1- **نخست تعداد لایه‌ها و آرایش آنها از کاربر اخذ می‌گردد و بر بیشینه بار در چرخه خستگی اعمالی، تحلیل تنش بر مبنای CLT صورت می‌پذیرد.**
2- **در این مرحله بارگذاری چرخه‌ای آغاز می‌شود، تعداد مراحل چرخه بارگذاری و شمار چرخه‌ها در هر مرحله توسط کاربر تعیین می‌شود و سپس برآورد آسیب ناشی از هر مرحله چرخه بارگذاری، با توجه به شمار چرخه‌ها و وضعیت تنش در هر لایه، صورت می‌گیرد.**
3- **هم اکنون، براساس آسیب محاسبه شده، تقلیل ویژگیهای ماده صورت می‌پذیرد. در ابتدا سطح آسیب کنترل می‌شود که چنانچه تخریب رخ داده باشد از تقلیل ناگهانی و در صورت عدم رخداد تخریب از تقلیل تدریجی استفاده می‌شود، یعنی تقلیل تدریجی همواره وجود دارد و تقلیل ناگهانی پیش از شروع هر مرحله بررسی می‌شود که در صورت تحقق تخریب لحاظ می‌گردد.**
4- **پس از تغییر ویژگیهای ماده و لایه، ماتریس سفتی لایه مجددا" تشکیل می‌شود و تحلیل تنش از نو آغاز می‌شود. در این قسمت کرنش کل قطعه بررسی می‌شود و اگر مقدار آن بیش از کرنش تخریب استاتیکی باشد، تخریب نهایی و عمر قطعه اعلام شده و اجرای برنامه قطعه می‌شود. ولی گاهی ممکن است تخریب نهایی زمانی رخ دهد که کرنش نهایی قطعه، کمتر از کرنش تخریب استاتیکی باشد. در چنین حالتی سطح تنش‌ها و استحکام‌ها چک می‌شود و چنانچه مقدار آنها بسیار اندک باشد، کد متوقف می‌شود. در این حقیقت در این حالت تخریب روی داده است و یک ماده بسیار ضعیف تخریب شده در معرض بارگذاری قرار گرفته است که به علت خواص مکانیکی بسیار پایین، سطح تنش نیز بسیار پایین است و چنانچه در این مرحله کد متوقف نشود، تا بینهایت عمر قطعه ادامه پیدا خواهد کرد.**
5- **اگر تخریب نهایی روی ندهد، باید شمار چرخه‌های بارگذاری افزایش یابد. پس یک مرحله به تعداد مراحل بارگذاری افزوده می‌شود. اگر شمار کل مراحل چرخه‌گذاری، بیش از تعدادی شود که در آغاز تعیین شده بود، کاربر می‌تواند اجرای برنامه را ادامه دهد و یا آن را متوقف سازد. در صورت ادامه مراحل فوق مجددا" تکرار خواهند شد.**

روند کلی این مدل، به این ترتیب است که ابتدا تنش‌های ایجاد شده در چندلایه‌ی کامپوزیتی تحت بارگذاری، تحلیل می‌شوند. این تحلیل تنش با هدف پایین آوردن زمان اجرا، با استفاده از روش تئوری لایه‌چینی کلاسیک انجام می‌شود. در این فرآیند محدودیتی در نوع و مقدار بارگذاری، زاویه‌ی قرارگیری الیاف و ترتیب لایه‌چینی و شرایط هندسی وجود ندارد. پس از آن، برای به دست آوردن مقدار آسیب در هر لایه‌ی تک جهته تحت تنش‌های چند محوری، تنش‌ها در یک سری از روابط آسیب به کار می‌روند و ویژگی‌های ماده در آن بخش‌ها بسته به میزان آسیب تغییر می‌کنند. همچنین در شرایطی که تخریب در بخش‌هایی از چندلایه وجود داشته باشد، ویژگی‌های ماده در نواحی تخریب شده، به طور ناگهانی کاهش داده می‌شوند. بدین منظور، مدل باید قادر به شبیه‌سازی چرخه به چرخه‌ی تقلیل ویژگی‌های ماده‌ی لایه‌ی تک جهته تحت وضعیت تنش خستگی چندمحوری باشد. با افزایش شمار چرخه‌ها، تحلیل تنش برای ماده با ویژگی‌های جدید انجام می‌گیرد و همه‌ی فرآیند تکرار می‌شود، تا زمانی که تخریب نهایی قطعه روی دهد و قطعه دیگر قادر به تحمل بار بیشتری

نباشد. در حالت کلی، مدل مورد نظر دارای سه بخش اصلی شامل 1-تحلیل تنش، 2-تخمین آسیب و 3-تقلیل سفتی می‌باشد. این بخش‌ها در ادامه به صورت مفصل شرح داده خواهند شد.

