بررسی تأثیر شکاف بین تخته‌های کف پالت بر روی مقاومت فشاری کارتن‌های کنگره‌دار ترجمه

مصطفی امام پور [1×]، رضا پورزند [2]، سعیده حشمتی [3]

تاریخ دریافت مقاله: آذرماه ۱۳۹۶
تاریخ پذیرش مقاله: اسفندماه ۱۳۹۶

چکیده

اکثر کارتن‌های کنگره‌دار به وسیله پالت‌ها نگهداری و حمل می‌شوند. فاصله (شکاف) بین تخته روی کف پالت تأثیر نامطلوبی بر استحکام جعبه دارد و باعث کاهش مقاومت فشاری در جعبه می‌شود. از این رو؛ برای تنظیم مقاومت فشاری جعبه از عواملی به نام تنظیم و اصلاح استفاده می‌شود. و عامل تنظیم و اصلاح فقط در بررسی فاصله بین تخته کف، اندازه جعبه و جهت جعبه کاربرد دارد و این امر بیان‌کننده محدودیت در عامل تنظیم و اصلاح می‌باشد. علاوه بر این, هیچ یک از مدل‌های پیشنهادی نمی‌توانند بر اساس اندازه جعبه و شکاف، میزان کاهش مقاومت فشاری جعبه‌ها را برآورد کنند. هدف اصلی این مقاله؛ بررسی تأثیر فاصله (شکاف) بین تخته کف پالت بر کاهش مقاومت فشاری تولید شده که با استفاده از داده‌های تجربی به دست آمده از طریق بررسی دو جعبه با اندازه‌های متفاوت می‌باشد. نتایج به دست آمده از این مقاله، نشان داد؛ به علت افزایش فاصلهٔ بین تخته کف پالت‌ها، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. شکاف‌ها به مراتب تأثیر کمتری بر روی استحکام جعبه‌های بزرگ‌تر (به عرضی معادل ۳۰۵mm) نسبت به جعبه‌های کوچک‌تر می‌گذارند. با توجّه به تحقیقاتی که در این مطالعه انجام شد؛ اگر ۱۰mm از هر گوشهٔ کارتن روی شکاف‌ها قرار گیرد و یا اینکه یک شکاف بزرگ را به دو شکاف کوچک‌تر و مساوی تقسیم کرد، استحکام جعبه کاهش می‌یابد. در این راستا، مک‌کی معادله‌ای مطرح کرد و با تجزیه و تحلیل‌های انجام شده؛ دریافت که این معادله، قادر به پیش‌بینی کاهش مقاومت فشاری تولید شده توسط شکاف بین تخته کف پالت می‌باشد. دقّت پیش‌بینی در معادله مک‌کی توسط تغییرات ذاتی کارتن کنگره‌ای محدود می‌شود.

واژه‌های کلیدی

پالت، کارتن کنگره‌دار[4]، جعبه، مقاومت فشاری[5]، تخته کف[6]، شکاف[7]، بسته‌بندی، بار واحد[8]

۱- دانشجوی دکتری رشته حفاظت و اصلاح چوب - دانشگاه آزاد اسلامی- واحد علوم و تحقیقات. تهران. ایران.
(× نویسنده مسئول emampourmos@yahoo.com)
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد زبان انگلیسی- دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب (Re.pourzand@yahoo.com).
۳- دانشجوی کارشناسی مهندسی صنایع چوب و کاغذ - گرایش خمیر کاغذ- گروه علوم و مهندسی صنایع چوب - دانشکده مهندسی منابع طبیعی - پردیس کشاورزی و منابع طبیعی تهران(Heshmati.saeede@ut.ac.ir).

4- Corrugated Boxes
5- Compression Strength
6- Deckboards
7- Gap
8- Unit Load

۱- مقدمه

یک واحد بار شامل محصولات بسته‌بندی شده، یک روش محدود کردن از قبیل پیچیدن و بسته‌بندی کردن پالت می‌باشد. هشتاد درصد محصولات بسته‌بندی شده به صورت بار واحد می‌باشد. محصولات بسته‌بندی شده روی پالت به وسیلهٔ تسمه یا شرینک بسته‌بندی شده و حمل و نگهداری می‌شود که در قالب یک بار واحد نامیده می‌شوند. به طور کلی، با استفاده از روش زیرسازی ضمن مشخص کردن بار واحد، حمل‌ونقل کارآمدتر و میسّرتر می‌شود.

در حین حمل‌ونقل محصولات به روش بار واحد، به دلیل قرار گرفتن جعبه‌ها روی یکدیگر، نیروی فشار در راستای عمودی بر آنها اعمال می‌شود که باعث ایجاد خمش و لهیدگی در سطح جعبه‌ها می‌گردد.

با توانایی پیش‌بینی مقاومت فشاری جعبه‌ها در زمان طراحی می‌توان میزان تولیدات را افزایش داد و میزان خسارت و لهیدگی در جعبه‌ها را کاهش داد.

اخیراً مطالعاتی توسط محققان[۱] روی معادلاتی که قادرند میزان استحکام جعبه‌ها را روی سطح صاف[۲] پیش‌بینی کنند، انجام شد.

به علت تنوع کارتن‌های کنگره‌دار[۳]، پیش‌بینی دقیق استحکام جعبه‌ها دشوار می‌باشد. بنابراین هر یک از مطالعات صورت گرفته در این زمینه، سهم قابل توجّهی را به خود اختصاص داده‌اند. با این حال؛ معادلهٔ مک‌کی همچنان دارای استانداردهای صنعتی می‌باشد.

از مزایای معادلهٔ (۱) مک‌کی در ارتباط با استحکام جعبه‌ها می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

الف- تفسیر و بیان ریاضی آن پیچیده نمی‌باشد.

ب- خصوصیاتی از جعبه در نظر گرفته می‌شود که به آسانی به دست می‌آید و نیازی به آزمایش ندارد.

معادله(۱):

$$P = 5.87\, P_m \times \sqrt{(h \times z)}$$

P= مقاومت جعبه در برابر فشار عمودی(Kg)

P_m = مقاومت به فشار لبه کارتن (kg/mm)

Pm= نیروی قائم وارده به کارتن‌های کنگره‌دار (kg/mm)

h= ضخامت ارتفاع جعبه (mm)

z= محیط جعبه (۲w+۲L)mm

از اواخر دههٔ ۱۹۶۰، مطالعات و تلاش‌های بسیاری صورت گرفت تا بتوانند هنگام انتقال محصولات عوامل مؤثر بر مقاومت فشاری در جعبه‌ها را بهتر شناسایی کنند. در همین راستا؛ رفتار جعبه‌های کنگره‌دار بر روی پالت‌ها به میزان کمی شناسایی شد.

