ششمین همایش بین‌المللی افق های نویـن در
مهندسی برق، کامپیوتـر و مکانیک
6th International Conference on the New Horizons in
Electrical Engineering, Computer and Mechanical
www.mhconf.ir

شبیه سازی بمب چند منظوره mk 84 با حداقل پسای تولیدی در صحنه نبرد هوایی

علیرضا اکرامی کیوج[1و*]

۱- گروه هوافضا ، دانشکده فنی مهندسی، واحد تهران علوم تحقیقات ، دانشگاه آزاد اسلامی ، تهران ، ایران

[*]نویسنده مسئول: **alireza.ekrami10@gmail.com**

چکیده

در این مقاله، هدف نهایی در حقیقت افزایش راندمان آیرودینامیکی (L/D) و کاهش ضریب درگ (C_D) به عنوان توابع هدف از طریق بهینه سازی شش سطح آیردینامیکی شامل چهار سطح مربوط به فین ها (بالک انتهایی) مثل اسپن، کورد، تیپ و ضخامت و همچنین دو سطح مربوط به طول و قطر پرتابه می باشد. پرتابه مورد نظر از بمب های استراتژیک مربوط به هواپیماهای اف۴ و اف ۱۴ و اف ۱۶ با عنوان بمب غیر هدایت شونده ام کا ۸۲ می باشد. جهت بهینه سازی آیرودینامیکی که متشکل از دوبخش شامل بخش اول یعنی مدلسازی و شبکه بندی و تحلیل و بخش دوم بهینه سازی بوده که در این بخش نیزاز روش سطح پاسخ مبتنی بر الگوریتم های تکاملی استفاده شده است.

مقدمه

بهینه سازی فرآیند بهبود دادن پدیده ها است [۱]. یک دانشمند یا مهندس ایده ای را بوجود می آورد و بهینه سازی آن ایده را بهبود می بخشد. بهینه سازی شامل استفاده از گونه های مختلف و ممکن در یک مفهوم اولیه و استفاده از اطلاعات بدست آمده در بهبود آن ایده می باشد. تا زمانی که بتوان یک ایده و متغیرهای اثرگذار بر آن را در قالب الکترونیکی بکار برد، کامپیوتر ابزار مناسبی برای بهینه سازی خواهد بود. ورودی ها به رایانه داده خواهند شد و اطلاعاتی شامل پاسخ های بدست آمده از آن خارج می شوند. اما آیا این تنها پاسخ ممکن است؟ در اکثر مواقع خیر. آیا بهترین پاسخ ممکن است؟ پرسش دشواری می باشد. بهینه سازی روشی ریاضی است که برای یافتن پاسخ این سوالات بر آنها استناد می شود. در گذشته به منظور دستیابی به یک طرح آیرودینامیکی مناسب طراحان مجبور به ساخت تعداد زیادی مدل فیزیکی برای به کارگیری در آزمایشهای تونل باد بودند تا بتوانند یک طرح را به عنوان شکل نهایی انتخاب کنند. چنین فرآیندی مانع از بررسی شکلهای متفاوت با متغیرهای زیاد می شد. توسعه روشهای محاسباتی در طول سالهای اخیر امکان بررسی طرحهای متنوع را مهیا کرده است با این وجود هنوز هم محدودیتهایی برای پیدا کردن بهترین طرح وجود دارد. برای اطمینان از دستیابی به بهترین طرح ممکن یک طراح نباید فقط به بررسی تعداد محدودی از اشکال از پیش تعیین شده بپردازد بلکه باید روشی وجود داشته باشد که بتواند تمام حالت های ممکن را بررسی کرده و بهترین طرح را ارائه دهد. این موضوع انگیزه اصلی ترکیب روشهای دینامیک سیالات محاسباتی با روشهای عددی بهینه سازی را فراهم می کند. [۲]

۱-۱- یافتن بهترین پاسخ

لغت بهترین با خود این معنا را به همراه دارد که بیش از یک جواب وجود خواهد داشت و جواب‌های بدست آمده دارای مقادیر متفاوتی هستند. تعریف بهترین به مسئله مورد نظر، روش حل آن و میزان خطاهای مجاز بستگی دارد. بنابراین پاسخ بهینه بدست آمده به طراحی فرمولاسیون مسئله مورد نظر وابستگی خواهد داشت. برخی از مسائل دارای مقدار دقیقی (ریشه) برای پاسخ هستند و بهترین در آنها دارای معنای ویژه و منفردی است. به عنوان مثال پاسخ یک معادله دیفرانسیل درجه دو از این دست می‌باشد. اما مسائل دیگری وجود دارند که دارای مقادیر متفاوت پاسخ‌های ماکزیمم و مینیمم به عنوان نقاط بهینه و یا اکسترمم خواهند بود و در آنها بهترین دارای یک مفهوم نسبی می‌باشد. مثلا بهترین قطعه موسیقی و یا بهترین مسیر مورد نظر تا محل کار.

۲-۱- بهینه سازی چیست ؟

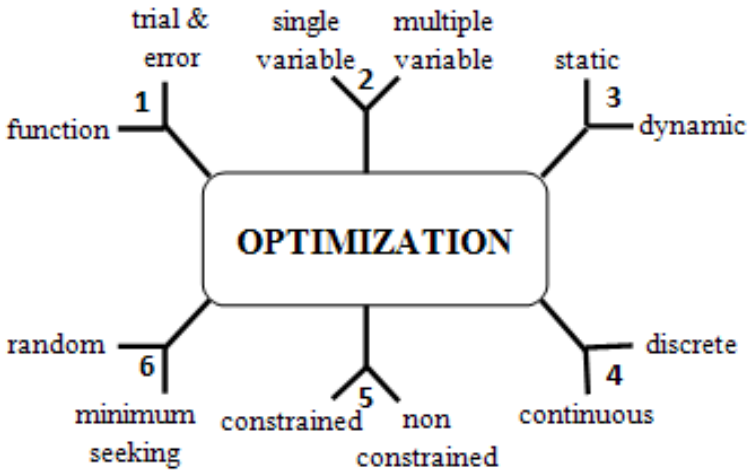
زندگی روزانه ما را با فرصت‌های زیادی برای استفاده از بهینه‌سازی روبرو می‌کند. چه زمانی از خواب برخیزیم تا حداکثر زمان ممکن را خوابیده باشیم و همچنان به موقع در محل کار حاضر شویم؟ بهترین مسیر برای رسید به محل کار کدام است؟ ابتدا باید کدام پروژه را انجام دهیم؟ هنگام طراحی یک محصول ما طول قطعه‌ای را کاهش می‌دهیم و یا وزن مجموعه را کم می‌کنیم، همچنانکه به مینیمم کردن هزینه‌های موجود و یا ماکزیمم کردن جذابیت‌های آن می‌اندیشیم. بهینه‌سازی فرآیند تنظیم ورودی‌ها یا ویژگی‌های یک وسیله، فرآیند ریاضی و یا یک آزمایش می‌باشد به نحوی که نتیجه به مینیمم یا ماکزیمم نمودن یک خاصیت بیانجامد (شکل ۱). ورودی شامل مقادیر متغیرها خواهد بود. فرآیند با تابع به نام‌های مختلفی از جمله تابع هزینه[۱]، تابع هدف[۲] و یا تابع تناسب[۳] شناخته می‌شود. همچنین مقدار خروجی، هزینه یا تناسب نامیده می‌شود.

شکل (۱) دیاگرام یک تابع یا فرآیندی که باید بهینه شود [۳].

[۱]-Cost function
[۲]-Objective function
[۳]-Fitness function

۳-۱- طبقه‌بندی روش‌های مختلف بهینه‌سازی

شکل ۲ روش‌های بهینه‌سازی را به شش گروه مختلف تقسیم می‌نماید. هیچ کدام از شش گروه نشان داده شده لزوما منفک از گروه‌های دیگر نمی‌باشد. برای مثال یک مسئله بهینه‌سازی دینامیکی[۴] می‌تواند مقید و یا نامقید باشد. بعلاوه بعضی از متغیرهای موجود در یک مسئله می‌توانند گسسته[۵] و برخی دیگر پیوسته[۶] باشند.



شکل (۲) شش گروه مختلف در بهینه‌سازی [۳].

