، کارت امتیازی متوازن<sup>۲</sup>، مدل تعالی EFQM یا جایزه ملی کیفیت مالکوم بالدريج، تأیید می‌کند. جوایز ملی در سراسر جهان برای انگیزه دادن به شرکت‌ها جهت ادامه بهبود، دایر شدند، زیرا بهبود، هدف آن است. دانش کیفیت برای جستجوی قیاسی قابل مشاهده و واقعی جمع‌آوری می‌شود که ثابت می‌کند این سازمان، هنجارها را برآورده می‌کند. از نظر ثنوری، کیفیت می‌تواند به عنوان تناسب برای هدف یا تناسب برای استفاده تعریف شود.

وینکنبورگ (۲۰۰۶) اظهار داشت که آنچه که ما آن را پارادایم

تجربی روی مشکلات واقعی و خاص کار می‌کند. این موارد تکنیکی هستند و می‌توانند توسط علم حل شوند. این در مورد دانش عینی است. دانش استقرایی از طریق اندازه‌گیری جمع‌آوری می‌شود و نتایج عینی آن به مقدار و اعداد بیان می‌شود. پارادایم تجربی بر قوانین تمرکز دارد. کیفیت با الزامات سازگاری دارد.

پارادایم تجربی ثبت و کنترل می‌شود. شعارش این است: اندازه‌گیری برای این است که بدانیم. وینکنبورگ (۲۰۰۶) اظهار داشت که پارادایم تجربی از تنوع فرآیند شروع می‌شود، غیرقابل پیش‌بینی بودن ویژگی‌های محصول و کنترل‌ناپذیری فرآیندهای تولید را به عنوان مشکل خود می‌بیند و به دنبال راه حل در کاهش تغییرات با تعیین علل تغییر و برداشتن این تغییرات است. این اتفاق، با تجزیه و تحلیل آماری متغیرهای فرآیند (SPC)، هفت ابزار، شش سیگما) رخ می‌دهد. با توجه به دیدگاه استراتژیک و ایتینگتون، ما در مورد دیدگاهی کلاسیک صحبت می‌کنیم. آمار و سایر علوم "سخت"، به نفع آن‌ها است. اعتباربخشی بین‌المللی کمیسیون مشترک در این پارادایم و علم پزشکی مبتنی بر شواهد و پروتکل قرار می‌گیرد.

در مدل چهار مرحله‌ای هاردیونو (۱۹۹۵)، کل جذب، هضم و خروج انرژی در سازمان‌ها از طریق چهار شایستگی بیان می‌شود: مواد، تجاری‌سازی، اجتماعی‌شدن و عقلانی بودن. صلاحیت‌هایی که سازمان‌ها برای بقاء نیاز دارند، شایستگی خود را از محیط خود کسب می‌کنند و آن‌ها را به سمت سهام‌داران مستقیم خود (مالکان، سرمایه‌گذاران، اعضاء، پرسنل، شرکای تجاری مانند مشتریان و تأمین‌کنندگان و خزانه‌های مختلف) سوق می‌دهند. انباشت این صلاحیت‌ها به معنای رشد است که به عنوان موفقیت‌آمیز شناخته شده است و در بلندمدت به شانس بقاء کمک می‌کند؛ شایستگی‌های هریک از این سهام‌داران، به عنوان نهادهای خود، نیازمند بقاء و رشد هستند. پارادایم تجربی به طور عمده به صلاحیت مادی علاقمند است. توانایی افزایش، حفظ و بهینگی، از منابع (ابزارهای مالی، تکنولوژی و ابزار مادی) استفاده می‌کند.

1. Seven Tools 2. Commission International Accreditation in Healthcar 3. Balanced Score Card

انعکاسی، افراد و تعاملات و مفاهیم آن‌ها را به مثابه موجودیت آن و دیدگاه جهان‌بینی و توانایی آن‌ها در تفکر، در نظر می‌گیرد. آن عمدتاً در مورد جنبه‌های غیرقابل مشاهده، ذهنی است. بر اساس کتاب ذن و هنر تعمیر و نگهداری موتور، اثر پرسینگ (۱۹۷۴) اغلب به‌عنوان مدرکی مبنی بر عدم کیفیت تعریف می‌شود، اما فقط مورد بحث قرار گرفته‌است. ادعا این است که "کیفیت چیزی نیست، بلکه یک رویداد است" و علم به نفع فلسفه است.

از نظر وایتینگتون (۲۰۰۰)، ما در مورد دیدگاهی فرآیندی صحبت می‌کنیم. یک استعاره برای این پارادایم، مجسمه رودین<sup>۱</sup> با نام "Le penseur" است.

وینکنبورگ (۲۰۰۶) اظهار داشت که چیزی که ما به‌عنوان پارادایم انعکاسی می‌نامیم، «نگرش‌های اشتباه» (جنبه روحی) و «تعاملات بی‌ثمر» (جنبه‌های اجتماعی) به صورت علائم، «خود-نقدی ناکافی» به‌عنوان مشکل (تشخیص) و جست‌وجوی راه‌حل در "مکانیزم جداسازی" (درمان) است. این کار (درمان) توسط سایه‌افکنی، مدل‌سازی، نظر دوم، مصاحبه، زمان صرف‌کردن، داستان (گفتن و گوش دادن) و بحث انجام می‌شود. ما پارادایم مرجع را در ابزاری مثل بازبینی به رسمیت می‌شناسیم که در بخش بهداشت و درمان با استفاده از بازدیدها مورد استفاده قرار می‌گیرد. فریدسون (۲۰۰۱) در مورد منطق سوم صحبت کرد: "حرفه‌ای در کنترل". از نظر مدل چهار فازی هاردیونو، پارادایم انعکاسی به صلاحیت اجتماعی شدن علاقه‌مند است. رهبری محول کردن را به‌عهده می‌گیرد، زیرا حرفه‌ای بهترین کاری که باید انجام دهد را می‌داند. ریسک این پارادایم، تکبر است.

#### ۴- در جستجوی یک پارادایم چهارم

هنوز بسیاری از پرسش‌ها را نمی‌توان درون یکی از این سه پارادایم حل کرد. میلر و جانگمی (۱۹۹۳) گزارش دادند که بسیاری از تلاش‌های مدیریت کیفیت جامع، شکست می‌خورند. آن‌ها به دلایل زیر اشاره کردند: مدیران، کیفیت را برای درگیر کردن همه در

مرجع می‌نامیم، به‌عنوان مشکل (تشخیص) می‌بیند و راه‌حل (درمان) را در رویکرد کلی در همه فرآیندها، تمامی سهامداران و در یک روش متداول (PDCA) دنبال می‌کند. علوم مدیریت از آن طرفداری می‌کند. از نظر وایتینگتون (۲۰۰۰)، ما در مورد دیدگاه تکاملی صحبت می‌کنیم. رهبر مشهور این جنبش، دمینگ بود که در دهه ۱۹۵۰ با تکیه بر ایده‌های PDCA، توسعه یافت. نماینده دیگری از این جنبش، رویکرد کایزن و ایمای<sup>۱</sup> بود.

در مدل چهار فازی هاردیونو، پارادایم مرجع عمدتاً به صلاحیت تجاری علاقه‌مند است که توانایی دسترسی به بازارها و توانایی عمل بر روی آن‌ها را دارد. از نظر فریدسون (۲۰۰۱)، مشتری در کنترل است. یک استعاره برای این شیوه تفکر، یک روبات است. رهبری در پارادایم مرجع، رهبری مربی‌گری است یعنی حمایت‌کننده است. ریسک این پارادایم، "در ناز و نعمت بودن" است.

هنگامی که در دهه ۱۹۹۰ قرن گذشته، تلاش‌های برای ادغام EOQ تجربی با EFQM مرجعی با شکست مواجه شد، گفته شد: آن‌ها از سیارات متفاوتی آمده‌اند.