بنا بر مطالعاتی که کت و میثل[۴](۱۹۶۸) انجام دادند به این نتیجه مهم دست یافتند که مقاومت فشاری (استحکام تراکم) جعبه‌ها رابطه مستقیمی با محیط داخلی جعبه‌ها دارد.

کِلی کات[۵] (۱۹۶۳) به منظور شبیه‌سازی بار واحد، یک لایه جعبه را بر روی پالت آزمایش کرد و نتایج حاصل از آزمایش را که با جعبه‌های روی صفحه تخت(زمین) قرار داشتند، مقایسه کرد.

نتایج این مطالعه نشان داد؛ هنگامی که جعبه(خالی یا پر) بر روی پالت قرار دارد حدود ۱۳٪-۱۲٪ از مقاومت فشاری خود را از دست می‌دهد.

طی انجام تحقیقاتی؛ ٤ جعبه را با اندازه متفاوت روی پالت‌های بلوکی[٦] و استرینگ[۷] قرار دادند و نتایج به دست آمده، بیانگر این است که مجموعه جعبه‌ها روی پالت بلوکی مقاومت بیشتری نسبت به پالت استرینگ دارند.

۱- محققانی که در این زمینه مطالعه نمودند عبارت بودند از:
Kellicut and Landt (1951) (5) . Maltenfort (1956).(6). Ranger 1960 . (7) " Mckee1963 .(4) " Kawanishi 1998 .(8) " Batelka and Smith 1993 (9) " Biancolini and Brutti 2003(10) Urbanik and Salikis 2003(11).

2- Flat Surface

3- Corrugated

4- Kutt and Mithel

5- Kelicut

6- Block

7- Stringer

در راستای این مطالعات، ساین[1] پیشنهاد کرد که پالت بلوکی، سطح بالاتری(ارتفاع بیشتری) نسبت به پالت استرینگ[2](GAM) دارند و همچنین دریافت با قرار گرفتن کارتن‌های کنگره‌دار روی پالت، میزان مقاومت فشاری کاهش می‌یابد.

ایوان[3] (۱۹۷۵)، مونوگان و مارکوند[4] (۱۹۹۲)، دیسالو[5] (۱۹۹۹)؛ مطالعاتی در زمینه بررسی اثر فاصله (شکاف) بین تخته کف پالت‌ها بر روی مقاومت فشاری جعبه‌ها انجام دادند.

ایوان (۱۹۷۵)؛ در راستای مطالعات خود از جعبه‌های کنگره‌دار نسبتاً بزرگی از نوع C- فلوت به ابعاد ۳۰۵×۳۹٤×٦۱۰ میلی‌متر استفاده کرد.

نتایج مطالعه نشان داد در صورتی که فاصله بین تخته کف پالت ۱۷۸-۱۲۷ میلی‌متر باشد، مقاومت فشاری به طور نسبی ۱۵٪- ۸٪ کاهش می‌یابد و همچنین دریافت شکاف‌های کمتر از ۷٦ میلی‌متر تأثیری بر مقاومت فشاری ندارد.

براساس مطالعات مونوگاند و مارکوند (۱۹۹۲)؛ اولین معادله را برای پیش‌بینی تأثیر فاصله بین تخته کف روی مقاومت فشاری مطرح کردند و دریافتند با افزایش فاصله میزان مقاومت فشاری کاهش می‌یابد؛ اما معادله[6] مطرح شده به ابعاد و نوع جعبه‌ها محدود می‌شد و فقط برای کارتن‌های C- فلوت با ابعاد ۱۷۰×۲۷۰×٤۰۰ میلی‌متر کاربرد دارد. گاهی در حین قرارگیری جعبه‌ها روی پالت دو گوشه از جعبه در یک سو روی تخته و از طرف دیگر در راستای شکاف‌ها قرار می‌گیرد. این امر سبب شد دیسالو در سال (۱۹۹۹) مطالعه‌ای به منظور تعیین میزان آسیب و لهیدگی در جعبه و کاهش مقاومت فشاری انجام دهد.

در این مطالعه از جعبه‌های کنگره‌دار که ۵٪، ۱۵٪ و ۲۵٪ آنها در تماس با شکاف‌های متفاوتی به اندازه ۸، ۲۳ و ۳۸ میلی‌متر بودند، استفاده شد. این مطالعه نشان داد؛ میزان مقاومت فشاری افزایش نمی‌یابد؛ اما میزان کاهش مقاومت فشاری کلی نسبت به حد معمول ۱۱٪ کمتر می‌باشد. تا به امروز؛ بیشتر آزمایشات مربوط به مقاومت فشاری، به شکاف‌های باریک تخته کف محدود می‌شود. در این آزمایشات همواره جهت جعبه روی تخته کف در راستای عرض پانل می‌باشد. علی‌رغم این، مک‌کی نشان داد؛ گوشه‌های[7] یک جعبه نسبت به روی مرکز آن روی پالت، بار بیشتری را متحمل می‌شوند.

مطالعات گذشته؛ در ارتباط با جعبه‌هایی بود که روی فاصله مرکزی تخته کف قرار داشتند. در بار واحد تجاری به ندرت اتّفاق می‌افتاد که طراحان واحد بار بخواهند میزان کاهش مقاومت فشاری را در محل شکاف‌ها به دست آورند.

۲- هدف

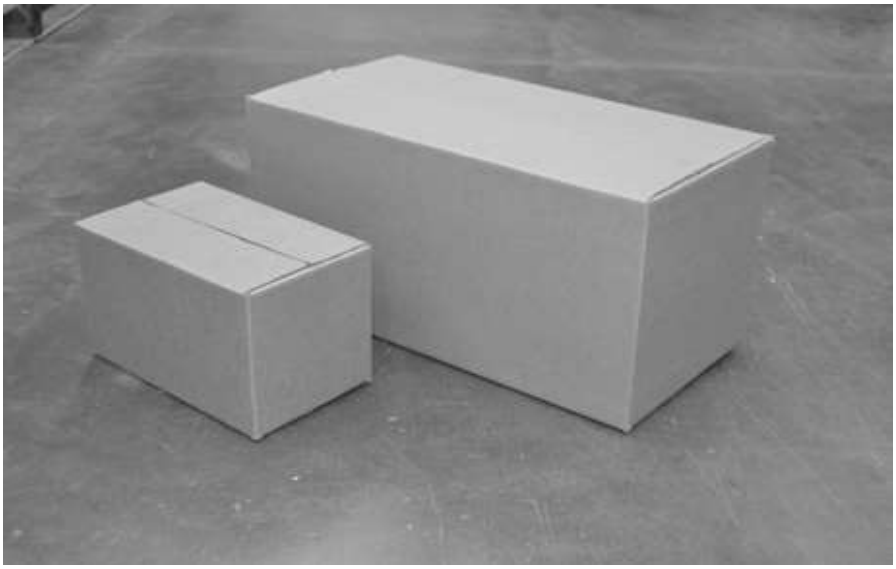
هدف کلی این مقاله، بررسی و پیش‌بینی مقاومت فشاری جعبه‌های کنگره‌داری است که توسط تخته کف شکاف‌دار پالت‌های محکم و سفت[7] پشتیبانی می‌شوند.