۱- بهینه‌سازی سعی و خطا[۷] روشی است که مقادیر متغیرهای موجود را که بر مقدار خروجی تاثیر می‌گذارند تغییر می‌دهد بدون اینکه اطلاعات زیادی راجع به فرآیند ایجاد خروجی داشته باشد. یک مثال ساده از این روش تنظیم آنتن تلوزیون برای داشتن بهترین تصویر می‌باشد. شخصی که جهت آنتن را تنظیم می‌کند اطلاعاتی راجع به عملکرد درون تلوزیون ندارد و فقط جهت مناسب آنتن را برای داشتن بهترین تصویر می‌یابد. این روش مورد علاقه محققینی است که در آزمایشگاه فعالیت می‌کنند. اکتشافات بسیاری، از جمله کشف پنیسلین به عنوان یک آنتی‌بیاتیک نتیجه روش‌های سعی و خطا در بهینه‌سازی می‌باشد. در مقابل، یک فرمول ریاضی، تابع هدف را در روش بهینه‌سازی تابع[۸] توصیف می‌کند. محاسبات و روش‌های مختلف ریاضی ممکن است منجر به پاسخ بهینه در این روش گردند. این روش مورد توجه محققین تئوری می‌باشد.

---

[۴]-Dynamic Optimization Problem
[۵]-Discrete
[۶]-Continuous
[۷]-Trial & Error
[۸]-Function

۲- اگر در فرآیند بهینه‌سازی تنها یک متغیر وجود داشته باشد، بهینه‌سازی، یک متغیره[۹] نامیده می‌شود. مسئله‌ای با بیش از یک متغیر به بهینه‌سازی چند متغیره[۱۰] نیاز خواهد داشت. با افزایش ابعاد مسئله بهینه‌سازی، حل آن دشوارتر می‌شود. روش‌های بهینه‌سازی چند متغیره زیادی وجود دارند که مسئله را به یک سری از مسائل بهینه‌سازی یک متغیره تبدیل می‌کنند.

۳- بهینه‌سازی دینامیکی[۱۱] به این معناست که مقدار خروجی تابعی از زمان می‌باشد، در صورتی که در مسائل بهینه‌سازی استاتیکی[۱۲] مقدار خروجی تابعی از زمان نیست. برای کسی که در حومه یک شهر شلوغ زندگی می‌کند روش‌های متفاوتی برای رفتن به محل کار و برگشتن به خانه وجود دارد. اما بهترین مسیر کدام است؟ از نقطه نظر مقدار فاصله، مسئله استاتیک است و پاسخ را می‌توان با استفاده از یک نقشه یا مسافت سنج اتومبیل یافت. در عمل این مسئله ساده‌ای نیست چرا که بیشمار تعداد راه وجود خواهد داشت. یافتن سریع‌ترین مسیر یک مسئله دینامیک است که پاسخ آن به زمان شروع حرکت، آب و هوا، تصادفات و سایر موارد وابسته خواهد بود. حل یک مسئله استاتیک برای بهترین پاسخ دشوار است و اضافه کردن بعد زمان مسئله را با چالش‌های بیشتری مواجه می‌کند.

۴- همچنین می‌توان بهینه‌سازی را به دو گروه متغیرهای گسسته و پیوسته تقسیم کرد. متغیرهای گسسته فقط دارای مقادیر محدود و صحیح ممکن می‌باشند در صورتی که متغیرهای پیوسته دارای مقادیر نامحدودی هستند. به عنوان مثال اینکه چگونه به انجام فعالیت‌های روزانه موجود در یک لیست بپردازیم یک مسئله با متغیرهای گسسته خواهد بود. بهینه‌سازی مسائل گسسته به نام بهینه‌سازی ترکیبی[۱۳] نیز شناخته می‌شوند چرا که پاسخ بهینه، ترکیبی از متغیرها از میان تمامی مقادیر گسسته ممکن خواهد بود.

۵- متغیرها همواره دارای محدودیت یا قید هستند. مسائل بهینه‌سازی مقید[۱۴]، قیدهای مساوی یا نامساوی را که توابعی از متغیرها می‌باشند به مسئله اضافه می‌کنند. مسائل بهینه‌سازی نامقید[۱۵]، به متغیرها این اجازه را می‌دهند که هر مقداری را اتخاذ کنند. در روش‌های سنتی معمولا یک مسئله مقید به مسئله‌ای نامقید تبدیل می‌شود. اکثر روش‌های بهینه‌سازی عددی در مقابله با مسائل نامقید بهتر عمل می‌کنند.

۶- برخی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای یافتن مقدار مینیمم تابع هزینه از یک نقطه اولیه جستجو را آغاز می‌کنند. این روش‌های جستجوی مینیمم، بسیار سریع می‌باشند اما به راحتی در مینیمم‌های محلی به دام می‌افتند. این الگوریتم‌ها روش‌های سنتی بهینه‌سازی هستند و معمولا بر اساس روش‌های حساب دیفرانسیل می‌باشند. حرکت از یک مجموعه متغیرها به مجموعه‌ای دیگر از متغیرها بر اساس چندین گام متوالی صورت می‌گیرد. در مقابل روش‌های اتفاقی[۱۶] از برخی

۳-Single variable
٤-Multiple variable
٥-Dynamic
٦-Static
١-Combinatorial
٢-Constrained
٤-Non-constrained
٣-Random

از محاسبات احتمالی برای یافتن مجموعه‌های متغیرها استفاده می‌کنند. این روش‌ها دارای سرعت کمتری هستند اما در یافتن بهینه سراسری بسیار موفق‌تر عمل می‌کنند.

۴-۱- پیشینه تحقیق

موارد اشاره در بحث پیشینه این تحقیق مربوط به مراجع مختلف از سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ می باشد که بیان دقیقی از طراحی بهینه آیرودینامیکی را در بستر نرم افزارهای مختلف خصوصا نرم افزارهای عددی و غیر عددی با رویکرد دینامیک سیالات محاسباتی بوده است.لذا بررسی این مقالات که همگی در مراجع آورده شده است در حقیقت رویکرد و متدولوژی و نظریه ما را در بیان این تحقیق تکمیل تر خواهد نمود. استفاده از رویکرد دینامیک سیالات محاسباتی خصوصا در نرم افزارهای مهندسی از جمله انسیس فلوئنت نسبت به نرم افزارهای دیگری همچون ام دی ، فرترن ، دیجیتال ام دی و ... در واقع دقت کار بیشتر را برای ما نمایان می کند. با توجه به گستردگی تحقیقات انجام شده در زمینه بهینه‌سازی آیرودینامیکی وسایل هوافضایی در ادامه به بررسی برخی از این تحقیقات با تمرکز بر بهینه‌سازی آیرودینامیکی موشک‌ها و پرتابه‌ها پرداخته شده است. در مورد رویکرد این تحقیقات باید گفت که در برخی از مقالات روش بهینه‌سازی مورد توجه قرار گرفته است و با ارایه روش‌های ابتکاری و فراابتکاری با تمرکز بر افزایش سرعت همگرایی، کاهش تعداد ارزیابی‌ها، کاهش زمان بهینه‌سازی، کاهش حجم محاسبات، موازی‌سازی و تلفیق روش‌های بهینه‌سازی به حل مسئله پرداخته‌اند و با روش‌های دیگر بهینه‌سازی مقایسه انجام داده‌اند . در برخی دیگر تمرکز بر روی نتایج بهینه‌سازی و تفسیر این نتایج با توجه به دینامیک پرنده و تغییرات توابع هدف با تغییر متغیرهای طراحی و یا ارزیابی نتایج با روش‌های تجربی پرداخته شده است . در این تحقیقات بعد از حل مسئله بهینه‌سازی بعضاً به مقادیر ویژه الگوریتم‌های بهینه‌سازی و محدوده‌های مناسب برای حل این‌گونه مسایل که نتایج بهتری را با تعداد ارزیابی کمتر می‌دهد، پرداخته شده و به عنوان قسمتی از نتیجه‌گیری به آن اشاره شده است. مسایل جانبی دیگر همچون موازی سازی الگوریتم‌های بهینه‌سازی و کاهش زمان فرآیند بهینه‌سازی، اضافه کردن موضوع‌های جدید به تحقیقات قبلی و حل مسایل بهینه‌سازی آیرودینامیکی به صورت حل پرتو در این تحقیقات آورده شده است. در اکثر این تحقیقات که با محوریت بهینه‌سازی شکل آیرودینامیکی موشک و یا راکت انجام گرفته‌اند، با توجه به ویژگی‌های الگوریتم‌های تکاملی از خانواده‌های الگوریتم‌های ژنتیک برای حل مسئله بهینه‌سازی استفاده شده است . بخش دیگری از این تحقیقات بر روی انواع روش‌های طراحی بهینه آیرودینامیکی به منظور ارزیابی این روش‌ها در فازهای مختلف طراحی و ویژگی‌های آنها تمرکز داشته‌اند. یانگ و همکارانش [۴] به بهینه‌سازی سطوح آیرودینامیکی کانارد و دم برای یک راکت در دو حالت بدون هدایت و هدایت شونده به منظور دستیابی به برد حداکثر پرداخته‌اند. برای دستیابی به پیکربندی بهینه در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک به عنوان ابزار بهینه‌سازی، از کد مهندسی ام دی[۱۷] برای محاسبه ضرایب آیرودینامیکی و از شبیه‌سازی پرواز سه درجه آزادی به منظور ارزیابی تابع هزینه (برد) در هر مرحله بهینه‌سازی استفاده شده است. میزان حاشیه پایداری استاتیکی نیز به عنوان قید مسئله درنظر گرفته شده است. لیسک و همکارانش [۵] به بهینه سازی بالک‌های کنترلی دم و کانارد برای یک موشک مافوق صوت با هندسه مشخص با استفاده از جواب‌های پرتو برای چهار تابع عملکردی مختلف در فضای دوبعدی برای توابع هدف پرداخته‌اند. در

