



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

مدل شکست خستگی برای سیستم های سازگار پلیمری

تجزیه تحلیل خستگی و ارزیابی طول عمر در طراحی مکانیسم های سازگار برای اطمینان از ایمنی و پایایی اهمیت دارند. مدل های قبلی برای پیش بینی خستگی مکانیسم های سازگار بر سیکل های فشار تنش مکرر و معکوس متمرکز است. مکانیسم های سازگار امروزه در شرایطی استفاده می شوند که در آن خستگی ناشی از سیکل های تنش و فشار متغیر تصادفی است. از این روی لازم است که خستگی ناشی از سیکل های تنش متغیر تصادفی و آسیب ناشی از مواد سازگار در نظر گرفته شود. مدل مکانیک آسیب محیط پیوسته (CDM) برای ارزیابی عمر خستگی مکانیسم های سازگار پلیمری پیشنهاد می شود. انرژی کرنش الاستیک بر اساس ماده هایپر الاستیک محاسبه می شود. معادله تکامل آسیب برای توسعه یک فرمول ریاضی استفاده می شود که این فرمول عمر خستگی را به صورت تابعی از بزرگی کرنش اسمی (ظاهری) تحت بارگذاری دوره ای توصیف می کند. پلی پروپیلن با چگالی پایین (LDP) برای تست های خستگی انجام شده تحت شرایط کنترل شده جا به جایی با یک شکل موجی سینوسی 10 هرتز استفاده می شود. نتایج حاصل از فرمول نظری با نتایج حاصل از نرم افزار خستگی و آزمایش مقایسه می شود. نتایج حاصل از فرمول پیش بینی، هم خوانی قوی با نتایج آزمایشی و شبیه سازی دارد.

1-مقدمه

خستگی، یکی از مکانیسم های شکست اصلی در سازه های مهندسی می باشد (1). بار های سیکلی متغیر از نظر زمانی منجر به شکست اجزا در مقادیر تنش و فشار کم تر از مقاومت خمشی یا نهایی ماده می شود. شکست خستگی اجزا با ظهور و انتشار یک ترک تا زمانی ناپایدار شدن و سپس تبدیل ترک ها به شکست ناگهانی رخ می دهد. عمر خستگی کل، مجموع عمر شروع ترک و عمر انتشار ترک میباشد. پیش بینی عمر خستگی به دلیل ماهیت پیچیده که تحت تاثیر عوامل مختلف، ماهیت آماری پدیده های خستگی و تست های خستگی زمان بر قرار دارند از اهمیت زیادی برخوردار است.

اگرچه بسیاری از مدل های خستگی برای حل مسائل خستگی استفاده شده اند، با این حال دامنه روایی (اعتبار) این مدل ها هنوز به خوبی تعریف نشده است. هیچ روشی قادر به پیش بینی عمر خستگی با مقدار آسیب از طریق

تفکیک فاز های شروع ترک و انتشار ترک نمی باشد. روش های مورد استفاده برای پیش بینی عمر شروع ترک عمدتاً تجربی هستند (2) و قادر به تعریف آسیب وارد شده به مواد نمی باشند. رویکرد های مبتنی بر کرنش و تنش آسیب وارده به ماده را تعیین نمی کنند زیرا آن ها عمدتاً روش های برازش منحنی می باشند. محدودی این روش موجب شده است تا مدل های میکرو مکانیک موسوم به رویکرد های محلی بر اساس مکانیک آسیب در محیط پیوسته ایجاد شوند (CDM). رویکرد های محلی بر اساس کاربرد مدل های میکرو مکانیک گسیختگی می باشند که در آن تنش/کرنش و آسیب در نوک ترک مربوط به شرایط اساسی و بحرانی لازم برای گسیختگی است. این مدل ها از طریق پارامتر های خاص مواد واسنجی می شوند.

وقتی که این پارامتر ها برای یک ماده خاص تعیین شد، می توان گفت که آن ها مستقل از شکل هندسی و حالت بار گذاری هستند و می توان از آن ها برای ارزیابی جزء ساخته شده از یک ماده استفاده کرد.

برای برخی از ساختار های (سازه های) سازگار، جا به جایی مطلوب به ندرت رخ می دهد و تئوری های ایستا یا استاتیک برای تجزیه تحلیل کافی می باشند. با این حال، با تعریف مکانیسم های سازگار، شکست و انحراف اعضای انعطاف پذیر برای حرکت و جا به جایی لازم است. معمولاً، گفته می شود که مکانیسم باید قادر به باشد تا تحت جا به جایی برای چندین بار قرار گیرد و طراحی ممکن است نیاز به چند میلیون سیکل عمر نامحدود داشته باشد. بار گذاری مکرر منجر به تنش های نوسانی در اعضا و در نهایت شکست خستگی می شود. شکست می تواند در تنش هایی رخ دهد که به طور معنی داری کم تر از تنش هایی است که منجر به شکست استاتیک می شود (3). یک ترک کوچک برای آغاز یک شکست خستگی کافی است. ترک سریعاً رشد و پیشرفت می کند زیرا اثر تمرکز تنش اطراف آن بزرگ تر می شود. در صورتی که اندازه سطح تحت تنش کوچک تر شود، بزرگی تنش افزایش می یابد و اگر مساحت باقی مانده باز هم کوچک تر شود، عضو می شکنند. یک عضو شکسته شده به دلیل خستگی، دو ناحیه مجزا را نشان می دهد. ناحیه اول ناشی از توسعه پیشرونده ترک است، و ناحیه دوم ناشی از گسیختگی ناگهانی است. شکست غیر منتظره و زود هنگام یک ابزار می تواند منجر به یک طراحی غیر ایمن شود. هم چنین اعتماد مصرف کننده به محصولاتی که زودتر می شکنند کاهش می یابد. به همین دلایل، عمر خستگی مکانیسم سازگار باید تجزیه تحلیل شود.

اگرچه پیش بینی صحیح شکست خستگی سخت است، دانش و درک مناسب از پیش بینی شکست خستگی و پیشگیری در طراحی مکانیسم های سازگار اهمیت دارد. تئوری را می توان برای طراحی ابزارهایی که مقاوم به این تنش های نوسانی می باشند استفاده کرد.

چندین مدل برای پیش بینی شکست خستگی موجود است. مدل های عمر-کرنش و عمر-تنش غالباً در طراحی اجزای مکانیکی استفاده می شوند(3). این تئوری ها برای بخش های تحت تنش های نوسانی قابل پیش بینی و مداوم مناسب هستند. بسیاری از اجزای ماشینی با این تئوری ها هم خوانی دارند زیرا جا به جایی و بار های آن ها از طریق سینماتیک مکانیسم تعریف می شود.

سه سیکل تنش وجود دارد که از طریق آن بارها به اجزای مورد نظر وارد می شوند. ساده ترین مورد، سیکل تنش معکوس است (شکل 1 الف). این یک موج سینوسی است که در آن تفاوت ماکزیمم تنش و مینیمم تنش، در یک علامت منفی است. مثالی از این نوع سیکل تنش در یک محور است که در هر نیم دور چرخش در موج سینوسی، تنش بر روی نقطه معکوس می شود. رایج ترین نوع سیکل در سازه های مهندسی، در جایی دیده می شود که تنش های ماکزیمم و مینیمم به صورت غیر متقارن هستند (منحنی، یک موج سینوسی است) نه برابر. (شکل 1 ب). این نوع از سیکل تنش موسوم به سیکل تنش مکرر است. نوع نهایی از حالت سیکل تنش، جایی است که در آن تنش و فرکانس به طور تصادفی تغییر می کنند. (شکل 1 ج). یک مثال از این می تواند شوک بدنه باشد که در آن بزرگی فرکانس امواج ایجاد تنش های ماکزیمم و مینیمم متغیر می کنند.

