کیسه‌های نجات‌بخش

علی هدایتی، کارشناس ارشد فیزیک
دبیر فیزیک دبیرستان پسرانه فرهنگ میانه

چکیده

کیسه هوا، یک وسیله ایمنی تکمیلی در خودروهای امروزی است و از سه بخش کیسه، حسگر[1] و دستگاه بادکننده[2] تشکیل شده است. در زمان برخورد شدید خودرو، شتاب‌سنج با ارسال پیام الکتریکی به دستگاه بادکننده آن را از وقوع تصادف آگاه می‌سازد. دستگاه بادکننده در زمان کمتر از ۴۰ میلی ثانیه کیسه را از گاز پر می‌کند و بلافاصله پس از آن گازهای داغ از طریق سوراخ‌های موجود در کیسه خارج می‌شوند.

طراحان کیسه هوا برای محاسبهٔ مقدار گاز مورد نیاز برای پرکردن کیسه هوا با حجم مشخص از قانون‌های نیوتون و گازهای کامل بهره می‌گیرند، این طراحان پس از این‌که فشار گاز درون کیسه هوا را برآورد کردند وزن پیشران مولد گاز (سدیم و نیترید و...) را انتخاب می‌کنند.

کیسه هوا به دلیل این‌که نیروهای وارد شده را در سطح وسیع پخش کرده و میزان کاهش شتاب حرکت افراد داخل خودرو را در موقع تصادف تقلیل می‌دهد، مانع آسیب و صدمات زیاد به سرنشینان و راننده خودروها می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: کیسهٔ هوا، کمربند ایمنی، حسگر، دستگاه بادکننده، شتاب‌سنج

مقدمه

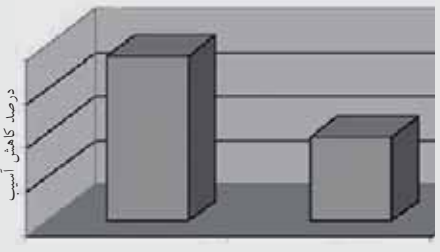
این مقاله می‌کوشد به پرسش‌هایی نظیر؛ ساختار کیسه هوا، کاربرد قانون نیوتون، کاربرد قانون گازهای کامل و... که برای بسیاری از دانش‌آموزان عزیز پیش می‌آید تا حد امکان پاسخ دهد.

هدف از طراحی کیسه هوا ضریب ایمنی سرنشینان و راننده خودرو در هنگام تصادف است، این وسیله در لحظهٔ تصادف به شکل بالش باد شده بین افراد داخل خودرو و اشیأ مقابل آن‌ها قرار می‌گیرد تا باعث کاهش آسیب به افراد داخل خودرو شود.

این وسیله را هتریک[3] در سال ۱۹۵۰ اختراع کرد و از اواخر این سال، صنایع اتومبیل‌سازی پژوهش‌های اولیه جهت ساخت چنین وسیله‌ای را آغاز کردند، آزمایش‌های اولیه نشان داد که کیسه هوا هنگام تصادف شدید باید در مدت کمتر از ۴۰ میلی‌ثانیه باد و از گاز پر شود. صنایع خودروسازی به‌کارگیری چنین وسیله‌ای را در خودروها از اوایل ۱۹۸۰ آغاز کردند، اگرچه فناوری مربوط به آن در ابتدا با مشکلاتی همراه بود، اما امروزه به سرعت در حال پیشرفت است.

برخی گزارش‌ها نشان می‌دهند که استفاده از کیسه هوا در اتومبیل‌ها باعث کاهش چند درصدی خطر مرگ در تصادف‌های رو در رو می‌شود و با توجه به پیشرفت فناوری مربوط به کیسه‌های هوا در سال‌های اخیر، درصد مذکور در حال افزایش است، به همین دلایل نصب کیسه

هوا در خودروها از سال ۱۹۹۸ اجباری شده است. کیسه هـوا به‌عنوان یک وسـیله ایمنی تکمیلی، بایـد همراه با کمربند ایمنی استفاده شود (جدول ۱)



جدول(۱): مقایسه، درصد آسیب وارد به‌سر
آ) رانندگانی که فقط از کمربند استفاده می‌کنند.
ب) رانندگانی که علاوه بر کمربند ایمنی از کیسه هوا نیز استفاده می‌کنند.