[17] Missile DATCOM

این تحقیق نویسندگان با تعریف دو پیکربندی مختلف (یکی با دم تنها و دیگری با دم و کانارد) برای یک موشک مشخص با فرض ضریب بزرگ نمایی اندازه سطوح دم و کانارد و زاویه دفلکت این سطوح به عنوان پارامترهای طراحی، به بهینه‌سازی قابلیت مانور دهی، زمان رسیدن به هدف[18]، برد و پایداری استاتیکی موشک به عنوان توابع عملکردی پرداخته‌اند. موضوع اصلی مرجع [۶] بهینه‌سازی و طراحی پیکربندی آیرودینامیکی و هندسی موشک‌های کروز و توسعه یک پایه نرم‌افزاری در محیط متلب به عنوان یک ابزار طراحی بهینه در فاز طراحی مفهومی موشک‌های کروز با سرعت مادون‌صوت است که توانایی بهینه‌سازی پیکربندی خارجی موشک‌ها، برای یک مجموعه از الزامات و شرایط پروازی را دارد. در مرجع [۷] مقایسه‌ای بین الگوریتم ژنتیک و الگوریتـم بهینه‌سازی کولونی مورچه‌ها[19] برای بهیـنه‌سازی مجموع ضریب نیروی عمودی روی یک راکت انجام شده است و با مقایسه دو کد مهندسی در تحلیل این ضریب به این نتیجه رسیده است که الگوریتم توسعه داده شده کلونی مورچه‌ها در حل این مسئـله می‌تواند با تعـداد ارزیابی کمتر به نتیـجه بهتـری برسد. در مرجع [۸] نیز از الگوریتـم بهینه‌سازی جمعیت ذرات[20] برای بدست آوردن حل‌های پرتو استفاده شده است. دلیل استفاده اکثر محققان از الگوریتم‌های تکاملی در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری در این تحقیقات، شباهت فرآیند طراحی آیرودینامیکی به یک تکامل هوشمند، معتبر بودن این الگوریتم‌ها و وجود ابزار این روش‌ها در نرم‌افزارهای مهندسی است. اندرسون و همکارانش [۹] به ارزیابی الگوریتم ژنتیک در حل مسئله بهینه‌سازی شکل آیرودینامیکی موشک با بررسی توابع هدف مختلف به صورت تک‌منظوره و چندمنظوره پرداخته‌اند. محققین در این مقاله برای ارزیابی توابع هدف از تعیین توابع هدف در شرایط مختلف پروازی و جمع این توابع برای تمام شرایط استفاده کرده‌اند. یعنی تابع هدف نهایی حداکثر کردن مجموع یک ضریب آیرودینامیکی در تمامی شرایط پروازی می‌باشد. لازم به ذکر است که هرچند این مقاله به عنوان اولین قدم‌ها در مسائل بهینه‌سازی شکل آیرودینامیکی موشک‌ها جایگاه مناسبی دارد و در اکثر مقالات دیگر به عنوان مرجع به شمار می‌رود، لکن استفاده از مجموع ضرایب آیرودینامیکی در شرایط مختلف پروازی برای محاسبه منطقی و مهندسی از تابع هزینه بزرگترین اشکال این مقاله است که مسلماً نمی‌تواند نتایج مناسبی را در بر داشته باشد. مراجع [۱۰ و ۱۱] به ترتیب با استفاده از الگوریتم ژنتیک و روش بیشترین شیب[21] یک بهینه‌سازی آیرودینامیکی بر روی پرتابه‌های سرعت پایین با استفاده از کد مهندسی ام دی و با در نظر گرفتن قیود حاشیه پایداری استاتیکی انجام داده‌اند. تکینالپ و بینگول [۱۲] با استفاده از توسعه الگوریتم آنیل شبیه‌سازی شده[22] و شبیه‌سازی دو درجه آزادی به بهینه‌سازی آیرودینامیکی بال و پارامترهای موتور یک راکت با استفاده از روابط تحلیلی در موضوع موتور و کد مهندسی ام دی در موضوع آیرودینامیک به منظور افزایش برد راکت پرداخته‌اند و در ادامه پارامترهای الگوریتم آنیل شبیه‌سازی شده را برای دستیابی به عملکرد مطلوب ارزیابی کرده‌اند. مرجع [۱۳] به بهینه‌سازی پارامترهای طراحی یک بال کمانی شکلِ تاشونده بر روی بدنه برای موشک‌های ماوراء صوت به منظور دستیابی به نسبت لیفت به درگ حداکثر می‌پردازد. هدف از این بهینه‌سازی حداکثر کردن نسبت لیفت به درگ در یک حالت پروازی مشخص (زاویه حمله و سرعت جریان ثابت) به

[18] Time to target (TTT)
[19] Ant Colony Optimization (AOC)
[20] Particle Swarm Optimization (PSO)
[21] Steepest-descent algorithm
[22] Simulated Annealing (SA) algorithm

منظور دستیابی به برد حداکثر است. ضرایب لیفت و درگ نیز از حل عددی جریان حول پرنده با استفاده از معادلات اویلر بدست می‌آید. سول و همکارانش [۱۴] با استفاده از مفاهیم شبکه عصبی سعی در کاهش هزینه محاسبات الگوریتم ژنتیک داشته‌اند و برای ارزیابی این الگوریتم ترکیبی مقایسه‌ای بین تعداد ارزیابی‌ها برای دستیابی به حداکثر نسبت پیشروی یک موشک مادون صوت بین الگوریتم ژنتیک پایه و الگوریتم ترکیبی انجام شده است. این بهینه‌سازی آیرودینامیکی بر روی پارامترهای بال، بدنه و دم به عنوان پارامترهای طراحی و برای شرایط خاص پروازی (سرعت و زاویه حمله ثابت) انجام شده است. در مرجع [۱۵] نویسنده به تشریح یک مسئله بهینه‌سازی چندموضوعی برای شکل آیرودینامیکی موشک در فاز طراحی مفهومی با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندموضوعی[۲۳] پرداخته است. توابع هدف در این مسئله حداکثر کردن نسبت لیفت به درگ و حداقل کردن سطح مقطع راداری[۲۴] است. از آنجا که عملکرد آیرودینامیکی موشک (نسبت لیفت به درگ) در تقابل با سطح مقطع راداری است، برای افزایش کارآیی بهینه‌سازی در فاز طراحی مفهومی جواب‌ها بصورت جبهه‌ی پرتو بدست آمده است . رویکر مرجع [۱۶] توسعه و ارزیابی یک نرم‌افزار بهینه‌سازی بر پایه‌ی طراحی آیرودینامیکی/سازه‌ای برای بهینه‌سازی پیکربندی موشک و شکل بالک‌های موشک است. این مقاله به طور خاص به بهینه‌سازی هندسه بالک برای حداقل کردن ممان‌های لولای بالک[۲۵] و همچنین طراحی آیروالاستیک بالک‌ها پرداخته است.