پیش بینی عمر قطعات تحت تنش بالاتر از آستانه تحمل، در بهترین حالت یک روش تقریبی است. برای درصد بالایی از سیستم های سازگار مکانیکی و ساختاری در معرض شدت های متغیر سیکل های تنش (اجزای سازگار ساختار هواپیما و خودرو)، پیش بینی عمر خستگی کمی پیچیده تر است. مدل های عمر-کرنش و عمر-تنش نرمال را نمی توان در پیش بینی خستگی استفاده کرد. مدل هایی نظیر مکانیک آسیب در محیط پیوسته را می توان در این وضعیت استفاده کرد.

پلیمرها غالباً در طراحی مکانیسم های سازگار(3) استفاده می شوند. استفاده از ویژگی های غیر خطی پلیمرها برای تجزیه تحلیل عملکرد سیستم های سازگار لازم است. پلیمرهای ترمو پلاستیک نظیر پلی پروپیلن یک پاسخ ماده ویسکو الاستیک را نشان می دهند(4). با قوانین ساختاری خاص نظیر قوانین پلاستیسیته ترکیبی و

ویسکو الاستیسیته، مواد به شکلی تراکم ناپذیر رفتار می کنند(5). رفتار حجمی مواد هایپر الاستیک را می توان به دو دسته طبقه بندی کرد موادی نظیر پلیمر ها دارای تغییرات حجمی اندکی در طی تغییر شکل بوده و موادی که تقریباً تراکم ناپذیر می باشند(6). فوم ها یک مثال از مواد تراکم ناپذیر می باشند که تغییرات حجمی بسیار زیادی را طی تغییر شکل و دفورمه شدن تجربه می کنند. این نشان می دهد که بیشتر پلیمر ها تقریباً تراکم ناپذیر یا غیر قابل فشرده سازی هستند. به طور کلی، پاسخ پلیمر به شدت وابسته به دما(7) است. در دما های پایین، پلیمر ها همانند شیشه خمش الاستیک را تجربه می کنند: در دما های بالا، رفتار همانند مایعات ویسکوز است، و در دما های متوسط، رفتار همانند جامدات لاستیکی است. قانون مواد هایپر الاستیک این رفتار لاستیکی را اندازه گیری می کند. پلیمر ها قادر به تغییر شکل زیادی بوده و در معرض منحنی های کرنش-تنش کششی و تراکمی قرار می گیرند(8). ساده ترین توصیف برای این نوع ماده، هایپر الاستیسیته ایزوتروپیک(8) می باشد.

شکست خستگی پلیمر های ترمو پلاستیک به طور کلی در دو مرحله توسعه می یابد(9). اولاً، مواد موجب انباشت آسیب خستگی می شوند (یعنی در فاز شروع) که در نهایت منجر به تشکیل شکاف های ملموس می شود. این شکاف ها بزرگ تر شده و تبدیل به ترک می شوند و تا زمان وقوع شکستگی نهایی منتشر می شوند. به طور کلی، فرایند آسیب در پلیمر ها به صورت تشکیل و توسعه ریز شکاف ها و ترک ها در یک ماده کامل است. ماده به صورت یکسان و ثابت باقی می ماند، با این حال خواص ماکروسکوپی آن با هندسه ماکروسکوپی آن تغییر می کند(10). در پلیمر ها، تشکیل شکاف یکی از دلایل اصلی آسیب به ماده است که هم به صورت فرایند خمش موضعی و هم به صورت اولین مرحله گسیختگی در نظر گرفته می شود. شکاف ها معمولاً تحت آسیب های سطحی و خراش ها یا منافذ کوچک ایجاد شده و نقش قابل توجهی در تغییر شکل های آتی و نیز رفتار های مکانیکی کلی پلیمر ها دارند(11). مدل های مکانیک آسیب در محیط پیوسته CDM برای اولین بار توسط کاجنوف معرفی شده و در چارچوب بحث های ترمودینامیک در خصوص اثرات ریز شکاف ها بر روی توسعه شکاف های بعدی و وضعیت تنش و کرنش در مواد توسعه یافت.

در این مقاله، معادله تکامل آسیب ایزوتروپیک برای ویژگی ویسکو الاستیسیته محدود CM های پلیمری پیشنهاد شده است که بر مبنای CDM است. یک مدل آسیب جدید برای ایجاد فرمول عمر خستگی برای این سیستم

های سازگار توسعه یافته است. مدل سازگار به صورت یک ماده هایپر الاستیک ایزو تروپیک در نظر گرفته می شود. یک ماده پلیمری موسوم به پلی پروپیلن با چگالی پایین (LDP) برای بدست آوردن عمر خستگی به صورت تابعی از بزرگی تنش تست شد.

2- مرور منابع

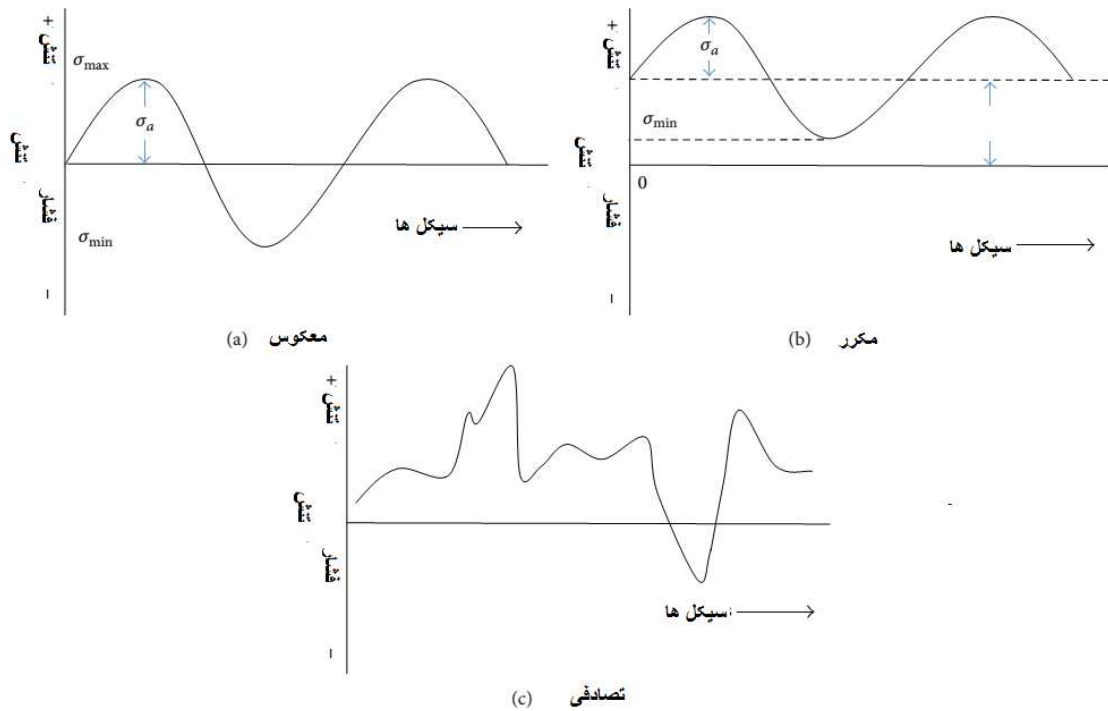
محققان اندکی به بررسی شکست خستگی سیستم های سازگار پرداخته اند. لی و همکاران (12) از معادله بازگویی اصلاح شده برای تعیین سیکل عمر تا زمان شکست برای یک ماده سازگار استفاده کرد. عمر خستگی بر طبق معادله، تابعی از تنش معکوس معادل، فاکتور تمرکز تنش خستگی، دامنه تنش، مقاومت نهایی، تنش متوسط و آستانه تحمل می باشد. دمیرل و همکاران (13) و سابوسی (14) از ضریب ایمنی بیان شده از حیث تنش های نوسانی، آستانه تحمل، اجزای تنش میانگین و اجزای تنش متناوب برای پیش بینی شکست خستگی مکانیسم سازگار استفاده کرد. اگر وضعیت تنش پایین تر از دو خط توصیف شده در دیاگرام گودمن برای شکست خستگی باشد، عضو سازگار انتظار می رود که عمر نامحدود داشته باشد. هاول و همکاران (15) روشی را برای طراحی احتمال گرایانه مکانیسم لنگ کشویی ارائه کرد که تابع هدف آن، بیشینه سازی اعتماد پذیری مکانیسم در خستگی است. مانون و همکاران (16) از مقاومت خستگی اصلاح شده در سیکل ها استفاده کرد که از حیث ضرایب تصحیح مارین بیان می شود. در این حالت دیاگرام S-N برای مکانیسم ارائه شد که در آن تنش ماکزیمم با مقاومت خستگی اصلاح شده مقایسه می شود.

