

شبیه سازی عددی برخورد قطعات خودرو پراید به مانع با استفاده از معیار آسیب نرم جانسون - کوک

استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

فرهاد حاجی ابوطالبی*

کارشناس ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر، خمینی شهر، ایران

داود دفاعی اصفهانی

چکیده

امروزه شرکت های خودروسازی معتبر برای جلوگیری از صرف هزینه و زمان زیاد از شبیه سازی کامپیوتری برخورد خودرو و نرم افزارهای مختلف استفاده می کنند. در این تحقیق ابتدا، با استفاده از معیار آسیب نرم جانسون-کوک در کد ABAQUS صریح، برخورد تعدادی از قطعات مهم بدنه خودرو پراید مانند گلگیر، کاپوت، درب و صندوق عقب که بیشتر در معرض تصادف قرار دارند به مانع شبیه سازی می شود. شرایط مرزی سرعت، شکل مانع و زاویه برخورد از نمونه های واقعی تصادف، اقتباس شده و در نرم افزار اعمال می گردد. با انجام شبیه سازی ها، نتایج تغییر شکل و آسیب در هر یک از قطعات فوق پیش بینی شده، نواحی متحمل آسیب بیشینه و در معرض شکست مشخص می گردند. سپس، به منظور ارزیابی معیار آسیب جانسون-کوک و خواص ماده، نتایج شبیه سازی ها با نتایج نمونه های واقعی مقایسه می شود. مقایسه نتایج عددی و واقعی آشکار می کند که معیار آسیب جانسون-کوک به خوبی می تواند تغییر شکل ها و استحکام قطعات مختلف خودرو را در هنگام برخورد به مانع پیش بینی نماید.

واژه های کلیدی: قطعات خودرو پراید، برخورد به مانع، معیار آسیب جانسون-کوک، شبیه سازی عددی.

Numerical Simulation of Pride Vehicle Components Crash to Barrier, using Johnson-Cook Ductile Damage Criterion

F. Haji Aboutalebi
D. Defaei Esfahani

Department of Mechanical Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran
Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Khomeyni Shahr Branch, Khomeinishahr, Iran

Abstract

Today, the great vehicle companies use of computational simulation of vehicle crash and different software to avoid spending too much time and cost. In this investigation first, applying the Johnson-Cook ductile damage criterion in the ABAQUS explicit code, crash of a few important components of Pride vehicle such as fender, hood, door, and rear trunk which are most at risk of crash to barrier are simulated. Speed boundary conditions, barrier shape, and impact angle are adopted from the real accidents and implemented into the software. Carrying out the simulations, the results of deformation and damage in any of the above mentioned parts are predicted, maximum damage zones and near to failure are identified. Then, simulation results are compared with the results of the actual samples, to evaluate the Johnson-Cook damage criterion and material properties. Comparison of the numerical and real results reveal that the Johnson-Cook damage criterion can well predict the deformations and strength of different parts of the car through the crashing to barrier.

Keywords: Pride Vehicle Components, Crash to Barrier, Johnson-Cook Damage Criterion, Numerical Simulation.

مطابق استانداردهای موجود بر روی خودرو خود آزمایش ضربه و تصادف انجام دهد. اما انجام این آزمایشها در برخی از موارد هزینه های بسیار گزافی را برای شرکت های سازنده در پی داشته و هم چنین نیازمند زمان زیادی برای سعی و خطا، تعویض طرح و ماده می باشد. امروزه شرکتهای خودروسازی معتبر برای جلوگیری از صرف هزینه و زمان زیاد به شبیه سازی کامپیوتری برخورد خودرو روی آورده اند. در دهه های گذشته، شبیه سازی برخورد مدل کامل خودرو بیشتر مورد توجه بوده اما به دلیل افزایش اعتماد به نتایج عددی حاصل از نرم افزارهای موجود، امروزه با استفاده از این نرم افزارها می توان به تحلیل جزئی تر و موضعی قطعات بدنه خودرو نیز پرداخت.

۱- مقدمه

افزایش حقوق کارکنان و هم چنین تقاضای مشتریان خودرو در زمینه ایمنی وسایل نقلیه، کارخانجات سازنده خودرو را بر آن داشته تا قبل از ارائه محصول خود به بازار در این زمینه تحقیقات و آزمایش های زیادی انجام دهند. مبحث ایمنی بیشتر در هنگام ضربه و تصادف اهمیت پیدا نموده و از دو منظر (۱) ایمنی سرنشینان خودرو هنگام تصادف و (۲) مقاومت اجزای بدنه خودرو به هنگام تصادف مورد بررسی قرار می گیرد. بنابراین، یک طرح مناسب طرحی است که اولاً هنگام ضربه و تصادف بتواند بیشترین انرژی جنبشی را جذب نموده تا سرنشینان ضربه کمتری احساس کنند و ثانیاً استحکام آن به گونه ای باشد که در ضربه های سنگین، قطعات آن دچار گسیختگی نشود. این موارد بستگی فراوانی به شکل نهایی، نحوه مقاوم سازی و جنس قطعات مورد استفاده در بدنه خودروها دارد. از این رو هر شرکت سازنده خودرو موظف است

ارتباط بین پارامترهای طراحی و تاثیرپذیری سیستم در این مجموعه از داده‌ها را مورد مطالعه قرار دادند.