### ۳-۳- پارادایم انعکاسی

#### کیفیت، ذهنی است

وینکنبورگ (۲۰۰۶) آن‌چه را که ما آن را پارادایم انعکاسی می‌نامیم، معرفی کرد. پارادایم انعکاسی از وجود واقعیت‌های مختلف مانند ادراکات (این چیزی است که من می‌بینم و آن چیزی است که شما می‌بینید)، و تفسیرها (این همان چیزی است که شما فکر می‌کنید و این چیزی است که من فکر می‌کنم) شروع می‌شود. هر کسی واقعیت خودش را دارد که می‌تواند امروز و فردا متفاوت باشد. این الگو به دنبال تفاوت است، آن را آشکار می‌سازد و آن را منعکس می‌کند. دانش استنتاجی با تعریف و گوش دادن به داستان‌ها، مکالمات، جلسات گروهی و مکالمات داخلی، جمع‌آوری می‌شود. این پارادایم انعکاسی و فلسفی این گونه است: چه کاری را به خوبی انجام دادم و چه کاری را اشتباه کردم و چرا؟ پارادایم

1. Imai 2. The Statue of Rodin



سازمان به کار نمی‌برند؛ مشاوران مناسب برای اجرای این سیستم به درستی ارزیابی نشده‌اند، فقدان مشارکت کارکنان؛ شکست رهبری مدیریت با تأکید بیش از حد بر سود و کاهش هزینه نه خدمات به مشتریان؛ ارتباط ضعیف با نیروی‌کاری و مقاومت در برابر تغییر. آصف و همکاران (۲۰۰۹) شاهد شکست مدیریت کیفیت بودند و اظهار داشتند: تدوین برنامه‌های مدیریت کیفیت نیازمند طرحی خاص است که خرید بیشتر توسط کارمندان را ترویج می‌دهد؛ روال‌ها و سازهایی که به‌عنوان حافظه از دانش سازمانی عمل می‌کنند را توسعه می‌دهد و یک فرهنگ مشترک و تربیت یافته را به جای فرهنگ‌های فرعی مختلف پرورش می‌دهد. مصدق راد (۲۰۱۴) در بررسی ادبیات خود درباره شکست مدیریت کیفیت، نتیجه‌گیری کرد که مدیریت کیفیت عملکرد بهتری را هنگامی که یک مدل مناسب از مدیریت کیفیت جامع به طور مناسب در یک محیط حمایتی اجرا می‌شود، ارائه می‌دهد. ون کمند (۲۰۱۵) در کار روزانه خود تجربه کرد که آن‌چه در جهان غرب موثر واقع می‌شود در کشورهایی مثل عمان، نیجریه یا غنا غیر موثر است.

کرازبی (۱۹۹۲) کتاب خود با عنوان "کیفیت برای قرن ۲۱" را با یک سوال به کمال رساند: "ما چه کاری را پس از مدیریت کیفیت جامع انجام می‌دهیم؟" او سیستم مشخصات مدیریت کیفیت (MIL-Q-9858) را با صفحات الزامات برای یک سیستم تضمین کیفیت توصیف کرد. این کار جواب نداد. او ادامه می‌دهد که معیارهای جایزه بالدريج و ایزو ۹۰۰۰ به ۳۰ سال قبل برمی‌گردند. باتوجه به پارادایم‌های ما، این بدان معنی است که پارادایم تجربی و پارادایم مرجع بر اساس دیدگاه کرازبی برای دهه‌های آینده ناکافی هستند. کرازبی به دنبال راه‌حل کامل بودن بود. او سه اصل کامل بودن را تشخیص داد: شما باید باعث موفقیت کارمندانان شوید، زیرا آن‌ها باعث موفقیت تأمین کنندگان و مشتریان می‌شوند. برای اجرای کامل بودن باید با کل به‌عنوان یک فرد رفتار کرد. فرد باید یک فرهنگ مدنظر ایجاد کند، همه چیز را درک کرده و تکمیل

کند، اما تمام نشده‌است. مدیران موفق کسانی خواهند بود که می‌توانند چشم‌انداز درست را ایجاد و اجرا کنند و بهترین عملکرد افراد را در این فرآیند کسب کنند. تا این‌جا، یک نفر می‌توانست استدلال کند، کرازبی اصول و عقایدی را ترویج می‌داد که قبلاً در مدیریت کیفیت جامع انجام شده بود. شاید به همین دلیل بود که او در مورد اصلاحات صحبت می‌کرد، نه یک انقلاب. اینجاست که ما شروع به مخالفت می‌کنیم. کرازبی مدیریت جدیدی را ترویج کرد و آن‌ها را centurions نامید، که افسران رومی بودند که لژیون‌ها را رهبری می‌کردند تا دنیا را فتح کنند. این مدیر باید مانند یک رهبر ارکستر باشد، که اساس کار یک سمفونی خواهد بود. این استعاره‌ها یک رهبر انعطاف‌پذیر، گردن کلفت و چاپک را که ما فکر می‌کنیم قرن بیست و یکم به آن نیاز دارد، را توصیف نمی‌کنند. جالب‌ترین ایده در کتاب "فرهنگ توجه" آمده‌است. کرازبی جمهوری آمریکا را با پیچیدگی قرن بیستم و یکم مقایسه کرد. در حالی که جمهوری آمریکا (و همچنین پارادایم تجربی و پارادایم مرجع) مطابق با الزامات بسیار مهم توصیف شده را در نظر می‌گیرد، سیستم مدیریت جدید الزاماتی را فراهم می‌کند که با همه سیاست‌هایی که با رضایت اداره می‌شوند را درک می‌کند.

دراکر (۱۹۹۸) در هفت فرضیه مدیریت اساسی که برای قرن بیست و یکم خارج از تاریخ ناکارآمد هستند را ذکر کرد:

- ۱- فقط یک راه درست برای سازماندهی یک کسب و کار وجود دارد؛
- ۲- اصول مدیریت فقط برای سازمان‌های تجاری اعمال می‌شود؛
- ۳- یک راه درست برای مدیریت افراد وجود دارد؛
- ۴- تکنولوژی‌ها، بازارها و کاربران نهایی ثابت هستند و به‌ندرت با هم هم‌پوشانی دارند؛
- ۵- حوزه مدیریت به‌طور قانونی به‌عنوان درخواست برای دارایی‌های سازمان و کارمندان تعریف می‌شود؛
- ۶- کار مدیریت این است که "کسب و کار را اداره کنید" نه تمرکز بر روی آن‌چه که در خارج از کسب و کار اتفاق می‌افتد.

ویلبر (۲۰۰۰) دو دوگانگی دیگر را ارائه داد: داخلی و خارجی، فرد و جمعی. او ربع چپ بالا (فردی/درونی) "I" نامید، آنچه که برای جنبه‌های غیر قابل مشاهده افراد (ذهنی) مانند مدیران وجود دارد؛ ربع فوقانی سمت راست (فردی/خارجی)؛ "IT" (عینی) نامید، قابل مشاهده و قابل اندازه‌گیری سازمان‌ها براساس قوانین است. "Its" برای ربع تحتانی راست (بیرونی/جمعی) از جنبه‌های فیزیکی قابل مشاهده مشارکتی است که می‌تواند مربوط به یک مدل (هدف-داخلی) باشد. "We" برای ربع پایین سمت چپ (درونی/جمعی) از جنبه‌های غیرقابل مشاهده مجموعه است. ما می‌توانیم پارادایم انعکاسی را در "داخلی/فردی"؛ پارادایم تجربی را در "خارجی/فردی" و پارادایم مرجع را در "خارجی/جمعی" قرار دهیم. این فضایی را برای یک پارادایم چهارم که بر روی داخلی و جمعی تمرکز می‌کند، بوجود می‌آورد.

