

## عملکرد پترن تایر از دیدگاه مکانیکی

# M

## Mechanics of the Tread Pattern

## چکیده

پترن تایر از مهم‌ترین اجزای تایر می‌باشد که نقش اساسی در عملکرد تایر در تماس با سطح جاده دارا می‌باشد. پترن تایر از بلوک‌هایی تشکیل شده است که هدف این مقاله، بررسی استحکام این بلوک‌ها می‌باشد. در ابتدا نرخ تغییر شکل برشی در بلوک تایر تحت نیروی برشی، با استفاده از تئوری‌های الاستیسته و تغییر شکل‌های تیر در اثر ممان خمشی و نیروی برشی به دست آورده شده است. سپس مقدار صلبیت بلوک‌ها تحت نیروی برشی و دارای سایپ با استفاده از روابط مربوط به فنرهای سری و موازی بررسی می‌شود و تأثیر تعداد سایپ و عمق سایپ‌ها بر روی صلبیت بلوک که تحت نیروی برشی مورد بررسی قرار می‌گیرد. هنگامی که عمق سایپ‌ها نسبت به ارتفاع بلوک قابل توجه باشد، افزایش تعداد سایپ، به شدت مقدار صلبیت بلوک را کاهش می‌دهد. نهایتاً مقدار صلبیت یک بلوک دارای سایپ، در راستاهای مختلف و تحت زاویه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

کلمات کلیدی: تایر، پترن، صلبیت بلوک

## نوع مقاله: تالیفی

مرتضی رشیدی مقدم<sup>۱</sup>

۱. دکتر مرتضی رشیدی مقدم، کرمان، کیلومتر ۵۲ جاده جوبار، گروه صنعتی بارز، اداره تحقیقات و توسعه

1-morteza2046@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۱

۱ - مقدمه:

و بلوک‌های تایر بوجود می‌آید که وظیفه اصلی آن‌ها، تخلیه آب در ناحیه تماس تایر با سطوح جاده خیس می‌باشد، تا از این طریق نیروی جلوبرنده و ترمزگیری بر روی سطوح خیس، برفی و یخی عملکرد بهتری داشته باشند. بنابراین شیارهای مایل و طولی<sup>۱</sup> برای تایر مهم و اساسی می‌باشند.

نرخ تغییر شکل برشی در پترن تایر

ویژگی‌های اساسی مربوط به بلوک‌های پترن، توزیع فشار تماسی در ناحیه تماس یا همان چاپای تایر می‌باشد. این ناحیه تماس به علت نیروهای جانبی و طولی و صلبیت بلوک‌ها تغییر پیدا می‌کند. لازم به ذکر است که منظور از صلبیت بلوک، نرخ نیرو به جابه‌جایی در سطح یک بلوک می‌باشد. این ویژگی‌های اساسی مربوط به بلوک‌ها پترن از طریق آزمایش، ابزارهای تحلیلی یا عددی مانند روش المان محدود در پروسه طراحی پترن تایر محاسبه می‌شود.

تغییر شکل برشی از یک بلوک ترد با ارتفاع  $h$  و طول  $a$  به علت نیروی برشی جانبی در شکل ۲ نشان داده شده است. مجموع جابه‌جایی برشی  $(d)$  شامل جابه‌جایی به علت تغییر شکل برشی خالص  $(d_1)$  و جابه‌جایی به علت تغییر شکل خمشی  $(d_2)$  می‌باشد.



شکل ۱. پترن‌های ترد برای تایرهای اتوبوسی/کامیونی [۱].

تایر، تنها قسمتی از وسیله نقلیه است که در تماس با سطح جاده است، بنابراین نوع سطح جاده تأثیر بسیار مستقیم و اساسی بر عملکرد تایر و خودرو خواهد داشت. باتوجه به نوع سطوح جاده مانند سطح جاده خشک، سطح جاده خیس، سطح جاده برفی و سطح جاده یخی، پترن‌های مختلفی برای تایر باید در نظر گرفته شود.