در سال ۲۰۱۱ مرزبان راد و ابراهیمی لوله‌های توخالی جاذب انرژی مورد استفاده در وسایل نقلیه را با استفاده از الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی بهینه‌سازی نمودند [۱۰].

ینگ و همکاران در سال ۲۰۱۲ به شبیه‌سازی رفتار اتصالات فولادی استحکام بالای وسیله نقلیه در هنگام تصادف پرداختند [۱۱]. هم‌چنین یاداو و پرادهان در سال ۲۰۱۴ پاسخ دینامیکی اجزاء اتوموبیل در هنگام تصادف را مورد بررسی قرار دادند [۱۲].

در سال ۲۰۱۵ لی و همکاران برخورد یک وسیله نقلیه به مانع کنار جاده و صدمات وارد بر مسافری را مورد مطالعه عددی قرار دادند [۱۳]. هر^۱ و همکاران نیز در سال ۲۰۱۶ به منظور طراحی مقاطع توخالی مورد استفاده در صنایع اتوموبیل‌سازی، برخورد دینامیکی این مقاطع به مانع را شبیه‌سازی نمودند [۱۴].

برای پیش‌بینی میزان آسیب مواد و قضاوت در مورد گسیختگی آن‌ها لازم است از یک معیار آسیب استفاده گردد. لازم به ذکر است که تحلیل‌های الاستوپلاستیک فقط تنش‌ها و کرنش‌های پلاستیک به وجود آمده در ماده را پیش‌بینی نموده و هیچ‌گونه تخمینی در مورد گسیختگی ماده ارائه نمی‌کنند. بنابراین برای اطلاع از وضعیت سالم یا ناسالم بودن قطعه تحت بارگذاری‌های استاتیکی، شبه‌استاتیکی، دینامیکی، ضربه و تصادف به کارگیری یک مدل آسیب متناسب با وضعیت بارگذاری، رفتار ماده و شرایط دمایی کاملاً ضروری می‌باشد. هدف از این تحقیق بررسی استحکام قطعات مختلف بدنه خودرو برآید تولیدی شرکت سایپا ایران در هنگام ضربه و تصادف است. برای بررسی استحکام و ایمنی قطعات از معیار آسیب جانسون-کوک استفاده می‌شود. در نتیجه نواحی از قطعات که هنگام برخورد با مانع دچار آسیب بیشتری می‌شوند به عنوان نواحی بحرانی شناخته شده و به عنوان ناحیه‌ای که احتیاج به تقویت بیشتری دارند، معرفی می‌گردند.

۲- معیار آسیب جانسون-کوک

معادله پلاستیک جانسون-کوک، میزان تنش جاری در ماده را به صورت زیر بیان می‌کند [۱۵]:

$$\sigma_f = [A + B(\epsilon_p)^n][1 + C \ln(\dot{\epsilon}_p^*)][1 - (T^*)^m] \quad (1)$$

$$\dot{\epsilon}_p^* = \frac{\dot{\epsilon}_p}{\dot{\epsilon}_{p0}} \quad (2)$$

$$T^* = \frac{(T - T_r)}{(T_m - T_r)} \quad (3)$$

σ_f تنش جریان، ϵ_p کرنش پلاستیک، $\dot{\epsilon}_p$ نرخ کرنش، $\dot{\epsilon}_{p0}$ نرخ کرنش مبنا، $\dot{\epsilon}_p^*$ نسبت نرخ کرنش به نرخ کرنش مبنا، T دمای ماده، T_r دمای اتاق، T_m دمای ذوب ماده و T^* نسبت دما می‌باشند. A ، B ، C ، m و n نیز ثابت‌های ماده هستند.

اولین بار در سال ۱۹۳۷ شرکت آلمانی شمنیتز^۱ آزمایش عملی برخورد خودرو از جلو، پهلو و هم‌چنین آزمایش غلتاندن آن را انجام داد. هدف از انجام این آزمایش‌ها بررسی استحکام قطعات و جایگزینی آن‌ها با چوب یا پلاستیک بود.

اولین شبیه‌سازی برخورد کامل خودرو به یک تیر صلب در سال ۱۹۸۶ و بر روی خودروی فولکس واگن پولو^۲ انجام شد. در این تحقیق، هاگ^۳ و همکاران برخورد تک‌تک اجزای بدنه و هم‌چنین یک چهارم مدل کامل را شبیه‌سازی کردند [۱].

کرک پاتریک در سال ۲۰۰۰ ابتدا یک آزمایش برخورد بر روی خودرو فورد کرون^۴ انجام داد. سپس با روش مجزاسازی مدل اجزاء محدود این خودرو را تهیه کرده، شبیه‌سازی برخورد را نیز مطالعه نموده و نتایج اجزاء محدود را با نتایج واقعی مقایسه کرد [۲].