#### ۱-۴- پارادایم تکوینی

##### کیفیت تنها می‌تواند برای یک دوره محدود از زمان

##### تعریف شود

پارادایم تکوینی، پتانسیل لازم برای جلوگیری از شکست برنامه‌های مدیریت کیفیت را دارد. این پارادایم کیفیت برای دوره فعلی که مدام در حال تغییر است، مناسب است. تکوین، مفهومی از نظریه سیستم‌ها است. این مربوط به توسعه سیستم‌های پیچیده سازمان‌یافته است که دارای ویژگی‌هایی هستند که با کاهش قطعات سازنده قابل‌رویت نیستند. درحالی‌که برخی از متخصصان با پیشرفت‌هایی در یک زمینه آشنا هستند، مانند هوش مصنوعی، فناوری نانو، داده‌های بزرگ یا ژنتیک، هیچ‌کس در همه‌چیز متخصص نیست. بنابراین هیچ‌کس قادر نیست همه نقاط را متصل کند و تصویر کاملی را ببیند. تکوینی فرآیندی است که در آن ویژگی‌های جدیدی از طریق تعامل بین نهادهای ساده و کوچک وجود دارند که ویژگی‌هایی مانند خودسازمانی در مورچه‌ها<sup>۲</sup> را ندارند. بسیاری از مورچه‌ها در کنار هم یک هوش جمعی به نمایش

۷- مرزهای ملی اکولوژی سازمان و مدیریت را تعریف می‌کنند. دراکر می‌گوید که هر یک از این فرضیات در حال حاضر یا نادرست هستند، یا خارج از تاریخ هستند و یا هر دو. عدم رهاکردن آن‌ها در تغییرات سریع نسبت به واقعیت، می‌تواند باعث شود که کسب‌وکار ما دوباره به دست و پا زدن بیفتد. او خواستار یک پارادایم جدید مدیریت شد. همچنین حمل (۲۰۰۷) در کتابش به نام "آینده مدیریت"<sup>۱</sup> این دیدگاه را پذیرفت، که تغییر در پارادایم مدیریت ضروری است.

در مقالاتی مانند ون کمند و هاردیونو (۲۰۱۱) و ون کمند و همکاران (۲۰۱۱)، ون کمند (۲۰۱۳، ۲۰۱۴، a، b) و ون اسچیچندل و ون کمند (۲۰۱۱)، بحث شده‌است که یک پارادایم چهارم برای قرن بیست و یکم را می‌توان از جهات مختلفی مورد بررسی قرارداد. در جست‌وجوی ما برای یک پارادایم چهارم که برای دوره تغییرات سریع مناسب است، ما به دنبال این بودیم که چگونه می‌توانیم ظهور مدیریت کیفیت ژاپنی و پیشرفت‌های اخیر در زمینه بهداشت و درمان را توضیح دهیم. در نهایت، ما چهار بعد موجود را بررسی کردیم. ما مطالعات هاردیونو (۱۹۹۵)، Sqeme (ون ولزن و همکاران، ۲۰۰۲) و Cinefyn (اسنودن، ۱۹۹۹) را مورد مطالعه قراردادیم تا ببینیم که چه پارادایم‌هایی مذکوری را می‌توان در چنین چهار ربع قرار داد و مهم‌تر از آن، چه ویژگی‌هایی است که برای ما یک پارادایم چهارم فراهم می‌کند که ما آن را پارادایم تکوینی می‌نامیم. شعار ما این بود: اگر شما سه نفر را بشناسید، شما می‌توانید چهارمی را پیدا کنید. به عنوان مثال، ما در دو ربع اول کمی توضیح خواهیم داد.

هاردیونو (۱۹۹۵) چهار ربعی را طراحی کرد و از دوگانگی استفاده کرد: داخلی و خارجی در مقابل تغییر و کنترل. ما می‌توانیم پارادایم انعکاسی را در ربع کنترل داخلی؛ پارادایم تجربی را در ربع کنترل بیرونی؛ و پارادایم مرجع را در ربع تغییر داخلی قرار دهیم. این، فضایی را برای یک پارادایم چهارم که بر روی بیرونی و تغییر قرار می‌گیرد، بوجود می‌آورد.

تولید کند". کیفیت وجود ندارد، اما ایجاد می‌شود. در این مطالعه، ما بر فضیلت‌ها، اخلاق و ارزش‌های مشترک تکیه می‌کنیم. پرسپیک (۱۹۹۱) در دومین کتابش به نام "لی لا" به خوبی می‌داند که کیفیت چیست. کیفیت یک مفهوم پویا است. او می‌گوید ارزش دارد کتابش را به‌عنوان یک تحقیق درباره اخلاقیات به چاپ برساند. روش تفکر پرسپیک (۱۹۹۱) با پارادایم تکوینی مطابقت دارد. سامرز (۱۹۹۴) اظهار داشت که پرسپیک حتی بیشتر از این‌ها ارائه داده است: "اهمیت کار او این است که مفهوم خاص او از کیفیت، توسعه اصلی و ارزشمندی فلسفه عملگرایانه بودن آمریکا است". پارادایم تکوینی علائم بحران‌هایی مانند ورشکستگی و سوءرفتار اخلاقی را می‌بیند. دیوئی بیان داشت که مشکلات اخلاقی در وضعیتی رخ می‌دهد که به مکان و زمان محدود می‌شود. برای این که بتوانید این مشکلات را درک کنید و آن‌ها را حل کنید باید منشأ را بررسی کنید. ناتوانی برای از عهده برآمدن با تغییرات در زمینه مشکل (تشخیص) است؛ پارادایم تکوینی به دنبال راه‌حلی برای درست کردن فرآیندها، متناسب با زمینه، گاهی پیشرفت یا کشفی مهم یا سازماندهی مجدد کلی (درمان) است. این کار (درمان) با تغییر روشی که ما با آن کار می‌کنیم، توسط شبکه‌ای کردن و ایجاد یک فرهنگ با کیفیت انجام می‌شود. دیوئی گفت: "حقیقت این است که چه چیزی کار می‌کند." یک راه درست برای سازماندهی یک کسب‌وکار وجود ندارد و هیچ راه درستی برای مدیریت افراد یا مدیریت کیفیت وجود ندارد و آن‌چه که امروز کار می‌کند ممکن است فردا کار نکند. آن‌چه در هلند کار می‌کند ممکن است در منطقه

می‌گذارند که هر مورچه به صورت فردی دارای این نیرو نمی‌باشد. این پذیرش بیشتری را توسط کارمندان فراهم می‌آورد و به‌طور مداوم در ارتباط با زمینه فعالیت است، بنابراین طرح‌های خاص زمینه را ارائه خواهد کرد. نظریه سیستم‌ها بر تعامل بین سیستم و محیط آن متمرکز است. لیف ورجن و همکاران (۲۰۱۱) مقایسه‌ای بین تغییر برنامه‌ریزی شده و ناگهانی بودن را انجام دادند (جدول ۳ را ببینید). در پارادایم تکوینی، تفکر سیستمی در تئوری مدیریت کیفیت و اعمال ادغام می‌شود. باروچ و پانسیگنون (۲۰۱۶) خلاصه‌ای از مفاهیم مدیریت کیفیت را از دیدگاه سیستمی ارائه دادند. همچنین باتوجه به دیدگاه‌های استراتژیک و ایتینگتون، ما درباره دیدگاه سیستماتیک صحبت می‌کنیم.

