مبانی تحلیل غیر خطی-۲

مدلهای غیر خطی هندسی در نرم‌افزار ANSYS

ANSYS Help.ir

فهرست مطالب

فهرست مطالب ۲
فهرست تصاویر ۲
۱- مقدمه ۳
۲- مبانی پایه درباره تحلیلهای غیر خطی ۴
۲-۱- رفتار بازگشت پذیر و غیر بازگشت پذیر - وابستگی به مسیر ۶
۲-۲- ریزگامها یا Sub Stepها ۷
۲-۳- امتداد بار در تحلیل با خیز بزرگ ۷
۲-۴- تحلیل غیر خطی تاریخچه زمانی ۸
۳- تحلیل غیر خطی هندسی ۸
۳-۱- کرنش بزرگ ۸
۳-۲- دوران بزرگ ۹
۳-۳- سخت شوندگی در اثر تنش یا Stress Stiffening ۹
۳-۴- نرم شوندگی چرخشی یا Spin Softening ۱۱
۴- مراجع ۱۱

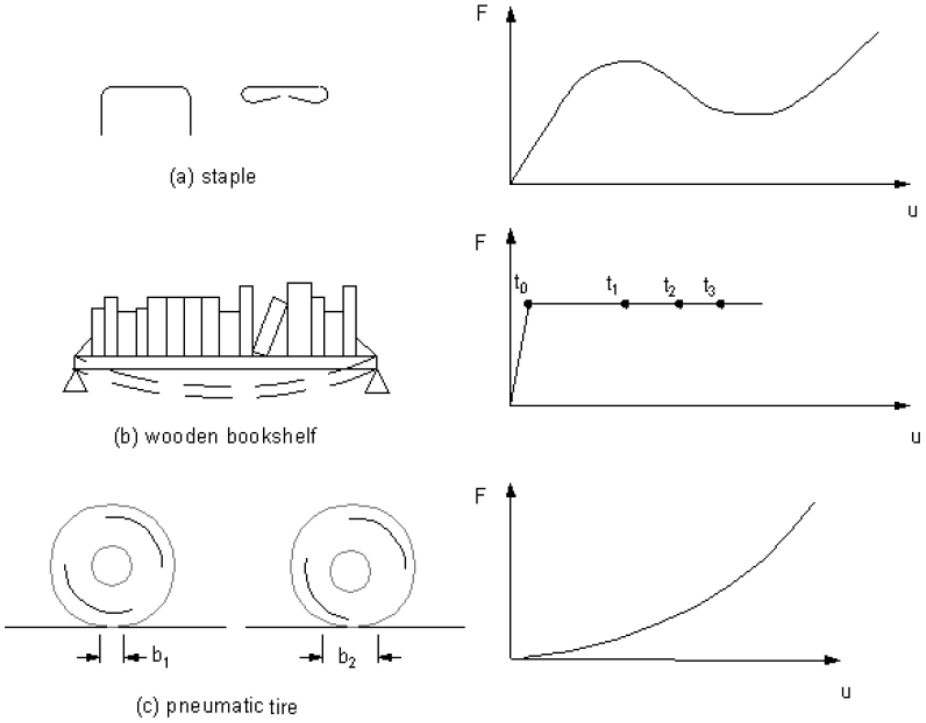
فهرست تصاویر

شکل ۱ رفتارهای مختلف غیر خطی و نمودار آنها ۳
شکل ۲ چوب ماهیگیری نمونه ای از رفتار غیر خطی هندسی ۴
شکل ۳ روش نیوتن-رافسون ۴
شکل ۴ روش نیوتن-رافسون در مقایسه با روش Arch-Length ۵
شکل ۵ گام بارگذاری (Load Step)، ریزگام Sub Step و زمان ۶
شکل ۶ رفتار غیر بازگشت پذیر (وابسته به مسیر) ۷
شکل ۷ امتداد بارهای مختلف قبل و بعد از تغییر شکل ۸
شکل ۸ تیر سخت شده با تنش ۱۰

ANSYS HELP.IR

۱– مقدمه

در شکل ۱ برخی از سیستمها با رفتار غیر خطی نشان داده شده است. هنگامی که دو کاغذ را به یکدیگر منگنه می کنید فلز سوزن منگنه بطور ماندگار تغییر شکل داده، خمیده می‌شود و به شکل جدیدی تبدیل می‌شود، شکل ۱-a. یا هنگامی که یک کتابخانه چوبی را تحت بارهای سنگین قرار میدهیم کف چوبی آن خیز برداشته و در طول زمان مقدار خیز آن افزایش می‌یابد، شکل ۱-b. یا هنگامی که بار یک اتومبیل یا کامیون افزایش می‌یابد سطح تماس بین تایر و آسفالت در نتیجه بار اضافه شده بیشتر می‌شود، شکل ۱-c. اگر نمودار نیرو-تغییر مکان هر یک از مثالهای فوق ترسیم شود، ویژگی اصلی رفتار غیر خطی سازه ها آشکار می‌شود: تغییر در سختی سازه‌ای.