در سال ۲۰۰۱ آنتونی، توسط نرم‌افزارهای CATIA و LSDYNA خودرو پاترول G60 مدل ۱۹۶۵ شرکت نیستان را مدل‌سازی کرده، در نرم‌افزار HYPERMESH آلمان بندی نموده و در نهایت به وسیله نرم‌افزار ADAMS مدل اجزاء محدود مربوطه را تحلیل نمود. نتایج این تحقیق استخراج نمودارهای شتاب-زمان در خلال برخورد برای اجزایی مانند صندلی‌های جلو، قسمت بالا و پایین موتور بود [۳].

تیسو و همکاران در سال ۲۰۰۲ با مدل کردن جزییاتی مانند سیستم تعلیق و سیستم فرمان، یک مدل کامل کامیون را تحت برخورد قرار دادند [۴]. در سال ۲۰۰۳ غلامی و همکاران نیز در کارخانه BMW با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS مطالعه کاملی بر روی یک مدل کامل خودرو تولیدی این شرکت و هم‌چنین قطعاتی مجزا مثل درب، سپر، گلگیر تحت برخورد با مانع صلب انجام دادند [۵].

چه^۵ و همکاران در سال ۲۰۰۷ یک جعبه آلومینیومی جاذب انرژی خودرو تحت بار برخورد را با استفاده از مدل آسیب گرسون^۶ و جانسون-کوک^۷ با دقت مناسب شبیه‌سازی نمودند [۶].

در سال ۲۰۰۸ ژنگ و همکاران توسط نرم‌افزار LSDYNA اثر سرعت و زاویه خودرو هنگام برخورد با مانع و تغییرشکل الاستوپلاستیک آن را مطالعه کرده و با استفاده از شبکه‌های عصبی ارتباط بین پارامترهای برخورد و تغییرشکل را مشخص نمودند [۷]. هم‌چنین در همین سال، لادمو و همکاران با پیاده‌سازی یک مدل ساختاری الاستوپلاستیک شامل معیارهای تسلیم، قانون جریان مرتبط و قانون کارسختی همسانگرد غیرخطی در نرم‌افزار LSDYNA توانستند یک سپر آلومینیومی تحت برخورد را به خوبی با معیارهای شکست مواد نرم شبیه‌سازی نمایند [۸].

ژائو و همکاران در سال ۲۰۱۰ با شبیه‌سازی اجزاء محدود سیستم تعلیق یک خودرو، عوامل موثر را بررسی کردند [۹]. ایشان هم‌چنین

¹Chemnitz

²Volkswagen Polo

³Haug

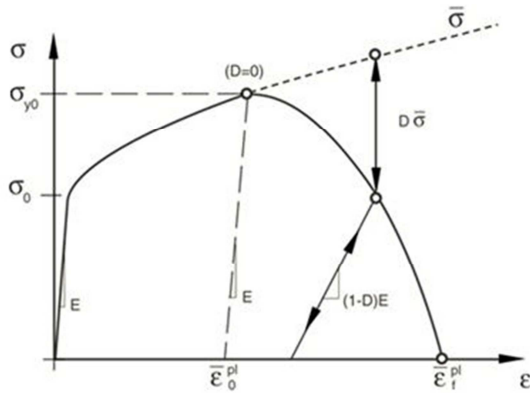
⁴Ford Crown

⁵Che

⁶Gurson

⁷Johnson- Cook

⁸Horr



شکل ۱- نمودار تنش- کرنش یک ماده نرم از زمان شروع بارگذاری تا وقوع شکست کامل [۱۶]

جدول ۱- خواص مکانیکی فولاد ۴۳۴۰ [۱۵]

$\rho(kg/m^3)$	7830
$E(GPa)$	200
ν	0.29

جدول ۲- ضرایب معادله پلاستیک جانسون- کوک برای فولاد ۴۳۴۰ [۱۵]

$A(MPa)$	792
$B(MPa)$	510
C	0.014
m	1.03
n	0.26

جدول ۳- ضرایب معادله آسیب جانسون- کوک برای فولاد ۴۳۴۰ [۱۵]

d_1	0.05
d_2	3.44
d_3	-2.12
d_4	0.002
d_5	0.61
$\theta_{melt}(C)$	1520
$\theta_{trans}(C)$	27
$\dot{\epsilon}_{p0}$	1

معیار آسیب جانسون- کوک نیز برای پیش بینی شروع آسیب مربوط به حفره ها، رشد و جوانه زنی آنها در فلزات نرم مورد استفاده قرار می گیرد. این مدل کرنش پلاستیک معادل در شروع آسیب را به صورت تابعی از نسبت تنش سه محوره و نرخ کرنش در نظر می گیرد:

$$\bar{\epsilon}_D^{pl} = [d_1 + d_2 \exp(d_3 \eta)] [1 + d_4 \ln(\dot{\epsilon}_p^*)] (1 + d_5 \hat{\theta}) \quad (4)$$

$d_5 - d_1$ پارامترهای شکست ماده، η نسبت تنش سه محوره (نسبت تنش هیدرواستاتیک به تنش فون میز) و $\hat{\theta}$ ، دمای بی بعد است که به صورت زیر تعریف می شود:

$$\hat{\theta} = \begin{cases} 0 & \theta < \theta_{trans} \\ \frac{(\theta - \theta_{trans})}{(\theta_{melt} - \theta_{trans})} & \theta_{trans} \leq \theta \leq \theta_{melt} \\ 1 & \theta > \theta_{melt} \end{cases} \quad (5)$$