برخی از محققان از مفهوم تکامل آسیب در پیش بینی شکست خستگی سازه های مهندسی و اجزای این سازه ها استفاده کرده اند. جیانگ (17) مدل تکامل آسیب را برای خستگی کرنش فلزات چکش خوار بر اساس پتانسیل اتلاف لمایتر ارائه کرد. سپس معادله پیش بینی عمر خستگی و معیار آسیب خستگی تجمعی استنتاج شدند. مدل با یک آزمایش ارزیابی شد. شای و همکاران (18) یک مدل مکانیک آسیب جدید را برای پیش بینی عمر خستگی لایه های پلیمری تقویت شده با الیاف پیشنهاد کرده و از تکنیکی ماترس سفتی به صورت معیار شکست لایه ها استفاده کرد و مسئله ناهمسانگرد خستگی لایه کامپوزیت را به تجلیل آسیب های همسان گرد تک متغیره برای الیاف و ماتریکس تغییر داد. آکسالانتا و تارلجا (19) روشی را برای پیش بینی عمر خستگی پیشنهاد کردند که از تکامل مبتنی بر میکرو مکانیک تکامل آسیب همراه با معیار شکست خستگی نیمه تجربی استفاده

می کند. نتایج پیش بینی شده با داده های تجربی برای چندین لایه اپوکسی کربن و شیشه ای مقایسه شد. پینگ و همکاران (20) مدل مکانیک آسیب غیر خطی در محیط پیوسته را برای ارزیابی عمر خزش- خستگی یک روتور توربین بخار پیشنهاد کردند که در آن اثرات تنش های چند محوری پیچیده و کوپلینگ خستگی و خزش در نظر گرفته می شود. نتایج با نتایج تئوری انباشت خطی که در ارزیابی عمر روتور های توربین بخار غالب بوده است مقایسه شد. مقایسه نشان می دهد که مدل مکانیک آسیب در محیط پیوسته، انباشت و توسعه آسیب را بهتر از تئوری انباشت خطی پیش بینی می کند. علی و همکاران (12) به بررسی رفتار خستگی لاستیک با استفاده از نمونه های آزمایشی دمبل تحت بار گذاری تک محوری پرداختند. در مدل سازی رفتار آسیب خستگی، یک مدل آسیب پیوسته بر اساس تابع دامنه تنش تحت بار گذاری سیکلی ارائه شد. اپداهوا یا و سرپهدا (22) عمر خستگی کنترل شده کرنش فولاد EN19 و آلیاژ آلومینیوم 6082-t6 را با در نظر گرفتن مراحل شروع ترک و انتشار ترک پیش بینی کردند. تئوری مکانیک آسیب در محیط پیوسته در مطالعه پدیده های آسیب خستگی نظیر هسته زایی و رشد ترک اولیه در الاستومر ها توسط وانگ و همکاران (23) و محمود و همکاران (24) استفاده شد.

رویکرد مکانیک آسیب در محیط پیوسته، عمر شروع ترک را با مقدار آسیب مدل سازی می کند و مرحله شروع ترک با مکانیک کسپختگی از حیث اندازه ترک پیش بینی می شود. عمر خستگی بر اساس این مفهوم پیش بینی شد.

شکل 1: سیکل های تنش نشان دهنده a: سیکل معکوس b: سیکل مکرر و c: سیکل تصادفی



3- مدل پیش بینی شکست خستگی

پیاده سازی عنصر نامحدود مدل های مواد تراکم ناپذیر اغلب با استفاده از اجزای اتساعی و غیر اتساعی گرادیان تغییر شکل صورت می گیرد. تابع تراکم انرژی کرنش برای این مواد به صورت زیر است

$$\Psi(C) = \Psi(\bar{C}) + U(J), \quad (1)$$

که در آن

$$\Psi(\bar{C}) = \mu_p (\text{tr } C - 3),$$

$$U(J) = \beta(J - 1)^2, \quad (2)$$

$$\mu_p = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \mu_i; \quad \beta = \frac{k_i}{2},$$

می باشد/

K و μ - خواص مواد به صورت حجمی و مدول برشی به ترتیب می باشند و J ضریب گرادیان تغییر شکل ژاکوب

است. تراکم انرژی کرنش را می توان از حیث کشش اصلی λ_j بیان کرد

$$\Psi(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = \sum_{p=1}^n \frac{\mu_p}{\alpha_p} (\bar{\lambda}_1^{\alpha_p} + \bar{\lambda}_2^{\alpha_p} + \bar{\lambda}_3^{\alpha_p} - 3) + \sum_{p=1}^n \beta(J-1)^2. \quad (3)$$

مولفه های اصلی تنش کوشی به صورت زیر تعیین می شود

$$\sigma_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3} \frac{\partial \Psi}{\partial \lambda_i}, \quad i = 1, 2, 3. \quad (4)$$

پتانسیل انرژی کرنش را می توان به صورت تابعی از نسبت های کشش اصلی یا به صورت تابعی از ثابت تانسور

کرنش C, I_1, I_2, I_3 نوشت. ثابت C به صورت زیر تعریف می شود

$$I_1 = \text{tr } \mathbf{C} = \mathbf{C} : \mathbf{I},$$

$$I_2 = \text{tr } \mathbf{C} \mathbf{C}, \quad (5)$$

$$I_3 = \det \mathbf{C} = J^2.$$

از حیث نسبت کشش اصلی، ثابت ها را می توان به صورت زیر نوشت

$$I_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2, \quad (6)$$

$$I_2 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2 + \lambda_3^2 \lambda_1^2, \quad (7)$$

$$I_3 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2. \quad (8)$$

ثابت ها از حیث کشش اصلی غیر اتساعی بیان می شوند

$$\bar{I}_1 = J^{-2/3} I_1,$$

$$\bar{I}_2 = J^{-4/3} I_2, \quad (9)$$

$$\bar{I}_3 = J^2.$$

جایگذاری معادله 6 و 8 در 1 می دهد

$$\Psi = \sum_{p=1}^n \frac{\mu_p}{\alpha_p} (J^{-2/3} (\lambda_1^{\alpha_p} + \lambda_2^{\alpha_p} + \lambda_3^{\alpha_p}) - 3) + \sum_{p=1}^n \beta (J - 1)^2. \quad (10)$$

جایگذاری معادله 10 در 4 می دهد

$$\begin{aligned} \lambda_i \frac{\partial J}{\partial \lambda_i} &= \sum_{p=1}^n \frac{\mu_p}{\alpha_p} \left(-\frac{2}{3} J^{-5/3} \lambda_i \frac{\partial J}{\partial \lambda_i} (\lambda_1^{\alpha_p} + \lambda_2^{\alpha_p} + \lambda_3^{\alpha_p}) \right. \\ &\quad \left. + J^{-2/3} \alpha_p \lambda_i^{\alpha_p} \right) \\ &+ \sum_{p=1}^n 2\beta (J - 1) \lambda_i \frac{\partial J}{\partial \lambda_i}. \end{aligned} \quad (11)$$

چون $J = \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2$ ، داریم

$$\lambda_i \frac{\partial J}{\partial \lambda_i} = \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2 = J. \quad (12)$$

لذا

$$\begin{aligned} \lambda_i \frac{\partial \Psi}{\partial \lambda_i} &= \left[\sum_{p=1}^n \frac{\mu_p}{\alpha_p} J^{-2/3} \left(\alpha_p \lambda_i^{\alpha_p} - \frac{2}{3} (\lambda_1^{\alpha_p} + \lambda_2^{\alpha_p} + \lambda_3^{\alpha_p}) \right) \right. \\ &\quad \left. + \sum_{p=1}^n 2\beta J (J - 1) \right]. \end{aligned} \quad (13)$$