1-2-5 تحلیل تنش

نخستین بخش از بخش‌های اصلی مدل، تحلیل تنش است. این تنش، اساس قسمت بعدی می-باشد و لازم است محاسبه شود تا با استفاده از آن بتوان مقادیر آسیب و در نتیجه سفتی باقیمانده در هر راستا را به دست آورد. این تحلیل با استفاده از روش تئوری لایه‌چینی کلاسیک انجام می‌شود. بدین منظور باید ضخامت لایه‌ها، تعداد و آرایش آن‌ها مشخص باشد. به علاوه خواص هر لایه شامل E_{xx} ، E_{yy} و E_s که به ترتیب سفتی در سه راستای طولی، عرضی و برشی داخل صفحه‌ای، υ_{xy} ضریب پوآسون طولی، X_t و X_c استحکام‌های کششی و فشاری در راستای الیاف، Y_t و Y_c استحکام‌های کششی و فشاری در راستای عرضی و S_{xy} استحکام برشی داخل صفحه‌ای می‌باشند، برای این تحلیل استفاده می‌شوند. برای نمونه‌ی رینگ مورد بررسی نیز که تحت بارگذاری تکرارشونده کشش-کشش می‌باشد، بار وارد بر نمونه‌ی کامپوزیتی، برابر با درصد دلخواهی از استحکام استاتیکی چندلایه، در نظر گرفته می‌شود. در اصل، مقدار این استحکام با استفاده از آزمایشات استاتیکی بر روی نمونه‌ی چندلایه به دست می‌آید. باری بر روی نمونه اعمال می‌شود و مقدار آن به صورت یکنوا افزایش می‌یابد و تا تخریب پیش می‌رود. مقدار تنش در لحظه‌ی تخریب نهایی همان مقدار تنش نهایی استاتیکی است که با σ_{ult} نشان داده شده است. اما برای به دست آوردن این مقدار به صورت تئوری، باید از روش تئوری لایه‌چینی کلاسیک و معیار تخریب $Tsai-Wu$ [57] استفاده شود. بر پایه‌ی این معیار، تخریب در هر لایه‌ی تک جهته زمانی روی می‌دهد که شرط رابطه‌ی (1-5) برقرار شود[57]:

$$F_{xx}\sigma_x^2 + 2F_{xy}\sigma_x\sigma_y + F_{yy}\sigma_y^2 + F_{SS}\sigma_s^2 + F_x\sigma_x + F_y\sigma_y = 1 \qquad (1\text{-}5)$$

در این رابطه، اندیس‌های x، y و s به ترتیب نشان‌دهنده‌ی راستای طولی، عرضی و برشی در لایه هستند و σ معرف تنش می‌باشد. ضرایب معادله‌ی (1-5)، به صورت زیر تعریف شده‌اند[57]:

$$F_{xx} = \frac{1}{X_t X_c}$$

$$F_{yy} = \frac{1}{Y_t Y_c}$$

$$F_{xy} = \frac{-1}{2}\sqrt{F_{xx} \times F_{yy}}$$
$$F_{SS} = \frac{1}{S_{xy}{}^2} \quad (2\text{-}5)$$
$$F_x = \frac{1}{X_t} - \frac{1}{X_c}$$
$$F_y = \frac{1}{Y_t} - \frac{1}{Y_c}$$

این روش تا تخریب آخرین لایه ادامه می‌یابد و مقدار به دست آمده همان استحکام استاتیکی مورد نیاز است. با در نظر گرفتن درصد دلخواهی از این مقدار استحکام به دست آمده، مقدار بیشینه‌ی تنش اعمالی مشخص می‌شود. تحلیل تنش مورد نظر برای بخش اول مدل، بر اساس این مقدار تنش بیشینه انجام می‌شود. با مشخص بودن نسبت تنش و مقادیر تنش بیشینه در هر لایه، می‌توان مقادیر تنش کمینه را نیز به دست آورد. همانگونه که این روند در فصل قبل به تفصیل بیان گردید، در حالت کلی، کل چندلایه تحت تنشی قرار می‌گیرند. با استفاده از این تنش و خواص معادل چندلایه، مقدار کرنش کلی (در راستای کلی $Off - Axis$) به دست می‌آید. برای هر لایه این کرنش عمومی به کرنش در راستای مادی $(On - Axis)$آن لایه تبدیل می‌شود و سپس تنش‌ها در راستای مختصات اصلی هر لایه $(On - Axis)$ به دست می‌آیند. این تنش، همان تنش مورد نظر است و در روابط آسیب وارد خواهد شد.