۲-۱- اهداف خاص مقاله

- تعیین و بررسی اثر فاصله بین تخته کف پالت روی مقاومت فشاری جعبه‌هایی به ابعادی معادل: ۱۵۲×۱۵۲×۲۵۴ میلی‌متر و ۳۰۵×۳۰۵×۵۰۸ میلی‌متر می‌باشد.
- تعیین و بررسی اثر محل و تعداد شکاف و فاصله بین تخته کف پالت در مقاومت فشاری جعبه‌های کنگره‌دار به ابعاد: ۱۵۲×۱۵۲×۲۵۴ میلی‌متر می‌باشد.
- استفاده از معادله[6] اصلاح شده

1-Singh
2- Grocary Manufacturers Association
3- Ievans
4- Monaghan and Marconde
5- Disalvo

6- Corners
7- Rigid



شکل ۱- مقایسه جعبه‌های RSC با دو اندازه متفاوت که از پهلو کنار هم (پهلو به پهلو) [۸]قرار گرفته‌اند: ابعاد جعبه سمت چپ از جلو: ۱۵۲×۱۵۲×۲۵٤ میلی‌متر ابعاد جعبه سمت راستی از پشت: ۳۰۵×۳۰۵×۵۰۸ میلی‌متر

اصلاح معادله مک‌کی برای پیش‌بینی مقاومت فشاری جعبه‌های کنگره‌دار که توسط تخته کف فاصله‌دار پالت‌های محکم پشتیبانی می‌شوند.

۳- مواد

در این مطالعه، به منظور بسته‌بندی محصولات از جعبه‌های سبک[٤](RSC) استفاده شد. جعبه‌های RSC استفاده شده در مطالعه از ورق کارتن با دو لایه کاغذ کنگره‌دار که ترکیب ورق بیرونی کارتن از فلوت نوع B با دو اندازه: ۱۵۲×۱۵۲×۲۵٤ میلی‌متر و ×۳۰۵×۵۰۸ میلی‌متر و[۱] 32ECT ساخته شده‌اند(شکل ۱).

۳-۱- تخته کف پالت

در این مطالعه؛ از چوب درخت کاج جنوبی[۲] دو عدد تخته با ابعاد: ۳۸×۱۵۲×۵۰۸ میلی‌متر و با زاویه ۹۰ درجه در هر لبه[۳] تهیه شد. تخته‌های چوبی به طور مداوم پشتیبانی می‌شدند و در فواصل مختلفی از هم قرار می‌گرفتند تا اندازه متفاوتی از شکاف بین تخته کف پالت‌ها را شبیه‌سازی نمایند. در تخته کف پالت‌های واقعی، انحراف بار واحد، ناشی از مدول الاستیسیته[٤] و محدوده[٥] حمایت نشده بین استرینگ و بلوک‌ها می‌باشد. بنابراین؛ به منظور استفاده کامل از تخته‌های پشتیبانی، تأثیر فاصله بین تخته کف شبیه‌سازی شد.

٤- روش‌ها

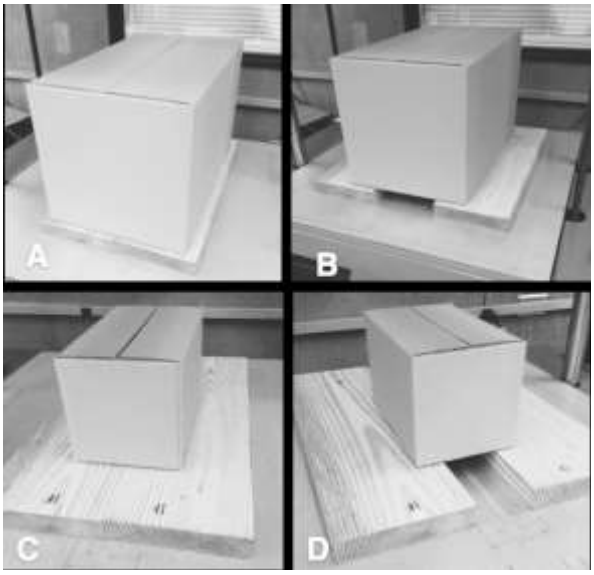
٤-۱- آزمون مقاومت فشاری

در این آزمون، جعبه‌ها روی تخته‌های چوبی[٦] قرار داده شد و دیوار جانبی جعبه‌ها که روی شکاف‌ها متمرکز بودند، آزمایش و بررسی شد(شکل ۲).

در این آزمون، از یک صفحه فشار(مدل دستگاه[۷]) مجهّز به بار سلولی[۸] ۲/۲٦۷ کیلوگرم برای اعمال نیرو به جعبه از طریق صفحه ثابت با سرعت 12.5mm/min بر اساس استاندارد TAPPI T-804 استفاده شد.

1- Edge Crush Test
2- Southern Pine
3- Edge

4- Elasticity
5- Span
6- Wooden Boards
7- Squeezer
8- Load Cell



شکل ۲- جعبه‌های متمرکز روی تخته کف در داخل دستگاه آزمایش تراکم لن اسمنت

A) جعبه بزرگ روی تخته بدون شکاف
B) جعبه بزرگ روی شکاف ۱۶۵ میلی‌متری در زیر پانل عرضی
C) جعبه کوچک روی تخته بدون شکاف
D) جعبه کوچک روی شکاف ۸۳ میلی‌متری در زیر پانل عرضی

٤-۲- تعیین مقدار رطوبت

بر اساس آزمون استاندارد TAPPT 412 با استفاده از معادله ۳ و شرایط آزمایشگاهی استاندارد(دما: ۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰ ٪) رطوبت جعبه‌ها محاسبه می‌گردد.