شکل ۱ رفتارهای مختلف غیر خطی و نمودار آنها

منشاء رفتار غیر خطی سازه‌ای را می‌توان به چند گروه تقسیم کرد:

- تغییر حالت[۱]
- غیر خطی هندسی[۲]
- غیر خطی مصالح[۳]

یکی از رفتارهای غیر خطی متداول تغییر حالت (Changing Status) در سازه است. مثال مناسب برای این نوع رفتار غیر خطی کابل کشیده شده یا شل شده و یا تکیه‌گاه غلتکی در تماس یا بدون تماس است. تغییر حالت ممکن است مستقیماً با بار وارد شده (مثل حالت کابل) مرتبط باشد یا ممکن است توسط عوامل خارجی تعیین شود. شرایطی که در آن پدیده Contact یا تماس رخ می‌دهد دارای کاربردهای متنوع در رفتارهای غیر خطی است. Contact زیر مجموعه مهمی ار رفتارهای غیر خطی از نوع تغییر

[۱] Changing Status

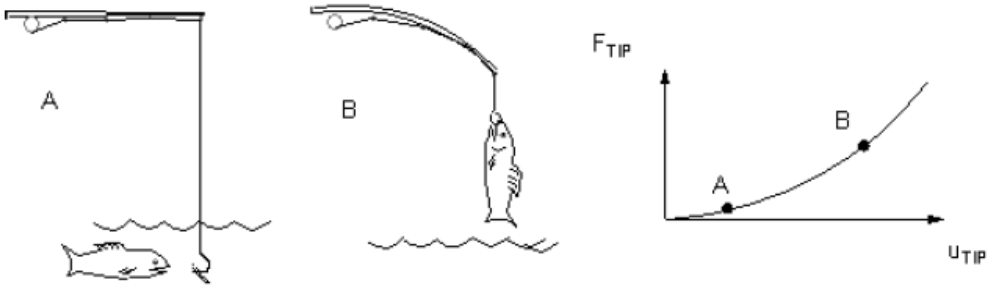
[۲] Geometric Nonlinearities

[۳] Material Nonlinearities

ANSYS HELP.IR

حالت است.

اگر سازه تغییر شکلهای بزرگی را تجربه کند، تغییر در شکل هندسی آن باعث بروز رفتار غیر خطی می‌شود. این نوع رفتار غیر خطی، غیر خطی هندسی نامیده می‌شود. برای مثال چوب ماهیگری شکل ۲ را در نظر بگیرید. غیر خطی هندسی ممکن است در اثر تغییر شکلهای بزرگ و/یا چرخشهای بزرگ بوقوع بپیوندد.



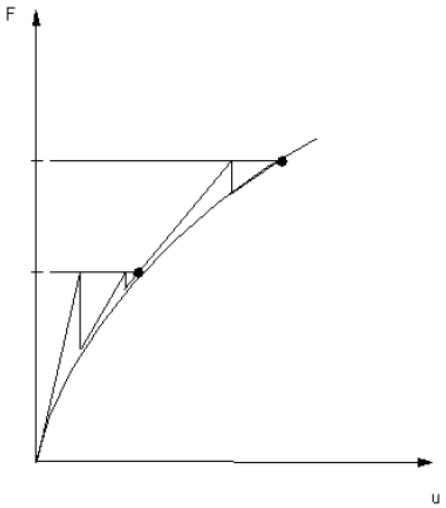
شکل ۲ چوب ماهیگیری نمونه ای از رفتار غیر خطی هندسی

رابطه غیر خطی بین تنش و کرنش نیز گروه دیگری از رفتار غیر خطی در سازه‌ها است که آنرا غیر خطی مصالح می‌نامند. فاکتورهای زیادی خواص تنش-کرنش مصالح را تحت تأثیر قرار می‌دهند که از جمله آنها می‌توان به تاریخچه بارگذاری، شرایط محیطی مانند حرارت و مقدار زمانی که بار وارد می‌شود (در شرایط خزش) اشاره کرد.

در این گزارش بطور مختصر به مبانی رفتار غیر خطی هندسی و انواع آن پرداخته می‌شود. بررسی رفتار غیر خطی مصالح (مبتنی بر رابطه غیر خطی بین تنش و کرنش) به سومین گزارش مبانی تحلیل غیر خطی معطوف می‌شود. اما قبل از هر چیز ابزارهای تحلیل غیر خطی مختصراً مرور می‌شوند.