شکل ۱ انواع مختلف پترن‌های تایرهای اتوبوسی/کامیونی شامل پترن بلوکی<sup>۱</sup>، بلوکی-شیاردار<sup>۲</sup>، شیاردار<sup>۳</sup>، بلوک تداخلی<sup>۴</sup>، برفی<sup>۵</sup> و یخی<sup>۶</sup> برای سطوح جاده‌ای مختلف نشان داده شده است [۱]. پترن بلوکی مناسب جاده‌های ناهموار می‌باشد. پترن بلوکی-شیاردار برای سفرهای کوتاه مدت با عملکرد سایش بهتر استفاده می‌شود. پترن شیاردار برای سفرهای طولانی و سرعت‌های بالا طراحی شده است. پترن‌های بلوک تداخلی برای محور محرک کامیون و سطوح جاده‌ای مختلف استفاده می‌شود. تایرهای برفی مخصوص زمستان می‌باشد و تایرهای یخی برای عملکرد بهتر ترمزگیری و شتابگیری بر روی یخ در زمستان طراحی شده است. تایرهای بدون پترن<sup>۷</sup> نیز برای خودروهای مسابقه‌ای و فرمول ۱ استفاده می‌شود. پلی‌اتیلن کلرو سولفون (CSM) از طریق واکنش‌های کلرناسیون و سولفوکلریناسیون از LDPE یا HDPE سنتز می‌شود. CSM یک الاستومر سفید یا زرد است که به‌عنوان عامل جفت کننده یا در ترکیب با مواد دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. تهیه CSM به روش محلولی توسط دوپونت در سال ۱۹۵۲ توسعه داده شد. دوپونت در دهه ۱۹۸۰ روش سنتی محلولی را بهبود بخشید و در دهه ۱۹۹۰ گودریچ (ایالات متحده) و دوپونت به طور متوالی CSM را به روش فاز - جامد به دست آوردند [۲].

به دلیل ایجاد پترن بر روی تایر، حفره‌های خالی بین شیارها

- |                    |                      |                     |   |
|--------------------|----------------------|---------------------|---|
| 1. Lug pattern     | 3. Rib pattern       | 5. Snow pattern     | 7. Slick pattern                            |
| 2. Rib-lug pattern | 4. Mix-block pattern | 6. Studless pattern | 8. Slanted grooves and longitudinal grooves |

برای حالت تغییر شکل خمشی، سطح بالایی در واقع به یک سطح ثابت محکم شده است (برای حالت تیر منظور زیر ترد و مجموعه بلت‌ها می‌باشد) و سطح پایینی به سطح جاده چسبیده است. در این حالت با توجه به شکل ۲، می‌توان این بلوک را به دو قسمت تقسیم کرد که هر قسمت مانند یک تیر یک سر گیر دار با طول  $h/2$  در نظر گرفته می‌شود (شکل ۲). بنابراین مقدار  $d_2$  از فرمول زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$d_2 = 2 \frac{f \cdot (h/2)^3}{3EI} \quad (2)$$

که  $f$  نیروی برشی در محل اتصال سطح پایینی بلوک به سطح جاده،  $E$  مدول یانگ رابر و  $G$  مدول برشی رابر می‌باشد.  $I$  مربوط به ممان اینرسی سطح مقطع بلوک و  $A$  ناحیه تماس سطح مقطع بلوک با سطح زمین می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$I = \frac{1}{12} ba^3 \quad (3)$$