معادله ۲:

$$\text{درصد رطوبت } M\ \% = \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100$$

W_1 = وزن نمونه مرطوب

W_2 = وزن نمونه خشک

معادله ۳:

$$\text{مقاومت فشاری } P = P_1 \frac{(10)^{3.01 X_1}}{(10)^{3.01 X_2}}$$

P = مقاومت فشاری

P_1 = نیروی فشاری وارده به جعبه

X_1 = میزان رطوبت جعبه با مقاومت فشاری p_1

X_2= میزان رطوبت جعبه بعد از تعیین استحکام کششی

٤-۳- آزمون مقاومت به فشار لبه کارتن موازی با فلوت (ECT)

در این آزمایش از ۱۰ دسته سالم به طور تصادفی یک کارتن به ابعاد ۵۰×۵۰ میلی‌متر جهت آزمایش انتخاب شد و با استفاده از آزمون ECT بر اساس مقاومت فشاری استاندارد TAPPI 811 مقاومت فشار به لبه کارتن بررسی شد.

۵- طرح آزمایش

۵-۱- اثر شکاف روی مقاومت فشاری جعبه

در این مطالعه، جهت آزمایش، جعبه کوچکی به ابعاد؛ ۱۵۲×۱۵۲×۲۵٤ میلی‌متر(L×W×D) تحت عرض جانبی روی تخته کف بدون شکاف و یا با شکاف‌هایی به اندازه[اینچ ۱/۵] ۱۵×۲۳×۳۸ میلی‌متر و [اینچ ۳/۲۵] ٦٤×۸۳ میلی‌متر و بار دیگر تحت طول جانبی روی

شکاف‌هایی بدون اندازه و یا با اندازه ۱٤۰×٦٤×۳۸ میلی‌متر قرار داده شد. همچنین این آزمایش برای جعبه بزرگ‌تری به ابعاد ۳۰۵×۳۰۵×۵۰۸ میلی‌متر انجام شد. با این تفاوت که در این جا فاصلهٔ شکاف‌ها را دو برابر قرار دادند تا درصد ناحیه پشتیبانی نشده زیر جعبه‌های بزرگ با جعبه‌های کوچک‌تر برابر باشد و این اندازه را حفظ کنند.

۵-۲- اثر محل و تعداد شکاف‌ها روی مقاومت فشاری جعبه

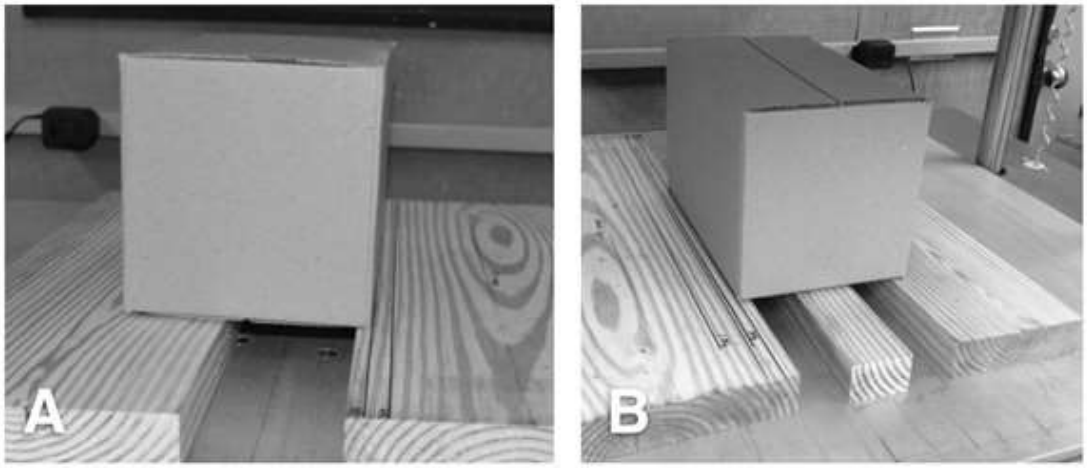
برای بررسی و تعیین تأثیر مکان[1]؛ جعبه‌ای را به ابعاد ۱۵۲×۱۵۲×۲۵٤ میلی‌متر روی شکاف‌هایی به اندازه ۱۳ میلی‌متری و ۲۵ میلی‌متری به صورت افقی جابه‌جا کردند در حالی که فاصله بین تخته کف ۸۳ میلی‌متری بود (شکل 3A).

برای بررسی تعداد شکاف؛ یک/ سوم تخته به ابعاد ۳۸×۵۰×۵۰۸ میلی‌متر برش داده شد. سپس تخته ۵۰ میلی‌متری را بین دو تخته با فاصله ۱۳۳ میلی‌متری از هم قرار دادند (شکل 3B). به طوری که فاصله ۸۳ میلی‌متری را به دو شکاف مساوی به اندازهٔ ٤۲/۵ میلی‌متری تبدیل می‌کند.

مجموعه این الگو فاصله‌ها در(جدول ۱) ارائه شده است.

جدول۱- خلاصه‌ای از جدول پشتیبانی جعبه توسط تخته کف در فواصلی که موقعیت جعبه خارج از مرکز شکاف است و یا چند شکاف را پوشش می‌دهد، ارائه شده است.

فاصله خارج از مرکز (mm)	فاصله ناحیه پشتیبانی شده از سمت چپ (mm)	فاصله پشتیبانی شده از سمت راست (mm)	مرکز پشتیبانی (mm)	فاصله کل (mm)
۰	۳٤/۵	۳٤/۵	۰	۸۳
۱۳	٤۷/۵	۲۱/۵	۰	۸۳
۲۵	۵۹/۵	۹/۵	۰	۸۳
شکاف دوگانه	٤۲/۵	٤۲/۵	۵۰	۸۳



شکل۳- شکل 3:A) پشتیبانی جعبه به ابعاد : ۱۵۲×۱۵۲×۲۵٤ میلی‌متر توسط تخته کف با فاصله ۸۳ میلی‌متری و موقعیت خارج از مرکز با اندازه ۱۳ میلی‌متر3:B) تنظیم تست برای دو شکاف بین تخته کف با آزمون استفاده از سه تخته شبیه‌سازی شده و یک شکاف ۸۳ میلی‌متری به دو شکاف ٤۲/۵ میلی‌متری تبدیل شده است.