۲- مبانی پایه درباره تحلیلهای غیر خطی

ANSYS برای حل مسائل غیر خطی از روش نیوتن-رافسون استفاده می‌کند. این روش و اصلاحات آن در گزارش AHR 92-06 تشریح شده است اما در اینجا بطور خلاصه مجدداً مرور می‌شود. در این روش بار به بخشهای کوچکتر تقسیم شده و هر بخش بصورت یک گام بارگذاری به سازه وارد می‌شود. شکل ۳ چگونگی استفاده از روش نیوتن-رافسون را در یک تحلیل غیر خطی یکدرجه آزاد نشان می‌دهد.



شکل ۳ روش نیوتن-رافسون

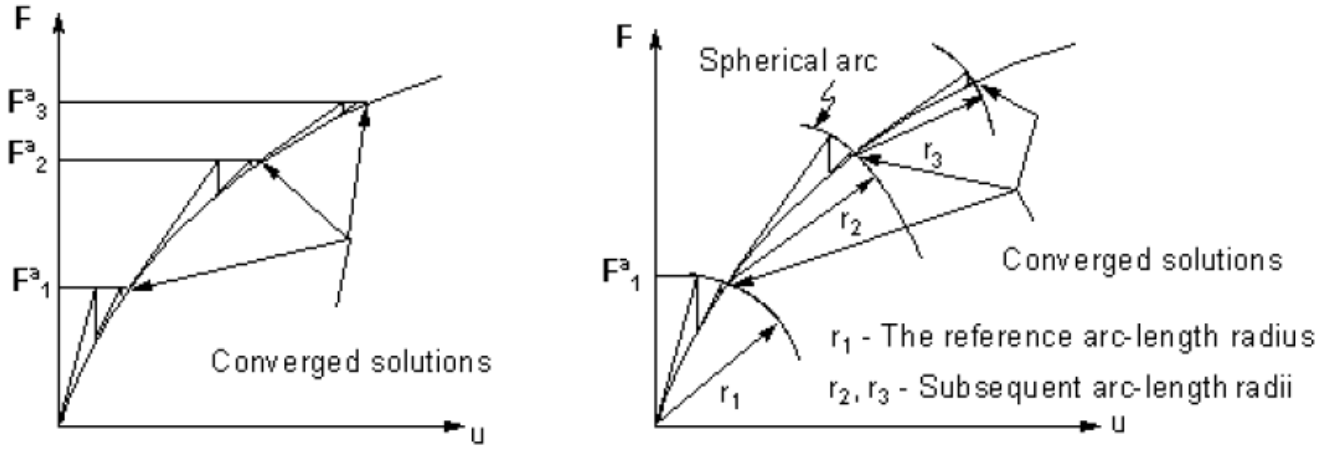
ANSYS HELP.IR

روش نیوتن-رافسون قبل از تحلیل مقدار بردار بار غیر متعادل که برابر تفاضل نیروی بازگرداننده (حاصل از تنشهای داخلی المانها) و نیروهای وارد شده است، برآورد میکند. سپس برنامه یک تحلیل خطی بر اساس بار غیر متعادل انجام داده و میزان همگرایی را می‌سنجد. اگر معیار همگرایی برآورد نشود بردار نیروی عدم تعادل بازبینی شده، ماتریس سختی اصلاح شده و تحلیل جدیدی صورت می‌گیرد. این فرآیند تکراری تا زمانیکه همگرایی حاصل شود ادامه می‌یابد.

ابزارهای غیر خطی متعددی مانند Line Search، Automatic Load Stepping (بارگذاری گام به گام خودکار) و Bisection (دو شاخگی) در برنامه وجود دارند که می‌توانند برای حل مشکل همگرایی بکار روند. به کمک این روشها اگر برنامه نتواند به همگرایی دست یابد، سعی می‌کند که از گامهای بارگذاری کوچکتری برای تحلیل استفاده کند.

در برخی مسائل غیر خطی اگر روش نیوتن-رافسون به تنهایی استفاده شود، ماتریس سختی مماسی ممکن است سینگولار یا غیر تکین شده و باعث مشکلات همگرایی شود. تحلیل کمانش غیر خطی که در آن سازه دچار Collapse شده و به وضعیت پایدار دیگری منتقل می‌شود نمونه‌ای از این تحلیلها است. برای اینگونه مسائل خاص می‌توان با فعال کردن نوع دیگری از روشهای تکراری به نام روش Arc-Length مسئله را حل نمود.