پارادایم تکوینی، مبتنی بر نظریه عمل‌گرایی از جان دیوئی است. قرار دادن پارادایم تکوینی در ابعاد چهارگانه آسان نیست. اما، به ربع ویلبر از مجموعه جمعی/ بیرونی مربوط می‌شود. این تقریباً در مورد هرج و مرجی است که ما به‌طور مداوم باید بین ذهن ایجاد کنیم. پارادایم تکوینی کیفیت را در بحث بین تمامی سهام‌داران تعریف می‌کند، نه فقط مدیر، مشتری یا متخصص زیرا دانستن کیفیت می‌تواند فردا متفاوت باشد. این در مورد تصمیم‌گیری براساس بهترین دانش امروز است که همه‌چیز را با بهترین دانش ما، بررسی کرده‌است. این مربوط به چیزی است که کرازبی (۱۹۹۲) آن را فرهنگ توجه نامیده‌است. کیفیت از دید جان روسکین: "کیفیت هرگز تصادفی نیست. این همیشه نتیجه تلاش هوشمندانه است. حتماً اراده‌ای قوی وجود دارد که یک چیز برتر را

جدول ۳- تغییر برنامه‌ریزی شده در مقابل تغییر ناگهانی براساس دیدگاه لیف ورجن و همکاران (۲۰۱۱)

| تغییر ناگهانی   | تغییر برنامه‌ریزی شده                        |
|---|--|
| نتیجه پیش بینی نشده است                                   | تقریباً همیشه با غیر منتظره بودن، همراه است. |
| راه‌حل، اما توسعه مناسب‌ترین راه‌حل برای سهامداران مربوطه | پیامدها                                      |
| مناسب برای تغییرات فرهنگی                                 | مناسب برای تغییرات ساختاری                   |
| مناسب برای ایجاد ظرفیت سازمانی                            | مناسب برای تغییرات اقتصادی                   |
| مناسب برای پروسه تغییر فرآیندهای هدف کاری                 | مناسب برای ساختار سازمانی جدید               |

این همان چیزی است که در ژاپن با حمایت از غربی‌ها مانند دکتر ادوارد دمینگ انجام شده‌است. ایده‌های دمینگ و ۱۴ اصلش، فراتر از مدیریت کیفیت جامع و پارادایم مرجع می‌روند. او نمی‌خواست بیشتر از ۱۴ اصل را تعریف و طراحی کند. هنگامی که شما به جایزه دمینگ در ژاپن نگاه می‌کنید، می‌توانید ببینید که در مقایسه با جوایز دیگری مانند مدل مالکوم بالدريج و مدل EFQM، تنها هنجارهای محدودی تنظیم شده‌اند. ما فکر می‌کنیم که دمینگ در پارادایم تکوینی به بهترین نحو قرار می‌گیرد و ایده‌های او در آن جا بسیار موفق بوده‌اند زیرا آن‌ها به شیوه تفکر ژاپنی نزدیک بودند. چهار پارادایم در جدول ۴ ارائه شده‌اند.

### ۵- سنجش ناپذیری

سنت مارتین در کاراییب کار نکند. به جای یک سمفونی با یک رهبر ارکستر، ما در مورد یک دسته کوچک موسیقی جاز صحبت می‌کنیم که به طور مداوم در درون این زمینه کار می‌کند. ابزارها می‌توانند چرخه‌های کیفیت، پرسش‌هایی مبنی بر قدردانی و کافه سقراط باشند، درحالی‌که ابزارهای جدید مانند ACCRA و مدل گفتگوی R2E2 در حال توسعه می‌باشند. ناب برای این جا مناسب است (اما شش سیگما برای این جا مناسب نیست که در پارادایم تجربی قرار می‌گیرد). رهبری مشارکت می‌کند یا به اشتراک می‌گذارد. در مدل چهار فازی هاردیونو، این پارادایم در یک تغییر نمای خارجی قرار می‌گیرد. هاردیونو این خلاقیت را با ارتباط با نوآوری مخرب، تفکر جانبی و سرمایه‌گذاری توانایی فکری ذکر کرده‌است و

جدول ۴- مدیریت کیفیت جامع در چهار پارادایم

| پارادایم تجربی     | پارادایم مرجع                                     | پارادایم انعکاسی   | پارادایم تکوینی  |
|--------------------|---|--|--|
| کیفیت... است       | کیفیت برای استفاده مناسب (متناسب)                 | کیفیت ذهنی (درونی)   | کیفیت استاتیک نیست، بلکه پویاست  |
| جمله قصار          | "ما باید به‌طور مداوم بهبود پیدا کنیم"            | "کیفیت یک چیز نیست، یک رویداد است"   | "حقیقت چیزی است که کار می‌کند"   |
| تمرکز هدف          | مدل‌ها، دستورالعمل‌ها بهبود                       | اصول حرفه‌ای‌گری   | ارزش‌های مشترک، فضایل انعطاف‌پذیری   |
| مسئله              | کمتر از حد مطلوب                                  | خود-انتقادی کافی نیست  | ناتوانی در مقابله با تغییرات   |
| راه‌حل             | PDCA  | جداسازی مکانیسم‌ها   | تنظیم زمینه، پیشرفت ناگهانی  |
| ابزارها            | سری‌های ایزو ۹۰۰۰، مدل EFQM، جایزه مالکوم بالدريج | نظر دوم، مصاحبه تعاملی، تایم اوت، بحث داستان‌ها، ارتباطات داخلی، سایه افکنی، مدل‌سازی، بازبینی هم‌تا | تجزیه و تحلیل محتوا، حلقه‌های کیفیت، ACCRA، تکیه کردن، استعلام قدردانی، کافه سقراط |
| تعلیم دهندگان      | دمینگ، جوران، ایمای                               | پرسیگ (۱۹۷۴)، وینکنبورگ (۲۰۰۶)   | پرسیگ (۱۹۹۱)، دمینگ، کونتی   |
| صلاحیت             | تجارتی  | اجتماعی  | فکری (عقلانی)  |
| علوم               | علوم مدیریتی                                      | فلسفه  | تئوری سیستم‌ها   |
| وابستگی‌تون (۲۰۰۰) | دیدگاه استراتژیک فرآیند                           | دیدگاه استراتژیک تکاملی  | دیدگاه استراتژیک سیستماتیک   |
| رهبری              | پشتیبانی، مربیگری                                 | اعطای نمایندگی   | مشارکتی، رهبری به اشتراک گذاشته شده  |
| تشبیه              | ریات  | متفکر، اندیشمند  | ترکیب پیشرفته دسته جاز   |
| فریدسون (۲۰۱۱)     | مشتری در کنترل است                                | حرفه‌ای در کنترل است   | همه دینفعان  |
| ریسک               | متنعم کردن  | تکبر، غرور   | آشوب   |

مهارت‌های مورد نیاز فارغ التحصیلان منجر می‌شود. همان ترکیب از پارادایم‌های مورد نیاز در آموزش رهبری در قرن بیست و یکم و هم‌چنین در تئوری مدیریت کیفیت و عمل مورد نیاز است.

یک نفر می‌تواند یک مربع پنجمی را که حاوی چهار تای دیگر است، شناسایی کند. آن زمان می‌تواند معنای واقعی مدیریت کیفیت جامع باشد. این در راستای دلگارد-پارک و همکاران (۲۰۱۸) است که به این نتیجه رسیدند مدیریت کیفیت جامع باید به‌عنوان یک نظریه مدیریت در حال تکامل در نظر گرفته‌شود که به‌طور مداوم تغییرات سهام‌داران و نیز تغییر محل و الزامات محیط را اتخاذ و تطبیق می‌دهد. مدیریت کیفیت جامع نیاز به یک قابلیت الکتریکی دارد تا از هریک از پارادایم‌های مربوط به مشکل استفاده کند تا قادر به کنار آمدن با زمینه و تغییر باشد (شکل ۲).

کوهن (۱۹۶۲) اظهار داشت که پارادایم‌ها غیرقابل سنجش هستند. تاریخ علم، حامیان پارادایم‌های رقیب را نشان می‌دهد که در ایجاد ارتباط کامل با دیدگاه‌های یکدیگر ناتوان هستند. با این‌حال، مدیریت کیفیت در قرن بیست و یکم بسته به زمینه، نیاز به ترکیبی از شیوه‌های تفکر و استفاده از چندین ابزار و روش‌های متفاوت از پارادایم‌های مختلف دارد. باروچ و پانسیگنون (۲۰۱۶) از یک رویکرد چند پارادایمی حمایت می‌کنند.