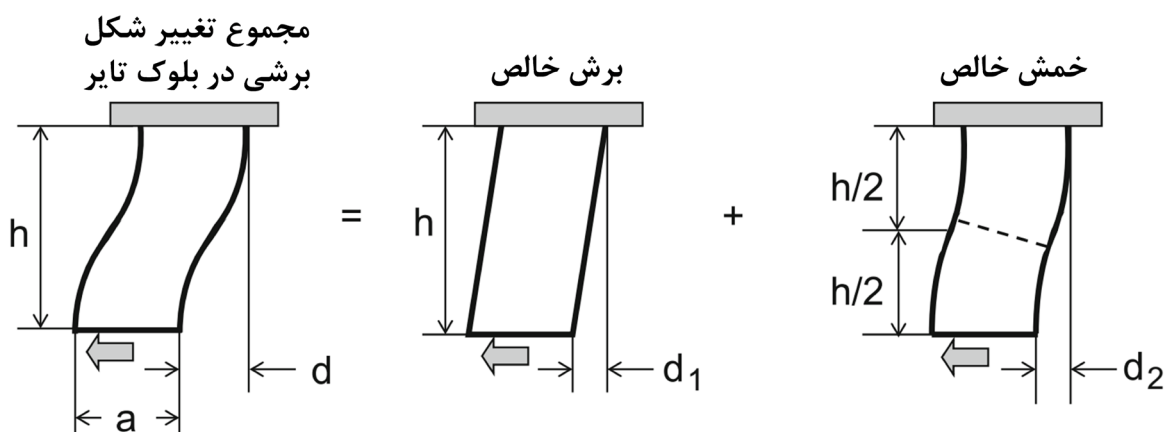
$$A = ab$$



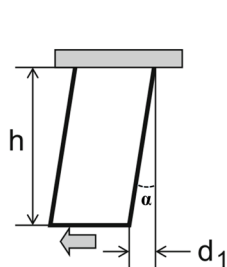
ادامه شکل ۱. پترن‌های ترد برای تایرهای اتوبوسی/کامیونی [۱].

طبق تئوری الاستیسیته خطی، برای یک تیر یک سر گیردار با طول  $L$  که تحت ممان خمشی خالص قرار گرفته است (از نیروی برشی صرف نظر شده است)، مقدار پایین آمدن تیر در زیر نیروی  $F$  (نقطه  $B$ ) از فرمول زیر محاسبه می‌شود (شکل ۳):

$$\delta = \frac{F \cdot L^3}{3EI} \quad (1)$$



شکل ۲. نرخ تغییر شکل برشی در پترن تایر با فرض تماس کامل سطح زیرین بلوک با سطح جاده.



شکل ۴. بلوک ترد تحت برش خالص.



شکل ۳. تیر یک سر گیردار تحت ممان خمشی خالص.

بنابراین مقدار مجموع تغییر شکل برشی از مجموع تغییر شکل برشی خالص و خمش خالص حاصل می‌شود [۲ و ۳]:

$$d = d_1 + d_2 = \frac{fh}{AG} + 2 \frac{f \cdot (h/2)^3}{3EI} \quad (5)$$

با توجه به رابطه  $G=E/3$  برای رابر و ترکیب معادله‌های (۳) و (۵)، مقدار صلبیت بلوک (K) (نرخ تغییر شکل برشی برای بلوک) از رابطه زیر :

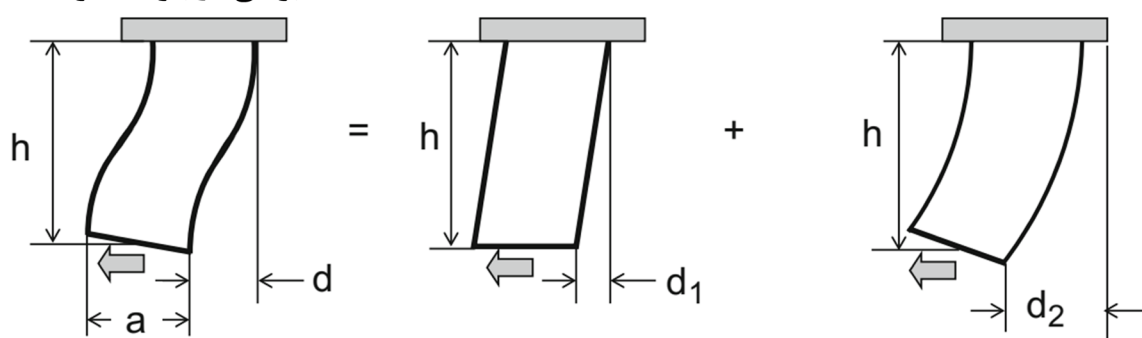
$$K = \frac{f}{d} = \frac{abE}{3h[1 + \frac{1}{3}(\frac{h}{a})^2]} \quad (6)$$

که b نشان دهنده عرض بلوک و در جهت عمود بر صفحه می‌باشد.