1- Location

٦- نتایج و بحث

٦-١- تأثیر شکاف بین تخته کف بر مقاومت فشاری جعبه

آزمایشات نشان داد؛ از نظر آماری، شکاف‌های نسبتاً کوچک می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای روی جعبه و ترکیبات جانبی[1] آن تأثیرگذار باشند(شکل٤).

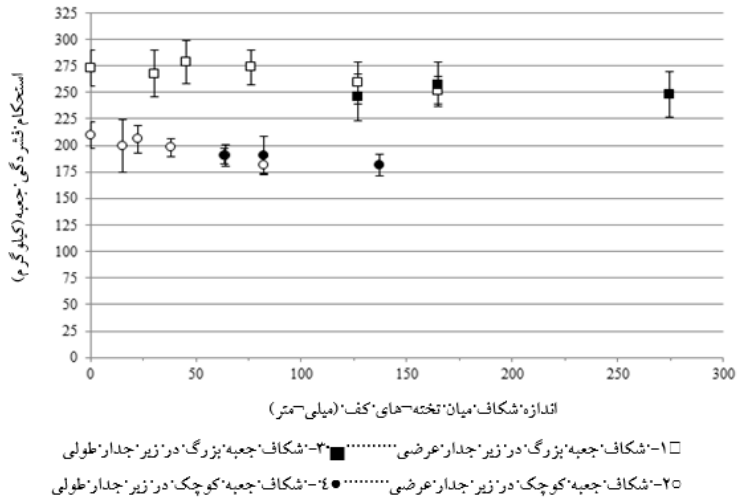
مطالعات نشان داد که مقاومت جعبه‌های کوچک در شکاف ٦٤ میلی‌متری به طور قابل توجّهی کاهش می‌یابد و ١٣/٤٪ از حداکثر کاهش مقاومت در طول و عرض جانبی و در شکاف ٨٣ میلی‌متری می‌باشد.

ضریب تغییرات در دامنه ٩/٥-٣/٢ ٪ متغیر می‌باشد که بیشترین تأثیر را روی شکاف‌های کوچک دارد و اثر شکاف‌ها را روی مقاومت جعبه مسدود می‌کند. نتایج به دست آمده در این پژوهش، مشابه مدل مونوگاند و مارکوند می‌باشد. با این تفاوت که کاهش مقاومت در این مطالعه در سطح پایین‌تری می‌باشد. در این مدل، کاهش مقاومت پیش‌بینی شده در شکاف ٨٣ میلی‌متری، ١٧/٦ ٪ می‌باشد.

نتیجه با مطالعات دیسالو که بیان می‌داشت در شکاف‌های ١٥ میلی‌متری؛ مقاومت ١٠/٤ ٪ کاهش می‌یابد، مطابقت نداشت. این مطالعه نشان می‌دهد که شکاف‌های کوچک روی کاهش مقاومت مؤثر نمی‌باشند. عدم کنترل رطوبت پسماند و اندازه نمونه کوچک در مطالعات دیسالو به احتمال زیاد می‌تواند به عنوان عامل تفاوت درنظر گرفته شود.

شکاف‌های بزرگ اثر کمی بر جعبه بزرگ نسبت به جعبه‌های کوچک دارند. مقاومت فشاری در شکاف عرضی ١٦٦ میلی‌متری و در تمام طول جانبی شکاف پایین‌تر بود. کاهش مقاومت در شکاف بزرگ ٢٨٠ میلی‌متری(١١ اینچ) در امتداد طول جانبی جعبه بزرگ ٩/٢ ٪ بود. پراکندگی ضریب تغییرات ٨/٨-٥/٣ درصد می‌باشد. شکل(٤) به طور کلی نتایج به دست آمده از این مطالعه، براساس مطالعات ایوان می‌باشد و در هر دو مطالعه از جعبه‌هایی با اندازه‌های یکسان استفاده شده است.

طبق مطالعات صورت گرفته توسط ایوان در جعبه‌های با شکاف ١٧٨ میلی‌متری میزان مقاومت حدود ١٥ درصد کاهش می‌یابد.



شکل ٤- اثر شکاف روی مقاومت فشاری جعبه‌های بزرگ با ابعاد ٣٠٥×٣٠٥×٥٠٨ میلی‌متر و جعبه کوچک با ابعاد ١٥٢×١٥٢×٢٥٤ میلی‌متر

1- Sidewall Combinations

درضمن در حین مطالعه و بررسی متوجّه کاهش ۷/۸ درصدی مقاومت در جعبه‌های با شکاف تا حدودی کوچک‌تر حدود ۱٦٥ میلی‌متر گردید.

از نظر آماری هنگامی که اندازه شکاف‌ها تحت طول جانبی و یا عرض‌های جانبی پانل یکسان بود، کاهش مقاومت فشاری جعبه یکسان می‌باشد. بزرگ‌ترین شکاف مورد استفاده در این مطالعه، زیر پانل‌های طولی قرار گرفته بود و این امر باعث کاهش مقاومت می‌باشد. کاهش مقاومت در برابر آن روند مشابهی را در کاهش مقاومت فشاری نشان داد (شکل۵).

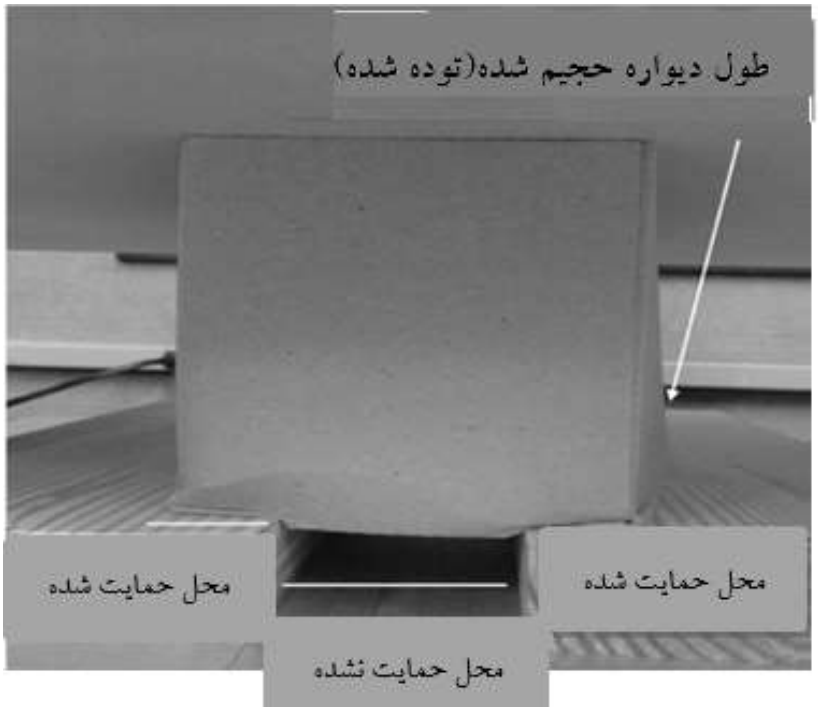
زمانی که تنش شدیدی به جعبه‌ها وارد می‌شود دیواره جانبی جعبه نرم می‌شود و لهیدگی پیدا می‌کند.

