

بید هگزگونال و نحوه تولید بید هگزگونال و تأثیرات تنش فون میزس

هومن گلستانزاد^۱ و حسین حسنوند^{۲*}

۱- کارشناس کنترل کیفیت، مجتمع صنعتی آرتاویل تایر

۲- رئیس کنترل کیفیت، مجتمع صنعتی آرتاویل تایر

Hosein1533@yahoo.com

چکیده: صنعت تایرسازی به عنوان یکی از ارکان اصلی حمل و نقل، همواره به دنبال ارتقای کیفیت، دوام و ایمنی محصولات خود بوده است. در این میان، بید (Bead) به عنوان یکی از اجزای کلیدی تایر نقش حیاتی در تثبیت تایر بر روی رینگ و انتقال نیرو ایفا می کند. در سال های اخیر، طراحی بید هگزگونال به دلیل ویژگی های مکانیکی و هندسی منحصر به فرد خود توجه بسیاری را جلب کرده است. این ساختار شش ضلعی با توزیع یکنواخت تنش ها، چسبندگی بهتر به لاستیک و کاهش لغزش، عملکردی برتر نسبت به بیدهای گرد، مربعی و چندلایه ای ارائه می دهد. همچنین، استفاده از سیم های فولادی با پوشش برنز یا برنج، مقاومت در برابر خوردگی و استحکام مکانیکی بید را افزایش می دهد. پیشرفت فناوری ساخت، به ویژه بهره گیری از دستگاه های مدرن CNC و سیستم های تمام اتوماتیک، تولید بید هگزگونال را با کیفیت یکنواخت و سرعت بالا امکان پذیر کرده است. این نوع بید به طور ویژه در تایرهای رادیال کامیون ها و وسایل نقلیه سنگین به کار گرفته می شود و مزایایی چون افزایش طول عمر تایر، کاهش هزینه های نگهداری و ارتقای ایمنی را به همراه دارد. به این ترتیب، بید هگزگونال به عنوان یک نوآوری انقلابی، جایگاهی ویژه در آینده صنعت تایرسازی به خود اختصاص داده است.

واژه های کلیدی: بید تایر، بید هگزگونال، دستگاه تولیدی بید، فناوری تایر، تنش فون میزس

مقدمه

صنعت تایرسازی، قلب تپنده حمل و نقل و رگ حیاتی خودروسازی، همواره در تکاپوی نوآوری برای ارتقاء کیفیت، ایمنی و دوام محصولاتش بوده است. در میان اجزای بی شمار یک تایر، "بید" (Bead) نقش حیاتی و بی بدیل ایفا می کند. این حلقه مستحکم و پنهان، وظیفه ای خطیر را بر عهده دارد: انتقال نیرو، تثبیت تایر بر روی رینگ و تضمین آب بندی کامل میان لاستیک و رینگ فلزی [۱]. در سال های اخیر، افق های تازه ای در طراحی ساختار بید گشوده شده است. در این میان، "بید هگزگونال" (Hexagonal Bead) به واسطه ویژگی های مکانیکی و هندسی منحصر به فردش، همچون ستاره ای درخشان در این صنعت جلوه گر شده است. این بید با مقطع شش ضلعی خود، مزایای مکانیکی و عملکردی چشم گیری نسبت به بیدهای سنتی گرد یا مربعی ارائه می دهد [۲].

بخش تجربی

ساختار و ویژگی های بید هگزگونال

بید هگزگونال، شاهکاری از مهندسی مواد است که از رشته های بی شمار سیم فولادی با مقاومت کششی فوق العاده بالا ساخته شده است. این سیم ها، چه به صورت مارپیچ و چه موازی، با ظرافت در قالبی با مقطع شش ضلعی در کنار یکدیگر می نشینند. برای تضمین چسبندگی بی نظیر به ترکیب لاستیکی و افزایش مقاومت در برابر خوردگی، سطح این سیم ها معمولاً با برنز یا برنج پوشانده می شود [۳ تا ۵].

انواع بید:

- ♦ بید گرد (Round Bead): سادگی دیروز
- ♦ بید مربعی یا مستطیلی (Square/Rectangular Bead): گامی روبه جلو
- ♦ بید چندلایه ای (Multi-layer Bead): قدرت و استقامت
- ♦ بید هگزگونال (Hexagonal Bead): اوج نوآوری
- الف) ویژگی ها: سیم ها با فشردگی هنرمندانه ای کنار هم قرار می گیرند تا مقطعی شش ضلعی و بی نقص حاصل شود [۲].
- ب) مزایا:

۱. توزیع یکنواخت و هوشمندانه تنش ها (برتری اصلی و کلیدی

نسبت به بیدهای گرد و مربعی)

۲. چسبندگی بی نظیر به لاستیک، به لطف سطوح بیشتر و زوایای

هندسی بهینه

۳. کاهش چشم گیر لغزش تایر بر روی رینگ، حتی در دشوارترین

شرایط

۴. استحکام مکانیکی بالاتر و در نتیجه، افزایش چشم گیر عمر تایر

(ج) معایب:

۱. هزینه تولید بالاتر، به دلیل پیچیدگی فرایند.