برای حالت کرنش برشی خالص (شکل ۴)، مقدار تغییر شکل ( $d_1$ ) با توجه به اینکه G مدول برشی رابر و  $\tau$  تنش برشی می‌باشد از رابطه زیر حاصل می‌شود:

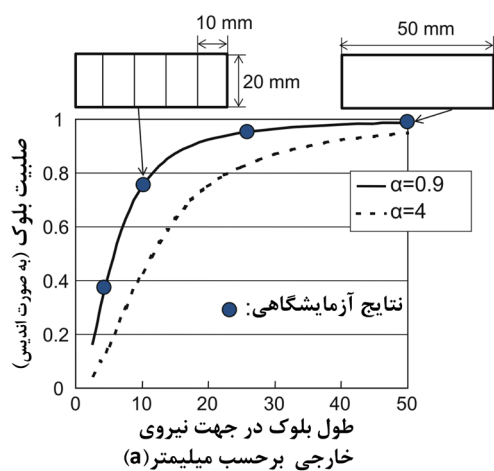
$$\begin{aligned} \tan(\alpha) &= \frac{d_1}{h} \\ \tau &= G \cdot \tan(\alpha) \Rightarrow d_1 = \frac{fh}{AG} \\ G &= \frac{f}{A} \end{aligned} \quad (4)$$

مجموع تغییر شکل برشی در بلوک تایر



شکل ۵. نرخ تغییر شکل برشی در پترن تایر با فرض سطح زیرین بلوک با سطح جاده در تماس کامل نمی‌باشد.

ناکاجیما [۴] در راستای مشخص کردن دقیق مقدار  $\alpha$  از نتایج آزمایشگاهی استفاده کرد. ارتفاع بلوک و عمق سایپ ۸ mm در نظر گرفته شده است و فقط سطح بالایی بلوک از جنس رابر به یک سطح صلب متصل شده است و سطح پایینی بلوک از جنس رابر در تماس با یک سطح صلب می‌باشد که به صورت جانبی حرکت می‌کند. در شکل ۶ چهار نقطه آزمایشگاهی نشان داده شده است که در طول‌های مختلف (a) آزمایش انجام شده است. اگر در معادله (۹) مقدار  $\alpha=0.9$  در نظر گرفته شود، یک نمودار بر روی نتایج آزمایشگاهی منطبق خواهد شد که با توجه به اینکه مقدار  $\alpha=0.9$  به مقدار  $\alpha=1$  نزدیک‌تر می‌باشد، معادله (۶) پیش‌بینی بهتری در مورد صلبیت بلوک انجام می‌دهد و معادله (۷) با  $\alpha=4$  عملکرد مطلوبی در پیش‌بینی صلبیت بلوک ندارد.



شکل ۶. مقایسه نتایج آزمایشگاهی با معادله‌های مربوط به پیش‌بینی صلبیت بلوک.

بنابراین در ادامه، جهت محاسبه مقدار استحکام بلوک از رابطه (۶) استفاده می‌شود.

ممکن است که ناحیه سطح پایین بلوک ترد به سطح جاده نچسبد، در این صورت مقدار تغییر شکل خمشی خالص تغییر پیدا می‌کند و این باعث می‌شود که مقدار صلبیت بلوک (K) در این حالت با توجه به شکل ۵ تغییر کند:

$$K = \frac{f}{d} = \frac{abE}{3h[1 + \frac{4}{3}(\frac{h}{a})^2]} \quad (7)$$

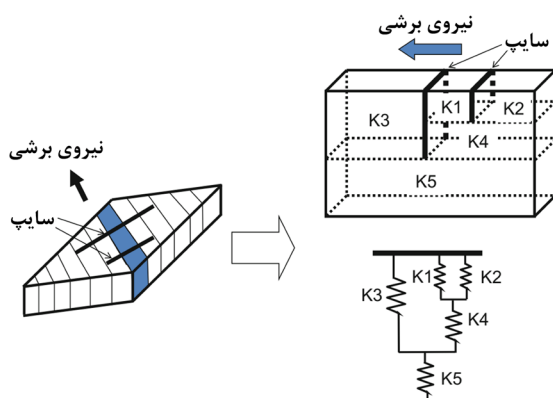
مقدار ضریب ۳/۱ در معادله (۶) و ضریب ۳/۴ در معادله (۷) در واقع نشان دهنده نسبت جابجایی خمشی به برشی در دو حالت متفاوت می‌باشد. این مقادارها به شرایط مرزی مربوط به سطح پایینی بستگی دارد. ناکاجیما [۴] نسبت جابجایی خمشی به جابجایی برشی با نماد  $\alpha$  نشان داد و معادلات (۵) و (۶) به صورت زیر بازنویسی شد:

$$d = d_1 + d_2 = \frac{fh}{AG} + 2\alpha \frac{f \cdot (h/2)^3}{3EI} \quad (8)$$

$$K = \frac{f}{d} = \frac{abE}{3h[1 + \frac{\alpha}{3}(\frac{h}{a})^2]} \quad (9)$$