2-2-5 تقلیل تدریجی ویژگی‌های ماده

سفتی باقیمانده‌ی نرمالایز شده در هر راستا برای یک لایه‌ی تک جهته در شرایط تنش تک محوری دلخواه و نسبت تنش دلخواه از رابطه‌ی (3-5) قابل محاسبه است[60]:

$$E(n, \sigma, R) = \left(1 - \frac{\widetilde{D}}{f(\sigma, \sigma_{ult})}\right) E_0 \quad (3\text{-}5)$$

در این رابطه، E_0 سفتی اولیه پیش از آغاز بارگذاری چرخه‌ای، $\widetilde{D}$ آسیب نرمالایز شده و $E(n, \sigma, R)$ سفتی باقیمانده (تابعی از تعداد چرخه‌ها n ، تنش اعمالی σ و نسبت تنش چرخه‌ای R می‌باشند. با

بررسی‌های انجام شده، دیده شده است که مقدار آسیب نرمالایز شده مستقل از مقدار تنش است و در نسبت‌های مختلف تنش اعمالی به استحکام استاتیکی ماده σ/σ_{ult} ، آسیب نرمالایز شده مقدار تقریباً یکسانی دارد[60]. بنابراین برای برآورد آسیب نرمالایز شده در تمام محدوده‌ی تنش، تنها یک معادله‌ی آسیب کفایت می‌کند. این معادله فقط برحسب شمار نرمالایز شده‌ی چرخه‌ها بوده و مستقل از وضعیت تنش است. این در صورتی است که سفتی باقیمانده تابعی از تنش اعمالی می‌باشد. برای لحاظ کردن این مقدار و صحیح بودن نقش آسیب در رابطه‌ی سفتی باقیمانده، تابع f به این رابطه افزوده شده است. رابطه‌ی (4-5) بین آسیب نرمالایز شده‌ی $\widetilde{D}$ ، آسیب D و تابع f برقرار است[60]:

$$D = \frac{\widetilde{D}}{f(\sigma, \sigma_{ult})} \tag{4-5}$$

توابع f در این رابطه، بر اساس مطالعات آزمایشگاهی و برحسب نوع و جنس ماده، قابل محاسبه است. این تابع برای لایه‌ی تک جهته از ماده‌ی AS4/3501-6 تحت شرایط بارگذاری خستگی تک محوری، مربوط به هر وضعیت بارگذاری به دست آمده است[60]. به این روابط در اینجا به صورت فهرست‌وار اشاره شده است:

- **لایه‌ی تک جهته در شرایط بارگذاری خستگی در راستای طولی:**

$$f(\sigma, \sigma_{ult}) = S^m(1-S)^{m-1}(1+3.1mC) \tag{5-5}$$

- **لایه‌ی تک جهته در شرایط بارگذاری خستگی در راستای عرضی:**

$$f(\sigma, \sigma_{ult}) = (1-S)^{2m-1}(1+3.1mC) \tag{6-5}$$

- **لایه‌ی تک جهته در شرایط بارگذاری خستگی برشی:**

$$f(\sigma, \sigma_{ult}) = 2.79S^m \tag{7-5}$$

در این روابط، S معرف نسبت بیشینه‌ی تنش خستگی اعمال شده به استحکام استاتیکی ماد $\sigma_{max}/\sigma_{ult}$ بوده و m به صورت $m = S(1-S)$ تعریف می‌شود. C نیز همان پارامتر تعریف شده در بخش 5-2-3 در معادله‌ی (4-9) می‌باشد که تابعی از استحکام استاتیکی فشاری و استحکام استاتیکی کششی است.