چهار پارادایم ارائه شده در این تحقیق نیاز به یکپارچه‌سازی دارند؛ در واقع، ما در مورد سرشت معرفتی "طرفیت درک کردن، تغییر بین انواع مختلف دانش و روش‌های مختلف شناختن در مورد جهان" صحبت می‌کنیم. در برنامه کارشناسی‌ارشد مراقبت یکپارچه از دانشگاه علوم کاربردی اوترخت هلند، چهار پارادایم ترکیب شده و با هم به



شکل ۲- مدیریت کیفیت جامع بر اساس دیدگاه ویلبر (۲۰۰۰)

## ۶- نتیجه‌گیری

مدل‌ها و اصول می‌شود. این امر به دنبال محیط بیرون و فراتر از مرزهاست که شبکه‌ای شدن و ایجاد جو و فرهنگ با کیفیت را به جای کنترل، جوایز کیفیت یا بازبینی نشان می‌دهد. این به نظریه سیستم‌ها به جای اثبات‌گرایی، علم مدیریت سنتی یا تفکر فلسفی نیازمند است، پس مدیریت کیفیت به جامعیت خواهد رسید.

## سپاسگزاری

*IRM* ...

در مدیریت کیفیت چهار پارادایم را می‌توان تشخیص داد: پارادایم تجربی، مرجع، انعکاسی و تکوینی. در حال حاضر، پارادایم تکوینی کم‌تر توسعه یافته‌است. پیروی از پارادایم تکوینی به معنای ترکیب تفکر سیستمی در آموزش رهبری، تئوری مدیریت کیفیت و شیوه‌ها است. اعمال مدیریت کیفیت در پارادایم تکوینی باعث درگیرکردن یک سازمان برای تغییر شده و متناسب با این تغییر منجر به شروع به یک گفت‌وگوی مستمر با همه ذینفعان بر روی کیفیت براساس فضایل و ارزش‌های مشترک به جای قوانین،

## مراجع

Everard van Kemenade, Teun W. Hardjono (2019) "Twenty-first century Total Quality Management: the Emergence Paradigm", *The TQM Journal*, 31(2), pp.150-166.



**HEC**

HIGH QUALITY

شرکت مهندسی هیوا

**HIWA ENG CO.**  
Material testing machine

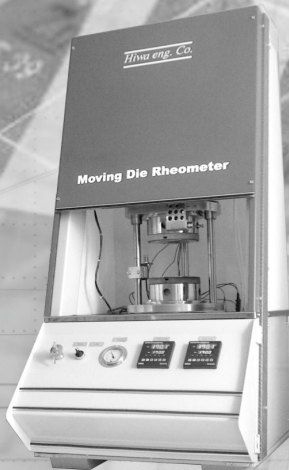
HIGH PERFORMANCE

COOLING

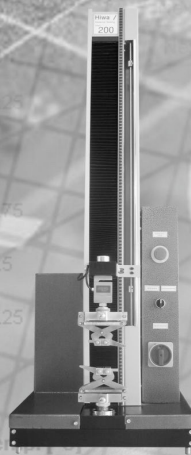
HEATING



کشش و فشار یونیورسال



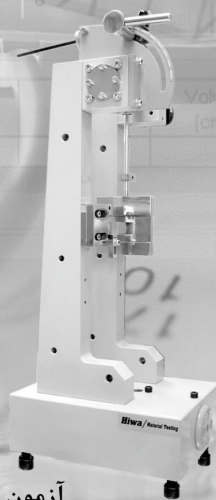
رئومتر با قالب نوسانی MDR



کشش و فشار



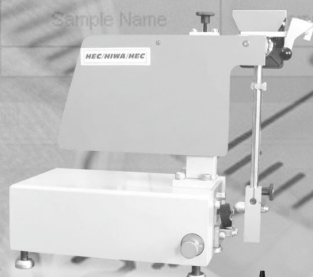
رئومتر ODR و مونی ویسکومتر



آزمون ضربه



آزمون سایش



آزمون جهندگی



پایه سختی سنج



آزمون خستگی

شرکت مهندسی هیوا برترین تولید کننده تجهیزات و ماشین آلات آزمایشگاهی صنایع گوناگون

اولین تولید کننده دستگاه های رئومتر ODR و MDR و مونی ویسکومتر در ایران

صادرات به کشورهای آسیایی و اروپایی و ارائه محصولات به بیش از دویست مرکز صنعتی دولتی و خصوصی

هیوا متعهد به خدمات پس از فروش، ارائه کیفیت بالا و جلب رضایت مشتری می باشد.

به روز رسانی دستگاه های آزمایشگاهی و صنعتی قدیمی با کمک سخت افزار و نرم افزار تحت ویندوز و PLC

شرکت مهندسی هیوا آماده ارائه مشاوره و خدمات مهندسی و تامین تجهیزات در زمینه های اتوماسیون صنعتی

و تاسیسات هوشمند، مدلسازی و طراحی و تحلیل سیستمهای مختلف در صنایع گوناگون توسط نرم افزار های روز دنیا می باشد

website : [www.hiwaco.com](http://www.hiwaco.com) , Email : [info@hiwaco.com](mailto:info@hiwaco.com)

تلفن و فکس : 021-77387193

همراه : 09121783974



## راهنمای تدوین، ترجمه و ارسال مقاله

از استادان محترم دانشگاهها، مدیران، کارشناسان و پژوهشگران گرامی صنعت تایر و قطعات لاستیکی کشور و نیز از دانشجویان عزیز رشته‌ی پلیمر و رشته‌های مرتبط با بخش‌های نشریه، دعوت می‌شود برای ارسال مقاله‌های پژوهشی، تألیفی و ترجمه شده‌ی خود، در زمینه‌های فناوری طراحی و تولید تایر، فناوری تولید قطعات لاستیکی، آمیزه‌کاری، مواد اولیه و فرایندهای تولید محصولات لاستیکی، دانش روز مدیریت، مدیریت استراتژیک و شاخه‌های مدیریت (تولید/ عملیات/ منابع انسانی)، نظام‌های کیفی و کنترل کیفیت، بازاریابی و خدمات پس از فروش، از طریق آدرس اینترنتی [www.iranrubbermag.ir](http://www.iranrubbermag.ir) ثبت نام کرده و با دریافت نام کاربری و رمز عبور مربوطه، اقدام به بارگذاری مقاله مطابق با بندهای این راهنما نمایند. برای مقاله‌های ترجمه شده، ارسال فایل اصل مقاله ضروری‌ست. از کارشناسان و دانشجویان محترمی که قصد دارند از طریق ترجمه‌ی مقاله با این نشریه همکاری داشته باشند تقاضا می‌شود قبل از ترجمه، فایل متن اصلی یا چکیده‌ی آن را برای تأیید از طریق آدرس الکترونیکی [entesharat.rierco@yahoo.com](mailto:entesharat.rierco@yahoo.com) به دبیرخانه نشریه ارسال کنند.

مقاله‌های پژوهشی و تألیفی نباید همزمان به نشریه‌ی دیگری برای چاپ فرستاده شود یا قبلاً به چاپ رسیده باشد.