۵-۱- بمب غیر هدایت شونده ام کا ۸۲

این بمب چند منظوره کم پسا و غیر هدایت شونده است که نوعی از انواع سری بمب‌های مارک ۸۰ می‌باشد . این بمب با وزن ۲۲۷ کیلوگرم کوچکترین بمب و همچنین پرکاربردترین بمب در خدمت نیروهای هوایی جهان است. گرچه وزن اسمی بمب ام کا ۸۲ دویست و بیست و هفت کیلوگرم است، ولی وزن واقعی آن بسته به پیکربندی آن از ۲۳۲ تا ۲۵۹ کیلوگرم متغیر است. بدنه آن از فولاد است که محتوی ۸۹ کیلوگرم ماده منفجره تریتونال می‌باشد. ام کا ۸۲ همچنین کلاهک جنگی بمب‌های لیزری جی‌بی‌یو-۱۲ و جی بی یو-۳۸ می‌باشد. در جنگ خلیج فارس حدود ۴۵۰۰ بمب جی بی یو-۱۲/ام‌کا ۸۲ بر روی عراق انداخته شد. هنگام بمباران در ارتفاع پایین با توجه به این که هواپیما و بمب هر دو تقریباً هم زمان به هدف می‌رسند انفجار حاصل از بمباران می‌تواند به هواپیما آسیب برساند. برای جلوگیری از چنین رخدادی ام‌کا ۸۲ می‌تواند به دم بیش پسای مجهز شود که به این نوع، نوع ام‌کا ۸۲ اسنیک آی(چشم مار) می‌گویند. در این نوع ام‌کا ۸۲ دم مجهز به چهار تیغه چلیپایی شکل است که پس از آزاد شدن بمب فنروار باز می‌شود. این تیغه‌ها پسای بمب را افزایش داده و سرعت آن به جلو را کاهش می‌دهند و در نتیجه پیش از آن که بمب منفجر شود هواپیما تا فاصله امنی از هدف دور شده‌است[۱۷] .

[23] Multiple-Objective Genetic Algorithms (MOGA)
[24] Radar Cross-Section (RCS)ی
[25] Minimizing fin hinge moments

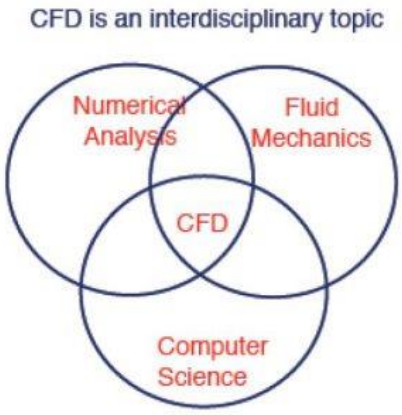
شکل(۳) بمب چندمنظوره کم پسای غیر هدایت شونده ام کا ۸۲

شکل(۴) بمب ام‌کا ۸۲ اسنیک آی با دم بیش پسای در موزه با رنگ معمول خود در نیروی هوایی

شکل(۵) یک فروند بی-۲ اسپیریت در حال پرتاب بمب ام‌کی۸۲

۶-۱- دینامیک سیالات محاسباتی

دینامیک سیالات محاسباتی ، علم پیش بینی جریان سیالات ، انتقال حرارت، انتقال جرم، واکنش‌های شیمیایی و پدیده‌های مرتبط به وسیله حل معادلات ریاضی حاکم بر مسأله مورد نظر می باشد. نتایج تحلیل دینامیک سیالات محاسباتی در طراحی مفهومی ، طراحی جزئیات ، رفع مشکلات و طراحی مجدد سیستم‌های مختلف مهندسی مورد استفاده قرارمی گیرد .دینامیک سیالات محاسباتی مکملی برای تست‌های تجربی و آزمایشگاهی بوده و تعداد تست‌های تجربی مورد نیاز را کاهش می‌دهد. شکل(۸)



شکل(۸) نمایی از دینامیک سیالات محاسباتی

۱-۶-۱- مراحل انجام دینامیک سیالات محاسباتی

به طور کلی مراحل حل یک مسئله به روش دینامیک سیالات محاسباتی به شرح زیر است:

۱) شناسایی مساله [۲۶]

- تعریف اهداف حل مساله
- مشخص کردن دامنه (ناحیه) حل

۲) پیش پردازش [۲۷]

- ایجاد مدل هندسی مناسب از مسئله
- ایجاد شبکه (مش) مناسب روی دامنه‌ی محاسباتی
- تعیین فیزیک و شرایط اولیه و مرزی مناسب
- انتخاب حلگر و روش گسسته سازی مناسب

۳) پردازش [۲۸]

- حل معادلات حاکم بر مسئله به‌وسیله نرم‌افزارهای تجاری مانند فلوئنت وسی اف ایکس یا کدنویسی

[26] Problem Identification

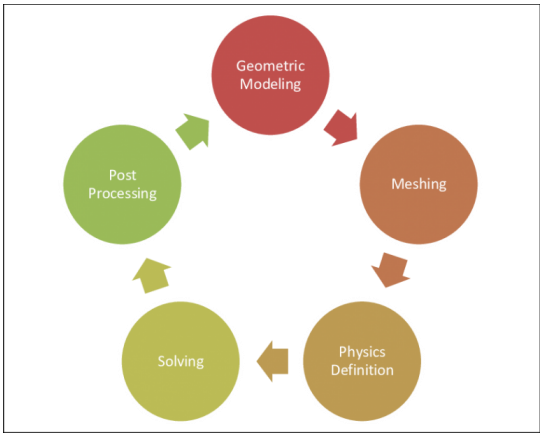
[27] Pre Process

[28] Processing

۴) پس پردازش [۲۹]

- استخراج داده‌های خروجی در قالب جداول ، گزارش ها و ....
- اعتبار سنجی نتایج [۳۰]
- تحلیل نتایج به وسیله رسم نمودارها ، کانتور ها و ....

لازم به ذکر است که مراحل بالا باید بار ها و بار ها تکرار شوند ، نتایج بررسی و تحلیل شوند و در هر تکرار در مرحله پیش پردازش تجدید نظر و اصلاح صورت گیرد تا به پاسخ قابل استنادی دست یابیم . شکل(۹)



شکل(۹) روند حل

۲-۶-۱- یک برنامه دینامیک سیالات محاسباتی چگونه کار می کند ؟

ساختار تمامی برنامه های دینامیک سیالات محاسباتی و نرم افزارهای تجاری همانند انسیس فلوئنت مورد استفاده در این مقاله بر اساس الگوریتمهای حل عددی و به ترتیب ذیل است :

۱- انتگرالگیری از معادلات حاکم روی دامنه حل یا جریان سیال
۲- گسسته سازی و تبدیل معادلات دیفرانسیلی به معادلات جبری
۳- حل معادلات جبری با روش های محاسبات عددی

- سازگاری [۳۱]

[29] Post Process

[30] Validation
[31] Consistency

سازگار بودن یک معادله ، تضمین می‌کند که می‌توانیم آن را گسسته سازی کرده و به روش عددی حل کنیم .در واقع وقتی یک معادله سازگار است که خطای سرزنی[۳۲] اعداد در آن قابل صرفنظر کردن باشد. این هدف معمولاً با اصلاح شبکه (مش) و ریزتر کردن آن نائل می‌شود.

- پایداری [۳۳]

هنگامی یک حل عددی پایدار است که خطاهای ناشی از گرد کردن و تقریب‌های دیگر ، در هر تکرار و ادامه فرآیند حل کاهش یابند. در صورت عدم پایداری ممکن است تقریب‌های ناچیز در شروع حل ، به خطاهای جبران ناپذیر در پاسخ منجرشوند.

- همگرایی[۳۴]

همگرایی خاصیتی است که تضمین می‌کند به پاسخی یکتا دست‌یابیم. چه این پاسخ درست باشد چه نباشد .برای بررسی همگرایی در متغیرهای مختلف راه‌های مختلفی وجود دارد که در این نوشته به آن نمی‌پردازیم. معروف ترین این روش ها بازبینی باقی‌مانده هاست[۳۵].