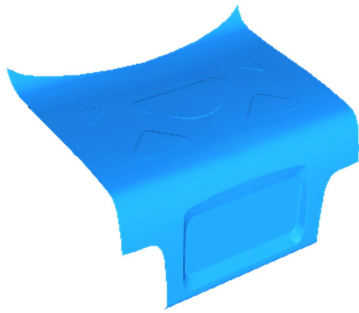
θ ، دمای کاری، θ_{melt} ، دمای ذوب و θ_{trans} ، دمای گذار ماده است. این معیار برای بارگذاری های دینامیکی مناسب بوده و برای حالات شبه استاتیکی توصیه نمی گردد [۱۶]. شکل ۱ نمودار تنش-کرنش یک ماده نرم از زمان شروع بارگذاری تا وقوع شکست کامل را نشان می دهد [۱۶]. مطابق شکل، ماده دارای سه فاز الاستیک خطی، کارسختی و کاهش خواص یا همان آسیب می باشد. از نقطه شروع ناپایداری (گلوبی)، آسیب شروع شده و با افزایش بارگذاری رشد می کند. در این هنگام اگر باربرداری صورت بگیرد به علت افت خواص مکانیکی ماده، شیب باربرداری با حالت بارگذاری یکسان نخواهد بود. بنابراین، متغیر آسیب D از صفر (ماده بدون آسیب) تا یک (گسیختگی کامل) تغییر نموده و در هر قدم حل، نمو مثبت آن توسط نرم افزار محاسبه می گردد:

$$\Delta D = \frac{\Delta \epsilon_{eq}}{\bar{\epsilon}_D^{pl}} \geq 0 \quad (6)$$

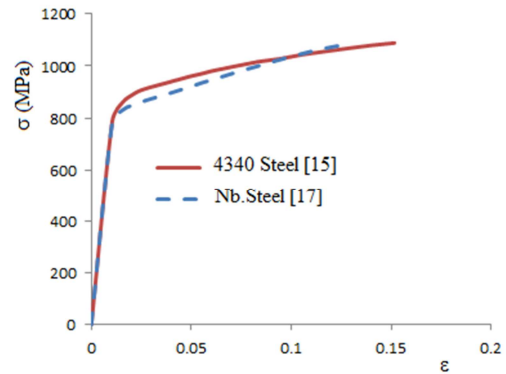
$\Delta \epsilon_{eq}$ و $\bar{\epsilon}_D^{pl}$ به ترتیب نموهای کرنش معادل و کرنش پلاستیک معادل هستند.

جانسون و کوک با انجام آزمایش های پیچش در نرخ های کرنش مختلف، آزمایش هپکینسون^۱ و آزمایش کشش ضرایب معادله پلاستیک و آسیب را برای فولاد ۴۳۴۰ تعیین نمودند [۱۵]. جدول ۱، خواص مکانیکی و جداول ۲ و ۳ پارامترهای پلاستیک و آسیب فولاد فوق را بیان می نماید. جنس ورق استفاده شده در بدنه خودرو پراید نوعی فولاد موسوم به Nb.Steel به ضخامت ۰/۵ میلیمتر است که از لحاظ رفتار بسیار نزدیک به فولاد مذکور می باشد. شکل ۲ مقایسه نمودار تنش- کرنش مهندسی فولادهای فوق را نشان می دهد. در این تحقیق، با توجه به نزدیکی رفتار فولادها و موجود نبودن ضرایب پلاستیک و آسیب جانسون- کوک برای فولاد Nb.Steel از خواص فولاد ۴۳۴۰ استفاده می گردد.

¹Hopkinson



شکل ۶- مدل صندوق عقب



شکل ۲- مقایسه نمودار تنش- کرنش مهندسی فولادهای ۴۳۴۰ و Nb

برای هر یک از قطعات مذکور، ضخامت، جنس، شرایط تماس و اصطکاک تعریف شد. هم چنین موانع صلب مطابق شواهد واقعی ترسیم گردیده و نسبت به قطعات در موقعیت صحیح مونتاژ شدند. تحلیل ها از نوع Dynamic/Explicit انتخاب گردیده و تماس بین قطعه و مانع از نوع اصطکاکی با ضریب ۰/۳ تعریف شد. برای المان بندی کلیه قطعات از المان چهارگوش پوسته ای تغییر شکل پذیر S4R و برای موانع صلب از المان چهارگوش پوسته ای صلب R3D4 استفاده گردید. مطابق با نحوه قرارگیری و مونتاژ قطعات در خودرو، شرایط مرزی شامل درجات آزادی قطعات، نقاط لولا و هم چنین اتصال به قطعات مجاور در نرم افزار اعمال گردیده، برخورد قطعات فوق به مانع شبیه سازی شده و نتایج تغییر شکل قطعات حاصل گردید.