### 1 متن مقاله

- 1-1 متن مقاله باید در قالب Word 2007، با فاصله‌ی سطرهای یک در میان (با قلم میتر، نازنین، لوتوس) با قلم 12 تایپ شده باشد. تیتراهای فرعی درون مقاله با قلم 13 بولد تایپ شود.
- 2-1 مقاله باید حداکثر در 15 صفحه‌ی A4 تنظیم شده باشد.
- 3-1 حاشیه‌ی متن مقاله از هر طرف باید 2.5 سانتی‌متر باشد.
- 4-1 توصیه می‌شود در نوشتن متن مقاله از شیوه‌ی نگارش جدید خط فارسی استفاده شود به طوری که تمام حروف جدا نوشته شود (ی، ها، می، آن‌ها، آن‌که، و...).
- 5-1 صفحه‌ی نخست مقاله باید شامل عنوان فارسی و انگلیسی (قلم فارسی ترافیک و لاتین تایمز 18 بولد)، نام کامل مؤلف یا مؤلفان یا مترجم، نام مسؤول مکاتبات، سطح تحصیلی، واحد سازمانی و نشانی و تلفن محل کار ایشان (قلم میتر 10 بولد) باشد. نشانی الکترونیکی مسؤول مکاتبات نیز باید درج شده باشد.
- 6-1 مقاله باید دارای چکیده (شامل هدف پژوهش یا تألیف، روش انجام و نتیجه‌های به دست آمده) به زبان فارسی (با قلم خرمشهر 12) و زبان انگلیسی (با قلم Times New Roman فونت 13) باشد.
- 7-1 مقاله باید دارای واژه‌های کلیدی (حداکثر 5 واژه) به زبان فارسی (با قلم خرمشهر 13 بولد) و زبان انگلیسی (با قلم Times New Roman فونت 13) باشد.
- 8-1 متن مقاله به ترتیب باید شامل بخش مقدمه، بخش تجربی (مواد، دستگاهها، روشها و استانداردها)، بخش نتیجه‌ها و بحث، بخش نتیجه‌گیری، و مراجع باشد.
- 9-1 تمام نمادها و علامت‌های اختصاری که برای نشان دادن متغیرها، ثابت‌ها، مقادیر و خواص، استانداردها و نیز معرفی نام سازمانها و مراکز پژوهشی در مقاله مورد استفاده قرار می‌گیرد، باید در نخستین کاربرد توضیح داده شده و معادل انگلیسی کامل آن‌ها در پاورقی (با قلم RL Times فونت 8) بیاید.
- 10-1 شماره‌ی مراجع مورد استفاده به ترتیب در متن مربوطه، داخل کروشه درج شود.

### 2 جدولها

- 1-2 جدولها باید به ترتیب شماره‌گذاری، در متن مشخص شود. متن جدولها با قلم نازنین 10 تایپ شود و در صفحه‌های جداگانه در پایان مقاله آورده شوند.
- 2-2 تمام مقادیر جدولها باید دارای واحد یکسان باشد، و مقدارهایی که نیاز به توضیح داشته باشد باید پس از علامت‌گذاری روی آن‌ها، به شکل پانویس در زیر جدول شرح داده شوند.
- 3-2 تمام جدولها باید دارای عنوان یا شرح باشند (قلم میتر 11 بولد). اعلام نام مرجع برای جدولهایی که کار نویسنده نباشد ضروری‌ست.
- 4-2 تمام جدولها باید در word اجرا و ارسال شود (اسکن نشود).

### 3 شکلها و عکسها

- 1-3 شکلها به ترتیب شماره‌گذاری باید در متن مشخص و مورد اشاره قرار گیرند. شکلها و عکسها در صفحه‌های جداگانه در پایان مقاله آورده شود.
- 2-3 عنوان و شرح تمام شکلها و عکسها باید در زیر آن‌ها درج شود (با قلم میتر 11 بولد).
- 3-3 عکسها باید وضوح کامل داشته باشند (در صورت امکان عکسها در فرمت jpg و با resolution 300 باشد).
- 4 نوع مقاله: نویسندگان باید نوع مقاله از نظر پژوهشی، تألیفی، مروری، یا ترجمه بوبن را در بالای نام نویسندگان مقاله درج کنند.

# فرم اشتراک نشریه‌ی صنعت لاستیک ایران (IRM)

(علمی ترویجی، فنی، اقتصادی و خبری)

خواهشمند است به نکات زیر توجه فرمایید:

- ۱- بهای هر شماره ۶۰۰,۰۰۰ ریال است.
- ۲- بهای اشتراک سالانه با تخفیف ۲,۰۰۰,۰۰۰ ریال است.
- ۳- بهای اشتراک دو ساله با تخفیف ۴,۴۰۰,۰۰۰ ریال است.
- ۴- از فرستادن وجه نقد جهت اشتراک حتی الامکان خودداری کنید.
- ۵- نشانی و کدپستی خود را به صورت کامل و خوانا بنویسید.
- ۶- نام و شماره‌ی تماس خود را روی فیش بانکی بنویسید.

Email: entesharat.rierco@yahoo.com

Website: www.iranrubbermag.ir

در صورت تمایل به اشتراک نشریه‌ی صنعت لاستیک ایران، فرم زیر را تکمیل و به همراه اصل فیش بانکی واریز حق اشتراک، به نشانی زیر ارسال، یا به شماره‌ی ۰۲۱-۴۴۷۸۷۹۰۵ فاکس نمایید.

شماره حساب: بانک ملت، شعبه‌ی شهرک راه‌آهن، حساب جاری جام، شماره‌ی ۵۹۰۰۵۷۰۰۴۹ به نام "شرکت مهندسی و تحقیقات صنایع لاستیک - واحد انتشارات" (شماره‌ی شبا IR05012000000005900570049)

نشانی: تهران، اتوبان تهران-کرج، بعد از ایران خودرو، خروجی شهرک علم و فناوری، انتهای بلوار پژوهش، جنب پژوهشکده‌ی هواشناسی، انتهای کوچه، شرکت مهندسی و تحقیقات صنایع لاستیک  
تلفن: ۰۲۱-۴۴۷۸۷۹۱۷ فاکس: ۰۲۱-۴۴۷۸۷۹۰۵ کدپستی: ۱۴۹۷۷۱۶۳۶۵

فرم اشتراک  
نشریه‌ی صنعت لاستیک ایران (IRM)

نوع اشتراک:

اشتراک جدید  تمدید اشتراک

|                              |            |               |  |
|------------------------------|------------|---------------|--|
| نام و نام خانوادگی مشترک     |            |               |  |
| سمت                          | ایمیل      |               |  |
| نام شرکت                     | نوع فعالیت |               |  |
| نشانی                        |            |               |  |
| تلفن همراه                   |            |               |  |
| تلفن                         | کدپستی     | صندوق پستی    |  |
| به پیوست فیش بانکی به شماره  |            | و به مبلغ     | ریال بابت حق اشتراک یک ساله/دوساله‌ی نشریه‌ی |
| صنعت لاستیک ایران از شماره‌ی |            | ارسال می‌شود. | تاریخ  |
| امضاء                        |            |               |  |

# فرم نظر سنجی از خوانندگان

## نشریه‌ی صنعت لاستیک ایران (IRM)

(نشریه‌ی سال بیست و پنجم، شماره‌ی ۱۰۱، بهار ۱۴۰۰)

نشریه‌ی صنعت لاستیک ایران با هدف آگاهی از میزان رضایت‌مندی شما خوانندگان گرامی نسبت به مطالب و صفحه‌های متفاوت نشریه، فرم نظرخواهی حاضر را تهیه کرده است. ضمن تشکر از همراهی شما عزیزان خواهشمندیم در هنگام پاسخ دادن، دقت و صراحت لازم را مبذول فرمایید.

| ردیف | عوامل مورد ارزشیابی      | عالی<br>۵ | بسیار خوب<br>۴ | خوب<br>۳ | متوسط<br>۲ | ضعیف<br>۱ | بسیار ضعیف<br>۰ |
|------|--------------------------|-----------|----------------|----------|------------|-----------|-----------------|
| ۱    | مقاله‌های بخش علمی - فنی |           |                |          |            |           |                 |
| ۲    | مقاله‌های بخش مدیریت     |           |                |          |            |           |                 |
| ۳    | سایر نظرها:              |           |                |          |            |           |                 |

\* کدام یک از بخش‌های نشریه را بیش از سایر بخش‌ها مطالعه می‌کنید؟ لطفاً با درصد بیان کنید.

\* آیا کمبودی در مطالب نشریه احساس می‌کنید؟ در صورت مثبت بودن پاسخ، مطالب موردنظر را بیان کنید.

\* موضوع پیشنهادی شما برای ارائه‌ی سرمقاله چیست؟

\* عمده‌ترین تغییرهایی که به نظر شما باید در محتوای نشریه ایجاد شود، چیست؟

\* به منظور افزایش و بهبود کیفی مطالب، در چه زمینه‌هایی می‌توانید در ارائه‌ی مطالب همکاری کنید؟

\* نام و نام خانوادگی و شماره‌ی تماس در صورت تمایل:

لطفاً پس از تکمیل، فرم مربوطه را برای واحد انتشارات فاکس کنید.