3-2-5 تکنیک برآورد آسیب

همانطور که گفته شد، آسیب نرمالایز شده (D)، تابعی از شمار نرمالایز شده‌ی چرخه‌ها ($\widetilde{N}$) می‌باشد. شمار نرمالایز شده‌ی چرخه‌ها طبق رابطه‌ی ذیل محاسبه می‌گردد[60]:

$$\widetilde{N} = \frac{log(n) - log(0.25)}{log(N_f) - log(0.25)} \quad (8\text{–}5)$$

در این معادله، n تعداد چرخه‌های اعمال شده و N_f تعداد چرخه‌ها تا تخریب نهایی را نشان می‌دهند. N_f برای لایه‌ی تک جهته تحت وضعیت تنش تک محوری دلخواه و نسبت تنش دلخواه، با استفاده از معادله‌ی زیر به دست می‌آید[60]:

$$\frac{ln(a/f)}{ln(1-q)\,(c+q)} = A + B\,log\,N_f \quad (9\text{–}5)$$

در این رابطه پارامترهای استفاده شده، به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\begin{aligned} q &= \sigma_m/\sigma_t \\ \sigma_m &= \frac{(\sigma_{max} + \sigma_t)}{2} \\ a &= \sigma_a/\sigma_t \\ \sigma_a &= \frac{(\sigma_{max} - \sigma_{min})}{2} \end{aligned} \quad (10\text{–}5)$$

$$C = \begin{cases} \sigma_c/\sigma_t & \text{بارگذاری طولی} \\ \sigma_t/\sigma_c & \text{بارگذاری عرضی} \\ 1 & \text{بارگذاری برشی} \end{cases} \quad (11\text{–}5)$$

همچنین σ_t استحکام استاتیکی کششی، σ_c استحکام استاتیکی فشاری و σ_{max} و σ_{min} به ترتیب تنش‌های بیشینه و کمینه‌ی ایجاد شده در لایه‌ی تک جهته‌ی مورد نظر می‌باشند. مقدار C تعریف شده در بالا، برای لایه‌ی تک جهته‌ی تحت بارگذاری خستگی طولی و عرضی تعریف شده است و از آنجا که استحکام کششی و فشاری برای بارگذاری برشی، مقداری یکسان‌اند، مقدار C در این حالت برابر یک

است. البته معادله‌ی (5-9) برای دو حالت کشش و فشار صادق است و برای حالت بارگذاری برشی، به صورت ذیل استفاده می‌شود[60]:

$$\log\left(\frac{\ln(a/f)}{\ln[(1-q)(C+q)]}\right) = A + B\log N_f \quad (5\text{-}12)$$

پارامترهای A ، B و f پارامترهای برازش منحنی هستند که از داده‌های آزمایشی به دست می‌آیند. این مقادیر برای کامپوزیت شیشه/ اپوکسی مشابه با کامپوزیت مورد استفاده در این تحقیق توسط رفیعی و اسلامی استخراج شده است[61]. مقدار f برای ماده‌ی مذکور برابر 1/06 و مقادیر A و B برحسب N_f و برای حالات مختلف بارگذاری به صورت ذیل به دست آمده‌اند[61]:

- **لایه‌ی تک جهته در شرایط بارگذاری خستگی در راستای طولی:**

$$A + B\log(N_f) = 1.3589 + 0.3097\log(N_f) \quad (5\text{-}13)$$

- **لایه‌ی تک جهته در شرایط بارگذاری خستگی در راستای عرضی:**

$$A + B\log(N_f) = 0.999 + 0.096\log(N_f) \quad (5\text{-}14)$$

- **لایه‌ی تک جهته در شرایط بارگذاری خستگی برشی:**

$$A + B\log(N_f) = -0.388 + 0.466\log(N_f) \quad (5\text{-}15)$$

بدین ترتیب با مشخص بودن مقادیر تنش‌ها و استحکام‌ها در هر لایه و در هر جهت، مقادیر N_f و در نتیجه مقدار $\widetilde{N}$ به دست می‌آید. مقدار آسیب نرمالایز شده‌ی $\widetilde{D}$ با شمار نرمالایز شده‌ی چرخه‌ها $\widetilde{N}$ در ارتباط است و این رابطه باید از داده‌های آزمایشی به دست آید. بررسی داده‌های آزمایشی موجود[60] نشان می‌دهند که از آغاز بارگذاری چرخه‌ای ($\widetilde{N} = 0$) تا $\widetilde{N} = 0.67$ ، آسیب نرمالایز شده به آرامی و تقریباً به صورت خطی رشد می‌کند و پس از آن با افزایش تعداد چرخه‌ها، نرخ رشد آسیب بالا رفته و تا زمان تخریب نهایی قطعه ($\widetilde{N} = 1$)، آسیب به گونه‌ای غیرخطی افزایش می‌یابد. لذا می-توان این منحنی را به دو فاز تقسیم نمود. معادلات آسیب نرمالایز شده برحسب شمار چرخه‌های نرمالایز شده برای حالات مختلف بارگذاری در فاز نخست ($0 \le \widetilde{N} \le 0.67$) روابط به صورت ذیل شکل می‌یابند[60]:

- **لایه‌ی تک جهته‌ی صفر در شرایط بارگذاری خستگی در راستای طولی:**

$$\widetilde{D} = 0.1493\widetilde{N} \quad \textbf{(16-5)}$$

- **لایه‌ی تک جهته‌ی صفر در شرایط بارگذاری خستگی در راستای عرضی:**

$$\widetilde{D} = 0.0361\widetilde{N} \quad \textbf{(17-5)}$$

- **لایه‌ی تک جهته در شرایط بارگذاری خستگی برشی:**

$$\widetilde{D} = 0.3983\widetilde{N} \quad \textbf{(18-5)}$$

برای بخش دوم منحنی‌ها ($0.67 \leq \widetilde{N} \leq 1$)، روابط دیگر خطی نبوده و به صورت معادلات مرتبه چهار می‌باشند که به صورت روابط ذیل، شکل می‌یابند[60]**:**

- **لایه‌ی تک جهته‌ی صفر در شرایط بارگذاری خستگی در راستای طولی:**

$$\widetilde{D} = 5.788\widetilde{N}^4 - 6.8785\widetilde{N}^3 + 2.4153\widetilde{N}^2 - 0.2654\widetilde{N} + 0.0061 \quad \textbf{(19-5)}$$

- **لایه‌ی تک جهته‌ی صفر در شرایط بارگذاری خستگی در راستای عرضی:**

$$\widetilde{D} = -242.72\widetilde{N}^4 + 715.04\widetilde{N}^3 - 768.3\widetilde{N}^2 + 358.19\widetilde{N} - 61.22 \quad \textbf{(20-5)}$$

- **لایه‌ی تک جهته در شرایط بارگذاری خستگی برشی:**

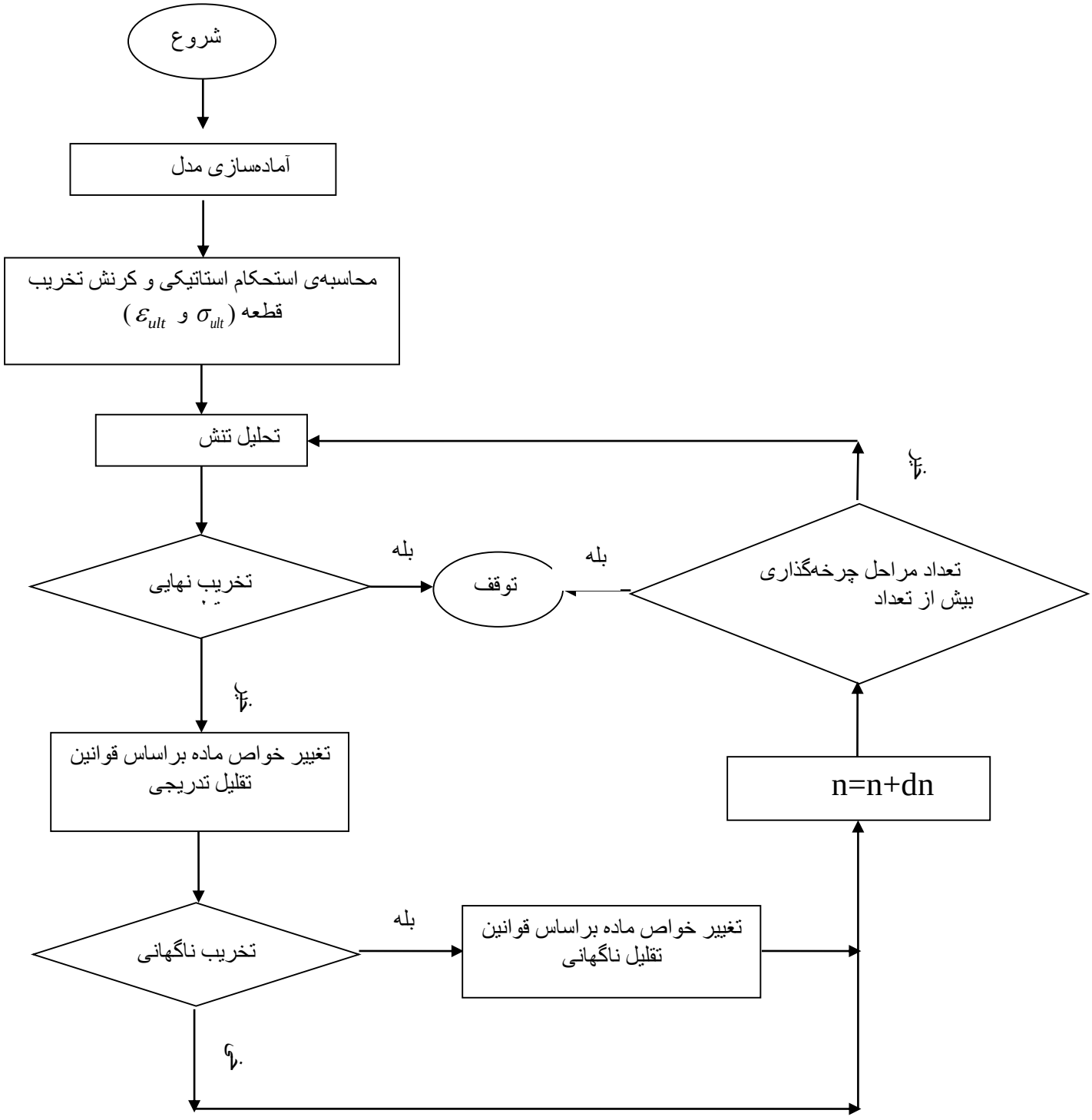
$$\widetilde{D} = 335.25\widetilde{N}^4 - 1054.9\widetilde{N}^3 + 1239.4\widetilde{N}^2 - 643.45\widetilde{N} + 124.73 \quad \textbf{(21-5)}$$