روش Arc-Length باعث می‌شود که تعادل در معادله نیوتن-رافسون[۴] در امتداد یک کمان (Arch) صورت گیرد. این روش می‌تواند از وقوع واگرایی حتی هنگامی که شیب نمودار نیرو- تغییر مکان صفر یا منفی می‌شود جلوگیری کند. عملکرد این روش بطور گرافیکی در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴ روش نیوتن-رافسون در مقایسه با روش Arch-Length

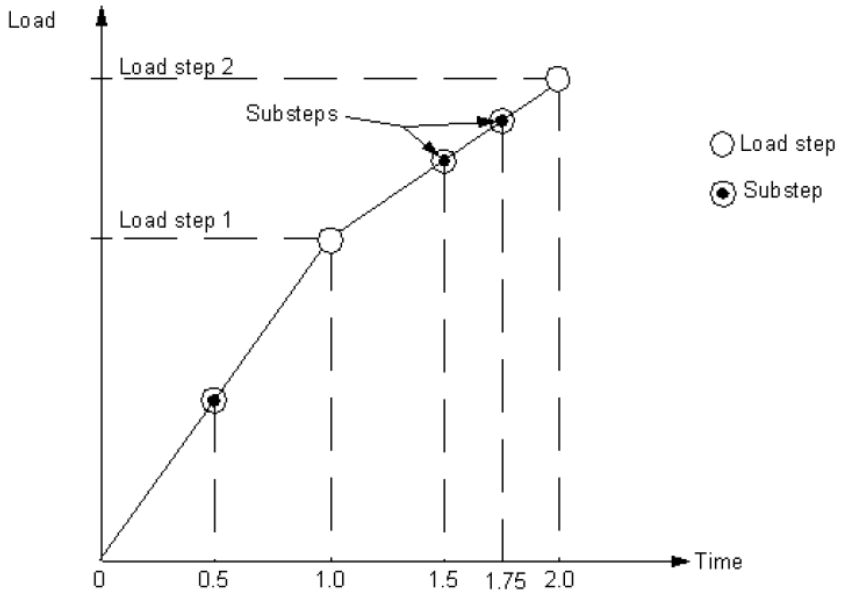
بطور خلاصه یک تحلیل غیر خطی دارای سه سطح عملیاتی است:

- سطح بالایی شامل گامهای بارگذاری یا Load Stepهایی است که در طول زمان تعریف شده‌اند. فرض می‌شود که بارها در طول هر گام بارگذاری خطی تغییر می‌کنند.
- در هر گام بارگذاری می‌توان برنامه را به نحوی تنظیم کرد که از گامهای کوچکتری برای اعمال یکنواخت بار استفاده کند (با تنظیم Sub step یا Time step).
- در هر Sub step یا ریزگام برنامه تعدادی Iteration یا تکرار برای رسیدن به همگرایی انجام می‌دهد.

[۴] به گزارش AHR 92-06 مراجعه شود.

ANSYS HELP.IR

شکل ۵ نمای تیپ برای بارگذاری یک مسئله غیر خطی را نشان می‌دهد. در این تصویر مفاهیم گام بارگذاری (Load Step)، ریزگام (Sub Step) نمایش داده شده است.



شکل ۵ گام بارگذاری (Load Step)، ریزگام Sub Step و زمان

برنامه ANSYS معیارهای مختلفی برای تعریف میزان همگرایی در نظر گرفته است. معیار همگرایی می‌تواند بر مبنای کنترل نیرو، لنگر، جابجایی، دوران یا ترکیبی از آنها تعریف شود. علاوه بر این هر معیار می‌تواند مقدار خطای متفاوتی نیز داشته باشد. در مسائل چند درجه آزاد می‌توان از نُرمها یا قواعد همگرایی نیز استفاده نمود. در اغلب مسائل لازم است از معیار نیرو استفاده شود و می‌توان معیار جابجایی را نیز به آن افزود. اما عموماً استفاده از معیار جابجایی به تنهایی توصیه نمی‌شود.

۱-۲- رفتار بازگشت پذیر[۵] و غیر بازگشت پذیر[۶]- وابستگی به مسیر[۷]

اگر تمام انرژی وارد شده توسط نیروهای خارجی به یک سیستم هنگام باربرداری بازیابی شود، به آن سیستم بازگشت پذیر گفته می‌شود. اما اگر انرژی توسط سیستم اتلاف شود (در اثر تغییر شکلهای پلاستیک یا اصطکاک)، آنگاه سیستم غیر بازگشت پذیر گفته می‌شود. مثالی از سیستمهای غیر بازگشت پذیر در شکل ۶ نشان داده شده است.

تحلیل یک سیستم بازگشت پذیر مستقل از مسیر است. به عبارتی بارها می‌توانند به هر اندازه‌ای و با هر تعداد گام دلخواه وارد شوند بدون آنکه نتیجه نهایی را تحت تأثیر قرار دهند. اما تحلیل یک سیستم غیر بازگشت پذیر وابسته به مسیر است. به عبارت دیگر تاریخچه اعمال بار به سیستم برای رسیدن به نتایج یکسان باید از رژیم مشخصی پیروی نماید. در مواردیکه که ممکن است بیش از یک جواب برای یک نوع بار اعمالی وجود داشته باشد باز هم نوع تحلیل وابسته به مسیر است. در مسائلی با وابستگی به مسیر معمولا بار بطور آهسته (یعنی با ریزگامها یا Sub Stepهای بیشتر) تا رسیدن به بار نهایی اعمال می‌شوند.