تلفن: ۰۲۱-۴۴۷۸۷۹۱۷ و ۰۲۱-۴۴۷۸۷۹۰۵ فاکس: ۰۲۱-۴۴۷۸۷۹۰۵ [www.iranrubbermag.ir](http://www.iranrubbermag.ir) Email: [entesharat.rierco@yahoo.com](mailto:entesharat.rierco@yahoo.com)

سامانه‌ی پیامکی: ۰۲۱-۴۴۷۸۷۹۱۱

---

# T

## Twenty-first century Total Quality Management: The Emergence Paradigm

---

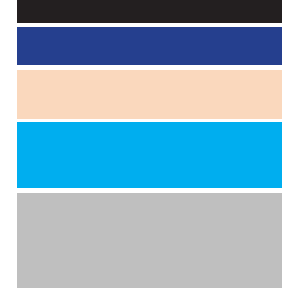
E. Masoudi<sup>1,\*</sup>, Gh. Bahrami-kia

1. Master, Quality Management Research Group, University of Isfahan, Isfahan, Iran
2. PhD, Instructor, PhD in Business Management, Faculty of Administrative Sciences and Economics, University of Isfahan, Iran

\*Corresponding author Email: ehsanma74@yahoo.com

**Abstract:** The purpose of this paper is to present the framework of a fourth paradigm since the existing three paradigms in quality management are not sufficient any more to understand what happened in the past and surely fail to understand what is happening at the moment and needed in future. A literature review has been undertaken on different visions on quality management that are used. The underlying principles have led to three quality paradigms. Literature on quadrant models is studied to place the three existing paradigms and identify the possible characteristics of the fourth. One can discern four quality paradigms in quality management: the Empirical Paradigm, the Reference Paradigm, the Reflective Paradigm and the Emergence Paradigm. The use of these paradigms differs according to the context. Together they form a concept of Total Quality Management. At the moment the Emergence Paradigm has not had enough attention although it might be the best equipped to find new ways of working for the organisations in the current context. In the literature review the authors selected seven journals in the Business Source Premier database: Total Quality Management (Total Quality Management & Business Excellence); the Academy of Management Review; Product and Operations Management; Organisational Dynamics; the Harvard Business Review; the Sloan Management Review and Organisational Behavior and Performance. In the advanced search mode the authors entered two subjects: “quality management” and “paradigm”. The selected results (in total 289 articles) were examined for its fitness for answering the questions above. That resulted in a selection of 26 articles that are being used in the literature review. The Emergence Paradigm can be further investigated on its use for quality management in organisations in times of emergent change. Some first insights have been presented here. The EmergenceParadigm can have impact beyond the field of quality management. The paper provides new insights in the essence of quality management in times of change and clarity on the usability of the thoughts and tools of four different paradigms in the twenty-first century.

**Keywords:** Total Quality Management, Context, Emergent change, Definition of quality, Quality paradigm, Vision on quality



---

## Analysing the Impact of Total Quality Management and Entrepreneurial Orientation on Performance of SMEs

---

E. Masoudi

1. M.Sc., Department of Quality Management Research, University of Isfahan, Isfahan, Iran

\*Corresponding author Email: ehsanma74@yahoo.com

**Abstract:** The purpose of present research was to consider analysing the impact of Total Quality Management and Entrepreneurial Orientation on Performance of SMEs. This Practical research was done by using descriptive- correlation method. The statistical population of the study consisted of 460 managers of SMEs in Jay Isfahan industrial town. 210 managers determined randomly as the sample size by Krejcie and Morgan Table. To collect data, three questionnaires of Total Quality Management of Jayaram(2010), Entrepreneurial Orientation of Hughes and Morgan(2007),and Firm Performance of Sahoo and Yadav(2017) were used. The validity of the questionnaires was confirmed by the content validity and validity of the structure and its reliability was achieved by cronbach'salpha method of 0/819,0/822,and0/886, respectively. The data was analyzed by structural equation modeling in MPLUS advanced software. The research findings showed that total quality management and Entrepreneurial Orientation have a positive and meaningful effect on Firm Performance. According to the results, Total Quality Management and Entrepreneurial Orientation has a great influence to improve the performance in SMEs.

**Keywords:** Total Quality Management, Entrepreneurial Orientation, Firm Performance, SMEs



# E Explaining Financial Variables Affecting Financial Distress Forecast: Application the ANN Method

H. Rahimi<sup>1</sup>, M. Minoei<sup>2\*</sup>, M.R. Fathi<sup>3</sup>

1. PhD student, Department of Industrial Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. PhD, Assistant Professor, Department of Industrial Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
3. PhD, Assistant Professor, Department of Industrial Management and Technology, Farabi Campus, University of Tehran, Qom, Iran

\*Corresponding author Email: mehrzad\_m44@yahoo.com

**Abstract:** Predicting corporate financial distress is one of the main issues facing managers, which can significantly contribute to companies' success and survival because corporate managers can be informed of financial distress and bankruptcy by providing warning and timely signals. Therefore, it is possible to avoid wasting resources and damages due to bankruptcy through proper management. This study's main purpose was to select the financial variables affecting the prediction of financial distress of companies listed on the Tehran Stock Exchange and then to predict financial distress using the ANN method. Therefore, first, 106 companies were selected by the simple random sampling method. Their financial data were extracted during 2007-2020. The relationship between variables was examined through the Pearson correlation test. Out of 34 financial ratios, 24 ratios with a significant relationship were selected. Finally, the ANN method was used to predict corporate financial distress, in which the financial distressfulness or non-distressfulness of 103 companies was correctly predicted. Comparing the prediction made by the ANN method with the actual values of the dependent variable in 2020, it was found that this method correctly predicted the corporate financial distress with a confidence level of 97%.

**Keywords:** : forecasting, financial distress, artificial neural network (ANN), Pearson correlation test, Stock Exchange

---

# S Simulation of Temperature Distribution of energy dissipation in Truck Radial Tire

---

M. Rashidi-moghadam

1. PhD, Research and Development Department of Barez Industrial Group, Tehran, Iran

\*Corresponding author Email: [morteza\\_rashidi@alumni.iust.ac.ir](mailto:morteza_rashidi@alumni.iust.ac.ir)

**Abstract:** Rubber is the main element of tires and the main part of the tire consists of rubber. Tire and track heating is caused by hysteresis effects due to the deformation of the rubber during operation. Temperature in tire components depends on many factors, including tire geometry, inflation pressure, vehicle load and speed, road type and temperature and environmental conditions. In this study, using the theory of heat production in tire and relying on the finite element and calculating the stress and strain field of different parts of the tire, the temperature field of a steady-state rolling truck radial tire is predicted. ABAQUS software is used in this finite element prediction. It is shown that the results predicted using ABAQUS software are in significantly better agreement with the experimental results.

**Keywords:** Tire, Temperature, Heat transfer





## A review of the applications of cross-linked elastomeric nanoparticles

M. Kalaei<sup>1,\*</sup>, M.H. Karami<sup>2</sup>

1. PhD, Associate Professor, Department of Polymer Engineering, Technical and Engineering Complex, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran
2. PhD Student, Department of Polymer Engineering, Technical and Engineering Complex, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran

\*Corresponding author Email: mohammad.kalae@gmail.com

**Abstract:** Elastomeric nanoparticles (ENPs) have been widely used in thermosetting resins and thermoplastics, and when used to modify the surface of polymers, its effect at the nanoscale has been considered. The size of elastomeric nanoparticles is well controlled by the latex particle size, and using this process, a particle size of less than 100 nano meters is produced and has a narrow distribution. Elastomeric nanoparticles simultaneously increase the toughness and heat resistance of plastics. The addition of elastomeric nanoparticles to rubbers and thermoplastics improved the surface, and improved the dispersion of elastomeric nanoparticles in the polymer matrix. In this paper, a review of sample preparation, and the effect of elastomeric nanoparticles and their application, and the study of the effect of elastomeric nanoparticles on the physical, mechanical and thermal properties of thermosetting.