۳- شبیه سازی های عددی

برای این منظور ابتدا، قطعات مهمی از بدنه خودرو پراید مانند گلگیر جلو، کاپوت، درب جلو و صندوق عقب که بیشتر در معرض برخورد و تصادف قرار دارند در سه نما عکس برداری گردید و سپس با استفاده از انتقال تصاویر، مقیاس گذاری و سطح سازی، مدل هر یک از قطعات فوق در نرم افزار CATIA ساخته شد. هر یک از مدل ها با فرمت igS ذخیره گردیده و وارد نرم افزار ABAQUS شد. شکل های ۶-۳ به ترتیب مدل قطعات مذکور را نشان می دهد.

۴- نتایج عددی

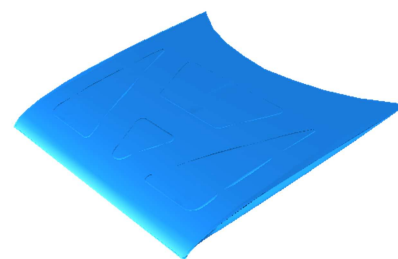
به منظور تعیین اندازه المان مناسب و کالیبراسیون مدل، ابتدا یک مدل برخورد گلگیر به مانع صلب با اندازه های مختلف المان برای گلگیر شبیه سازی شده و نتایج حاصل گردید. جدول ۴ نتایج همگرایی تنش فون میز، آسیب جانسون-کوک و کرنش پلاستیک معادل در گلگیر را نشان می دهد. تحلیل ها با اندازه المان ۲۱ میلیمتر شروع گردیده و تا ۳/۵ میلیمتر ادامه داده شد. مطابق جدول مذکور هر سه پارامتر فوق در اندازه المان ۱۰ میلیمتر به همگرایی بسیار خوبی رسیده، در نتیجه می توان از نتایج حاصل از تحلیل با اندازه المان ۱۰ میلیمتر به عنوان نتایج نهایی استفاده نموده و برای دیگر قطعات نیز از همین اندازه المان بهره برد.



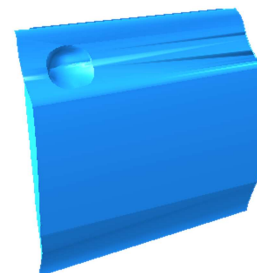
شکل ۳- مدل گلگیر جلو

جدول ۴- نتایج همگرایی تنش فون میز، آسیب جانسون-کوک و کرنش

پلاستیک معادل				
اندازه المان (mm)	تعداد المان	تنش فون میز (MPa)	آسیب جانسون-کوک	کرنش پلاستیک معادل
21	1200	1171	0.27	0.69
14.5	2440	1168	0.17	0.33
10	4880	1167	0.18	0.36
7	9850	1178	0.19	0.43
5	19200	1157	0.21	0.75
3.5	39000	1172	0.49	0.89



شکل ۴- مدل کاپوت



شکل ۵- مدل درب جلو

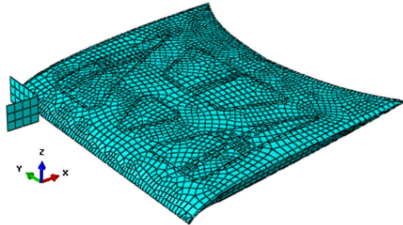
۴-۱- برخورد گلگیر جلو به مانع

با توجه به شواهد واقعی و اطلاعات ثبت شده توسط اداره راهنمایی و رانندگی در یک نمونه از تصادف و برخورد واقعی گلگیر جلو خودرو

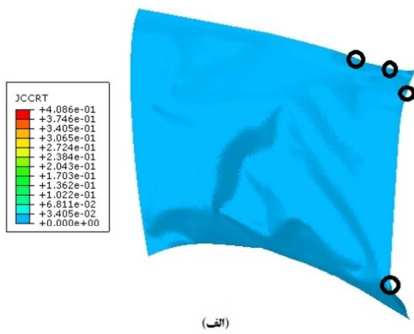
کاپوت ایجاد می شود. مانع کاملا مقید گردیده و مطابق شواهد موجود، کاپوت با سرعت تخمینی (۱۰ m/s) به صورت مورب به آن برخورد داده می شود:

$$\{V_1, V_2, V_3\} = \{-9, -4.36, 0\} [m/s] \quad (۸)$$

پس از انجام شبیه سازی ها، نتایج برخورد حاصل می گردد. شکل ۱۰ کانتور متغیر آسیب جانسون-کوک و نقاط دارای بیشترین مقدار آسیب در کاپوت را نشان می دهد.