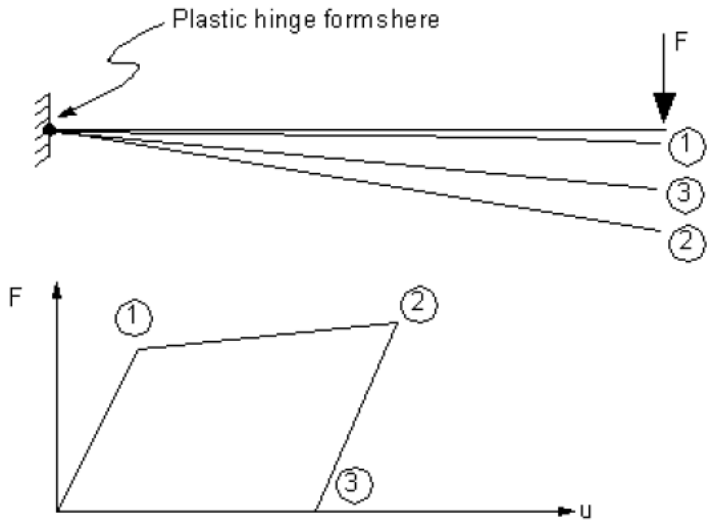
---

[۵] Conservative

[۶] Non Conservative

[۷] Path dependency

ANSYS HELP.IR



شکل ۶ رفتار غیر بازگشت پذیر (وابسته به مسیر)

۲-۲- ریزگامها یا Sub Stepها

هنگام استفاده از چندین ریز گام باید بین دقت و زمان صرف شده تعادل برقرار کرد. استفاده از ریز گامهای بیشتر (یا گامهای زمانی کوچکتر) عموماً دقت بیشتری تأمین می‌کند، اما زمان بیشتری را صرف تحلیل خواهد کرد. نرم افزار ANSYS گزینه‌ای به نام زمانبندی خودکار گامها یا Automatic Time Stepping در اختیار قرار داده است که برای همین منظور تدوین شده است.

زمانبندی خودکار گامها میزان زمان را به مقدار مناسب تنظیم کرده و تعادل بهتری بین دقت و زمان صرف شده فراهم می‌کند. در این روش ویژگی دوشاخگی یا Bisection در برنامه فعال می‌شود.

دو شاخگی ابزاری برای حل خودکار مشکل همگرایی است. این ویژگی هنگامی که مشکل همگرایی در تحلیل بوجود می‌آید اندازه گام زمانی را به دو قسمت تقسیم کرده و بطور خودکار تحلیل را از آخرین گام زمانی که پاسخ همگرا شده است، مجدداً آغاز می‌کند. اگر باز هم زمان نصف شده دچار مشکل همگرایی شود، روند دو شاخگی تکرار شده و تا زمانی که همگرایی حاصل شود یا مقدار گام زمانی به حداقل تعریف شده توسط کاربر برسد، ادامه می‌یابد.