هنگامی که  $\alpha=1$  نشان دهنده حالت تماس کامل سطح زیرین بلوک با سطح جاده می‌باشد و در حالتی که این تماس کامل نمی‌باشد مقدار  $\alpha < 1$  می‌باشد. هنگامی که مقدار جابجایی خمشی صرف‌نظر شود ( $\alpha=0$ )، نرخ تغییر شکل برشی حاصل از برش خالص بر واحد مساحت برای رابر به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\frac{K_{\alpha=0}}{d} = \frac{E}{3h} = \frac{G}{h} \quad (10)$$



شکل ۷. محاسبه میزان صلبیت یک بلوک دارای شیار

است (شکل ۸-الف). در این حالت برای محاسبه میزان صلبیت بلوک با استفاده از معادله (۶)، مقدار  $a=30\text{ mm}$ ،  $b=15\text{ mm}$  و  $h=10\text{ mm}$  که با جانشین کردن این مقادیر در معادله مربوطه مقدار صلبیت این بلوک  $K=14.46\text{ N/m}$  بدست خواهد آمد (توجه داشته باشید مقدار مدول الاستیسته  $E=1\text{ MPa}$  در نظر گرفته شده است). اگر همین بلوک دارای یک سایپ با ضخامت  $t=1\text{ mm}$  و ارتفاع  $h=10\text{ mm}$  در وسط باشد، مقدار صلبیت بلوک از جمع صلبیت دو قسمت که به صورت سری می‌باشند، حاصل می‌شود (شکل ۸-ب). به همین ترتیب اگر بلوک دارای سایپ با ضخامت  $t=1\text{ mm}$  و ارتفاع  $h=5\text{ mm}$  در وسط باشد، مقدار صلبیت بلوک از جمع سری و موازی سه قسمت جداگانه حاصل می‌شود (شکل ۸-ج). در حالتی که مقدار ارتفاع سایپ ۵ میلیمتر باشد،  $K=14.39\text{ N/m}$  که نسبت به حالت بدون سایپ فقط ۰٫۵ درصد کاهش پیدا کرده است اما در حالتی که ارتفاع سایپ به اندازه ارتفاع بلوک باشد مقدار  $K=12.52\text{ N/m}$  خواهد بود که افت ۱۳٫۵ درصد در صلبیت بلوک خواهد داشت.

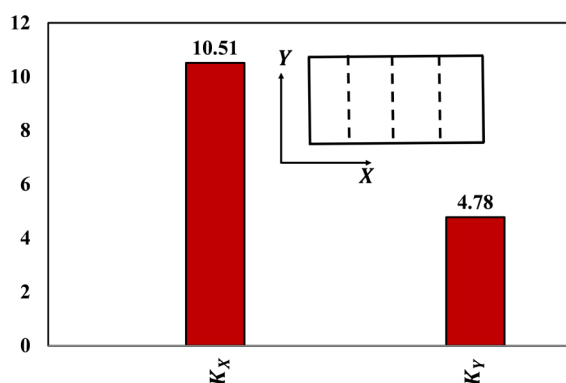
شکل ۹ مقدار صلبیت برای بلوک با مشخصات شکل ۸ در حالت بدون سایپ، با یک سایپ میانی، دو سایپ میانی و سه سایپ میانی در دو حالت ارتفاع سایپ های ۵ میلی متر و ۱۰ میلی متر نشان داده شده است. طبق شکل ۹ در حالتی که