با این شرایط، با محاسبه‌ی تک تک پارامترها و طی کردن این مسیر، سرانجام مقدار آسیب نرمالایز شده‌ی $\widetilde{D}$ به دست می‌آید. در قسمت بعد، با استفاده از این مقدار آسیب نرمالایز شده‌ی به دست آمده، ویژگی‌های ماده تقلیل می‌یابند.

4-2-5 تقلیل ناگهانی ویژگی‌های ماده

با به کار بردن قوانین تقلیل تدریجی برای چندلایه‌ی کامپوزیتی تحت بارگذاری خستگی، سرانجام ویژگی‌های ماده به سطحی می‌رسند که آن بخش از قطعه دیگر نمی‌تواند هیچ باری را تحمل کند و در واقع تخریب می‌شود. از آنجاییکه در شیوه‌ی مورد استفاده، خستگی تحت اثر افت سفتی بررسی می-شود، نمی‌توان از معیارهای تخریب برای شناسایی رخداد آن استفاده نمود. زیرا این قوانین به استحکام نیز متکی می‌باشند و استحکام نیز همانند سفتی در خلال بارگذاری به صورت تدریجی افت پیدا می‌کند. این در حالی است که در این شیوه، استحکام تنها به صورت ناگهانی تقلیل داده خواهد شد و روند تقلیل تدریجی آن وارد محاسبات نمی‌شود. به منظور شناسایی رخداد و یا عدم رخداد تخریب در بارگذاری طولی و عرضی و با توجه به معیار کرنش‌های برابر، هرگاه نسبت سفتی راستای مورد نظر در آن لحظه به سفتی استاتیکی آن راستا ($S_E = \frac{E}{E_0}$) برابر با نسبت تنش به استحکام استاتیکی ($S = \frac{\sigma}{\sigma_{ult}}$) در آن راستا شود، تخریب رخ داده است[60]. چون تحلیل براساس تنش بیشینه انجام می‌شود، σ همان σ_{max} می‌باشد. در خصوص بار برشی، این مقدار بین 0/6 تا 0/76 نوسان می‌کند و مقدار میانگین 0/68 برای آن لحاظ می‌شود. پس برای هر بخش از چندلایه، هرگاه سفتی ماده در هر راستا به S_E برابر سفتی اولیه‌ی آن کاهش یافت، مقدار سفتی در آن راستا به صفر تقلیل داده می‌شود که معرف رخداد تخریب است. درحالیکه این مقدار S_E برای راستای طولی و عرضی برابر S و در حالت برشی برابر S 0/68 است. بدین ترتیب پس از رخداد تخریب در یک لایه به جای القا کردن ترک واقعی در لایه، محدوده‌ی تخریب شده، به وسیله‌ی یک لایه‌ی سالم و دست نخورده که خواص ماده‌ی آن پایین‌تر از حالت اولیه است، جایگزین می‌شوند. این حالت علاوه بر افزایش سرعت اجرای مدل، حالت بدبینانه‌تری را نیز بر روی نمونه‌ی تحت مطالعه اعمال می‌دارد.