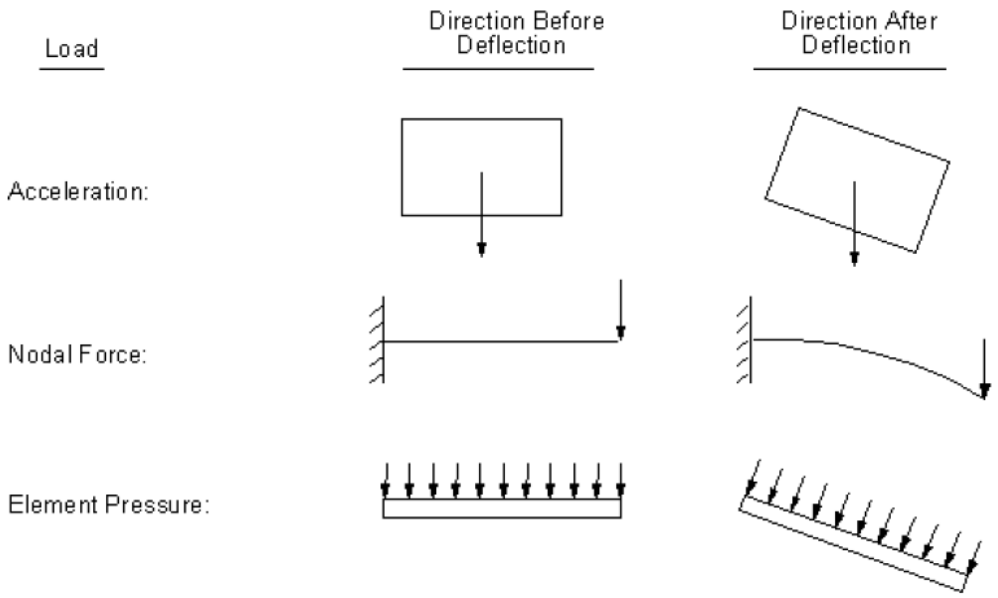
۲-۳- امتداد بار در تحلیل با خیز بزرگ

سئوال این است که هنگام رخداد خیزهای بزرگ در سازه چه اتفاقی برای نیروها می‌افتد. در بسیاری از حالتها نیروی وارد شده به سیستم در امتداد اولیه خود باقیمانده و امتداد آنها مستقل از تغییر شکل سازه است. در برخی موارد نیز جهت نیروها از المانهایی که دچار دورانهای بزرگ شده‌اند پیروی می‌کنند.

برنامه ANSYS می تواند هر دو حالت را بسته به نوع بار وارده شبیه سازی کند. شتاب و نیروهای متمرکز مستقل از جهت المان همواره در امتدا اولیه خود باقی می‌مانند اما بارهای گسترده همواره عمود بر سطح المان تغییر شکل داده باقی می‌مانند. شکل ۷ دو الگوی فوق را نشان می‌دهد.

نکته: امتداد محورهای دستگاه مختصات گره‌ی در تحلیلهای با خیز بزرگ تغییر نمی‌کند. به این ترتیب تغییر شکلهای محاسبه شده در خروجی برنامه در همان امتدادهای اولیه خود قرار دارند.

ANSYS HELP.IR



شکل ۷ امتداد بارهای مختلف قبل و بعد از تغییر شکل

۴-۲- تحلیل غیر خطی تاریخچه زمانی

روشی که برای تحلیل رفتار غیر خطی تاریخچه زمانی بکار می‌رود مشابه چیزی است که در حالت استاتیکی استفاده می‌شود. بار در گامهای زمانی بصورت گام به گام وارد شده و برنامه از تکرار برای تحلیل هر گام استفاده می‌کند. تفاوت اصلی بین روش استاتیکی و دینامیکی در اثرات ناشی از انتگرال‌گیری زمانی یا Time Integration است که در تحلیل تاریخچه زمانی فعال می‌شود. در تحلیل تاریخچه زمانی، زمان همواره نقش اصلی را بازی می‌کند. در این نوع تحلیل همچنان ویژگیهای زمانبندی خودکار گامها و دوشاخگی قابل استفاده‌اند.

۳- تحلیل غیر خطی هندسی

رفتار غیر خطی هندسی به رفتاری در یک سازه یا عضو اطلاق می‌شود که هندسه آن حین تحلیل تغییر می‌کند. در این مسائل ماتریس سختی بدلیل تغییر هندسه و یا دوران مدل تغییر می‌کند. برنامه ANSYS می‌تواند چهار نوع رفتار غیر خطی هندسی را پوشش دهد:

- کرنش بزرگ (Large Strain)،
- دوران بزرگ (Large Rotation)،
- سخت شوندگی در اثر تنش (Stress Stiffening)،
- نرم شوندگی چرخشی (Spin Softening).

۱-۳- کرنش بزرگ

تحلیلهای متعارف که با فرض خیزهای کوچک (Small Deflection) یا کرنشهای کوچک (Small Strain) صورت می‌گیرند فرض می‌کنند که تغییر شکلها به اندازه کافی کوچک هستند که تغییرات ایجاد شده در سختی در اثر تغییر شکل قابل صرف نظر کردن است. اما هنگامی که کرنش بزرگ بوده و از چند درصد بیشتر می‌شود، دیگر تغییر هندسی ناشی از این نوع تغییر شکل قابل

ANSYS HELP.IR

صرف نظر کردن نیست. روش تحلیلی که این اثر را در نظر می‌گیرد روش کرنش بزرگ است که در هر دو نوع تحلیل استاتیکی و دینامیکی با فعال کردن تغییر شکلهای بزرگ و انتخاب المان مناسب فعال می‌شود. در تحلیل به روش کرنش بزرگ فرض کرنشهای کوچک کنار گذاشته می‌شود و اثرات ناشی از تغییر شکل المان و دوران آنرا در تغییر سختی سیستم در نظر گرفته می‌شوند. در این روش تغییر هندسه مانند تغییر سطح و ضخامت نیز می‌تواند رخ دهد و جابجاییها و دورانها می‌توانند بطور دلخواه بزرگ یا کوچک انتخاب شوند. کرنش بزرگ در اغلب المانهای حجمی (Solid Elements) و المانهای صفحه‌ای (Shell Elements) در دسترس است و با تنظیم دستور NLGEOM,on در المانهایی که این ویژگی را دارا هستند فعال می‌شود.