### محاسبه صلبیت یک بلوک دارای پترن

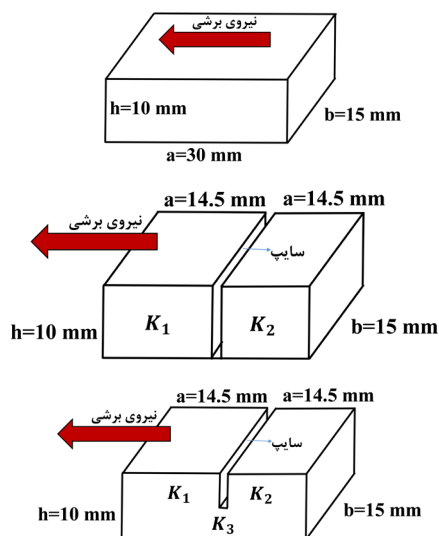
اگر بلوک مورد نظر دارای شیار باشد، امکان محاسبه صلبیت این بلوک با استفاده از معادلات موجود در قسمت قبل، وجود دارد. اما جهت محاسبه باید بلوک مورد نظر به قسمت‌ها کوچک‌تر تقسیم شود و هر قسمت جداگانه مقدار صلبیت آن محاسبه شود و بدین طریق مقدار صلبیت بلوک محاسبه می‌شود. در شکل ۷ یک بلوک حاوی دو شیار (سایپ) نشان داده شده است که این بلوک به قسمت‌های کوچک‌تری تقسیم شده است. برای مثال برای محاسبه مقدار صلبیت قسمت آبی رنگ که سایپ‌های با عمق متفاوت آن در جهت عمود بر نیروی برشی می‌باشد، از قواعد مربوط به فنرهای سری و موازی باید استفاده شود. در ابتدا این قسمت آبی رنگ جدا شده که حاوی دو سایپ با عمق‌های متفاوت است به ۵ قسمت تقسیم می‌شود که هر قسمت دارای یک صلبیت می‌باشد که با علامت  $K_{i(i=1:5)}$  نشان داده شده است.  $K_1$  و  $K_2$  با یکدیگر موازی می‌باشند و مقدار مجموع صلبیت این دو قسمت از رابطه  $K^{(1)}=K_1+K_2$  حاصل می‌شود. قسمت‌های یک و دو که با یکدیگر موازی بودند با قسمت ۴ ( $K_4$ ) سری می‌باشد بنابراین،  $\frac{1}{K^{(2)}} = \frac{1}{K^{(1)}} + \frac{1}{K_4}$  می‌باشد و مجموع این سه قسمت با قسمت سوم ( $K_3$ ) موازی می‌باشد و مجموع صلبیت این چهار قسمت برابر با  $K^{(3)}=K^{(2)}+K_3$  می‌شود و در نهایت با در نظر گرفتن قسمت پنجم ( $K_5$ )، مقدار صلبیت این قسمت آبی رنگ از کل بلوک از رابطه  $\frac{1}{K} = \frac{1}{K^{(3)}} + \frac{1}{K_5}$  بدست آورده می‌شود. دقت داشته باشید بعد از محاسبه تمامی ریز بلوک‌های موجود، این ریز بلوک‌ها با یکدیگر موازی می‌باشد و مقدار صلبیت کل بلوک از جمع مقدار صلبیت این ریز بلوک‌ها حاصل می‌شود.

برای مثال فرض شود که یک بلوک بدون سایپ با ابعاد ۳۰ میلیمتر در ۱۵ میلیمتر و ارتفاع ۱۰ میلیمتر وجود دارد که تحت یک نیروی برشی در راستای بعد بزرگ‌تر قرار گرفته

دقت داشته باشید که هنگامی که صلبیت یک بلوک اندازه گیری می‌شود، نشان دهنده مقدار مقاومت حرکتی بلوک در برابر نیروی برشی وارد بر آن می‌باشد. در شکل ۸ مقدار صلبیت بلوک در جهت نیروی برشی بدست آورده شد، همان طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، مقدار صلبیت بلوک در راستای عمود بر جهت نیروی برشی نیز قابل محاسبه می‌باشد. بنابراین صلبیت بلوک در راستای نیروی برشی با  $KX$  نشان داده می‌شود و صلبیت بلوک در راستای عمود بر نیروی برشی با  $KY$  نشان داده می‌شود. برای محاسبه  $KY$  از همان قاعده‌های مرتبط به صلبیت بلوک در راستای نیروی برشی باید استفاده می‌شود. برای مثال در شکل ۸-الف، مقدار صلبیت بلوک در راستای عمود بر جهت نیروی برشی  $(KY)$  با جانشین کردن مقادیرهای  $b=30\text{ mm}$ ،  $a=15\text{ mm}$  و  $h=10\text{ mm}$  در معادله (۶)  $KY=13.06\text{ N/m}$  بدست خواهد آمد (توجه داشته باشید مقدار مدول الاستیسیته  $E=1\text{ MPa}$  در نظر گرفته شده است). در شکل ۱۰ مقدار صلبیت بلوک در راستای  $X$  و  $Y$  برای یک بلوک دارای سه سایپ نشان داده شده است. ضخامت سایپ،  $1\text{ mm}$  و ارتفاع آن‌ها  $7.5\text{ mm}$  در نظر گرفته شده است. همچنین ابعاد بلوک  $30$  میلی‌متر در  $15$  میلی‌متر و ارتفاع  $10$  میلی‌متر می‌باشد. همانطور که در شکل مشاهده می‌کنید مقدار صلبیت در راستای  $X$  تقریباً بیش از دو برابر راستای  $Y$  می‌باشد.