* اجزای تشکیل‌دهنده کیسه هوا عبارتند از: با توجه به شـکل(۱) هر کیسه هوا از سـه بخش کیسه، حسگر و دستگاه بادکننده به شرح زیر تشکیل شده است.

شکل(۱): اجزای تشکیل‌دهندهٔ کیسه هوا

۱) کیسـه: پارچه نایلونی سـبکی است که در داخل فرمان اتومبیل، داشـبورد، روی درهـا و صندلی اتومبیل جاسازی شده است. پارچه آن دارای ویژه‌گی‌هایی مانند: اسـتحکام بالا، پایداری در برابـر گرما، دوام خوب، مقاومت در برابر تغییر شکل شدید بدون پارگی، خواص چسـبندگی و پوشش‌دهی مناسـب، عملکرد مطلوب در شـرایط بسیار گرم و سرد (۱۰- تا ۱۲۰ درجه سلسیوس) و نیز قابلیت فشـرده شدن اسـت. امروزه برای حفاظت گرمایی سرنشـیان و راننده در برابـر گازهای داغ، پارچه با نئوپرن با سـیلیکون پوشش داده شده می‌شود. درزهای پارچه طوری اسـت که نفوذ مولکول‌هـای هوا به داخل آن بسـیار ناچیز ولی گازهای داغ پس از باد شـدن کیسه می‌توانند به‌راحتی از درزهای آن خارج گردند. (شکل۲)

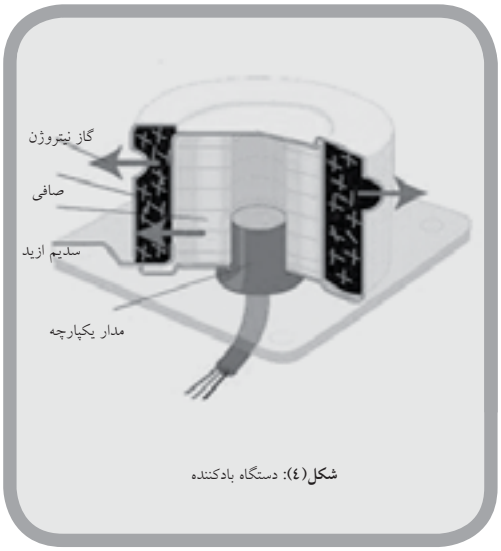
۲) حسـگر: تراشه الکترونیکی از نوع IC [۴] است که با اسـتفاده از چند شتاب‌سنج[۵]، وقوع تصادف را با ارسال پیام الکتریکی به دستگاه بادکننده خبر می‌دهد. (شکل۳)

شکل(۲): کیسه داخل فرمان

شکل(۳): شتاب‌سنج کیسه هوا

۳) دستگاه بادکننده: این بخش شامل مدار یکپارچه[۶]

و پیشـران مولد گاز اسـت، مدار یکپارچـه پس از فعال شدن، گرمای لازم برای انفجار ماده پیشران (سدیم آزید) را فراهم می‌کند. شکل(۴)



شکل(٤): دستگاه بادکننده

طرز کار کیسه هوا

در هنگام برخورد شدید خودرو با یک مانع، سرعت خـودرو ناگهان کاهش می‌یابـد و نیروی معادل با نیروی برخورد با سـرعت ۱۳-۲۳ کیلومتر بر سـاعت در جهت مقابل برخودرو وارد می‌شود (۱) تغییر سرعت خودرو و شتاب حاصل توسط حسگر با شتاب‌سنج(۲) اندازه‌گیری می‌شـود، در صورتـی که شـتاب خودرو بیـش از حد مجاز باشـد در این صورت شتاب‌سـنج با ارسال سیگنال الکتریکی، مدار الکتریکی کیسـه هوا را فعال می‌کند(۳)، ایـن مدار جریان الکتریکـی را از یک جزء گرمایی عبور می‌دهد(۴)، این جزء گرمایی، مشتعل شده و باعث انفجار شیمیایی ماده پیشران می‌شـود(۵) در نتیجه سدیم نیترید به سـرعت تجزیه و گاز نیتروژن تولیـد می‌کند(۶)، این گاز کیسـه را با سـرعت حدود ۲۴۰ الی ۴۰۰ کیلومتر بر ساعت در زمان کمتر از ۴۰ میلی ثانیه از محل اصلی خود (داخل فرمان) خارج کرده و کیسه را منبسط می‌کند (۷)، برای راحت‌تر باز شدن کیسه آن را به پودر تالک (منیزیم سیلیکات هیدرانه) آغشته می‌کنند.