در تحلیلهای بزرگ –کرنش کلیه تنش-کرنشهای ورودی و خروجی بر حسب true stress و true Strain (یا لگاریتمی) هستند. در حالت یک بعدی true strain برابر است با $\varepsilon = \ln(\frac{l}{l_0})$. برای پاسخ در محدوده کوچک-کرنش مقادیر کرنشهای مهندسی و true Strain یکسان هستند. برای تبدیل کرنش از کوچک-کرنش (کرنش مهندسی) به کرنش لگاریتمی رابطه $\varepsilon_{\ln} = \ln(1+\varepsilon_{eng})$ بکار می‌رود. برای تبدیل تنش مهندسی به true stress رابطه $\sigma_{true} = \sigma_{eng}(1+\varepsilon_{eng})$ بکار می‌رود (این روابط تنها برای داده های تنش-کرنش در پلاستیسیته غیر قابل تراکم معتبر هستند). در تئوری روش کرنش بزرگ هیچگونه محدودیت مقدار کرنش یا دوران نهایی المان وجود ندارد. اما برای انجام تحلیل لازم است میزان رشد کرنش برای تأمین دقت محدود شود. به همین دلیل بار وارده باید به گامهای کوچکتری تقسیم شود.

۲-۳- دوران بزرگ

اگر دورانها بزرگ اما کرنشها کوچک باشند آنگاه می‌توان از روش تحلیلی دوران بزرگ استفاده نمود. تحلیل دوران بزرگ در تحلیلهای استاتیکی و دینامیکی با فعال کردن گزینه تغییرشکلهای بزرگ (NLGEOM,on) و انتخاب المان مناسب قابل استفاده است. کلیه المانها با قابلیت کرنش بزرگ می‌توانند این توانایی را پوشش دهند. در این روش فرض می‌شود که دورانها بزرگ هستند اما کرنشهایی که ایجاد تنش می‌کنند توسط روابط خطی تعیین می‌شوند. در این روش فرض می‌شود که سازه به جز بصورت یک جسم صلب تغییر هندسه نخواهد داد.

۳-۳- سخت شوندگی در اثر تنش یا Stress Stiffening

پایداری خارج از صفحه یک سازه می‌تواند بشدت تحت تأثیر وضعیت تنشها در داخل صفحه آن باشد. این اندرکنش بین تنش داخل صفحه و سختیهای جانبی به نام سخت شوندگی ناشی از تنش یا Stress Stiffening شناخته می‌شود. سخت شوندگی در اثر تنش نوعی سخت شدگی (یا نرم شدگی) سازه ناشی از وضعیت تنش درون خود است. این نوع سخت شوندگی معمولاً در سازه‌های لاغری که سختی خمشی آنها در مقایسه با سختی محوری شان بسیار کوچک است (مانند کابلها، تیرهای لاغر، پوسته‌ها و ترکیب جابجاییهای داخل صفحه و خارج صفحه) دیده می‌شود. تئوری سخت شوندگی در اثر تنش فرض می‌کند که هم کرنشها و هم دورانها کوچک هستند و از معادلات تقریبی درجه ۱ دورانی برای محاسبه اثرات غیر خطی دوران استفاده می‌کند.

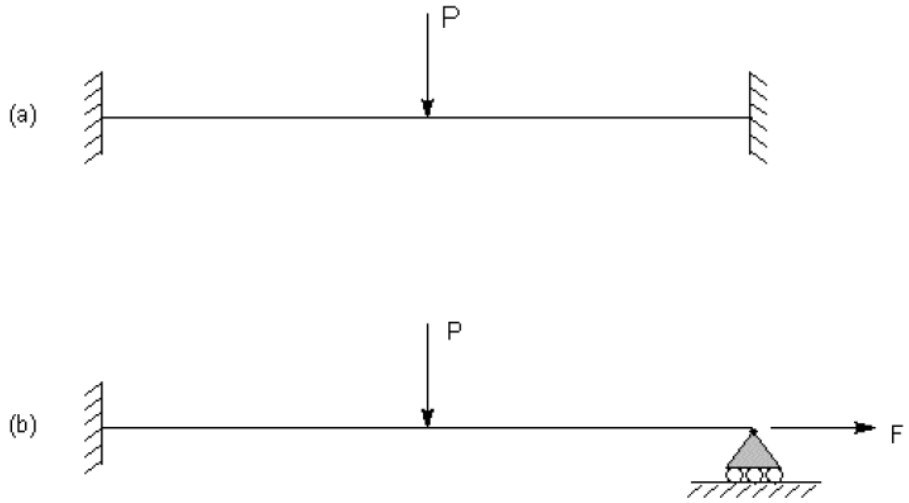
پدیده سخت شدگی در اثر تنش، ماتریس سختی اضافه‌ای ایجاد می‌کند که آنرا ماتریس سخت شوندگی تنش[۸]می نامیم. این ماتریس به ماتریس سختی عمومی اضافه شده و ماتریس سختی کلی سیستم را شکل می‌دهد. سخت شوندگی تنش می‌تواند در هر