به محض افزایش یافتن شکاف جعبه، ناحیه تحمل کاهش می‌یابد. بنابراین فشار افزایش یافته و در نتیجه برای رسیدن به میزان فشار خمشی حیاتی نیاز به بار کمتر دارد(شکل۵).

٦-۲- اثر مکان و تعداد شکاف‌ها در مقاومت فشاری جعبه

تأثیر جابه‌جایی مکان شکاف ۸۳ میلی‌متری روی استحکام جعبه مشخص شد. مقاومت جعبه به دلیل تغییر مکان شکاف و نزدیک‌تر شدن آن به گوشه‌های جعبه کاهش می‌یابد.

در فاصله ۱۳ میلی‌متری و۲۵ میلی‌متری خارج از مرکز، مقاومت فشاری جعبه به ترتیب۲/۳ ٪ و ٥/٤ ٪ کاهش یافته بود.با این حال، تنها بخش قابل ملاحظه‌ای از اثر فاصله ۲۵ میلی‌متری خارج از مرکز توسط آزمون تی دانشجویان قابل جبران بود(جدول ۲). علاوه بر این، آزمون نشان داد؛ شکاف ۸۳ میلی‌متری می‌تواند به دو شکاف کوچک‌تر تقسیم شود بدون اینکه تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر مقاومت تراکمی جعبه داشته باشد.



شکل۵- تصویر نشان‌دهنده خم شدن و کاهش استقامت جعبه ناشی از تنش وارده در دیوار سمت راستی جعبه کوچک می‌باشد.

جدول ۲- خلاصه نتایج آزمون مقاومت فشاری جعبه در مکان و تعداد شکاف

فاصله خارج از مرکز mm	مقاومت فشاری kg	آزمون T دانشجویان
۰	۱۸۹(٤/۳۳)	
۱۳	۱۸۵(۲/۹۱)	P=۰/۱۸۷۷
۲۵	۱۷۹(۲/۷۲)	P=۰/۰۰۳۰*
شکاف دوگانه	۱۸۷(٤/۸۸)	P=۰/۵۷۰۲

توجّه داشته باشید ضرایب داخل پرانتز ضریب تغییرات می‌باشند.

اختلاف معنی‌دار با توجّه به آزمون T دانشجویان در $\alpha = 0.05$ به دست آمده است.

٦-۳- مدل اصلاح شدهٔ مک‌کی

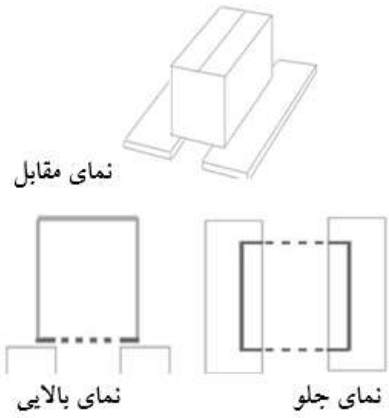
با توجّه به مطالعات قبلی و نتایج فوق می‌توان رفتار جعبه را زمانی که یک جعبه به وسیله تخته کف و شکاف بین آن پشتیبانی می‌شود با اصلاح معادلهٔ (۱) مک‌کی پیش‌بینی کرد.

مطالعات قبلی اثر شکاف بین تخته کف را به عنوان یک مسئله دو بعدی مطرح می‌کنند به طوری که یک طرف آن مجزا و به صورت شکاف واحد می‌باشد.

گفته می‌شود اگر جعبه‌ای با ضلع ۱۵۲ میلی‌متری روی یک شکاف ۸۳ میلی‌متری قرار گیرد، ٥٤ ٪ از جعبه توسط تخته کف حمایت نمی‌شود و یا به عبارتی، به اندازه ۸۳ میلی‌متری از جعبه پشتیبانی نخواهد شد. با این حال؛ ساختار یک جعبه به صورت سه بعدی بوده در نتیجه شکاف بین تخته کف پالت بر دو دیواره مقابل هم اثرگذار می‌باشد (شکل٦).

با توجّه به تصاویر بالا؛ می‌توان اشاره کرد که یک شکاف می‌تواند از دو طرف (هم از قسمت جلو و هم پشت) باعث کاهش حمایت محیط جعبه توسط تخته کف شود. به عنوان مثال در یک شکاف ۸۳ میلی‌متری کاهش پشتیبانی محیط جعبه مجموعاً به میزان ١٦٥ میلی‌متری (معادل ۲۰/۳ ٪) می‌باشد. کت و میثل در مطالعات خود در سال (١٩٦٨) بیان داشتند که استحکام لوله (جعبه‌های بدون فلپ) با دیوار پشتیبانی شده جعبه به طور مستقیم در ارتباط است.

مک‌کی در سال(۱۹۹۳)، سه اصل لازم برای پیش‌بینی مقاومت متراکم‌سازی جعبه از قبیل: اهمیت و مقدار مقاومت به لبه کارتن (ECT) ، ضخامت تخته و محیط جعبه را که در معادله (۱) به آن اشاره شده است،



شکل ٦- تصویر بالا نمای مقابل یک جعبه به ابعاد ۱۵۲×۱۵۲×۲۵٤ میلی‌متر را نشان می‌دهد . نقطه چین‌ها در نمای جلویی تصویر، نشان‌دهنده عدم پشتیبانی جعبه توسط شکاف بین تخته کف است. (تصویر سمت راست) نقطه چین‌ها در نمای نزدیک از بالا، نشان‌دهنده عدم پشتیبانی بخشی از محیط جعبه به وسیله شکاف بین تخته کف می‌باشد.

شناسایی و مطرح کرد.

مک‌کی دریافت رابطه بین محیط جعبه و مقاومت تراکمی آن خطی نمی‌باشد؛ بنابراین با توجّه به رابطه معکوس آن دو، با افزایش اندازه ابعاد جعبه، مقاومت تراکمی جعبه، بازدهی کمتری خواهد داشت.