نمودار جریان و الگوریتم مدل



حال الگوریتم این مدل و شرح تک تک مراحل به ترتیب اجرا به صورت موردی و به طور مفصل بیان می‌شود:

1-ابتدا مشخصات لایه‌ها از جمله زاویه‌ی قرارگیری الیاف، خواص مکانیکی و موقعیت هر لایه باید مشخص شوند.

2-حال تمام مؤلفه‌های ماتریس $\begin{bmatrix} A & B \\ B & D \end{bmatrix}$ که در تحلیل روش تئوری لایه‌چینی کلاسیک وجود دارد، محاسبه می‌شوند. مقادیر A ، B و D در این ماتریس، سه تابع مختلف از ماتریس سفتی Q_{off} و موقعیت هر لایه می‌باشند. Q_{off} نیز ماتریس سفتی هر لایه در راستای محورهای $off-asix$ است که برای محاسبه‌ی آن ابتدا ماتریس سفتی آن لایه در راستای محورهای محلی خود Q_{on} به دست می‌آید و با توجه به زاویه‌ی الیاف آن لایه، این مقدار به مقدار Q_{off} تبدیل می‌شود .

3- با توجه به تخریب استاتیکی لایه‌ها و براساس معیار $Tsai-Wu$، بار تخریب استاتیکی به دست می‌آید. بدین منظور ابتدا با فرض مقداری برای نیروی نرمالایز شده‌یN و با داشتن ماتریس محاسبه شده در مرحله‌ی قبل ($\begin{bmatrix} A & B \\ B & D \end{bmatrix}$)، مقدار کرنش در جهات اصلی به دست می‌آید. سپس این مقادیر برای هر لایه، متناسب با زاویه‌ی آن لایه، به کرنش در راستاهای مختصات محلی، تبدیل می-شوند. با استفاده از این کرنش و ماتریس Q_{On}، مقدار تنش $On-axis$ (σ_{On}) به دست می‌آید. با توجه به مقادیر σ_{On} و رابطه‌ی $Tsai-Wu$ (رابطه‌ی 5-1)، بررسی می‌شود که لایه‌ای تخریب شده است یا نه. درصورتیکه تخریب رخ داده باشد، مقدار N ، همان مقدار مورد نظر است و در غیراینصورت dnتا، به مقدار N قبلی افزوده شده و این حلقه ادامه می‌یابد و تکرار می‌شود تا جاییکه N مورد نظر به دست آید. با تقسیم این نیروی نرمالایز شده‌ی به دست آمده بر ضخامت کل چندلایه، استحکام قطعه σ_{ult} به دست می‌آید. مقدار تنش ورودی و اولیه‌ی مدل، ضریبی از همین σ_{ult} است (این ضریب، S نامیده می‌شود).

4-با توجه به ماتریس عمومی $\begin{bmatrix} A & B \\ B & D \end{bmatrix}$ محاسبه شده در مرحله‌ی (2) و همچنین σ_{ult} محاسبه شده از مرحله‌ی (3) و دانستن مقدار S که یکی از ورودی‌های مدل می‌باشد، تحلیل تنش براساس σ_{max} انجام می‌شود. به این منظور، ابتدا ε_{off} ها که همان کرنش در راستاهای $Off-axis$ قطعه می‌باشند، به دست می‌آیند. لذا توزیع تنش در هر لایه استخراج می‌گردد.