بر اثرتماس راننده و سرنشیان با کیسه باد شده، گازها به سرعت از طریق سوراخ‌های موجود در سطح آن خارج می‌شوند(۸)، به‌طوری که تا لحظه توقف خودرو در زمان کمتر از دو ثانیه کیسه از گاز تخلیه می‌شود. (شکل۵)

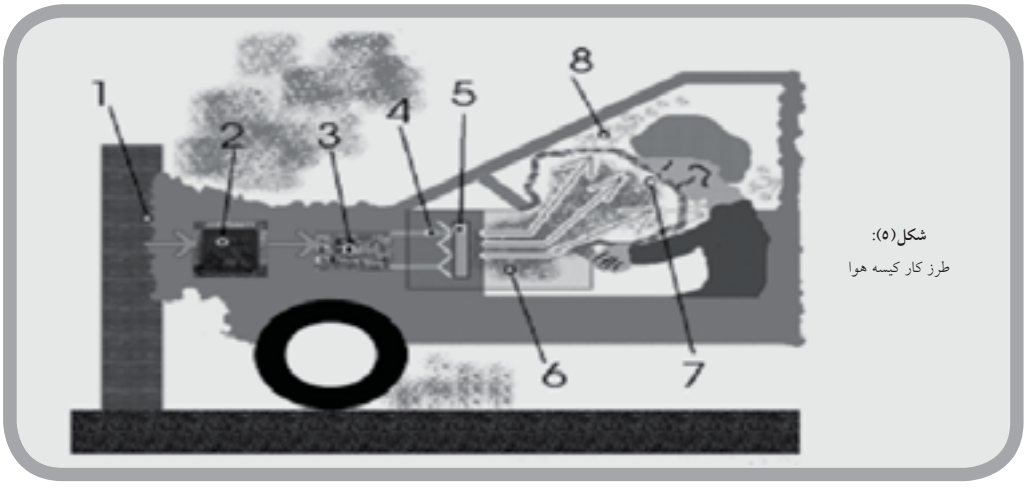
واکنش‌های شیمیایی در داخل کیسه هوا

کارآیی کیسـهٔ هوا به تولید گاز کافی در زمان بسـیار کوتاه بسـتگی دارد، بنابراین واکنش‌های شیمیایی بایستی خیلی سـریع و کنترل شده انجام گیرند. واکنش شیمیایی در داخل کیسهٔ باید دارای ویژگی‌های زیر باشند

۱. سـرعت واکنش آن‌ها بسـیار بالا باشد تا در مدت کمتر از ۰/۰۴ ثانیه (کمتر از چشم به‌هم زدن) گاز لازم برای پر شـدن کیسـه را تولید کنند ۲. پایدار بوده و حساسیت آن‌ها به ضربه کم باشد ۳. گازهای حاصل از واکنش آن‌ها مثل نیتروژن و آرگون بی‌اثر باشـند ۴. فراورده مضر تولید نکنند ۵. اندازه و شـکل ذرات مولد گاز مناسـب بوده و نگهداری صحیح این ذرات نیز امکان‌پذیر باشد.

سـدیم نیترید (NaN_3) در ترکیب شـیمیایی کیسـه هـوای، خودروهای قدیمـی کاربرد وسـیع‌تری دارد اما چون پـس از واکنش فراورده مضر تولیـد می‌کند، برای خنثـی کـردن آثـار نامطلوب آن بـه پیشـران مولد گاز، ترکیبات دیگری مانند پتاسـیم نیترات و سیلیسـیم اکسید نیز می‌افزایند.