تنش های کوشی به صورت زیر بیان می شوند

$$\begin{aligned} \sigma_i &= \left[\sum_{p=1}^n \frac{\mu_p}{\alpha_p} J^{-5/3} \left(\alpha_p \lambda_i^{\alpha_p} - \frac{2}{3} (\lambda_1^{\alpha_p} + \lambda_2^{\alpha_p} + \lambda_3^{\alpha_p}) \right) \right. \\ &\quad \left. + \sum_{p=1}^n 2\beta J (J - 1) \right]. \end{aligned} \quad (14)$$

اختلاف بین تنش های اصلی:

$$\begin{aligned}\sigma_1 - \sigma_3 &= \sum_{p=1}^n \mu_p J^{-5/3} (\lambda_1^{\alpha_p} - \lambda_3^{\alpha_p}), \\ \sigma_2 - \sigma_3 &= \sum_{p=1}^n \mu_p J^{-5/3} (\lambda_2^{\alpha_p} - \lambda_3^{\alpha_p}), \\ \sigma_1 - \sigma_2 &= \sum_{p=1}^n \mu_p J^{-5/3} (\lambda_1^{\alpha_p} - \lambda_2^{\alpha_p}).\end{aligned}\quad (15)$$

چون نیرو در یک جهت در بسیاری از مکانیسم های سازگار اعمال می شود ما مکانیسم را تحت حالت تنش تک محوری در نظر می گیریم. کشش اصلی به صورت زیر است

$$\lambda_1 = \lambda; \quad \lambda_2 = \lambda_3 = \sqrt{\frac{J}{\lambda}}, \quad (16)$$

λ کشش در جهت بار گذاری است، λ_2 و λ_3 کشش های اصلی در صفحه عمود بر جهت بار گذاری است. با جایگذاری معادله 16 در 15 داریم

$$\begin{aligned}\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_1 - \sigma_2 &= \sum_{p=1}^n \mu_p J^{-5/3} \left(\lambda^{\alpha_p} - \left(\frac{J}{\lambda} \right)^{\alpha_p/2} \right), \\ \sigma_2 - \sigma_3 &= 0.\end{aligned}\quad (17)$$

تنش موثر با معادله تانسور به دست می آید

$$\begin{aligned}\sigma_e &= \left(\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 \right)^{1/2} \\ &= \left(\frac{3}{2} S_{ij} S_{ij} \right)^{1/2},\end{aligned}\quad (18)$$

که S_{ij} اجزای تانسور منحرف شونده می باشد

$$\sigma_{\text{dev}} = \sigma - \frac{1}{3} (\text{tr } \sigma) I. \quad (19)$$

جایگذاری 17 در 19 می دهد:

$$\sigma_e = \sum_{p=1}^n \mu_p J^{-5/3} \left(\lambda^{\alpha_p} - \left(\frac{J}{\lambda} \right)^{\alpha_p/2} \right). \quad (20)$$

نسبت کشش در جهت بارگذاری با معادله 26 بدست می آید

$$\lambda = 1 + \varepsilon, \quad (21)$$

ε کرنش ظاهری است. با جایگذاری 21 در 20 داریم

$$\sigma_e = \sum_{p=1}^n \mu_p J^{-5/3} \left((1 + \varepsilon)^{\alpha_p} - \left(\frac{J}{(1 + \varepsilon)} \right)^{\alpha_p/2} \right). \quad (22)$$

با جایگذاری 16 در 10 داریم

$$\begin{aligned} \Psi &= \sum_{p=1}^n \frac{\mu_p}{\alpha_p} \left(J^{-2/3} \left(\lambda^{\alpha_p} + 2 \left(\frac{J}{\lambda} \right)^{\alpha_p/2} \right) - 3 \right) + \sum_{p=1}^n \beta (J - 1) \\ &= \sum_{p=1}^n \frac{\mu_p}{\alpha_p} \left(J^{-2/3} \left((1 + \varepsilon)^{\alpha_p} + 2 \left(\frac{J}{(1 + \varepsilon)} \right)^{\alpha_p/2} \right) - 3 \right) \\ &\quad + \sum_{p=1}^n \beta (J - 1). \end{aligned} \quad (23)$$

3-1: مدل مکانیک آسیب در محیط پیوسته: آسیب به مواد شامل تغییر سفتی مواد است. از این روی، حالت

آسیب را می توان با تغییر ثابت های الاستیک مشخص کرد. عنصر حجمی معرف مواد غیر همسان گرد را با

سفتی E آسیب دیده تحت یک سیستم بار گذاری در نظر گرفت ($\{\sigma_e\}$). ماتریکس سفتی ماده آسیب دیده $[E_d]$

است. ماتریکس آسیب $[D]$ به صورت زیر تعریف می شود

$$[D] = [I] - [E_d] [E]^{-1}, \quad (24)$$

که ماتریکس همانی است. کرنش $\{\varepsilon\}$ به صورت زیر در نظر گرفته می شود

$$\begin{aligned}\{\varepsilon\} &= [I] - [E_d]^{-1} \{\sigma_e\} \\ &= [E]^{-1} [[I] - [D]]^{-1} \{\sigma_e\} \\ &= [E]^{-1} \{\bar{\sigma}_e\},\end{aligned}\quad (25)$$

که

$$\{\bar{\sigma}_e\} = [[I] - [D]]^{-1} \{\sigma_e\}.$$

است.

ماتریس $\{\bar{\sigma}_e\}$ به صورت ماتریکس تنش موثر بعد از آسیب مواد تعریف می شود. از این روی، ماتریکس اثر آسیب $[M]$ به صورت زیر است

$$[M] = [[I] - [D]]^{-1}. \quad (27)$$

3-1-1 مدل ایزوتروپیک (همسان گرد): یک جسم آسیب دیده را که در شکل 2 نشان داده شده است در نظر بگیرید که در آن عنصر حجم معرف RVE ایزوله می شود. متغیر آسیب دیده از نظر فیزیکی با تراکم سطحی ریز ترک ها و تقاطع ریز شکاف های واقع بر روی صفحه با مقطع عرضی δA تعریف می شود. متغیر آسیب دیده $D_{(\bar{n})}$ برای صفحه با \bar{n} اسمی تعریف می شود

$$D_{(\bar{n})} = \frac{\delta A_D}{\delta A}, \quad 0 \leq D_{(\bar{n})} \leq 1, \quad (28)$$

که δA_D سطح موثر برخورد و تقاطع همه ریز حفره ها و ریز شکاف های موجود در سطح اولیه δA در زمان T است. متغیر آسیب همسان گرد به طور مساوی در همه جهات توزیع می شود که به صورت زیر تعریف می شود

$$D = \frac{\delta A_D}{\delta A}. \quad (29)$$

معادله 29، درصد مساحت آسیب دیده به مساحت اولیه است. D یک مقدار عددی است. آسیب همسان گرد در این مفهوم از مکانیک آسیب در محیط پیوسته فرض می شود. پارامتر آسیب را می توان با کاهش رتبه ماتریکس به صفر بدست آورد این به معادله زیر کاهش می یابد

$$D = 1 - E_d \cdot E^{-1}. \quad (30)$$

تنش موثر بعد از آسیب ماده $\bar{\sigma}_e$ و سرعت آزاد سازی انرژی کرنش آسیب با معادله زیر بدست می آید