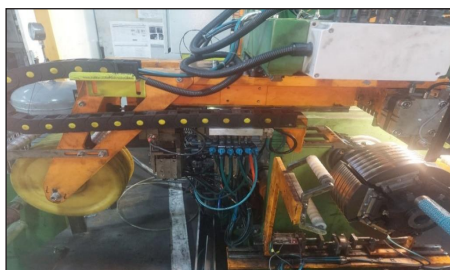
۲. نیاز مبرم به دستگاه های مدرن و کنترل دقیق CNC، که

سرمایه گذاری اولیه بیشتری می طلبد.

روش های تولید بید هگزگونال: از هنر تا علم

فرایند تولید بید هگزگونال، سفری مرحله به مرحله است که دقت و مهارت را می طلبد [۳]:

- ♦ آماده سازی سیم فولادی: این سفر با سیم های فولادی آغاز می شود که با پوششی از برنز یا برنج آماده شده اند. قطر این سیم ها معمولاً بین ۰.۸ تا ۱.۵ میلی متر است.
- ♦ فرایند پیچش (Winding): سیم ها با دقت و ظرافت به صورت مارپیچ روی یک قرقره یا قالب مخصوص پیچیده می شوند تا ساختار حلقه ای شکل بید، پایه و اساس همه چیز، شکل گیرد.



شکل ۱- فرایند پیچش بید هگزگونال در کارخانه آرتاویل تایر

هوای استاندارد، بارگذاری و پیچش ۱۵ درجه در مدل سه بعدی طبق شکل ۲ شبیه سازی شده است. مش بندی در ناحیه تماس تایر با زمین به صورت متراکم تر انجام شده تا دقت تحلیل افزایش یابد. با استفاده از داده های به دست آمده از بید هگزگونال و بید چندمرحله ای تنش های فون میزس در جدول ۱ مقایسه می شود.

جدول ۱- جدول تنش فون میزس در بید هگزگونال و بید چندمرحله ای

پارامتر	بید هگزگونال	بید چندمرحله ای
حداکثر تنش فون میزس	۶۲۰ MPa	۷۱۰ MPa
میانگین تنش فون میزس در کل بید	۴۵۰ MPa	۴۸۰ MPa
درصد نواحی با تنش بالاتر از ۶۰۰ MPa	٪۱۰	٪۲۰
تنش متمرکز در نقاط بحرانی	۶۳۰ MPa	۷۲۰ MPa

تحلیل داده ها نشان می دهد که حداکثر تنش فون میزس در بید چندمرحله ای حدود ۱۴٪ بیشتر از بید هگزگونال است. همچنین، میانگین تنش فون میزس و درصد نواحی با تنش بالا در بید چندمرحله ای بیشتر بوده که این موضوع نشان دهنده تمرکز بیشتر تنش و احتمال آسیب در این ساختار است. از این رو، طراحی بید چندمرحله ای نیازمند بهینه سازی هندسی، جهت الیاف و ضخامت هر لایه به منظور کاهش تمرکز تنش و افزایش دوام تایر است.

نتیجه گیری:

بید هگزگونال با طراحی هندسی شش ضلعی خود، تحولی مهم در صنعت تایر سازی ایجاد کرده است که باعث افزایش استحکام، ایمنی و طول عمر تایر می شود. پیشرفت در تولید خودکار این بیدها نیز کیفیت و سرعت ساخت را بهبود بخشیده است. با استفاده از روش های توپولوژیکی و مدل سازی کامپوزیتی، تمرکز تنش در بید کاهش یافته و توزیع تنش یکنواخت تر شده که مقاومت تایر را افزایش می دهد و احتمال شکست رشته های فولادی را کاهش می دهد. در مقایسه بید هگزگونال و چندمرحله ای، ساختار هگزگونال تنش کمتری داشته و توزیع آن یکنواخت تر است، در حالی که بید چندمرحله ای به دلیل پیچیدگی، تنش بیشتری در نقاط خاص دارد که نیازمند بهینه سازی دقیق هندسی، جهت الیاف و ضخامت لایه هاست. شبیه سازی های پیشرفته با نرم افزارهای تخصصی نقش مهمی در بهبود طراحی و عملکرد تایر ایفا می کنند.

♦ شکل دهی هگزگونال: در این مرحله سرنوشت ساز، حلقه های سیمی با فشاری کنترل شده در قالب های شش ضلعی جای می گیرند تا هندسه دقیق و دلخواه حاصل شود.

♦ پوشش لاستیکی اولیه (Apexing): بید تازه متولد شده با لایه ای از ترکیب لاستیکی پوشانده می شود تا در فرایند مونتاژ تایر، همچون آغوشی گرم به بدنه بچسبد.