سـدیم نیترید جامد در واکنش زیر به‌عنوان پیشـران



شکل(۵):
طرز کار کیسه هوا

مولد گاز نیتروژن عمل می‌کند

$$2NaN_{3(s)} \xrightarrow{300^\circ} 2Na_{(s)} + 3N_{2(g)}$$

در فرمول ترکیبی کیسه هوای اکثر خودروهای قدیمی از مخلوط شامل: ($NaN_{3(s)}$، KNO_3، SiO_2) استفاده می‌شود

برآورد فشار درون کیسه

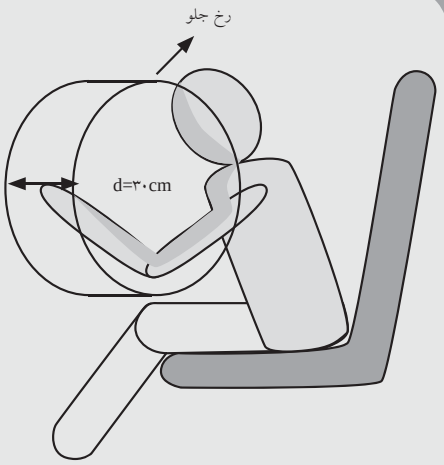
طراحان کیسه هوا برای محاسبه مقدار گاز مورد نیاز برای پر کردن کیسه هوا با حجم مشخص از فیزیک بهره می‌گیرند، آن‌ها به کمک قانون‌های فیزیک، فشار درون کیسه هوا را به هنگام تصادف و باد شدن کیسه؛ برآورد می‌کنند. فشار لازم جهت پر شدن کیسه در مدت زمان میلی ثانیه با یک تحلیل مکانیکی ساده به شرح زیر امکان‌پذیر است. (شکل ۶)

شکل(۶): کیسه استوانه‌ای

قبل از تصادف سرعت اشیأ داخل خودرو نسبت به خود ماشین صفر است اما در لحظهٔ برخورد، سرعت خودرو به صفر کاهش می‌یابد، امّا طبق قوانین حرکت، اشیأ داخل خودرو با سرعت قبلی خودرو به حرکت یکنواخت خود ادامه می‌دهند. اگر سرعت اولیه رخ جلوی کیسه v_i را قبل از برخورد صفر و سرعت نهایی آن v_f را در لحظه برخورد برابر ۸۹/۴ متر بر ثانیه فرض کنید در این صورت می‌توان:

آ) شتاب حرکت (a) رخ جلویی کیسه را از روی تغییر سرعت آن به هنگام برخورد با فرمول ($v_f^2 - v_i^2 = 2ad$) محاسبه کرد.

اگر فاصله رخ جلو و عقب (ضخامت) کیسه استوانه‌ای شکل را در حالت پر ۳۰ سانتی‌متر فرض کنیم؛ در این صورت مسافت (d) طی شده توسط رخ جلویی کیسه به هنگام برخورد برابر این فاصله است، با قرار دادن مقادیر در فرمول بالا شتاب حرکت رخ جلو محاسبه می‌شود. (شکل ۷)



شکل(۷): کیسه باد شده

$$(89/4\,m/s)^2 - (0/00\,m/s)^2 = (2)(a)(0/300\,m)$$
$$a = 1/33\times10^4\,m/s^2$$

ب) اگر فرض شود که وزن کیسه (m) به هنگام باد شدن فقط در رخ جلویی آن متمرکز بوده و مقدار آن ۲۵۰۰ گرم باشد در این صورت نیروی وارد بر رخ جلویی کیسه از قانون دوّم نیوتون با فرمول $F=ma$ قابل محاسبه است، با این روش نیرویی که مولکول‌های گاز بر این رخ اعمال می‌کنند محاسبه می‌شود، با قرار دادن مقادیر بالا در فرمول زیر خواهیم داشت:

$$F = ma \;،\; F = 2/5Kg\times1/33\times10^4\,m/s^2 = 33300N$$

ج) اگر حجم کیسه را ۶۰ لیتر و ضخامت آن ۳۰ سانتی‌متر باشد در این حالت مساحت رخ جلویی کیسه برابر:

$$V = d\times A \;،\; 0/06m^3 = 0/3m\times A \;،\; A = /2m^2$$

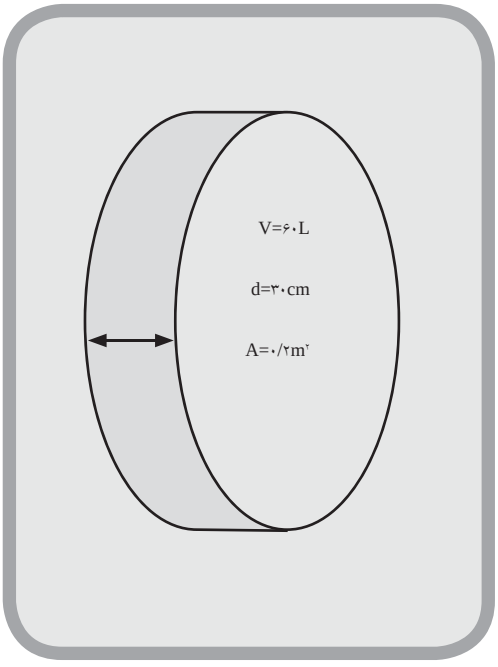
فشار (P) که مولکول‌های گاز بر سطح و رخ جلویی کیسه وارد می‌کنند، از فرمول ($P=F/A$) به شرح زیر برآورد می‌گردد

$$p = 33300\div0/2 \;،\; p = 166500N.m^2 \;،\; p = 1/64\,atm$$

گزارش‌ها نشان می‌دهند که استفاده از کیسهٔ هوا در اتومبیل‌ها باعث کاهش چند درصدی خطر مرگ در تصادف‌های رو در رو می‌شود و با توجه به پیشرفت فناوری مربوط به کیسه‌های هوا در سال‌های اخیر، درصد مذکور افزایش یافته است

فشـارهوا+ فشار برآورد شـده = فشار خالص درون کیسه

فشار خالص =۱/۶۴+۱=۲/۶۴ atm



قانون‌گازهـای کامـل و محاسـبهٔ وزن پیشران

جرم پیشـران مولد گاز (سـدیم نیترید) در دستگاه بادکننده، باید مناسـب انتخاب گردد تا کیسه در لحظه برخورد به اندازه معین منبسـط و شدت ضرباتی که به افراد داخل خودرو وارد شود کم کند، برای این منظور طراحـان خودرو از قانون گازهای کامل بهره می‌گیرند.

ایـن طراحـان بـه کمـک رابطـه گازهـای کامل ($PV=nRT$)، تعـداد مول‌های (n) گاز نیتروژن مورد نیاز برای پر شـدن کیسـه را در دمـای معین (مثلاً ۲۵ درجه سلسـیوس) محاسـبه می‌کنند.

$n=\frac{PV}{RT}=\frac{۲/۶۴\times۱۰^{۵}\times۶۰\times۱۰^{-۳}}{۸/۲\times۲۹۸}$(لیتر)×(کلوین)=

n=۶/۴۸ مـول

سـپس جرم پیشـران ($NaN_۳$) با توجه به معادله واکنـش زیـر از روی روابط اسـتوکیومتری محاسـبه می‌شـود

$$۲NaN_{۳(s)} \rightarrow ۲Na_{(s)} + ۳N_{۲(g)}$$

$$۲NaN_{۳(s)} \rightarrow ۲Na_{(s)} + ۳N_{۲(g)}$$

$$?\,گرم\,(NaN_۳) = ۶/۴۸\,مول\,(N_۲)\times\frac{۲\,مول\,(NaN_۳)}{۳\,مول\,(N_۲)}\times\frac{۶۵\,گرم\,(NaN_۳)}{۱\,مول\,(NaN_۳)} = ۲۸۱\,گرم\,(NaN_۳)$$