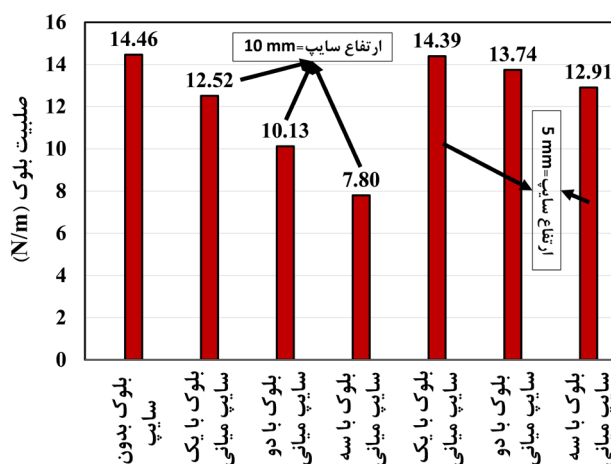


شکل ۱۰. مقدار صلبیت یک بلوک دارای سه سایپ در راستای  $X$  و  $Y$ .



شکل ۸. بلوک بدون شیار (الف)، بلوک دارای یک شیار میانی با ارتفاع  $10$  میلی‌متر (ب)، بلوک دارای یک شیار میانی با ارتفاع  $5$  میلی‌متر (ج)

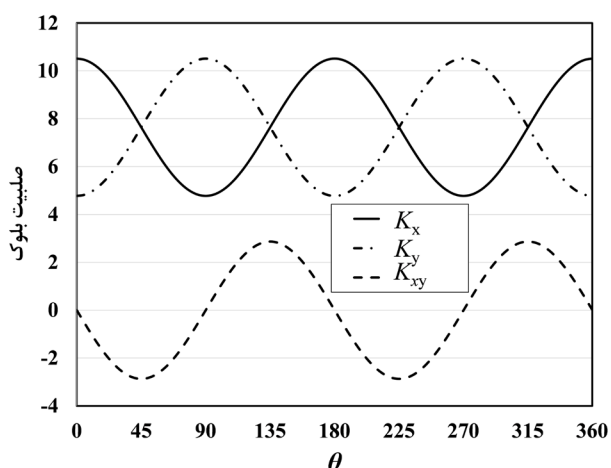
سایپ‌ها ارتفاع آنها نصف ارتفاع بلوک می‌باشد، افزایش آن‌ها تاثیر زیادی در کاهش صلبیت بلوک ندارد، اما در حالتی که سایپ‌ها ارتفاع قابل توجه هم اندازه ارتفاع بلوک دارد، افزایش سایپ به شدت موجب کاهش صلبیت بلوک می‌شود، به طوری‌که در حالت سه سایپ تقریباً  $50\%$  درصد افت صلبیت نسبت به حالت بدون سایپ ایجاد می‌شود.



شکل ۹. مقدار صلبیت یک بلوک دارای سایپ و بدون سایپ.



Y، راستای سایپها می باشد و محورهای X و Y در یک زاویه  $\theta$  با محورهای X و Y قرار می گیرند. در بعضی مواقع صلبیت بلوک در راستاهای خاص به علت نوع جهت گیری متفاوت نیروی برشی لازم می باشد، بنابراین ارتباط بین صلبیت بلوک در راستاهای متفاوت قابل اهمیت می باشد. همانطور که در شکل ۱۲ مشخص شده است، در هنگامی که زاویه  $\theta=0$  می باشد، مقدار  $K_{xy}=0$  و  $K_x=K_X$ ،  $K_y=K_Y$ ، با افزایش زاویه  $\theta$  مقدار  $K_x$  کاهش و  $K_y$  افزایش پیدا می کند تا اینکه در زاویه  $\theta=90^\circ$   $K_x=K_Y$ ،  $K_y=K_X$  خواهد بود و در زاویه  $\theta=45^\circ$  مقدار  $K_{xy}$  به حداکثر مقدار خود می رسد.