۳-۶-۱- نرم افزار عددی مورد استفاده بر مبنای دینامیک سیالات محاسباتی

دینامیک سیالات محاسباتی [۳۶] به زبان ساده روشی برای شبیه‌سازی و تحلیل مسائل سیالات در مهندسی است. جهان اطراف ما پدیده‌های بسیاری را شکل می‌دهد ؛ بسیاری از این پدیده ها شامل جریان سیال (شاره) ، نیروهای حاصل از سیالات ، انتقال حرارت و موارد دیگر هستند که در حوزه‌ی مکانیک و مخصوصاً دینامیک سیالات قرار می‌گیرند. مطالعه سیالات و پیش‌بینی رفتار آن‌ها ، هدف اصلی مهندسان مکانیک سیالات است. گردوخاک های فصلی ، جریان های هوا و اقلیم ، جریان های اقیانوسی ، جریان آب در لوله‌ها ، خطوط انتقال نفت و گاز ، جریان خون در رگ ها ، جریان هوا روی بدنه خودرو و هواپیما ، پیشرانه‌ی موشک ، واکنش‌های شیمیایی ، نانوسیال‌ها ، توربین ها و... تعدادی از مثال‌های کاربردی دینامیک سیالات هستند . طراحی صحیح و هوشمندانه بسیاری از تجهیزات مهندسی ، نیازمند درک صحیحی از این پدیده‌هاست. برای این رسیدن به این هدف از معادلات اساسی حرکت سیالات که به معادلات ناویراستوکس معروف هستند ، استفاده می‌شود.

---

[32] Trunction error

[33] Stability

[34] Convergency

[35] Monitoring Residuals

[36] Computational Fluid Dynamics (CFD)

$$\rho\left(\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}\right)=-\frac{\partial p}{\partial x}+\mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right)+\rho g_x$$

$$\rho\left(\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}\right)=-\frac{\partial p}{\partial y}+\mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right)+\rho g_y$$

$$\rho\left(\frac{\partial w}{\partial t}+u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}\right)=-\frac{\partial p}{\partial z}+\mu\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right)+\rho g_z$$

شکل(۶) بیانی از معادلات ناویر استوکس

مشکل از جایی به‌وجود می‌آید که این معادلات به دلیل پیچیدگی های بسیار و وابستگی معادلات به یکدیگر ، به جز در مسائلی خاص و با ساده‌سازی های بسیار ، با روش‌های تحلیلی قابل حل نیستند. به همین دلیل این معادلات را جزء پیچیده‌ترین معادلات علمی دسته بندی می‌کنند. از طرفی برای حل بسیاری از مسائل مهندسی مانند جریان درون یک راکتور ، جریان اطراف هواپیمای مسافربری ، جریان درون سیلندر خودرو و بسیاری دیگر نیازمند حل این معادلات هستیم.

۴-۶-۱- روش های حل معادلات سیالات

۱- حل تحلیلی معادلات (روش‌های تحلیلی)

در این روش با ساده‌سازی معادلات و فرض‌های ساده ساز فیزیکی ، معادلات را به روش‌های مختلف ریاضیاتی حل می‌کنیم. پاسخ این روش در صورت دقیق بودن مدل و صحت محاسبات بسیار دقیق و معتبر است. نقطه‌ی ضعف این روش عدم توانایی در حل مسائل پیچیده است.

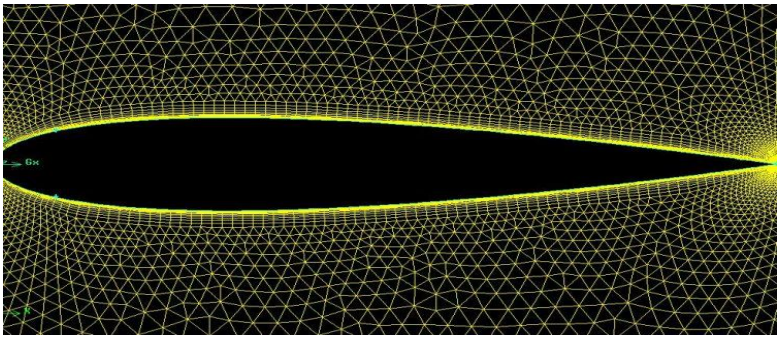
۲- تجربه و آزمایش (روش های تجربی)

این روش نیز از اعتبار مناسبی برخوردار است. در این رویکرد مدل کوچک‌تر و ساده‌تری از مسئله‌ی اصلی ساخته‌شده و مورد آزمایش قرار می‌گیرد. با اندازه گیری پارامترهای مختلف مانند نیرو ، ضریب پسا ، ضریب انتقال حرارت و تحلیل داده های آزمایش نتیجه نهایی حاصل می‌شود. روش آزمایش با وجود دقت بالا ، به دلیل هزینه‌ی بالای انجام آزمایش و عدم امکان آزمایش همه‌ی پدیده‌ها محدودیت بسیاری داشته و معمولاً از آن برای تست نهایی محصول استفاده می‌شود.

۳- حل عددی معادلات (روش های عددی)

در روش حل عددی ، معادلات دیفرانسیلی به معادلات جبری تبدیل شده و با تقسیم دامنه‌ی حل به سلول‌ها (المان‌های) کوچک‌تر و اعمال شرایط مرزی روی آن‌ها ، دستگاه معادلات خطی به‌وجود می‌آید و با حل این دستگاه برای تمامی المان ها و با تکرارهای بسیار (که اساس روش های محاسبات عددی است) در نهایت به یک جواب تقریبی با دقتی مناسب می‌رسیم. در واقع در این روش

هندسه های پیچده را به تعداد زیادی هندسه‌ی ساده و کوچک تبدیل‌کرده و معادلات را بارها و بارها برای المان‌های کوچک حل می‌کنیم. در تصویر زیر نمونه شبکه (مش) در اطراف یک پره (ایرفویل) را مشاهده می‌کنید.



شکل(۷) نمونه شبکه (مش) در اطراف یک پره (ایرفویل)

۵-۶-۱- روش های حل عددی

۱- روش المان (اجزاء) محدود [۳۷]

روش اجزاء محدود، با الگوریتم های عددی پاسخ معادلات دیفرانسیل و انتگرال‌های پیچیده را تقریب می‌زند. کاربرد عملی این روش با نام تحلیل المان محدود شناخته شده است. اساس کار این روش حذف کامل معادلات دیفرانسیل یا ساده‌سازی آن‌ها به معادلات دیفرانسیل معمولی و حل آن‌ها با روش‌های عددی است. به عنوان مثال نرم‌افزار های مهندسی آباکوس[۳۸] و کامسول[۳۹] از این روش برای حل معادلات استفاده می‌کنند.

۲ - روش حجم محدود [۴۰]

روش حجم محدود در واقع نوعی از روش اجزاء محدود است که در آن معادلات عمومی بقا (بقای جرم ، بقای اندازه‌حرکت و بقای انرژی) در شکل انتگرالی استفاده می‌شوند. محدوده حل به تعداد معینی حجم کنترل مجاور هم تقسیم شده و معادلات در آن محدوده حل می‌گردند. کمیت‌ها در مرکز گره‌ها محاسبه شده و برای بدست آوردن مقادیر روی سطوح باید میانیابی انجام‌گیرد. روش حجم محدود برای تمام هندسه ها ازجمله هندسه‌های پیچیده کاربرد دارد. این روش بیشتر برای حل مسائل دینامیک سیالات محاسباتی و انتقال حرارت مناسب است. به عنوان مثال نرم افزار انسیس فلوئنت[۴۱] مورد استفاده در این مقاله از این روش استفاده می‌کند.