**Keywords:** Nano-scale Effect, Polymer Nanocomposites, Elastomeric Nanoparticles, Plastic Toughening



E

Experimental and theoretical investigations of Microstructure, vulcanization kinetics and Mechanical properties of Carboxylated nitrile butadiene rubber /Epoxy/ Halloysite nanotubes

S. M.R. Peran<sup>1,\*</sup>, GH. Naderi<sup>2</sup>, E. Movahedi-far<sup>3</sup>, M.R. Saeb<sup>4</sup>

1. PhD, Assistant Professor, Iran Polymer and Petrochemical Research Institute, Tehran, Iran
2. PhD, Professor of Iran Polymer and Petrochemical Research Institute, Tehran, Iran
3. PhD, Iran Polymer and Petrochemical Research Institute, Tehran, Iran
4. PhD, Assistant Professor, University of Tehran, Tehran, Iran

\*Corresponding author Email: [m.paran@ippi.ac.ir](mailto:m.paran@ippi.ac.ir)

**Abstract:** The main goal of this research is the preparation and study of nanocomposites based on carboxylated nitrile butadiene rubber (XNBR) and epoxy resin reinforced by halloysite nanotubes (HNTs). The effect of various HNTs loadings on the cure characteristics, morphology, cure kinetics and mechanical properties of binary XNBR/Epoxy systems was investigated. The results of cure rheometer indicated that the introduction of HNTs into the XNBR/Epoxy matrix leads to a decreased scorch time up to 25% and higher maximum torque values. The resulted SEM photomicrographs of fractured section from tension tests revealed a more rough fractured surface of nanocomposites containing HNTs with a distributed of nanotubes into the polymer matrix. The study of cure kinetics show that the introduction of HNTs into the polymer system decreases the activation energy needed for curing reaction up to 40%. The results of tension tests demonstrated a higher Young's modulus up to 1.46 MPa and tensile strength up to 2.58 MPa with higher loadings of HNTs into the XNBR/Epoxy matrix. The analyses of XNBR/Epoxy/HNTs nanocomposites indicated that with the natural and inexpensive reinforce nano materials, it is possible to make nanocomposites with higher mechanical strength up to 40% with respect to neat polymer.

**Keywords:** Nitrile butadiene rubber; Epoxy resin; Halloysite nanotubes; Nanocomposite; Mechanical strength

# L Lignin as reinforcing filler in rubber compound

A. Nik-akhtar

1. PhD, Assistant Professor, Lecturer, Birjand University, Birjand, Iran

\*Corresponding author Email: [anikakhtar@birjand.ac.ir](mailto:anikakhtar@birjand.ac.ir)

**Abstract:** Lignin is a reinforcing filler with properties such as abundant annually renewable, low weight, high biological efficiency, and wide ecological adaptability. These properties are causing increasing attention from researchers and become an alternative to carbon black in the rubber industry. In this paper, we try to briefly review the lignin. In this regard, initially, the chemical structure of lignin and its structures are reconsidered. It is obvious from the application and process point that this polymer has little tendency to spread in the rubber matrix due to polar functional groups and so it will not appear as agglomeration in rubber compounds and therefore won't be as reinforcing filler. There have been studies in order to solve this problem and improve the reinforcing properties of lignin. These include modifying the mixing process, increasing the interfacial bonding strength between lignin and the rubber, formation of nano structure with lignin and use of hybrid technologies with other fillers. Here some of these methods and the effects of lignin on its curing, mechanical and thermal properties are summarized.

**Keywords:** lignin, chemical modification, mixing technique, rubber-lignin properties

---

# C Calendering Process: Introduction and Modeling

---

A. Kamyabi<sup>1,\*</sup>, M.M. Kamyabi<sup>2</sup>

1. PhD, Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
2. PhD, Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Vali-e-Asr University, Rafsanjan, Iran

\*Corresponding author Email: [kamyabi@uk.ac.ir](mailto:kamyabi@uk.ac.ir)

**Abstract:** Calenders and two-roll mills as a tool for forming materials (mostly polymers) have a special role in the production lines of various industries, including rubber industry. Despite the apparent simplicity and not-so-difficult application, as will be shown in this study, the hydrodynamics behavior of the flow material through them is complex and subject to various factors. In the present study, first these type of equipments and important points of their design and operating conditions are introduced. In the following, the hydrodynamic modeling of the flow between the rolls is discussed and the Gaskell's model is introduced as a basic model that is the basis of most other developed models. Finally, other types of models that have been developed to determine the hydrodynamic behavior of rolls along with their characteristics are introduced. These models predict the flow rate based on geometric parameters and material properties. They also determine velocity, pressure and stress profiles, and in some cases temperature in the flow between the rolls. The use of results of these models depends on the desired design and operational needs.

**Keywords:** Calendering process, Modeling, Fluid, Gaskell's model

In The Name of God

**IRM**

**Iranian Rubber Magazine**

(Scientific)

(Scientific / Technical / Economical / Managerial)

Volume 25, No. 101, Spring 2021

**Copyright and publisher:**

Rubber Industries Engineering and Research Co.  
(RIERCO)

**Responsible manager and chief editor:**

Dr. N. Parhizgar

**Administration Manager:**

S. Soufi\_Niaraki

**Editor:**

Dr. A. Dabaghi

**Designer:**

S. Soufi-Niaraki

**Responsible of Advertising & Subscribers:**

S. Soufi-Niaraki

**With Cooperation of:**

Kian Tire Co., Iran Tire Co.,  
Iran Yasa Tire and Rubber Co.,  
Dena Tire Co., Pars Tire Co., Barez Tire Co.,  
Yazd Tire Co., Goldstone Tire Co.,  
Kavir Tire Co.

**Address:**

Tehran-Karaj Fwy, after Iran Khodro, Output of  
Science and Technology Town, Pajouhesh Blvd,  
Close to Meteorological Research Center, Tehran,  
Iran, B.O.Box:15875-5981

**Tel:** 0098(21)44787917

**Fax:** 0098(21)44787905

**Email:** entesharat.rierco@yahoo.com

**Website:** www.iranrubbermag.ir

**Editorial Board:**

- ◆ Dr. N. Parhizgar, *Assistant Prof, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.*
- ◆ Dr. S. Taghvaei-Ganjali, *Prof., Faculty of Chemistry, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.*
- ◆ Dr. A. Jalali, *Associate Prof., Amir Kabir University of Technology, Tehran, Iran.*
- ◆ Dr. R. Derakhshande-Haghighi, *Assistant Prof, Materials Science & Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.*
- ◆ Dr. M. Razaghi-Kashani, *Associate Prof., Tarbiyat Modaress University, Tehran, Iran.*
- ◆ Dr. N. Ghasemi, *Professor of Polymer Engineering, Iran Polymer & Petrochemical Research, Tehran, Iran.*
- ◆ Dr. M.H.R. Ghoreishy, *Prof., Polymer & Petrochemical Research, Tehran, Iran.*
- ◆ Dr. M. Karrabi, *Professor of Polymer Engineering, Iran Polymer & Petrochemical Research, Tehran, Iran.*
- ◆ Dr. A. Mahdavian, *Professor of Polymer Engineering, Iran Polymer & Petrochemical Research, Tehran, Iran.*
- ◆ Dr. E. Sotoudeh, *PhD in Polymer Technology, Comprehensive University of Applied Science in Rubber Industry, Tehran, Iran.*
- ◆ Dr. A. Abbasian, *Assistant Professor of Polymer, Islamic Azad University, Research Sciences Branch, Tehran, Iran.*

**Partners in this issue:**

|                         |                   |
|-------------------------|-------------------|
| Dr. A.Kamyabi           | S.M.R Peran       |
| Dr. M. Rashidi-moghadam | Dr. A. Nik-akhtar |
| Dr. M.R. Kalaei         | Dr. M. Minoei     |
| E. Masoudi              |                   |

**This journal is abstracted / indexed in:**

*ISC.gov.ir*  
*iranrubbermag.ir*