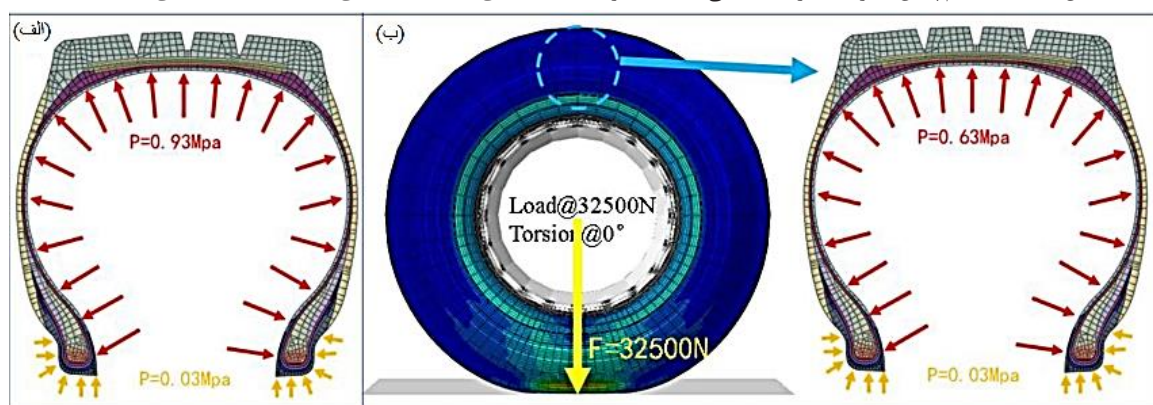
♦ برش و اتصال: طول و قطر بیدها با دقتی وسواس گونه کنترل می شود و در صورت نیاز، برای تایرهای سنگین تر، چندین بید به صورت موازی کنار هم قرار می گیرند.

ناحیه بید تایر، که حلقه لاستیک در تماس با رینگ است، یکی از بخش های آسیب پذیر و حیاتی تایر محسوب می شود. در مطالعه یانگ لی و همکاران [۶]، ساختار جدیدی برای بید تایر کامپون 1100R20 با استفاده از بهینه سازی توپولوژیکی طراحی و ارائه شده است. این روش طراحی بهبود یافته باعث افزایش کارایی و ایمنی تایر می شود. برای تحلیل و بهینه سازی بید، مدل کامپوزیتی مبتنی بر علل اصلی خرابی در نقاط انتهایی رشته های تایر ساخته شده و معیار بهینه سازی ترکیبی از تنش فون میزس و تنش برشی بین لایه ای تعریف شده است.

نتایج بهینه سازی نشان می دهد که تمرکز تنش در رشته های کارکاس و چیفر کاهش یافته است که ناشی از شکل نرم تر بید است. این امر منجر به توزیع یکنواخت تر تنش و کاهش احتمال آسیب دیدن رشته های فولادی می شود. همچنین، تماس بین بید و پرکننده نرم تر شده و تنش های برشی بین لایه ای کاهش یافته اند که به افزایش دوام و عمر مفید تایر کمک می کند.

در مطالعه دو نوع ساختار بید مورد بررسی قرار گرفته است: بید هگزگونال و بید چندمرحله ای. ساختار هگزگونال به دلیل نظم و تقارن خود، توزیع تنش یکنواخت تر و بهتری دارد و در نتیجه عمر تایر را افزایش می دهد. در مقابل، بید چندمرحله ای به دلیل لایه های مختلف و طراحی پیچیده تر، دارای تمرکز تنش بیشتر در نقاط خاص است که می تواند منجر به شکست موضعی و آسیب در این نقاط شود مگر این که بهینه سازی دقیق تری صورت گیرد.

شبیه سازی های دقیق با استفاده از نرم افزارهای پیشرفته مانند ABAQUS و HyperMesh انجام شده اند. در این شبیه سازی ها مدل دوبعدی با ترسیم دقیق توزیع مواد در مقطع تایر ساخته شده و سپس با چرخش حول محور مرکزی به مدل سه بعدی تبدیل شده است. همچنین، شرایط کاری مختلفی مانند فشار



شکل ۲- (الف) مدل دوبعدی؛ (ب) مدل سه بعدی [۶]

مراجع

- [1] Clark, S.K., Mechanics of pneumatic tires. 1981: US Government Printing Office.
- [2] Li, Y., et al. (2021), Topological structure and experimental investigation of a novel whole tire bead, Materials & Design, (203): 109592.
- [3] Seiler, P.E., et al. (2021), The influence of strut waviness on the tensile response of lattice materials, Journal of Applied Mechanics, (88): 031011.
- [4] Zhan, Y., et al. (2020), An anisotropic layer-by-layer carbon nanotube/boron nitride/rubber composite and its application in electromagnetic shielding, Nanoscale, (12): 7782–7791.
- [5] Zhorina, L., et al. (2019), Composites Based on Sevilen and Starch, Polymer Science, Series D, (12): 174–178.
- [6] Li, Y., et al. (2022), Topological shape optimisation of a novel whole bead structure based on an interlaminar shear stress criterion, International Journal of Mechanics and Materials in Design, (18): 961–974.