---

[37] Finite Element Method
[38] Abaqus
[39] COMSOL Multiphysics
[40] Finite Volume Method
[41] Ansys Fluent

۷-۱- درباره روش بهینه سازی آیرودینامیکی سطح پاسخ (RSM)

روش‌شناسی سطح پاسخ[۴۲] مجموعه‌ای از روش‌های ریاضی است که رابطه بین یک یا چند متغیر پاسخ را با چندین متغیر مستقل (مورد مطالعه) تعیین می‌کند.[۱۸] این روش در سال ۱۹۵۱ توسط باکس و ویلسون معرفی شد، تا به امروز نیز از آن به عنوان یکی از ابزارهای طراحی آزمایش استفاده می‌گردد. هر چند بسیاری این روش را به عنوان یک شبه مدل [۴۳]می‌دانند.[۱۹] . مطالعاتی نظیر مطالعه کرمی و همکاران روش سطح پاسخ را به عنوان یک روش قابل قبول در مقایسه با روش‌های سنتی مدل‌سازی نشان داده است. [۲۰] . متدولوژی سطح پاسخ[۴۴] یک مجموعه از تکنیک های آماری و ریاضیات کاربردی برای ساخت مدل های تجربی است. هدف در طرح های سطح پاسخ ، بهینه سازی پاسخ (متغیر خروجی) است که متأثر از چندین متغیر مستقل (متغیر های ورودی) می باشد. یک آزمایش یک سری از آزمون هاست که اجرا نامیده می شود. در هر آزمایش تغییرات در متغیرهای ورودی به منظور تعیین علل تغییرات در متغیر پاسخ ایجاد می شوند. در طرح های سطح پاسخ ساخت مدل های رویه پاسخ یک فرآیند تکراری می باشد. به محض اینکه یک مدل تقریبی به دست آمد، توسط روش نیکویی برازش، مورد آزمون قرار می گیرد که آیا جواب رضایت بخش است یا خیر، اگر جواب تایید نشود تخمین فرآیند دوباره شروع می شود و آزمایش‌ها بیشتری انجام می شود. در طراحی آزمایش ها، هدف، شناسایی و تحلیل متغیر های مؤثر بر خروجی ها با کمترین تعداد آزمایش است. روش شناسی روشی ریاضیاتی-آماری برای بهینه سازی خروجی های آزمایش ها می باشد. این روش با کشف میزان سطح پاسخ بهینه هر یک از متغیر های طراحی به بهترین سطح پاسخ دست می یابد. در طراحی آزمایش ها، هدف، شناسایی و تحلیل متغیر های مؤثر بر خروجی ها با کمترین تعداد آزمایش است. روش شناسی روشی ریاضیاتی-آماری برای بهینه سازی خروجی های آزمایش ها می باشد. این روش با کشف میزان سطح پاسخ بهینه هر یک از متغیر های طراحی به بهترین سطح پاسخ دست می یابد. اصولاً روش‌شناسی سطح پاسخ شامل گام‌های زیر است: (الف) آزمایش‌های دو عاملی برای غربالگری متغیرهای ورودی مؤثر (ب) تجزیه و تحلیل رگرسیون برای برآورد تابع برازش خروجی‌ها بر حسب ورودی‌ها (ج) بهینه‌سازی به منظور تعیین سطوح بهینه متغیرهای ورودی

۱-۷-۱- چیستی و اهداف روش سطح پاسخ

یک جنبه مهم RSM طراحی آزمایش‌ها است که عموماً به عنوان DOE شناخته می شود. این استراتژی در اصل برای برازش مدل‌های آزمایشی توسعه داده شد اما می تواند برای آزمایش‌ها عددی نیز به کار رود. هدف DOE انتخاب نقاطی است که پاسخ باید مورد ارزیابی قرار گیرد. انتخاب طرح‌های آزمایش می‌تواند تأثیر زیادی بر روی صحت تخمین و هزینه ساخت مدل سطح پاسخ داشته باشد. در یک DOE سنتی آزمایش‌ها غربالگری در مراحل ابتدایی فرآیند اجرا می‌شود یعنی زمانی که تعداد زیادی از متغیرهای طرح به صورت بالقوه وجود دارد که ممکن است اثرات کوچکی روی پاسخ داشته باشند و یا اینکه هیچ تاثیری روی پاسخ نداشته باشند. در علوم مهندسی بسیاری از پدیده‌ها بر مبنای تئوری‌های مربوط به خودشان مدل‌سازی می‌شوند. این درحالیست که بسیاری از

[42] Response Surface Methodology
[43] Metamodel
[44] Methodology Response Surface

پدیده‌ها به دلیل تعداد زیاد عوامل کنترل‌کننده، ناشناخته بودن مکانیسم یا پیچیدگی محاسباتی، قابلیت داشتن مدل ریاضی مناسب را ندارند. در چنین مواردی استفاده از روش‌های تجربی مدلسازی کارساز است؛ روش سطح پاسخ به عنوان یکی از روش‌های مدل‌سازی تجربی مطرح است.[۲۱] روش سطح پاسخ، یکی از رویکردهای بررسی در طراحی آزمایشها و علوم وابسته است. در روش سطح پاسخ سعی می‌شود تا با استفاده از یک طرح آزمایش مناسب، راهی برای تخمین برهمکنش‌ها[۴۵] اثرات درجه دوم و حتی شکل موضعی سطح پاسخ مورد مطالعه یافته شود. به عبارتی دیگر؛ روش سطح پاسخ به طراحی یک آزمایش تجربی می‌پردازد که تاثیرات چندگانه متغیرها را مدلسازی می‌نماید. سپس با ارائه یک مدل رگرسیون به برقراری ارتباطی بین جواب و فاکتورها می‌پردازد. در این میان اهداف خاصی به‌طور جدی دنبال می‌شوند که از مهمترین‌شان می‌توان به بهبود فرایند با یافتن ورودی‌های بهینه، رفع مشکلات و نقاط ضعف فرایند و پایدارسازی آن اشاره کرد. از دیگر اهداف این روش می‌توان به دستیابی به یک منحنی جواب بهینه برای دسترسی سریع‌تر، یافتن یک عقربه تاثیر پذیری جواب از متغیرها و نیز تهیه گزارش کلی از روند تغییرات اشاره کرد. در اینجا پایدارسازی مفهوم مهمی در آمار کیفیت است که به حداقل کردن اثرات متغیرهای ثانویه یا غیر کنترلی (اغتشاشی) دلالت می‌کند.

می‌توان مطالعه بهینه‌سازی در روش سطح پاسخ را به شش مرحله تقسیم نمود:

۱- انتخاب متغیرهای مستقل از اثرات عمده بر سیستم از طریق مطالعات غربالگری و تحدید حدود منطقه آزمایش، با توجه به هدف مطالعه و تجربه محقق (طوفان فکری)
۲- انتخاب طرح آزمایش و انجام آزمایش‌ها با توجه به زمینه آزمایشی انتخاب‌شده (باکس بنکن، سنترال کامپوزیت، فاکتوریل، تاگوچی، دی اپتیمال و...)
۳- تحلیل آماری ریاضی از داده‌های تجربی به‌دست‌آمده از طریق تابع چندجمله‌ای مناسب (توسط خود نرم افزار انجام میشود)
۴- ارزیابی تناسب مدل
۵- تائید لزوم و امکان انجام یک جابجایی در جهت منطقه مطلوب (در صورت بهینه شدن یک سمت از بازه)
۶- به دست آوردن مقادیر بهینه برای هر متغیر مورد مطالعه

۲-۷-۱- روند اجرا

به منظور حل توابع چند متغیره، می‌توان از دو روش سطح پاسخ و نیز شبکه عصبی[۲۲] استفاده نمود.شبکه عصبی مصنوعی یک سیستم پردازش اطلاعات است که مشخصه عملکرد آن، برگرفته از رفتار شبکه های عصبی بیولوژیکی است. پردازش اطلاعات در واحدهایی به نام نرون صورت می گیرد. یک نرون از سه بخش دندریت، هسته و آکسون تشکیل شده است. سیگنال های ورودی توسط واحدهای دندریت دریافت و به هسته نرون انتقال داده می شوند. در روش شبکه عصبی به دلیل عدم دستیابی به رابطه دقیق ریاضی امکان انجام عملیات ریاضی مانند مشتق گیری، بررسی روند تغییرات و اکستریمم‌ها امکان پذیر نیست. ولی در روش سطح