شکل ۹- مدل اجزاء محدود کاپوت و مانع



(الف)



(ب)

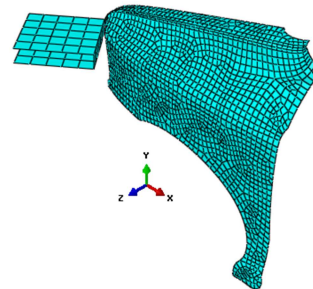
شکل ۱۰- الف) کانتور آسیب جانسون-کوک و نقاط بحرانی روی کاپوت و ب) نمونه واقعی برخورد کاپوت به مانع

مطابق شکل در این نقاط، مانع در قطعه بیشتر نفوذ کرده و احتمال ایجاد گسیختگی در این نواحی نسبت به نقاط دیگر بیشتر می باشد. بنابراین نقاط فوق، نواحی بحرانی محسوب شده و به تقویت بیشتری نیاز دارند. به علاوه شکل فوق، نتایج شبیه سازی برخورد کاپوت به مانع را با حالت واقعی مقایسه می نماید. مقایسه نشان می دهد که با وجود تخمینی بودن زاویه و سرعت تصادف، تغییر شکل های ایجاد شده در کاپوت، نواحی بحرانی و آسیب دیده با دقت کافی به نتایج واقعی نزدیک بوده و مدل آسیب جانسون-کوک قادر است مساله برخورد را با دقت مناسب پیش بینی نماید.

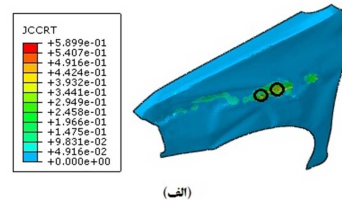
پراپد به مانع مورب نوک تیز به ارتفاع ۴۰ میلیمتر، مانع صلبی مطابق شکل ۷ در قسمت جلوی گلگیر ایجاد می گردد. مطابق اطلاعات ثبت شده، مانع ثابت گردیده و گلگیر با سرعت تخمینی ۲ m/s در جهت خلاف محور X به آن برخورد داده می شود:

$$\{V_1, V_2, V_3\} = \{-2, 0, 0\} [m/s] \quad (۷)$$

مطابق نتایج جدول ۴، برای تحلیل مدل گلگیر و دیگر مدل ها از اندازه المان ۱۰ میلیمتر استفاده می شود. شبیه سازی ها انجام گرفته و نتایج برخورد حاصل می گردد. شکل ۸، کانتور متغیر آسیب جانسون-کوک و نواحی دارای بیشترین مقدار آسیب در گلگیر را نشان می دهد. همان طور که در شکل نیز مشخص است در این نقاط، عمق نفوذ مانع در قطعه و احتمال وقوع گسیختگی نسبت به نقاط دیگر بیشتر می باشد. بنابراین نقاط فوق، نواحی بحرانی بوده و نیاز به تقویت بیشتری دارند. هم چنین شکل مذکور، مقایسه نتایج شبیه سازی برخورد گلگیر به مانع با حالت واقعی را نشان می دهد. مقایسه آشکار می کند که علی رغم در دسترس نبودن اطلاعات دقیق برخورد (شامل زاویه و سرعت دقیق تصادف) و تخمینی بودن داده ها، تغییر شکل های ایجاد شده در گلگیر، نواحی بحرانی و آسیب دیده با دقت مناسبی به نتایج واقعی نزدیک بوده و مدل آسیب جانسون-کوک توانسته است مساله برخورد را به خوبی شبیه سازی نماید.



شکل ۷- مدل اجزاء محدود گلگیر جلو و مانع



(الف)



(ب)

شکل ۸- الف) کانتور آسیب جانسون-کوک و نواحی بحرانی روی گلگیر جلو و ب) نمونه واقعی برخورد گلگیر جلو به مانع

۲-۴- برخورد کاپوت به مانع

مطابق شواهد واقعی در یک نمونه برخورد کاپوت خودرو پراپد به مانع L شکل، مانع صلبی مطابق شکل ۹ در قسمت گوشه سمت راست

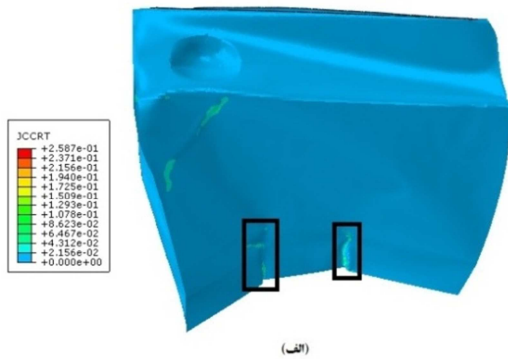
۳-۴- برخورد درب جلو به مانع

با توجه شواهد واقعی در یک نمونه برخورد درب جلو خودرو پرآید به مانع مکعبی شکل، مانع صلبی مطابق شکل ۱۱ در قسمت مرکزی پایین درب ایجاد می شود. مانع ثابت گردیده و مطابق شواهد موجود، درب با سرعت تخمینی (۱۵m/s) و با مولفه های زیر به مانع برخورد داده می شود:

$$\{V_1, V_2, V_3\} = \{0, -14, 5.39\} [m/s] \quad (9)$$

شبیه سازی ها انجام گرفته و نتایج برخورد حاصل می گردد. شکل ۱۲ کانتور متغیر آسیب جانسون-کوک و نقاط دارای بیشترین مقدار آسیب در درب جلو را نشان می دهد. همان طور که در شکل آشکار شده است بیشترین مقدار آسیب در محل اعمال ضربه بوده و احتمال وقوع گسیختگی این نقاط نسبت به نقاط دیگر بیشتر می باشد. لذا نقاط فوق، نواحی بحرانی بوده و نیاز به تقویت بیشتری دارند. در مدل واقعی نیز نواحی مزبور دارای بیشترین آسیب دیدگی می باشند. هم چنین شکل مذکور، مقایسه نتایج شبیه سازی برخورد درب جلو به مانع با حالت واقعی را نشان می دهد. مقایسه آشکار می کند که علی رغم در دسترس نبودن اطلاعات دقیق برخورد (شامل زاویه و سرعت دقیق تصادف) و تخمینی بودن داده ها، تغییرشکل های ایجاد شده در درب جلو، نواحی بحرانی و آسیب دیده با دقت مناسبی به نتایج واقعی نزدیک بوده و مدل آسیب جانسون-کوک توانسته است مساله برخورد درب جلو به مانع را به خوبی شبیه سازی نماید.

دارای بیشترین آسیب می باشند. به علاوه شکل فوق، نتایج شبیه سازی برخورد صندوق عقب به مانع را با حالت واقعی مقایسه می نماید. مقایسه نشان می دهد که با وجود تخمینی بودن زاویه و سرعت تصادف، تغییرشکل های ایجاد شده در صندوق عقب، نواحی بحرانی و آسیب دیده با دقت کافی به نتایج واقعی نزدیک بوده و مدل آسیب جانسون-کوک قادر است مساله برخورد را با دقت مناسب شبیه سازی نماید.

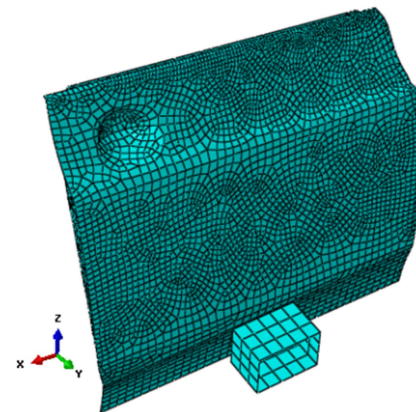


(الف)

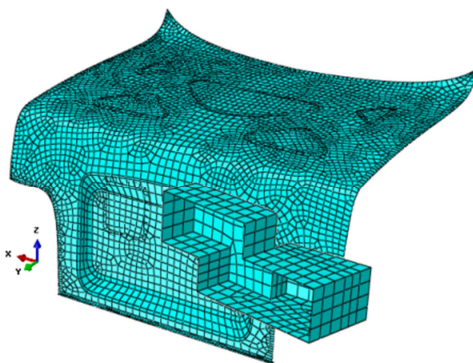


(ب)

شکل ۱۲- الف) کانتور آسیب جانسون-کوک و نقاط بحرانی روی درب جلو و ب) نمونه واقعی برخورد درب جلو به مانع



شکل ۱۱- مدل اجزاء محدود درب جلو و مانع



شکل ۱۳- مدل اجزاء محدود صندوق عقب و مانع

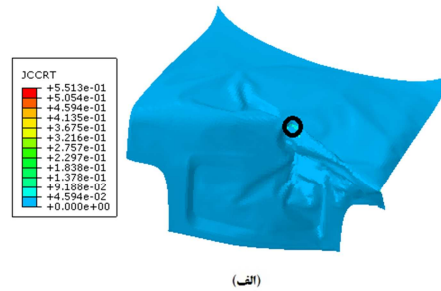
۴-۴- برخورد صندوق عقب به مانع

مطابق شواهد واقعی در یک نمونه برخورد صندوق عقب پرآید به مانع مکعبی شکل، مانع صلبی مطابق شکل ۱۳ در قسمت سمت راست صندوق عقب ایجاد می شود. مانع کاملاً مقید گردیده و مطابق شواهد موجود، صندوق عقب با سرعت تخمینی (۱۴/۵ m/s) و با مولفه های زیر به مانع برخورد داده می شود:

$$\{V_1, V_2, V_3\} = \{4, 13.94, 0\} [m/s] \quad (10)$$

پس از انجام شبیه سازی ها نتایج برخورد حاصل می گردد. شکل ۱۴ کانتور متغیر آسیب جانسون-کوک و نواحی دارای بیشترین مقدار آسیب در صندوق عقب را نشان می دهد. مطابق شکل، بیشترین مقدار آسیب در محل اعمال ضربه بوده و احتمال وقوع گسیختگی این نقاط نسبت به نقاط دیگر بیشتر می باشد. در مدل واقعی نیز نواحی فوق