[۸] Stress Stiffness Matrix

ANSYS HELP.IR

دو تحلیل استاتیکی و دینامیکی بکار رود. ماتریس سخت شوندگی تنش بر اساس وضعیت تنش در تکرار تحلیلی قبلی محاسبه می-شود. بنابراین حداقل دو سعی و خطا برای تشکیل این ماتریس نیاز است تا از اولی برای تعیین وضعیت تنش جهت ساخت ماتریس سخت شوندگی تنش جهت گام دوم استفاده شود. اگر ماتریس جدید تنشها را تحت تأثیر قرار دهد تکرارها و سعی و خطاهای بیشتری برای رسیدن به همگرایی نیاز است.

اگر چه تئوری stress stiffening فرض می‌کند که چرخشها و کرنشهای المان کوچک هستند اما در برخی سیستمهای سازه‌ای (مانند تیر سخت شده با تنش شکل ۸-a) اعمال سخت شوندگی توسط تنش یا stress stiffening تنها با انجام تحلیل خیز بزرگ قابل دستیابی است. در سایر سیستمها، تنش سخت کننده (Stiffening Stress) می‌تواند با استفاده از تئوری خیزهای کوچک یا رفتار خطی اعمال شود (مانند تیر سخت شده با تنش شکل ۸-b).



شکل ۸ تیر سخت شده با تنش

برای فعال کردن Stress Stiffening در سازه‌های نوع دوم باید دستور PSTRES,on در اولین گام تحلیلی فعال شود. فرآیندهای بزرگ-خیز و بزرگ-کرنش وجود تنشهای اولیه را در فرمولاسیون خود پیش بینی کرده‌اند. در اغلب المانها اثرات سختی اولیه هنگامی که تغییر شکلهای بزرگ انتخاب می‌شوند، بطور خودکار فعال می‌شود. دراین حالت ماتریس سخت شوندگی تنش به ماتریس سختی غیر خطی بدست آمده توسط کرنش بزرگ و خیز بزرگ اضافه می‌شود.

اگر تنشهای غشایی به جای کششی، فشاری باشند آنگاه ماتریس سخت شونده تنش ممکن است اجزای مثبت ماتریس سختی سیستم را حذف کرده و منجر به یک ماتریس غیر مثبت شود که نشانه وقوع کمانش است. در این صورت پیغامی به شکل زیر مشاهده می‌شود:

"Large negative pivot value ___ ,at node ___ may be because buckling load has been exceeded"

باید توجه داشت که یک مدل سخت شونده با تنش با شرایط مرزی ناکافی و احتمال وقوع حرکت صلب گونه ممکن است پیغام مشابهی ایجاد کند.

روش سخت شوندگی تنش می‌تواند برای محاسبه بار کمانش الاستیک خطی نیز بکار رود. بار کمانش با اضافه کردن ضریب مجهولی از ماتریس سخت شده با تنش به ماتریس سازه و انجام تحلیل مقادیر ویژه کمانش و محاسبه ضریب مجهول تعیین می-شود.

ANSYS HELP.IR

۴-۳- نرم شوندگی چرخشی یا Spin Softening

نرم شوندگی چرخشی یا Spin softening روشی است که ماتریس سختی اجسام دوار را برای اعمال اثرات جرم دینامیکی اصلاح می‌کند. ارتعاش یک جسم در حال چرخش منجر به حرکات دایروی نسبی می‌شود که می‌تواند جهت نیروی گریز از مرکز را تغییر داده و سازه را ناپایدار کند. در این سیستمها به علت وجود دورانهای بزرگ استفاده از تحلیل با خیز کوچک کافی نیست و از روش نرم شوندگی چرخشی برای اصلاح ماتریس سختی استفاده می‌شود. به عبارتی این روش اثرات تغییرات هندسی ناشی از جابجاییهای بزرگ در حرکات دایروی را در تحلیلهای با خیز کوچک تقریب می‌زند.

این گزینه معمولاً همراه با پیش تنیدگی یا دستور PSTRES بکار می‌رود که در اثر نیروی گریز از مرکز در اجسام دوار بوجود می‌آید. نرم شوندگی چرخشی یا Spin Softening نباید با سایر غیر خطیهای تغییر شکل مانند خیز بزرگ یا کرنش بزرگ بکار رود. Spin Softening با گزینه KSPIN در دستورهای OMEGA و CMOMEGA فعال می‌شود.

۴- مراجع

1. ANSYS Manual v10.0, Analysis Guide, Chapter 8. Nonlinear Geometry and Material.
2. ANSYS Manual v10.0, Theory References, Chapter 3. Nonlinear Geometry.

ANSYS HELP.IR