[45] Interactions

پاسخ به علت وجود جملات دقیق در فرمول ریاضی، امکان بررسی و تحلیل روند تغییرات میسر است. همچنین به دلیل وجود جمله‌ی معرف بهینه‌سازی، یافتن نقطه بهینه با تعداد آزمایش‌ها کمتر نسبت به روش شبکه عصبی میسر است. از نرم‌افزارهای جامع در این زمینه می‌توان به DESIGN EXPERT اشاره نمود که بر اساس انتخاب نوع ماژول به انجام آزمایش بر روی داده‌ها پرداخته و سپس فرمول ریاضی را ارائه می‌دهد. همچنین می‌توان برای دستیابی به متغیرهای محلی و مورد بحث، به انجام تغییرات دستی پرداخت. انجام روش سطح پاسخ بدون داشتن اطلاعات در مورد فرایند و متغییرهای مؤثر بر آن، می‌تواند گمراه‌کننده باشد. متداول‌تر است که قبل از انجام مراحل روش سطح پاسخ، فرایند مورد مطالعه به خوبی بررسی شود و در ابتدا از یک طرح آزمایش غربال برای شناسایی اثر ورودی‌ها بر فرایند مورد مطالعه استفاده گردد. طراحی آزمایش‌ها به روش سطح پاسخ (RSM) در اولین سال ۱۹۵۰ میلادی شکل گرفت و کاربرد اولیه آن بیشتر برای صنایع شیمیایی بود ولی اخیراً به طور گسترده‌ای از روش سطح پاسخ (RSM) برای بهبود کیفیت، طراحی محصول و آنالیز عدم‌قطعیت استفاده می‌شود.

- **تحلیل نرم افزاری**

برای بررسی و رسیدن به معادله ریاضی، براساس نیاز و نیز شرایط محلی آزمایش باید یکی از ماژول‌ها انتخاب گردد. ماژول‌های نرم افزاری به شرح زیر است:

۱- بررسی پنج سطح (مرحله) برای متغیر مستقل[۴۶]
۲- بررسی سه سطح (مرحله) با تعداد آزمایش‌ها کمتر[۴۷]
۳- بررسی توابع تک متغیره که قابلیت بررسی در اکسل نیز دارد.[۴۸]
۴- بررسی حالات متفرقه و شبیه به حالت BOX-BEHNKEN ولی با تعداد آزمایش‌ها بیشتر[۴۹]
۵- واریانس همبستگی را کاهش می‌دهد. همچنین تعداد سطوح و مراحل آزمایش را کاربر تعیین می‌کند[۵۰]
۶- بعد از انجام آزمایش و ثبت داده‌ها برای رسیدن به فرمول ریاضی اقدام می‌شود[۵۱]

در این نرم افزار می‌توان با ایجاد فاکتور قیاسی [۵۲] به مقایسه و تحلیل نتایج پرداخت. پس از وارد کردن داده‌ها، نرم افزار تعداد آزمایش‌ها مورد نیاز را بر اساس ماژول انتخابی، خلاصه‌ای از شرایط آزمایش‌ها و نیز پراکندگی آزمایش‌ها را به صورت تصویری نمایش می‌دهد. در مرحله بعد به منظور دستیابی به مدل ریاضی مورد نظر، در بخش ANALYSIS نرم افزار نوع معادله را پیشنهاد می‌دهد. این انتخاب براساس عدم رشد خطا و واگرایی، طولانی نشدن معادله و عدم وجود داده‌های پرت صورت می‌گیرد. همچنین می‌توان با

[46] CENTRAL COMPOSITE
[47] BOX-BEHNKEN
[48] ONE-FACTOR
[49] MISCELLANEOUS
[50] D-OPTIMAL
[51] HISTORICAL DATA DESIGN
[52] TREATMENT

تغییر در تنظیم پارامترهای مؤثر در جواب، معادله ریاضی را دگرگون کرد. در بخش آخر، نرم افزار به ارائه خلاصه‌ای از آزمایش‌ها می‌پردازد که در آن مدل معنی‌دار و نیز تاثیر داده‌های پرت مشخص می‌گردد. همچنین اگر داده‌های پرت تاثیری در جواب داشت؛ میتوان با تغییر در مدل آزمایش‌ها آن را از بین برد. در مرحله آخر، با تعریف فاکتورهای مهم و مطلوب آزمایش و نیز تعیین میزان اهمیت آن، نرم افزار به بهینه سازی و ارائه راهکار پرداخته و نتایج را به صورت کامل نمایش می‌دهد.

- **بهینه سازی**

وقتی RSM به نقطه بهینه می رسد،شبه مدل چند جمله ای درجه یک با یک شبه مدل چند جمله ای درجه دو جایگزین می شود. از شبه مدل چند جمله ای درجه دو برای برآورد نقطه بهینه استفاده می شود. در گام آخر نقطه بهینه برآورد شده بررسی می شود تا معلوم شود آیا واقعا بهینه است یا نه.

فرضیات : ۱-متغیرهای تصادفی پیوسته هستند. ۲-میانگین متغیر پاسخ مدنظر است. ۳-مساله نامقید است.

- **گام های RSM**

۱- پویش: تعیین فاکتورهای اصلی که بر متغیر پاسخ اثر گذار هستند با استفاده از ابزارهای طراحی آزمایش ، شروع از یک نقطه اولیه، تعیین سایز اولین ناحیه و برازش شبه مدل رگرسیونی درجه یک

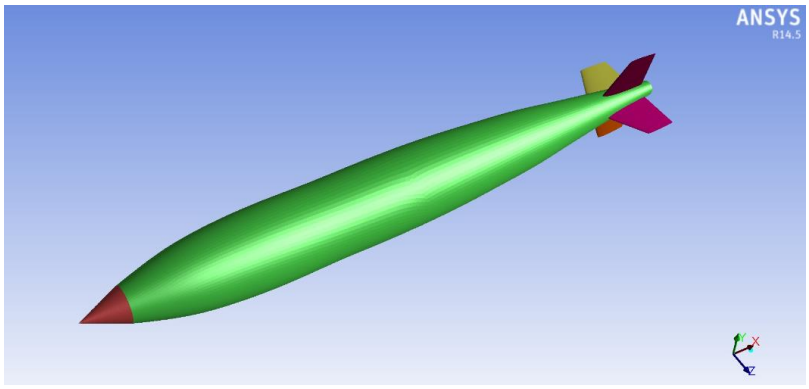
۲- بهبود: حرکت به سمت نقاط بهتر با استفاده از روش تندترین شیب نزولی تعیین نقطه بهینه: یافتن مقادیر بهینه از فاکتورها با استفاده از طرح های آزمایش CCD و شبه مدل رگرسیون درجه دو. جهت حرکت از مقادیر فعلی فاکتورها به مقادیری که به مقادیر بهینه نزدیک تر باشند از روش تندترین شیب نزولی(صعودی) استفاده می شود؛ ایده: از رگرسیون درجه ۱ برای یافتن جهت بیشترین کاهش (افزایش) استفاده می شود.

۱- مدلسازی و شبکه بندی و شبیه سازی بمب غیر هدایت شونده

برای رسیدن به یک شبیه سازی منطقی و منسجم قبل از مرحله بهینه سازی می بایست بتوانیم یک روند دقیقی از شبیه سازی از پرتابه بیس داشته باشیم تا قابلیت عملکرد پروازی که همان راندمان آیرودینامیکی است را با حالت بهینه مقایسه نماییم .

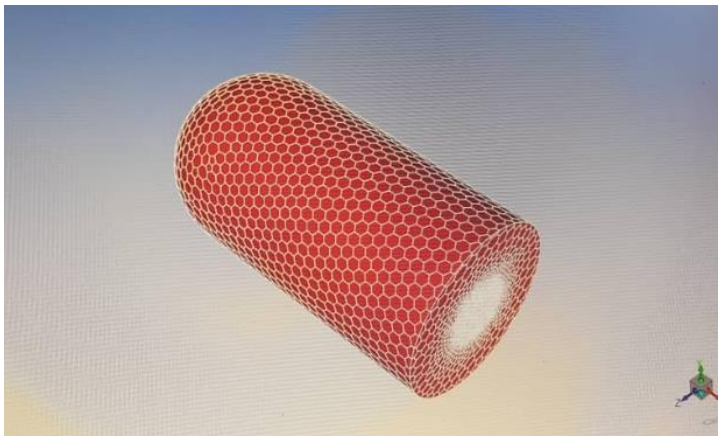
- **مدلسازی**

بکمک نرم افزار انسیس ورک بنچ ۲۰۲۰ در ابتدا می بایست در قسمت مدلر این نرم افزار مطابق شکل (۱۰) یک مدلی از پرتابه ام کی ۸۲ ترسیم نماییم. در این بخش در ابتدا می بایست فرآیند پارامتریک کردن سطوح کنترلی را نیز انجام دهیم . این سطوح شامل چهار سطح مربوط به فین ها (بالک انتهایی) مثل اسپن، کورد، تیپ و ضخامت و همچنین دو سطح مربوط به طول و قطر پرتابه می باشد.