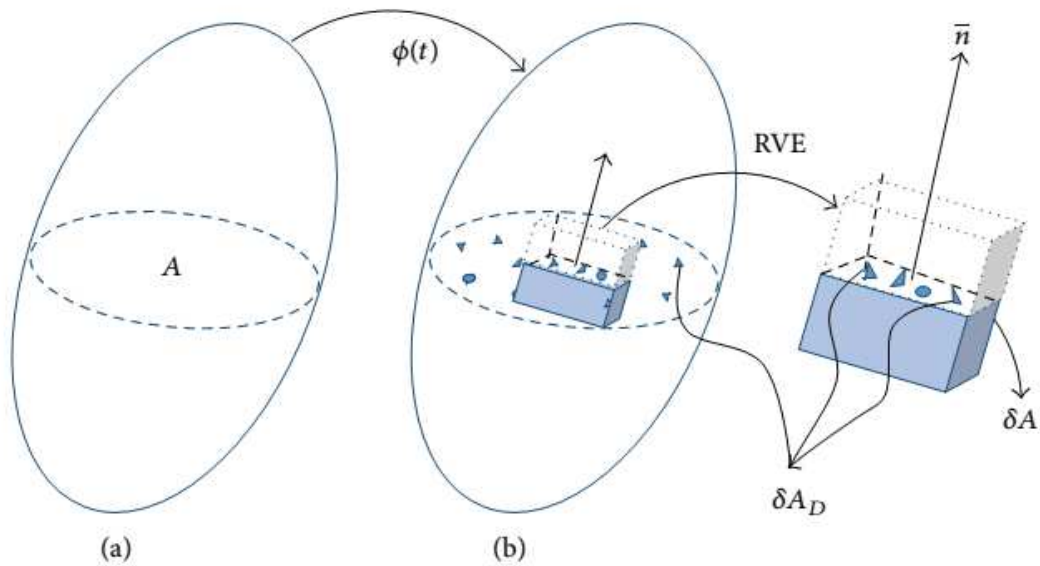
$$\bar{\sigma}_e = M \cdot \sigma_e = \frac{\sigma_e}{1 - D}. \quad (31)$$

رابطه تنش-کرنش اسمی یک ماده آسیب دیده، همانند ماده سالم است یعنی

$$\bar{\sigma}_e = \sigma_e, \quad (32)$$

به طوری که

$$\frac{\sigma_e}{1 - D} = \sum_{p=1}^n \mu_p J^{-5/3} \left(\lambda^{\alpha_p} - J^{\alpha_p/2} \lambda^{-\alpha_p/2} \right). \quad (33)$$



شکل 2: تبدیل $\phi(t)$ از A: پیکر بندی سالم اولیه به b: پیکر بندی آسیب دیده
معادله ساختاری برای تکامل آسیب به صورت زیر است

$$\dot{D} = -\frac{\partial \alpha_0}{\partial \mathcal{Y}}, \quad (34)$$

α_0 پتانسیل اتلاف، \mathcal{Y} سرعت آزاد سازی انرژی کرنش آسیب، D سرعت رشد آسیب است. پتانسیل اتلاف به صورت زیر فرض می شود

$$\alpha_0 = \frac{s_0}{q_0 + 1} \left(\frac{-\mathcal{Y}}{s_0} \right)^{q_0 + 1}, \quad (35)$$

q_0 و s_0 پارامترهای مواد تعیین شده با عمر خستگی آزمایشی به صورت تابعی از دامنه کرنش است. با این حال انرژی کرنش یک ماده آسیب دیده و سالم یکسان است (27). از تئوری CDM، انرژی کرنش آسیب دیده تابعی از تنش اسمی ظاهری موثر پیکر بندی آسیب دیده است. از این روی، ددر حالت تنش تک محوری،

سرعت آزاد سازی انرژی کرنش \mathcal{Y} به صورت زیر تعریف می شود

$$-\mathcal{Y} = \frac{\partial \Psi}{\partial D} = \frac{\partial \Psi(\bar{\sigma}_e)}{\partial D}. \quad (36)$$

با جایگذاری 23 در 36 به صورت زیر است

$$\begin{aligned}
 -\mathcal{Y} &= \frac{\partial \Psi(\bar{\sigma}_e)}{\partial D} = \frac{\partial \Psi}{\partial \lambda} \frac{\partial \lambda(\bar{\sigma}_e)}{\partial D} \\
 &= \sum_{p=1}^n \frac{\mu_p}{\alpha_p} J^{-2/3} \left(\alpha_p \lambda^{\alpha_p-1} - \alpha_p J^{\alpha_p/2} \lambda^{-(\alpha_p/2+1)} \right) \frac{\partial \lambda(\bar{\sigma}_e)}{\partial D}.
 \end{aligned}
 \tag{37}$$

با گرفتن مشتق جزئی (33) با توجه به D داریم

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \lambda(\bar{\sigma}_e)}{\partial D} \\
 &= \sum_{p=1}^n \frac{1}{\mu_p} \frac{\sigma_e}{(1-D)^2} \left[J^{-5/3} \left(\alpha_p \lambda^{\alpha_p-1} + \frac{\alpha_p}{2} J^{\alpha_p/2} \lambda^{-(\alpha_p/2+1)} \right) \right]^{-1}.
 \end{aligned}
 \tag{38}$$

با جایگذاری 38 در 37 داریم

$$\begin{aligned}
 -\mathcal{Y} &= \sum_{p=1}^n \frac{1}{\alpha_p} \frac{\sigma_e}{(1-D)^2} J \\
 &\quad \times \left[\left(\alpha_p \lambda^{\alpha_p-1} - \alpha_p J^{\alpha_p/2} \lambda^{-(\alpha_p/2+1)} \right) \right. \\
 &\quad \left. \times \left(\alpha_p \lambda^{\alpha_p-1} + \frac{\alpha_p}{2} J^{\alpha_p/2} \lambda^{-(\alpha_p/2+1)} \right)^{-1} \right].
 \end{aligned}
 \tag{39}$$

با جایگذاری 33 در معادله 39 داریم

$$\begin{aligned}
 -\mathcal{Y} = & \sum_{p=1}^n \frac{\mu_p}{\alpha_p} \left[\frac{\left(\lambda^{\alpha_p} - J^{\alpha_p/2} \lambda^{-\alpha_p/2} \right)}{(1-D)} J^{-2/3} \right. \\
 & \times \left[\left(\alpha_p \lambda^{\alpha_p-1} - \alpha_p J^{\alpha_p/2} \lambda^{-(\alpha_p/2+1)} \right) \right. \\
 & \left. \left. \times \left(\alpha_p \lambda^{\alpha_p-1} + \frac{\alpha_p}{2} J^{\alpha_p/2} \lambda^{-(\alpha_p/2+1)} \right)^{-1} \right] \right].
 \end{aligned}$$

با معادله 34، 35 و 40 داریم

$$\begin{aligned}
 \dot{D} = & \sum_{p=1}^n \frac{\mu_p}{\alpha_p} (s_0^{-1}) \left[\frac{\left(\lambda^{\alpha_p} - J^{\alpha_p/2} \lambda^{-\alpha_p/2} \right)}{(1-D)} J^{-2/3} \right. \\
 & \times \left[\left(\alpha_p \lambda^{\alpha_p-1} - \alpha_p J^{\alpha_p/2} \lambda^{-(\alpha_p/2+1)} \right) \right. \\
 & \left. \left. \times \left(\alpha_p \lambda^{\alpha_p-1} + \frac{\alpha_p}{2} J^{\alpha_p/2} \lambda^{-(\alpha_p/2+1)} \right)^{-1} \right] \right]^{q_0}.
 \end{aligned} \tag{41}$$

تحت شرایط بار گذاری سیکلی، آسیب با تعداد سیکل ها انباشته می شود و تکامل آسیب بستگی به دامنه کرنش دارد. تغییر زمان در متغیر آسیب D را می توان از حیث تکامل D با توجه به تعداد سیکل ها در نظر گرفت. بر اساس این پیکر بندی، بزرگی کشش اصلی $\Delta\lambda$ را می توان به جای λ_1 استفاده کرد و تکامل آسیب خستگی در هر سیکل به صورت زیر بیان می شود

$$\begin{aligned}
& \frac{dD}{dN} \\
&= \sum_{p=1}^n \frac{\mu_p}{\alpha_p} (s_0^{-1}) \left[\frac{(\Delta\lambda^{\alpha_p} - J^{\alpha_p/2} \Delta\lambda^{-\alpha_p/2})}{(1-D)} J^{-2/3} \right. \\
&\quad \times \left[(\alpha_p \Delta\lambda^{\alpha_p-1} - \alpha_p J^{\alpha_p/2} \Delta\lambda^{-(\alpha_p/2+1)}) \right. \\
&\quad \left. \left. \times \left(\alpha_p \Delta\lambda^{\alpha_p-1} + \frac{\alpha_p}{2} J^{\alpha_p/2} \Delta\lambda^{-(\alpha_p/2+1)} \right)^{-1} \right] \right]^{q_0}, \\
&\hspace{15em} (42)
\end{aligned}$$