نتایج ارائه شده بالا و مطالعات مونوگاند و مارکوند در سال(۱۹۹۲)، تأیید می‌کنند که قدرت فشرده‌سازی جعبه و اندازه شکاف (محیط پشتیبانی) متناسب نیستند.

مونوگاند و مارکوند(۱۹۹۲) اولین اصلاح را برای معادله مک‌کی پیشنهاد کردند که اثر جعبه (دو گوشه قرار گرفته روی تخته کف و یک سمت ناحیه پشتیبانی نشده) را به وسیله کم کردن طول یک جهت از نواحی پشتیبانی نشده از محیط جعبه، پیش‌بینی می‌کند.

در نهایت مونوگان با توجّه به تغییرات زیاد، روش را غیرقابل قبول دانسته است.

با این حال؛ گروه تلاشی برای استفاده از این اصلاح پیشنهاد شده در پیش‌بینی اثر فاصله بین تخته کف نکرد. براساس رابطه بین محیط جعبه با استحکام جعبه؛ اصلاح معادله مک‌کی توسعه داده شد(معادله ٤).

معادله (٤) :

$$P = 5.87\ P_m \times \sqrt{h \times (Z \times 2G)}$$

P= مقاومت تراکمی جعبه(kg)

P_m= مقاومت لبه کارتن(kg/mm)

h = ضخامت تخته(mm)

Z = محیط جعبه(mm)

G= فاصله بین تخته کف(mm)

در این معادله به علت عدم پشتیبانی شکاف‌ها از دو طرف، برای محاسبه آن را دو برابر کرده و شکاف‌ها را در این معادله با نماد G نمایش می‌دهند که سپس آن را از محیط جعبه (Z) کم می‌کنند.

توجّه داشته باشید که این معادله فقط برای جعبه‌های سبک (RSC) با محیطی کم تراز ۱۳۵ اینچ قابل استفاده بوده و کاربرد دارد. همانطور که در اصل معادله مک‌کی نیاز است.

برای تجزیه و تحلیل مناسب بودن معادله (٤) داده‌های مقاومت فشاری به دست آمده از معادله را با داده‌های پیش‌بینی شده مقاومت فشاری مقایسه کردند.

مقدار مقاومت فشاری لبه کارتن‌ها (ECT) به عنوان گواهی تولید[1] (BMC) روی کارتن‌ها فهرست می‌شود. گواهی تولید یک تخمین محافظه کارانه از مقدار ECT است و به طور چشمگیری دقّت پیش‌بینی معادله (٤) را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین؛ از جعبه‌های جدید و آزمایش نشده نمونه‌هایی گرفته شد تا براساس استاندارد TAPPI T-811 آزمایش شوند. مقدار ECT کارتن‌های کنگره‌دار آزمایش شده 0.67 kg/mm(معادل 37.5 lb/in) اعلام شد. هنگامی که استحکام جعبه با استفاده از مقدار ECT آزمایش شده محاسبه شد، با استفاده از معادله (٤) مقدار مقاومت فشاری با درصد خطای متوسط ۸/۲ ٪ به طور میانگین ۱۳/۲ کیلوگرم برآورد شد(خط مشکی شکل۷).

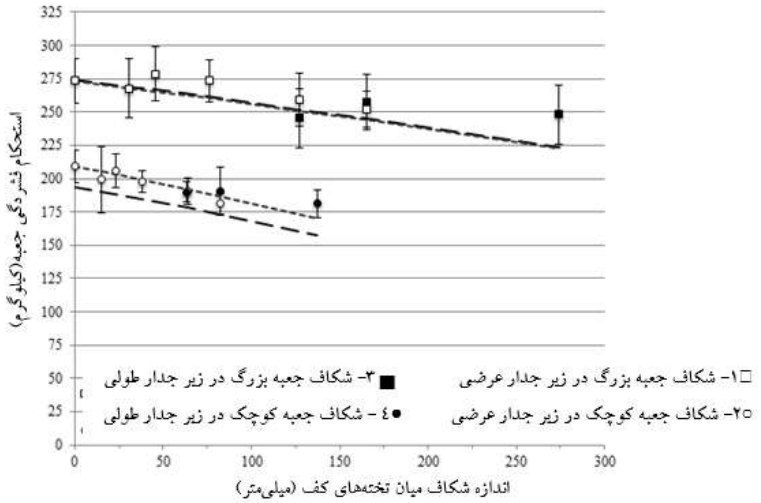
در حالی که ارزیابی پایین استحکام جعبه‌ها ضریب اطمینان کمتری نسبت به ارزیابی‌های بالا دارد. ضروری می‌باشد تا تأکید کنیم که دقّت در معادله اصلی مک‌کی و معادلهٔ اصلاح شدهٔ آن به صحت و درستی داده‌های ورودی بستگی دارد. اکثر ارزیابی‌های پایین به جعبه‌هایی با اندازه کوچک مربوط می‌گردد.

معادله مک‌کی برای محاسبه ارتفاع، مناسب نمی‌باشد بنابراین معادله برای جعبه‌های بلندتر نسبت به جعبه کوتاه‌تر با محیط یکسان و یکنواخت عملکرد ضعیف‌تری دارد.اصلاحات پیشنهادی مک‌کی می‌تواند برای تنظیم کنترل آزمون تراکم و فشردگی جعبه[2](BCT) به عنوان یک وظیفه برای اندازه‌گیری شکاف‌های پالت مورد استفاده قرار گیرد.

در این روش یک آزمون تراکم و فشردگی جعبه(BCT) معلوم برای یک جعبه خاص می‌تواند تنظیم شود تا از این طریق شکاف‌های پالت را محاسبه نماید.

1- Box Manufacturers Certificate

2- Box Compression Test



شکل ۷- اثر شکاف روی مقاومت تراکمی جعبه‌های بزرگ به ابعاد ۳۰۵×۳۰۵×۵۰۸ میلی‌متر و جعبه‌های کوچک به ابعاد ۱۵۲×۱۵۲×۲۵٤ میلی‌متر .خط خاکستری نشان‌دهنده مقادیر پیش‌بینی شده با استفاده از 37.5ECT می‌باشد در حالی که خط نقطه چین در تصویر، نشان‌دهنده مقادیر پیش‌بینی شده بدون وجود شکاف می‌باشد.

معادله ۵ تحت استحکام جعبه پیشنهادی توسط ٦/٨ کیلوگرم با متوسط خطای ۵/۸ درصد و ۹۵ درصد از خطا با با ٦/۵ درصد می‌باشد(شکل ۷ خط قرمز).