- [5] Gholami T., Lescheticky B., Paßmann R., Crashworthiness Simulation of Automobiles with ABAQUS/Explicit, ABAQUS User's Conference, Munich, 2003.
- [6] Che H.Y., Zhu L., Sun D.Z., Chen J.H., Zhu H., Characterization and Modeling of Aluminum Extrusion Damage under Crash Loading, *Thin-Walled Structures* 45, pp.383-392, 2007.
- [7] Zhang X.Y., Jin X.L., Qi W.G., Guo, Y.Z., Vehicle Crash Accident Reconstruction Based on the Analysis 3D Deformation of the Auto-Body, *Advances in Engineering Software* 39, pp.459-465, 2008.
- [8] Lademo O.G., Berstad T., Eriksson M., Tryland T., Furu T., Hopperstad O.S., Langseth M., A Model for Process-Based Crash Simulation, *International Journal of Impact Engineering* 35, pp. 376-388, 2008
- [9] Zhao Z., Jin X., Cao Y., Wang J., Data Mining Application on Crash Simulation Data of Occupant Restraint System, *Expert Systems with Applications* 37, pp.5788-5794, 2010.
- [10] Marzbanrad J., Ebrahimi M.R., Multi-Objective Optimization of Aluminum Hollow Tubes for Vehicle Crah Energy Absorption using a Genetic Algorithm and neural Networks, *Thin-Walled Structures* 49, pp.1605-1615, 2011.
- [11] Yang X., Xia Y., Zhou Q., Wang P.C., Wang K., Modeling of High Strength Steel Joints Bonded with Toughened Adhesive for Vehicle Crash Simulations, *International Journal of Adhesion & Adhesives* 39, pp. 21-32, 2012.
- [12] Yadav S., Pradhan S.K., Investigations into Dynamic Response of Automobile Components during Crash Simulations, *Procedia Engineering* 97, pp.1254-1264, 2014.
- [13] Li N., Fang H., Zhang C., Gutowski M. Palta E., Wang Q., A Numerical Study of Occupant Responses and Injuries in Vehicular Crashes into Roadside Barriers Based on Finite Element Simulations, *Advances in Engineering Software* 90, pp. 22-40, 2015.
- [14] Horr A.M., Hartmann M., Kronsteiner J., Advanced Dynamic and Crash Simulation of Lightweight Profiles for Design of Roadside Infrastructure, *Transportation Research Procedia* 14 pp.4180 - 4189, 2016.
- [15] Johnson G.R., Cook W.H., Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, strain rates, temperatures and pressures, *Engineering Fracture Mechanics*, 21 pp.31-48, 1985.
- [16] ABAQUS 6.14 Help Documentation. ABAQUS Analysis User's Guide Manual. 24.2.2. Damage initiation for ductile metals.
- [17] Hu H., Xu G., Wang L., Xue Z., Zhang Y., Liu G., The Effect of Nb and Mo Addition on Transformation and Properties in Low Carbon Bainitic Steels, *Materials and Design* 84, pp. 95 - 99, 2015.



(الف)



(ب)

شکل ۱۴- الف) کانتور آسیب جانسون-کوک و نقاط بحرانی روی صندوق عقب و ب) نمونه واقعی برخورد صندوق عقب به مانع

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق ابتدا، با استفاده از معیار آسیب جانسون-کوک در کد آباکوس صریح، برخورد تعدادی از قطعات مهم بدنه خودرو پراید که بیشتر در معرض تصادف قرار دارند مانند گلگیر جلو، کاپوت، درب جلو و صندوق عقب به مانع شبیه سازی شد. شرایط مرزی سرعت، شکل مانع و زاویه برخورد از نمونه های واقعی تصادف، اقتباس شده و در نرم افزار اعمال گردید. با انجام شبیه سازی ها، نتایج تغییرشکل و آسیب در هر یک از قطعات فوق پیش بینی شده، نواحی متحمل آسیب بیشینه و در معرض شکست مشخص گردیدند. سپس، به منظور ارزیابی معیار آسیب جانسون-کوک و خواص ماده، نتایج شبیه سازی ها با نتایج نمونه های واقعی مقایسه شد. مقایسه نتایج عددی و عملی آشکار نمود که علی رغم موجود نبودن اطلاعات دقیق برخورد و تخمینی بودن زاویه و سرعت تصادف، معیار آسیب جانسون-کوک به خوبی می تواند گسیختگی و استحکام قطعات مختلف خودرو را در هنگام برخورد به مانع پیش بینی نماید. بنابراین نتیجه گرفته می شود که معیار آسیب جانسون-کوک، معیار مناسبی برای پیش بینی گسیختگی در مسایل برخورد بوده و با در اختیار داشتن شرایط دقیق برخورد، می توان نتایج تغییرشکل ها و هم چنین ایمنی سرنشینان خودرو در برابر ضربه را با دقت بسیار مناسبی بررسی نمود.

۶- مراجع

- [1] Haug E.T., Scharnhorst P., Bois D., FEM- Crash/ Berechnung Eines Fahrzeug Fontalaufpralls, VDI Berichte, 613, pp.479-505,1986.
- [2] Kirkpatrick S.W., Development and Validation of High Fidelity Vehicle Crash Simulation Model, SAE publication, International Congress and Exposition, Detroit, 2000.
- [3] Antony M., Crashworthiness of Pre NCAP Safety Standard Light Truck and Corresponding Suspension Analysis, Wichita state university, 2001.
- [4] Tiso P., Plaxico C., Ray M., Marzougui D., An Improved Truck Model For Road Side Safety Simulation, Part2 - Suspension Modeling, Transportation, Research Records 1797, TRB, National Research Council, Washington D.C, 2002.