که $\Delta\lambda$ بزرگی کشش اصلی و N تعداد سیکل ها است. با فرض این که متغیر آسیب D در شروع بار گذاری دوره ای صفر است، یعنی $D=0$ وقتی که $N=0$ است، آنگاه مقدار آسیب در هر سیکل را می توان با انتگرال گیری (42) تعیین کرد که می دهد

$$\begin{aligned}
& \int_0^D (1-D)^{q_0} dD \\
&= \int_0^N \left[\sum_{p=1}^n \frac{\mu_p}{\alpha_p} (s_0^{-1}) J^{-2/3} \right. \\
&\quad \times \left[(\Delta\lambda^{\alpha_p} - J^{\alpha_p/2} \Delta\lambda^{-\alpha_p/2}) \right. \\
&\quad \times (\alpha_p \Delta\lambda^{\alpha_p-1} - \alpha_p J^{\alpha_p/2} \Delta\lambda^{-(\alpha_p/2+1)}) \\
&\quad \left. \left. \times \left(\alpha_p \Delta\lambda^{\alpha_p-1} + \frac{\alpha_p}{2} J^{\alpha_p/2} \Delta\lambda^{-(\alpha_p/2+1)} \right)^{-1} \right]^{q_0} \right] dN. \\
&\hspace{15em} (43)
\end{aligned}$$

رابطه بین متغیر آسیب D و تعداد سیکل های N به صورت زیر تعیین می شود

$$\begin{aligned}
& [1 - (1 - D)^{q_0+1}] \\
& = (q_0 + 1) \\
& \times \left[\sum_{p=1}^n \frac{\mu_p}{\alpha_p} (s_0^{-1}) J^{-2/3} \right. \\
& \times \left[\left(\Delta \lambda^{\alpha_p} - J^{\alpha_p/2} \Delta \lambda^{-\alpha_p/2} \right) \right. \\
& \times \left(\alpha_p \Delta \lambda^{\alpha_p-1} - \alpha_p J^{\alpha_p/2} \Delta \lambda^{-(\alpha_p/2+1)} \right) \\
& \left. \left. \times \left(\alpha_p \Delta \lambda^{\alpha_p-1} + \frac{\alpha_p}{2} J^{\alpha_p/2} \Delta \lambda^{-(\alpha_p/2+1)} \right)^{-1} \right]^{q_0} \right] N.
\end{aligned} \tag{44}$$

متغیر آسیب به صورت نسب تعداد سیکل های N به عمر خستگی Nf به شکل زیر بیان می شود

$$D = \frac{N}{N_f}. \tag{45}$$

معادله (45) نشان می دهد که آسیب به طور خطی در هر سیکل طی بار گذاری توزیع می شود. از این روی، اگر

ماده در معرض بار گذاری دوره ای قرار گیرد آسیب به صورت زیر است

$$D = \frac{N_i}{(N_f)_i}, \tag{46}$$

و وقتی که شکست خستگی رخ دهد، داریم:

$$D = D_c = 1, \tag{47}$$

DC مقدار بحرانی متغیر آسیب است. معادلات (45) تا (47) نشان می دهند که در لحظه شکست

$$N = N_f, \tag{48}$$

می باشد و عمر خستگی N_f به صورت زیر بیان می شود

$$\begin{aligned}
 N_f &= (q_0 + 1)^{-1} \\
 &\times \left[\sum_{p=1}^n \frac{\mu_p}{\alpha_p} (s_0^{-1}) \right. \\
 &\times \left[\left(\Delta \lambda^{\alpha_p} - J^{\alpha_p/2} \Delta \lambda^{-\alpha_p/2} \right) \right. \\
 &\times \left(\alpha_p \Delta \lambda^{\alpha_p-1} - \alpha_p J^{\alpha_p/2} \Delta \lambda^{-(\alpha_p/2+1)} \right) \\
 &\left. \left. \times \left(\alpha_p \Delta \lambda^{\alpha_p-1} + \frac{\alpha_p}{2} J^{\alpha_p/2} \Delta \lambda^{-(\alpha_p/2+1)} \right)^{-1} \right] \right]^{-q_0}.
 \end{aligned} \tag{49}$$

با استفاده از معادله 21، بزرگی کرنش اصلی، $\Delta \lambda$ ، و بزرگی کرنش ظاهری $\Delta \epsilon_1$ به صورت زیر است

$$\Delta \lambda = 1 + \Delta \epsilon. \tag{50}$$

با جایگذاری معادله 50 در 49، فرمول عمر خستگی به صورت تابعی از بزرگی کرنش ظاهری برای مکانیسم سازگار تحت تغییر شکل بزرگ و بار گذاری سیکلی بیان می شود

$$\begin{aligned}
 N_f &= (q_0 + 1)^{-1} \left[\sum_{p=1}^n \frac{\mu_p}{\alpha_p} (s_0^{-1}) \right. \\
 &\times \left[\left((1 + \Delta \epsilon)^{\alpha_p} - J^{\alpha_p/2} (1 + \Delta \epsilon)^{-\alpha_p/2} \right) \right. \\
 &\times \left(\alpha_p (1 + \Delta \epsilon)^{\alpha_p-1} \right. \\
 &\left. \left. - \alpha_p J^{\alpha_p/2} (1 + \Delta \epsilon)^{-(\alpha_p/2+1)} \right) \right] \right]^{-q_0}.
 \end{aligned}$$

$$\times \left(\alpha_p (1 + \Delta \varepsilon)^{\alpha_p - 1} + \frac{\alpha_p}{2} J^{\alpha_p / 2} (1 + \Delta \varepsilon)^{-(\alpha_p / 2 + 1)} \right)^{-1} \Big] \Big]^{-q_0} .$$

(51)

در صورتی که $n = 1$; $\alpha = 2$ باشد و $J = 1$ (51) به عمر خستگی N_f برای مدل تراکم ناپذیر نئو هوکان کاهش می یابد

$$N_f = (q_0 + 1)^{-1} \left[\frac{\mu_p}{2} (s_0^{-1}) \times \left[\left((1 + \Delta \varepsilon)^2 - (1 + \Delta \varepsilon)^{-1} \right) \times 2 \left((1 + \Delta \varepsilon) - (1 + \Delta \varepsilon)^{-2} \right) \times \left(2(1 + \Delta \varepsilon) + (1 + \Delta \varepsilon)^{-2} \right)^{-1} \right] \right]^{-q_0} .$$

(52)

بر اساس نتایج آزمایشی و برازش منحنی، q_0 و S_0 به ترتیب به صورت 5.54 و 6.38 مگاپاسکال در نظر گرفته می شود.

4: آزمون شبیه سازی و آزمایشی

آزمون یک بخش مهم از طراحی اجزا برای عمر خستگی قابل قبول است. تجزیه تحلیل در مرحله طراحی برای بدست آوردن ابعادی استفاده می شود که نتایج مطلوبی را ارایه کرده و موجب کاهش تکرارهای پرهزینه و زمان بر در نمونه گیری و تست می شود. نوع دامنه تست یک سری تست های نمونه خستگی استاندارد را می توان برای تست ابزارهای واقعی تحت شرایط عملیاتی انجام داد.