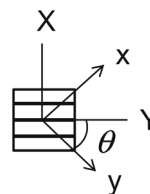
شکل ۱۲. تغییرات  $K_{xy}$ ،  $K_x$  و  $K_y$  بر حسب زاویه  $\theta$ .

### نتیجه گیری

نرخ تغییر شکل برشی در بلوک تایلر تحت نیروی برشی، نشان می دهد که مقدار صلبیت یک بلوک به مدول الاستیسیته، ابعاد بلوک و ارتفاع بلوک بستگی دارد. هنگامی که عمق سایپها نسبت به ارتفاع بلوک قابل توجه باشد، افزایش تعداد سایپها به شدت مقدار صلبیت بلوک را کاهش می دهد به طوری که برای یک بلوک با سه عدد سایپ که عمق آنها هم اندازه ارتفاع بلوک می باشد، این کاهش صلبیت به ۵۰ درصد مقدار اولیه

در حالتی که مقدار  $K_X$  و  $K_Y$  برای یک بلوک مشخص می باشد، می توان مقدار صلبیت خمشی در هر راستای دلخواه دیگر را با توجه به نیروی برشی وارد شده از طریق معادلات مربوط به دوران بدست آورد. با توجه به شکل ۱۱، مقدار  $K_x$  و  $K_y$  از معادلات زیر قابل محاسبه می باشد:

$$\begin{aligned} K_x &= K_X \cos^2 \theta + K_Y \sin^2 \theta \\ K_y &= K_X \sin^2 \theta + K_Y \cos^2 \theta \end{aligned} \quad (11)$$



شکل ۱۱. ارتباط بین صلبیت بلوک در راستاهای مختلف.

همچنین پارامتری با عنوان صلبیت کوپلینگ بلوک ( $K_{xy}$ ) وجود دارد که نشان دهنده این می باشد که هنگامی که در راستای X به بلوک نیرو وارد می شود، مقدار مقاومت بلوک در برابر جابجایی در راستای Y چه مقدار می باشد که این نوع صلبیت در مواد کامپوزیتی بسیار مشاهده می شود. در واقع بلوک ها را می توان لمینیت هایی در نظر گرفت که ماتریس آن، همان بلوک می باشد و تقویت کننده ها که در واقع اینجا نقش تضعیف کننده دارد همان سایپها می باشد.

$$K_{xy} = -(K_X - K_Y) \cos \theta \sin \theta \quad (12)$$

با توجه به معادله (۱۲) در هنگامی که بلوک در راستای X و Y، مقدار صلبیت یکسانی دارد، (ماده همگن می باشد) مقدار صلبیت کوپلینگ آن صفر می باشد. در شکل ۱۲ مقدار تغییرات  $K_x$  و  $K_y$  برای بلوک معرفی شده در شکل ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است. در این بلوک مقدار  $K_X=10.51$  N/m و  $K_Y=4.78$  N/m می باشد. با توجه به شکل ۱۱ توجه داشته باشید که منظور از محور X، راستای عمود بر سایپها و محور



**سپاسگزاری IRM**

بلوک بدون سایپ می‌رسد. با استفاده از این روش می‌توان صلبیت بلوک طراحی شده در برابر نیروهای برشی را محاسبه کرد و تعداد، محل قرارگیری، ضخامت و عمق سایپ‌ها را به نحوی بهینه کرد که صلبیت بلوک کمترین کاهش را داشته باشد.

**منابع**

1. Bridgestone (ed.), *Fundamentals and Application of Vehicle Tires (in Japanese)* (Tokyo Denki University Press, 2008).
2. R.E. Okonieski et al., Simplified approach to calculating geometric stiffness properties of tread pattern elements. *Tire Sci. Technol.* 31(3), 132–158 (2003)
3. H. Sakai, *Tire Engineering (in Japanese)* (Guranpuri-Shuppan, 1987)
4. Y. Nakajima, Simple Prediction Method of Block Stiffness (Technical report in Bridgestone Corporation, 1980).

***IRM***