قانون‌های نیوتون و نجات زندگـی

قانـون اول نیوتون بیان می‌کند که همهٔ اجسـام در حـال حرکت به شـرط آن‌که نیـروی خارجی دیگری بـر آن‌ها وارد نشـود بـه حرکت یکنواخت (سـرعت ثابـت) خـود ادامـه می‌دهند، طبـق این قانـون وقتی اتومبیـل ناگهـان متوقف می‌شـود، افـراد داخل آن به حرکت یکنواخت با سـرعت قبلی در جهت جلو ادامه می‌دهند. اما زمانی که افراد با اشـیأ داخل اتومبیل مانند داشـبورد و فرمان اتومبیل و... برخورد کنند، نیرویی از طرف این اجسـام ثابت بر آن‌ها وارد می‌شود و سرعت حرکـت آن‌هـا را ناگهان کـم می‌کند. اگر ایـن نیروها بزرگ باشـند آسـیب‌های جدی بر افراد وارد می‌گردد. در خودروهایی که دارای کیسـه هوا هسـتند، کیسه باد شـده بین افراد و اشـیأ مقابل قرار گرفته نیروهای فوق را در سطح وسـیع‌تری پخش و نیروی کمتری بر افراد داخل خودرو وارد می‌شـود که نتیجه آن کاهش آسیب وارد به سرنشـینان و راننده اسـت.

دلیل دیگری که کیسـه هوا باعث کاهش ضربه‌های وارد به سرنشینان و رانندگان خودرو می‌گردد آن است که این وسـیله آهنگ کاهش شتاب حرکت افراد داخل خودرو را در لحظه تصادف به شرح زیر تقلیل می‌دهد:

طبـق فرمـول $F=ma$، اگر نیروی F کـه بر افراد داخـل خودرو وارد می‌شـود کوچک‌تر از صفر باشـد شـتاب حرکت افـراد کاهش می‌یابد. سـرعت اولیه v_i افـراد داخل خودرو در آغاز تصـادف بزرگ‌تر از صفر بوده اما سـرعت نهایی v_f آن‌هـا پس از توقف خودرو به صفر می‌رسـد پس شتاب حرکت آن‌ها برابر است با:

$$a=\frac{\Delta v}{\Delta t} \xrightarrow{vf=۰} a=\frac{-v_i}{\Delta t}$$

و نیروی وارد از داشـبورد، فرمـان اتومبیل و... بر افراد داخل خودرو برابر اسـت با: $F=m\left(\frac{-v_i}{\Delta t}\right)$، در این رابطه Δt بازهٔ زمانی بین آغاز و پایان حرکت افراد داخل خودرو اسـت، هر قدر این بـازهٔ زمانی کوتاه‌تر باشـد در کاهش شتاب حرکت افراد چشمگیرتر بوده و نیروی بیشـتری بر آن‌ها وارد می‌شـود.

قانون سـوم نیوتون بیان می‌کند که برای هر نیروی کنش یک نیروی واکنش مسـاوی با آن در جهت عکس وجود دارد (نیـروی کنش و واکنش) طبـق این قانون

طبق قانون اول نیوتون وقتی خودرو ناگهان متوقف می‌شود، افراد داخل آن به حرکت یکنواخت خود با سرعت قبلی در جهت جلو ادامه می‌دهند، اما زمانی که افراد با اشیاء داخل خودرو مانند داشبورد، فرمان و... برخورد می‌کنند و نیرویی از طرف این اجسام بر آن‌ها وارد می‌شود، سرعت آن‌ها را ناگهان کم می‌کند

وقتی اشیأ ثابت درون خودرو (فرمان اتومبیل، داشبورد و...) نیروی بر افراد وارد می‌کنند و در این‌صورت نیروی واکنش طرف افراد بر آن‌ها وارد می‌گردد اما چون این قطعات به‌طور محکم به خودرو متصل‌اند و جرم زیادی را تشکیل می‌دهند، بنابراین حرکت محسوسی ندارند.

در خودروهایی که دارای کیسه هوا هستند هنگام تصادف، به افراد درون خودرو یک نیروی مساوی و مخالف با نیروی کیسه باد شده اعمال می‌شود اما با این تفاوت که بر اثر تماس سرنشینان و راننده با کیسه هوا، باد کیسه به آرامی تخلیه و کاهش سرعت افراد در مدت زمان Δt نسبتاً طولانی اتفاق می‌دهد به‌طوری که آهنگ کاهش شتاب حرکت افراد ناچیز بوده و نیروهای کمتری بر آن‌ها وارد می‌شود.