5-در این مرحله، مقدار کرنش به دست آمده از مرحله‌ی قبل با کرنش تخریب استاتیکی قطعه (ε_{ult}) مقایسه می‌شود و بایستی ε_{off} به دست آمده از این مقدار فراتر نرود. در غیراینصورت برنامه، متوقف شده و تعداد چرخه‌های طی شده که همان عمر قطعه است، گزارش می‌شود. اگر اینگونه نباشد، برنامه همچنان ادامه می‌یابد. در حقیقت این مرحله، تخریب نهایی قطعه را بررسی می‌نماید. دلیل استفاده از کرنش نهایی استاتیکی به عنوان معیار تخریب، در این امر نهفته است که به هنگام تغییر خواص مکانیکی در مراحل بعدی، سطح تنش نیز در لایه‌ها تغییر می‌کند. لذا تنش نهایی استاتیکی مستقل از وضعیت تنش و تعداد چرخه‌ها نمی‌باشد. این در حالی است که اغلب محققین، کرنش تخریب نهایی را مستقل از وضعیت تنش و تعداد چرخه‌های اعمالی می‌دانند.

گاهی ممکن است تخریب نهایی زمانی رخ دهد که کرنش نهایی قطعه، کمتر از کرنش تخریب استاتیکی باشد. در چنین حالتی، سطح تنش‌ها کنترل می‌شود و چنانچه مقدار آن‌ها بسیار اندک باشد، باز هم کد متوقف می‌شود. در حقیقت در این حالت، تخریب روی داده است و یک ماده‌ی بسیار ضعیف تخریب شده، در معرض بارگذاری قرار گرفته است که به علت خواص مکانیکی بسیار پایین، سطح تنش نیز بسیار پایین است و چنانچه در این مرحله کد متوقف نگردد، تا بینهایت، عمر قطعه ادامه خواهد یافت. لذا در این مرحله موارد ذیل نیز کنترل می‌گردند تا چنانچه افت شدیدی را نشان داد، کد متوقف گردد:

- **کرنش استاتیکی نهایی**
- **مقادیر سطح تنش‌ها**
- **مقادیر خواص مکانیکی**

6-برای برآورد آسیب و تخمین سفتی تقلیل‌یافته به صورت تدریجی، ابتدا پارامترهای σ_m، σ_a، σ_t، σ_c، q و a موجود در روابط (5-9) و (5-12) محاسبه می‌شوند. استحکام تخریب هر لایه (σ_{ult-s}) نیز با توجه به علامت σ_{max}، تعیین می‌شود. پس از آن پارامترهای S، m و c موجود در پارامتر f و در نتیجه مقدار N_f به دست می‌آیند. با به دست آمدن N_f در نتیجه‌ی آن، مقدار $\widetilde{N}$ نیز تعیین می‌شود. بسته به اینکه $\widetilde{N}$ از 0/67 کمتر باشد یا بیشتر، مقدار آسیب نرمالایز شده‌ی $\widetilde{D}$ محاسبه می‌شود. پارامتر f و در نتیجه، مقدار E به دست می‌آید. روش به دست آوردن مقدار E برای هر سه راستای طولی، عرضی و برشی یک لایه به همین منوال است.

7-سپس مقادیر S و S_E محاسبه شده و با یکدیگر مقایسه می‌شوند. درصورتیکه مقدار S_E در راستای طولی و عرضی از S و در راستای برشی از $0/68S$ کمتر شود، تخریب رخ داده است. بر اساس اینکه S_E کاهش یافته، مربوط به کدام E و کدام راستا است، مود تخریب مشخص شده و خواص به صورت ناگهانی و بر اساس قوانین بیان شده در بخش 5-2-4 تقلیل می‌یابند.

8-پس از تحقق مرحله‌ی (7)، خواه تخریب رخ داده باشد و خواه تخریب رخ نداده باشد، تعداد چرخه افزایش می‌یابد. حال چنانچه تعداد چرخه‌ها از فرض اولیه بیشتر باشد، کد متوقف می‌گردد و در غیراینصورت از مرحله‌ی (4) تمامی فرآیند از نو تکرار می‌گردد. این فرآیند آنقدر ادامه می‌یابد تا قطعه به طور کامل تخریب گردد.

خواص مکانیکی:

$E_{XX=}$ 147 GPa	$E_{YY=}$ 9 GPa	$E_{XY=}$ 5 GPa
$E_{XZ=}$ 5 GPa	$NU_{XY=}$ 0.3(ضریب پواسون)	$V_{F=}$ 62% (والیوم فرکشن)
$X_{T=}$ 2004 MPa	$X_{C=}$ 1197 MPa	$Y_{T=}$ 53 MPa
$Y_{C=}$ 204 MPa		
Ply Thickness= 0.146 mm	16 Plies= 2.336 mm	

ابعاد قطعه:

W= 25.4 mm	L= 101.6 mm	t= 2.336 mm