شکل(۱۰) مدل اولیه ام کی ۸۲ در دیزاین مدلر انسیس ورک بنچ ۲۰۲۰ قبل بهینه سازی سطوح آیرودینامیکی

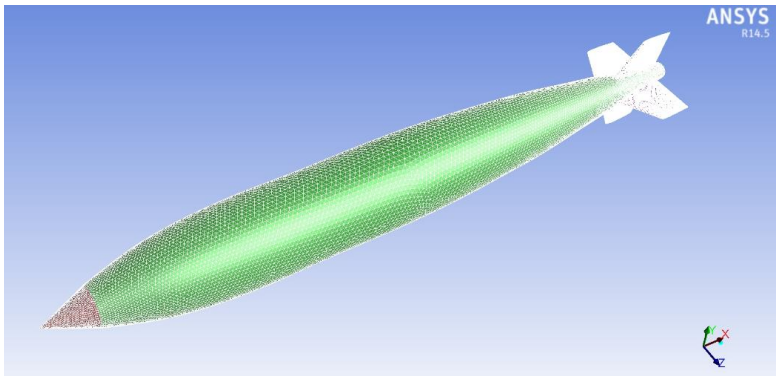
برای تعیین دامنه بشکل استوانه جهت مش بندی و در ادامه شبیه سازی چیزی در حدود ۱۰ برابر طول موشک را به عنوان دامنه مطابق شکل ۱۱ در نظر می گیریم :



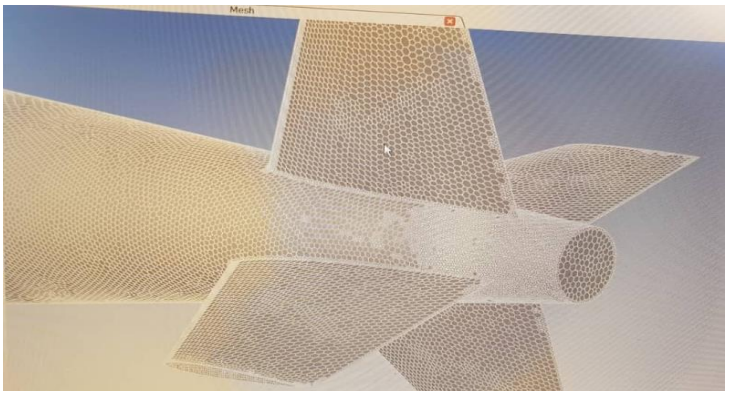
شکل(۱۱) دامنه جهت مش بندی و تحلیل

- **شبکه بندی**

برای مش بندی و تولید شبکه برای کل دیواره به عنوان پرتابه و دامنه کار چیزی حدود ۱۲ میلیون مش در نظر گرفته شده است که در شکل ۱۲ نمایش داده می شود.



شکل(۱۲) تولید شبکه روی پرتابه



شکل(۱۲) تولید شبکه نمای روی بالکها به عنوان سطوح کنترلی

۲- منابع

[1] Simpson, T.W., “Approaches to Multidisciplinary Design Optimization”, 3rd Simulation Based Acquisition Conference, 2001.

[2]. Ghaffari M., Pasandideh Fard M., Tavakoli A., Constrained Adjoint-based Shape Optimization for Aerodynamic Design on Unstructured Grids , Journal of Mechanical Engineering, pp. 223-232, 2018.

[3] Haupt, R., L. and Haupt, S., E., Practical Genetic Algorithm, 2nd Edition, JOHN WILEY & SONS Inc., 2004.

[4] Yang Y., Jung S., Cho T.H., and Myong R.S., “Aerodynamic Shape Optimization System of a Canard-Controlled Missile Using Trajectory-Dependent Aerodynamic Coefficients”, Journal of Spacecraft and Rockets, Vol. 49, No. 2, pp. 243–249, 2012.

[5] *Lisk D., Robinson T. and Robinson D., "Multi-Objective Optimization of Supersonic Projectiles using Evolutionary Algorithms", 48th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, paper 10-1500, 2010.*

[6] *Tanıl Ç., Platin B.E. and Mahmutyazıcıoğlu G., "External Configuration Optimization of Missiles in Conceptual Design", AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference, paper 09-5719, 2009.*

[7] *Nobahari H, Nabavi S. Y., Pourtakdoust S. H., "Aerodynamic Shape Optimization of Unguided Projectiles Using Ant Colony Optimization and Genetic Algorithm", 25th International Congress of the Aeronautical Sciences, ICAS Paper 2006-3.6S, Hamburg, 2006.*

[8] *Leticia Cagnina, Susana Esquivel, "A Particle Swarm Optimizer for Multi-Objective Optimization", JCS&T Vol. 5 No. 4, December 2005.*

[9] *Anderson, M. B., Burkhalter, J. E., and Jenkins, R. M., "Missile Aerodynamic Shape Optimization Using Genetic Algorithms", Journal of Spacecraft and Rockets, Vol. 37, No. 5, pp. 663–669, 2000.*

[10] *González, D. R., "Genetic Algorithm Applied to the Design of Mine Countermeasure Projectiles", 47th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including The New Horizons Forum and Aerospace Exposition, paper 09-1098, 2009.*

[11] *Tanrilulu, O., and Ercan,V., "Optimal External Configuration Design of Unguided Missiles", Journal of Spacecraft and Rockets, Vol. 35, No. 3, pp. 312–316, 1998.*

[12] *Tekinalp, O., and Bingol, M., "Simulated Annealing for Missile Optimization: Developing Method and Formulation Techniques", Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 27, No. 4, pp. 616–626, 2004.*

[13] *Cui k. and Yang G.W., "Shape Optimization for Hypersonic Arc-Wing Missiles", Journal of Spacecraft and Rockets, Vol. 47, No. 4, pp. 694–700, 2010.*

[14] *Su1 W., Zuo Y. and Gao Z., "Preliminary Aerodynamic Shape Optimization Using Genetic Algorithm and Neural Network", 11th AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference, paper 06-7106, 2006*

[15] *Hong Liu, "Multiobjective Evolutionary Computation for Noncircular Missile Shape Optimization", 42nd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, paper 04-453, 2004.*

[16] *Lesieutre, D., Dillenius, M., and Lesieutre, T., "Multidisciplinary Design Optimization of Missile Configurations and Fin Planforms for Improved Performance", 7th AIAA Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization, 1998.*

[17] "Mk82 General Purpose Bomb". Federation of American Scientists. Archived from the original on 8 December 2013. Retrieved 8 December 2012.

[18] Witek-Krowiak A, Chojnacka K, Podstawczyk D, Dawiec A, Pokomeda K. Application of response surface methodology and artificial neural network methods in modelling and optimization of biosorption process. Bioresource technology. 2014 May 31;160:150-60.

[19] Fu, Michael C. Handbook of simulation optimization. Vol. 216. New York: Springer, 2015.

[20] Karami, Hamid Reza, Mohammad Keyhani, and Dariush Mowla. "Experimental analysis of drag reduction in the pipelines with response surface methodology." Journal of Petroleum Science and Engineering 138 (2016): 104-112.

[21]Box, George EP, and Norman R. Draper. Response surfaces, mixtures, and ridge analyses. Vol. 649. John Wiley & Sons, 2007.

[۲۲] علمدار, محمدرضـا; آزادی, محمد (۲۰۱۹-۰۶-۲۱" .(پیش بینی نشست سطح زمین و نیروهای داخلی پوشش تونل در اثر حفاری تونل های نعل اســبی با اســتفاده از شــبکه های عصــبی مصــنوعی ."مهندســی عمران .doi:10.24200/j30.2019.4575 .**0** (0): 0–0. ISSN 1028-7167.