کیسه‌های هوای خودروهای امروزی

به‌دلیل سمی بودن سدیم نیترید و آثار مضر فراورده‌های حاصل از انفجار آن، امروزه طراحان کیسه هوا سعی دارند مواد شیمیایی دیگری را جایگزین سدیم نیترید کنند، آن‌ها از ترکیبات غیرنیتریدی مانند تتراآزول، مشتقات تتراآزول، تری آزول، نیتروگوانیدین، نیترو سلولز و... به‌عنوان پیشران مولد گاز در کیسه هوا استفاده می‌کنند.

طراحان کیسه هوا علاوه بر این که سعی دارند؛ ترکیب شیمیایی (پیشران مولد گاز) کیسه هوا را تغییر دهند، تلاش می‌کنند کیسه‌های دیگری در روی درها و صندلی خودروها نیز طراحی کنند، اما به دلیل ضعیف‌بودن بدنه خودروها در قسمت‌هایی پهلو، شدت ضربه‌های وارد به راننده و سرنشینان به هنگام تصادف در این بخش‌ها زیاد بوده و لازم است این نوع کیسه‌ها در مدت زمان بسیار کمتر (۵-۶) میلی‌ثانیه از گاز پر شوند، به همین علت طراحی آن‌ها دشوارتر است.

این طراحان، حسگرهای هوشمند را ساخته‌اند که فعالیت آن‌ها وابسته به وزن، قد، فاصله سر راننده تا فرمان اتومبیل و... است و همچنین سعی دارند از کومپوزیت‌ها نیز در تهیه پارچه کیسه نیز استفاده کنند.

نتیجه‌گیری

* کیسه هوا یک وسیله ایمنی است که باعث کاهش آسیب وارد به راننده و سرنشینان خودرو می‌شود، این کیسه از سه بخش کیسه، حسگر و دستگاه بادکننده تشکیل شده است.

* کیسه هوا در مدت بسیار کوتاه (کمتر از ۴۰ میلی‌ثانیه) از گاز نیتروژن پر می‌شود و بر اثر تماس سرنشینان و راننده با آن دوباره گاز آن تخلیه می‌شود.

* طراحان کیسه هوا برای محاسبه مقدار گاز مورد نیاز برای پر کردن کیسه هوا با حجم مشخص از علم فیزیک بهره می‌گیرند و کیسه هوای مناسب‌تری را طراحی می‌کنند.

* چون کیسهٔ هوا نیروهای وارد را در سطح وسیع پخش می‌کند، و آهنگ کاهش شتاب حرکت افراد داخل خودرو را در موقع تصادف تقلیل می‌دهد، مانع آسیب و صدمه زیاد به سرنشینان و راننده خودروها می‌گردد.

* در طراحی کیسه هوای خودروهای امروزی تغییراتی در جنس کیسه، حساسیت حسگر و، ساختار دستگاه بادکننده آن ایجاد شده است.

* پیشران مولد گاز؛ کیسه هوای خودروهای قدیمی سدیم نیترید است که بسیار سمی بوده و از تجزیه آن فراورده‌های مضر تولید می‌شود، امروزه به جای آن از موادی مانند نیترو گوانیدین، تتراآزول، ۵-آمینو تترا آزوال و... به عنوان پیشران در کیسه هوای خودروها استفاده می‌شود.

پی‌نوشت

1. sensor
2. Inflator
3. Hetrick
4. interated circuit
5. Accelerometer
6. Igniter
7. Tetrazole
8. Nitroguanidin

منابع

۱. رابرت رزنیک، یرل واکر و دیوید هالیدی، مبانی فیزیک (مکانیک)، مترجم محمود بهار و نعمت‌الله گلستانیان، نشر پیشروان

2. Crane, H.R. "The Air Bag: An Exercise in Newton's Laws, (1985) The Physics Teacher, 23, p.576-578.

3. Cutler, H. and E. Spector. "Air bags and automobile recycling," (1993) Chemtech, 23, p.54-55.

4. http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page(2011)