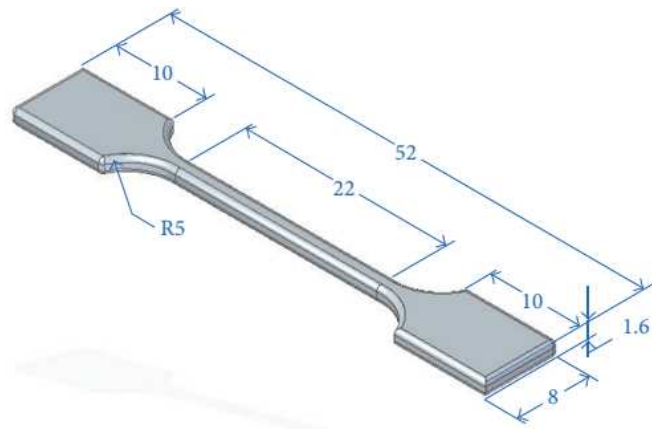
تست ابزار واقعی نیازمند کار بیشتری از نمونه تست استاندارد است. دو چابش اصلی با تست مکانیسم های سازگار همراه است. اولاً، یک تست جدید باید برای نوع جدیدی از ابزار طراحی شود. دوماً، به دلیل تعداد زیادی

از سیکل های مورد نیاز برای تست خستگی، ابزار آزمایش ممکن است به دلیل خستگی بشکند. تست نمونه خستگی استاندارد در این جا انجام شد.

1-4 تهیه نمونه: پلی پروپیلن با تراکم پایین به صورت ماده آزمایشی انتخاب شد. شکل هندسی و طول نمونه ها در شکل 3 نشان داده شده است.

2-4 تحلیل عنصر محدود (FEA). به منظور درک بهتر توزیعات تنش، FEA انجام شد. مدل FEA نمونه LDP سالم استفاده شد. مدل در حاشیه St4 ایجاد شد. برای FEA استاتیک، 13 ANSYS به عنوان پیش پردازش کر استفاده شد. مدل نمونه تحت بار گذاری استاتیک و سیکلی قرار گرفت. سپس ANSYS nCode DesignLife برای تحلیل عمر خستگی استفاده شد.

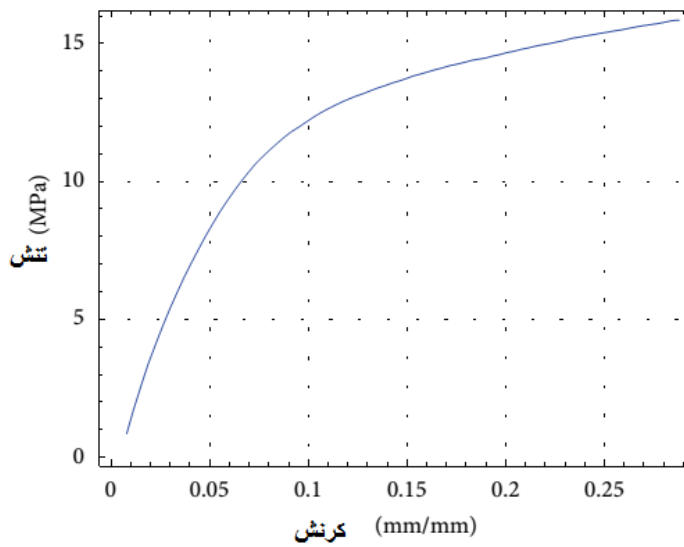
3-4 تست های کششی خستگی و تک محوری: دستگاه آزمایش BOSE ElectroForce (ELF) 3200 همراه با نرم افزار کنترل WinTest برای انجام آزمایشات مکانیکی در تنش تک محوری و بار گذاری سیکلی تک محوری انجام شدند. دستگاه آزمایش، فناوری های جا به جایی خطی Bose و کنترل وین تست را برای ارایه یک رویکرد تکاملی برای خستگی مکانیکی و مطالعات دینامیکی در نظر می گیرد. ELF LNG دارای ماکزیمم بار 225 نیوتون و ماکزیمم فرکانس 400 هرتز است. مدل GRP-TCDMA450N از BOSE ElectroForce استفاده شد. سلول بار دارای ماکزیمم بار 2.5 نیوتون و وضوح +10 میلی گرم بود. ELF 3200 جا به جایی را از طریق انتقال دهنده جا به جایی LM 100 برای بازخورد در حلقه کنترل اندازه گیری می کند. برای تست های شبه استاتیک، نمونه ها در سرعت کنترل شده جا به جایی تحت تنش قرار گرفتند (0.02 میلی متر بر ثانیه). طول گیرش 40 میلی متر بود. خواص مکانیکی نظیر مدول یانک، مدول برشی، کرنش نهایی و تنش نهایی برای نمونه ها ارزیابی شد. نتایج به صورت میانگین ارایه شده است. برای تعیین داده های محلی، از داده های جهانی، ابعاد نمونه با کولیس ورنیه بدست آمد و مدول آن از بخش خطی منحنی تنش کرنش شکل 5 محاسبه می شود



شکل 3: شکل هندسی نمونه آزمایشی LDP



شکل 4: شرایط آزمایشی



شکل 5: منحنی تنش-گرنش برای LDP

پارامتر ماده μ_p با برازش منحنی کرنش-تنش آزمایشی به (22) بدست آمد. این می دهد:

$$\mu_p = 43.04 \text{ MPa}$$

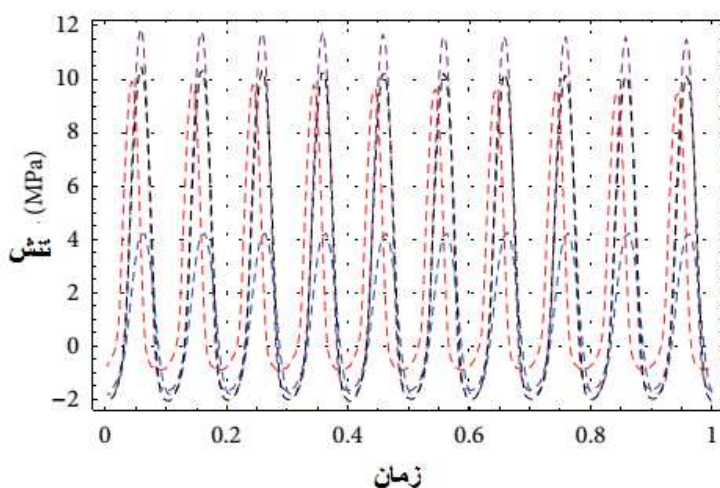
آزمایشات خستگی بین حداقل و حداکثر بار تحت تنش برای یک تعدادی از سیکل ها با استفاده از یک فرکانس انجام شد. همه تست های خستگی در 10 هرتز انجام شدند. کرنش باقی مانده با در نظر گرفتن قرائت جا به جایی بر روی اسیلو اسکوپ در شروع و پایان آزمایش تعیین شد. کرنش باقی مانده با تفریق مقدار جا به جایی در ابتدا و جا به جایی در انتها بدست آمد.

تقریباً 40 الیاف در این مطالعه بررسی شد. تقریباً 20 درصد الیاف در رابطه اصلی در پایان مرحله کشش تک محوری شکسته شدند. و این نشان دهنده شکست زود هنگام به دلیل تمرکز تنش در نزدیک نقطه اتصال می باشد. به همین دلیل، این نتایج از نتایج مطالعه حذف شد. همه الیاف تحت فرکانس یکسان در طی بار گذاری سیکلی، سرعت طولیل شدگی در طی تنش تک محوری قرار گرفتند.