به عنوان یک نکته اضافی، وعادله اصلی مک‌کی یک متوسط خطای ۸/۵ درصد برای جعبه‌های B-Flute را در بر داشت. در این مطالعه و تحقیق استحکام تراکم و فشردگی جعبه برای حجم رطوبت با استفاده از معادله(۳) کلی‌کات تنظیم گردید. این تنظیم حجم رطوبت متوسط خطا را با استفاده از معادله ۵(خط قرمز) که ۸/۶ بوده است را در بر نگرفته است. بنابراین تنظیم برای حجم رطوبت کاهش ۳۲ درصدی را در خطا نشان می‌دهد.

معادله (۵) :

$$GBCT = BCT \times \sqrt{\frac{Z-2G}{Z}}$$

GBCT= مقاومت تراکمی جعبه ناشی از شکاف(Kg)

BCT= مقاومت تراکمی جعبه(kg)

Z= محیط جعبه(mm)

G= فاصله بین تخته کف(mm)

در مجموع؛ معادلهٔ اصلی و اصلاح شده مک‌کی خیلی وابسته به کیفیت داده‌های ورودی معادله می‌باشد. با این حال، به نظر می‌رسد معادله اصلاح شده مک‌کی یک روش امیدوارکننده برای رسیدگی به دامنه‌ای از شکاف‌های تخته کف می‌باشد؛ اما یک راه‌حل کلی نیست.

به دلایل علمی، شکاف‌ها به ۵۵ ٪ طول جانبی جعبه‌ها محدود می‌باشد و اینکه فقط دو جعبه مورد آزمایش قرار گرفته بود. علاوه بر این، معادله اصلاح شده توسط محدودیت‌هایی از قبیل؛ عملکرد جعبه‌های سبکRSC و اندازه محدود جعبه‌ها که در معادله اصلی مک‌کی می‌باشد، محدود می‌شود. توان معادله اصلاح شده مک‌کی کاربردهای صنعتی مناسبی دارد.

با این حال سه مشکل اساسی در استفاده از این معادله باقی می‌ماند:

۱- هیچ روشی برای استفاده از ضرایب اطمینان در معادله اصلاح شده به توافق نرسیده است.

۲- این تحقیق بر روی جعبه‌های خالی انجام شد و استفاده تجاری را منعکس نمی‌کند در صورتی که در

صنعت، جعبه‌های پرشده در یک بار واحد حمل‌ونقل می‌شوند.

۳- تغییرات ذاتی در جعبه‌های کنگره‌دار اثر شکاف‌ها را می‌پوشاند و نشان می‌دهد که شکاف‌ها ممکن است نسبت به کاغذ ارتباط کمتری در درصد خشکی[1] و رطوبت[2] داشته باشند.

۷- نتیجه گیری

- زمانی که جعبه‌ها با طول و عرض جانبی به صورت جهت‌دار روی تعداد زیادی شکاف یکسان قرار گرفتند مقاومت به طور مشابهی کاهش یافت.
- جعبه‌های بزرگ‌تر با ابعاد ۵۰۸×۳۰۵×۳۰۵ میلی‌متر (کاهش۵ ٪ مقاومت در شکاف ۱۲۷ میلی‌متر که ۷/۸ ٪ از کل محیط می‌باشد) در مقایسه با جعبه‌های کوچک‌تر با ابعاد ۲۵۴×۱۵۲×۱۵۲ میلی‌متر(کاهش ۵ ٪ مقاومت در شکاف ۳۸ میلی‌متر که ۴/۷ ٪ از کل محیط می‌باشد) نسبت به اثر شکاف‌ها به میزان کم‌تری حساس می‌باشند.
- از نظر آماری و بررسی‌های انجام شده تأثیر مجموعه دو شکاف۴۲/۵ میلی‌متر(۸۳ میلی‌متر) روی مقاومت تراکمی جعبه‌های مشابه و هم اندازه با تأثیر یک شکاف ۸۳ میلی‌متر می‌باشد.
- تغییر محل شکاف‌ها به صورت قابل ملاحظه‌ای بر استحکام جعبه‌ها مؤثر می‌باشد.
- معادله اصلاح شده مک‌کی برای محاسبه فاصله بین تخته کف گسترش یافته بود.

معادله پیشنهادی به جعبه‌های سبک RSC که شامل اصل‌های اولیه معادله مک‌کی هستند و دیواره آنها با شکاف‌ها متقاطع بوده و ۵۵٪ شکاف‌ها را پوشش می‌دهد، محدود است. درصد خطای معادله‌ٔ پیشنهادی مشابه اصل معادله مک‌کی می‌باشد و هر دو معادله محدود به تغییرات ذاتی جعبه‌های کنگره‌دارمی‌شوند.

۵- توصیه‌هایی برای تحقیق و پژوهش‌های آینده

مطالعات آینده به اعتبارسنجی مدل پیشنهادی تحت شرایط متنوع‌تر و برآورد کردن نمونه‌های بزرگ‌تر تشویق می‌شوند.

همچنین، با دقّت در معادله اصلاح شده مک‌کی می‌توان با بازنگری و ساده‌سازی معادله پیشنهادی توسط عامل ارتفاع جعبه در معادله باتلاک و اسمیت[3] ریک چالد و کارتر هدلی[4](۱۹۹۳) و با بیشتر کردن آزمایشی نسبت طول به عرض معادله را بهبود بخشید. اثر شکاف بین تخته کف پالت را روی مقاومت تراکمی جعبه‌ها باید با مطالعه و آزمایش روی جعبه‌های پرشده، اندازه فلوت اضافی و دیگر جعبه‌های سبک گسترش داد. همچنین مطالعات آینده باید به بررسی و آزمایش روی اثر شکاف‌ها در کل بار واحد محصول که آیا می‌توانند به بار واحد کامل برسند، گسترش یابد.

۸- منابع

1. Matthew, B, Laszlo, H, Marshall,S. White. (2016).“Predicting the Effect of Gaps Between Pallet Deckboards on the Compression Strength of Corrugated Boxes”. Translated by Emampoure , M, Pourzand, R, Hashmaty, S. Packaging Technology and Science, 32, (8), 66-77 .

آدرس نویسنده

تهران – میدان صنعت – خیابان هرمزان – خیابان پیروزان جنوبی – نبش کوچه پنجم – ساختمان اسراء– طبقه همکف انجمن علوم و فنّاوری بسته‌بندی ایران.

1- Consistency
2- Moisture Content
3- Batelka and Smith
4- Rick Caudll and Carter Hadley