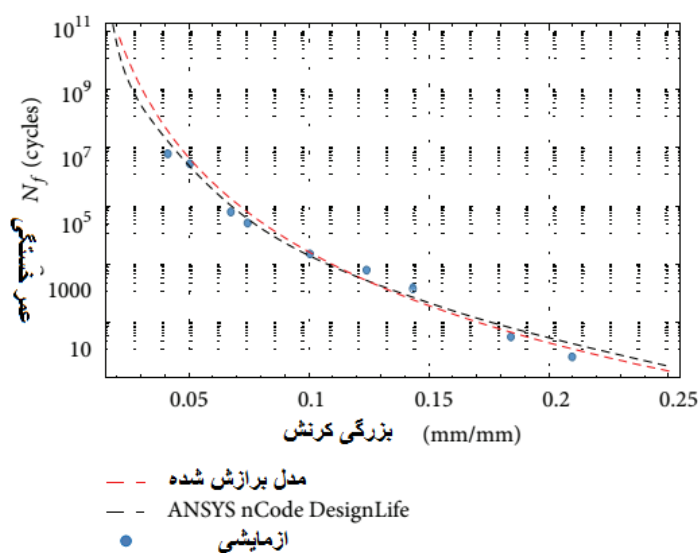
شکل 6 خروجی بار و جا به جایی اسیلو اسکوپ را در برابر پاسخ زمان نمونه های LDP نشان می دهد در حالی که شکل های 7 و 8، بازه های 1 ثانیه ای کرنش را در برابر زمان و پاسخ تنش در برابر زمان را تحت شرایط بار گذاری سیکلی سینوسی بعد از رسیدن به مقادیر تنش کرنش متعادل نشان می دهد. این نمونه ها تحت شرایط بار گذاری خستگی تک محوری قرار گرفتند. این نمودار ها رفتار نمونه ها را تحت ورودی های جا به جایی مختلف نشان می دهد. دامنه کرنش با افزایش این ورودی ها افزایش می یابد. عمر خستگی در برابر بزرگی کرنش در یک مختصات لگاریتمی در شکل 9 نشان داده شده است. نقاط پراکنده نشان دهنده نتایج آزمایشی است، خط های مشکی نقطه چین نتیجه نرم افزار شبیه سازی خستگی می باشند در حالی که خط قرمز خط چین از فرمول مشتق شده گرفته شد.

4-4 حلقه پسماند: در خستگی، مساحت حلقه تنش-کرنش پسماند، شاخص میزان تلفات و از دست رفت انرژی مکانیکی ناشی از میرایی ویسکو الاستیک در طی خر سیکل انبساط و انقباض می باشد. برای یک ماده ویسکو الاستیک تحت بار گذار ی سیکلی، پسماند ماده را می توان با ترسیم نمودار تنش ورودی در برابر کرنش پاسخ برای یک سیکل حرکت تعریف کرد. حلقه های پسماند مواد پلیمری را به سختی می توان تحلیل کرد با این حال اطلاعاتی را در مورد رفتار مواد در طی تست خستگی ارائه می کند. شکل 10 حلقه های پسماند پلی پروپیلن با

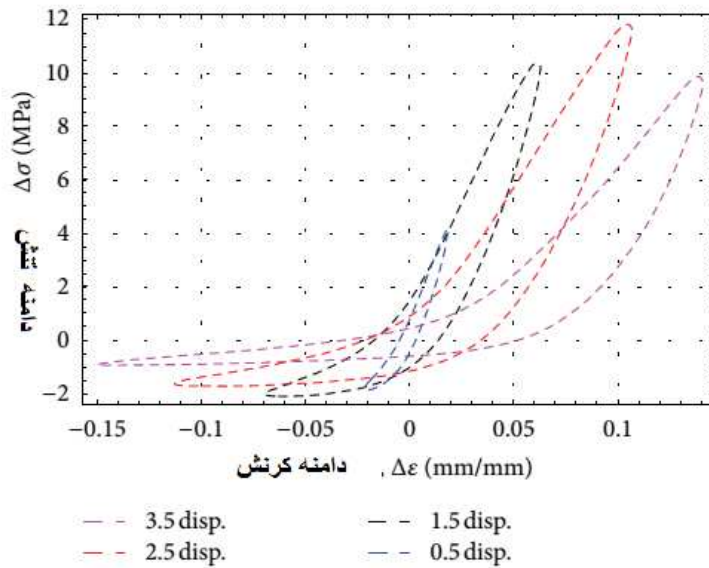
تراکم پایین را برای 10 سیکل کامل نشان می دهد. از این شکل منحنی های پسماند برای LDP، غیر متقارن هستند. نمودار یک افزایش اولیه را در تنش ماکزیمم با افزایش بار جا به جایی ورودی نشان می دهد. حلقه دارای پایداری فوری برای همه ورودی های بار جا به جایی می باشد. مساحت در نظر گرفته شده در حلقه پسماند برابر با انرژی اتلاف در هر سیکل جا به جایی هارمونیک با ماده است. در بخش کششی حلقه، امرژی انتشار ترک و کرنش پلاستیک تلف می شود زیرا تقاطع و برخورد با خط تنش صفر یک مقدار کرنش مثبت است.



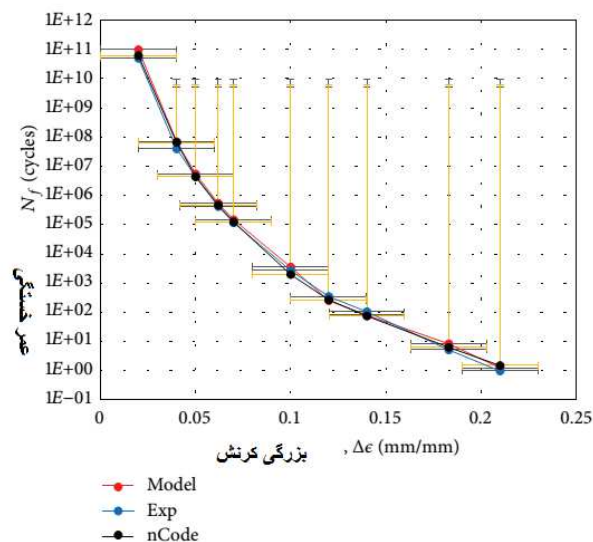
شکل 8: دومین سیکل تنش



شکل 9: عمر خستگی در برابر بزرگی کرنش



شکل 10: حلقه پسماند برای ماده LDP



شکل 11: خطای معیار

5-4 استنباط آماری با استفاده از معیار خطا: خطای معیار و میانگین در شکل 11 برای آزمایشات و نمونه ها نشان داده شده است که در آن عمر خستگی در ده آزمایش تست خستگی مستقل و نیز مدل متناظر و نتایج ANSYS Ncode نمونه های آزمایش در دامنه کرنش تعیین شد. نمودار خطا برای ارزیابی تفاوت های بین گروه ها در نقاط بزرگی کرنش با مقدار برابر استفاده شد. قانون هم پوشانی برای برآورد نقاط گروهی استفاده شد. میانگین و مناطق خطای هم پوشانی نشان میدهد که در آن گروه از نظر آماری متفاوت از هم نمی باشند.

نتیجه گیری

فرمول نظری بر اساس بزرگی کرنش اسمی برای پیش بینی عمر خستگی ماده پلیمری سازگار ارایه شده است. فرمول پیش بینی عمر خستگی در زمینه مکانیک آسیب در محیط پیوسته تنظیم شد. مدل هایپر الاستیک برای محاسبه رفتار تغییر شکل بزرگ مکانیسم سازگار پلیمری استفاده می شود. تابع انرژی کرنش از حیث ثابت های کرنش فرموله می شود.

ANSYS nCode DesignLife که بر اساس سیکل تنش معکوس است، برای انجام شبیه سازی خستگی استفاده شده است. تست های خستگی و کشش تحت شرایط بار گذاری کنترل شده انجام شدند. محنی تنش-کرنش استفاده شد که از آن پارامتر های مواد با برازش منحنی تعیین شدند. پایداری در حلقه های پسماند و آسیب پلاستیک اندک که در منطقه تراکم سیکل های خستگی رخ می دهد موجب می شود تا LDP مناسب برای CM باشد.

تحلیل آماری فرمول پیش بینی نظری با داده های آزمایشی و نتایج شبیه سازی یک هم خوانی دقیق و نزدیک را نشان می دهد. از این روی مدل مبتنی بر CDM را می توان برای مطالعه عمر خستگی در سیستم های سازگار با فرکانس و تنش متغیر استفاده کرد.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی