

ارزیابی و تحلیل سیگنالهای آزمون مدل استاندارد دینامیکی در یک تونل باد و طراحی فیلتر دیجیتال بهینه بر اساس الگوریتم ژنتیک

محمد رضا کنگاوری ^۴	عبدالعلی حقیری ^۳	عادل رحمانی ^۲	محمد رضا حسنی آهانگر ^۱
دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه علم و صنعت ایران	مرکز تحقیقات آیرودینامیک قدر دانشگاه امام حسین(ع)	دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه علم و صنعت ایران	مرکز تحقیقات آیرودینامیک قدر دانشگاه امام حسین(ع)

چکیده

در این تحقیق، سیگنالهای آزمون مدل استاندارد دینامیکی در تونل باد به لحاظ منابع خطا بررسی و تحلیل می گردد. نتایج بدست آمده نشان می دهد که مولفه های مختلف این مدل شدیداً همراه با نویز بوده و به این شکل کار تحلیل و استخراج ضرایب آیرودینامیکی بسیار دشوار و تا حدی غیرممکن می باشد. به همین دلیل جهت حذف نویز سیگنال های اصلی مدل از تکنیک الگوریتم ژنتیک بعنوان متدلوژی طراحی و بهینه سازی فیلتر نرم افزاری استفاده شده و عملکرد آن روی خروجی آزمون تونل باد در یک عدد ماخ با فرکانسهای ارتعاش اجباری ۱ و ۶ هرتز، زاویه حمله صفر درجه و دامنه های ارتعاشی ۱ و ۵ سانتی متر در حالت نوسانی عمودی نسبت به روش کلاسیک مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده نشان از عملکرد عالی و مناسب تر این روش بوده و حکایت از قابلیت بالای این الگوریتم بعنوان روش پیشرفته در یافتن جوابهای بهینه از بین جوابهای مختلف دارد. با استفاده از خصوصیات الگوریتم ژنتیک، زمان مقایسه پاسخ های مختلف و در نتیجه پاسخ بهینه کاهش یافته و دقت نتایج آزمونها افزایش می یابد. ضمن اینکه استفاده از این روش کاهش تعداد دفعات تکرار و هزینه انجام آزمون را به همراه دارد.

واژه های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، فیلتر دیجیتال، پردازش سیگنال، اخذ اطلاعات، آزمون دینامیکی، تونل باد

Evaluation and Analysis of Output Signals of SDM Test in a Wind Tunnel with Optimized Filter Design, Based on Genetic Algorithm

M.R. Hassani-Ahangar

Qadr Research Center
Imam Hossein Univ.

A. Rahmani

Comp. Eng. Dep't.

Iran Univ. of Science & Tech.

A. Haghiri

Qadr Research Center

Imam Hossein Univ.

M.R. Kangavari

Comp. Eng. Dep't.

Iran Univ. of Science & Tech.

ABSTRACT

In this work, the results of a standard dynamic model obtained from the data acquisition system of a wind tunnel were studied with emphasis on error sources. The results show that different components contain substantial amount of noise and thus make it hard-if not possible-to obtain aerodynamic coefficients. Therefore, genetic algorithm (GA) is used to filter out this noise. Performance of this method was evaluated in a test with one Mach number with forced oscillation frequency of one and six Hz, attack angle of zero and oscillation amplitude of one and five cm. plunging compared to classic method. The resulting vertical force component of standard dynamic model is satisfactory, showing GA to be a powerful and advanced way for finding optimum results. Using this algorithm, comparison of different results are carried out faster and is more accurate. Also the cost and the repeating times were reduced using GA.

Key Words: Genetic Algorithm, Digital Filter, Signal Processing, Data Acquisition, Dynamic Test, Wind Tunnel

¹ - دانشجوی دکترا (نویسنده پاسخگو): mrhassani@iust.ac.ir

² - استادیار

³ - کارشناس ارشد

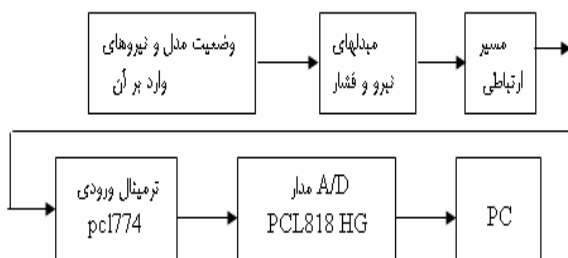
⁴ - استادیار

۱- مقدمه

استفاده نموده اند [۷،۵]. هدف از این تحقیق نشان دادن توانایی الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی یک فیلتر دیجیتال در جداسازی نویز از سیگنالهای اصلی مولفه مدل استاندارد دینامیکی در تونل باد و افزایش کارایی آن در راستای تکمیل پژوهشهای قبلی بخصوص مرجع [۲] است. پس از این مقدمه، سیستم اخذاطلاعات، سیستم ارتعاش اجباری و نحوه محاسبه فرکانس طبیعی آن و منابع خطای روی آنها بررسی و تحلیل می شود. سپس الگوریتم ژنتیک و عملگرهای مربوط به آن بیان خواهد شد و بخش بعدی که عمده مطالب را در بر می گیرد به چگونگی بکارگیری این روش در بهینه سازی فیلتر، ارزیابی و تحلیل خروجی مولفه های مدل استاندارد دینامیکی در تونل باد می پردازد. نتایج بدست آمده نشان می دهد که با استفاده از این روش ضمن ایجاد امکان تحلیل نتایج آزمونهای تونل باد با بهره گیری از خصوصیات الگوریتم ژنتیک زمان و هزینه آزمونها را تا حد چشمگیری کاهش داد.

۲- سیستم اخذ اطلاعات

یک سیستم اخذ اطلاعات مناسب نقش بسزایی در بالا بردن سرعت و دقت انجام آزمون و در نهایت افزایش کارایی تونل های باد دارد [۱،۲]. سیستم مورد مطالعه این تحقیق متشکل از یک کامپیوتر شخصی به همراه یک برد A/D، بالانس دینامیکی، سیستمهای نگهدارنده و زیر سیستمهای جانبی آن می باشد. شکل ۱ شمای سیستم اخذ اطلاعات مورد نظر را نشان می دهد. منابع خطای روی سیستم اخذ اطلاعات به دو دسته شامل تأثیرات و اغتشاشات جوی و مجاری عبور هوا و خطای موجود در سیستم های اندازه گیری تقسیم بندی می شود که به طور مفصل در مراجع [۹،۲] بحث شده است.



شکل ۱: شمای کلی سیستم اخذ اطلاعات.

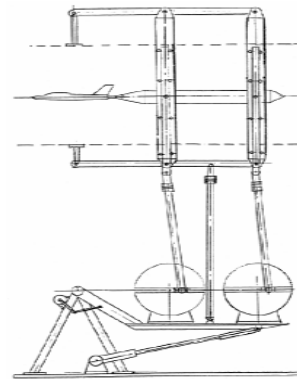
نیاز روزافزون به قابلیت مانور بالا در موشک ها و هواپیماهای جنگنده امروزی، تحول شگرفی در محدوده پروازی این وسایل پرنده بوجود آورده است. مانور بالا، هواپیما و موشک را در معرض میدان جریان ناپایا قرار می دهد که در نتیجه رفتار آیرودینامیکی جسم کاملاً غیر خطی می شود [۱،۲]. اهمیت فوق العاده مطالعه پایداری دینامیکی نیاز به ارائه روش های مناسب برای تعیین مشتقات پایداری دینامیکی را پیش از پیش مطرح نموده است. با توجه به محدودیت های روش های عددی و تحلیلی، آزمایش های تونل باد یکی از مطمئن ترین روشها برای تحلیل عملکرد و بررسی پایداری در حالت غیردائم بوده و تنها از این طریق می توان بطور کامل تر و دقیق تری نسبت به سایر روشها، الگوی جریان روی بدنه را مدل سازی نمود [۴،۳،۲،۱] و پارامترهای نیرو و لنگر مورد نظر طراح را بوسیله سیستم اخذاطلاعات اندازه گیری کرد [۲].

تفاوت عمده ای بین سیستم اخذاطلاعات در حالت آزمونهای استاتیکی و دینامیکی وجود دارد [۳،۲]. اولاً بر خلاف تستهای استاتیکی نرخ نمونه برداری در حالت دینامیکی بسیار بالا بوده که برای هر یک از مولفه های نیرو و لنگر حجم بسیار بالایی از داده را بدست می آید. ثانیاً عدم استفاده از فیلتر سخت افزاری پائین گذر در حالت دینامیکی به دلیل ارتعاش اجباری مدل جسم پرنده مورد نظر در این تحقیق در محدوده فرکانسی یک الی هشت هرتز است [۱،۲]. با توجه به این نکته سیگنالهای دریافتی همراه با نویز و اغتشاش بسیار زیاد بوده و عوامل زیادی در ایجاد نویز و اغتشاش در این نتایج تأثیرگذار می باشند که عملاً کار تحلیل و ارزیابی آیرودینامیکی روی آنها غیرممکن است [۲].

در این تحقیق چگونگی طراحی و بهینه سازی یک فیلتر مناسب برای حذف نویز و اغتشاش از سیگنالهای اصلی مدل استاندارد دینامیکی براساس الگوریتم ژنتیک ارائه می شود. امروزه الگوریتم ژنتیک به دلیل قدرت فوق العاده جستجو در فضاها با ابعاد زیاد و همچنین بعنوان یک روش کارآمد در حل و بهینه سازی مسائل مختلف مورد توجه محققین مهندسی و سایر علوم قرار گرفته است [۶،۵]. تعدادی از پژوهشگران از الگوریتمهای ژنتیک بعنوان یک روش بهینه سازی جهت بهبود بخشیدن به عملکرد مدارهای کامپیوتری و پردازش سیگنالهای دیجیتال از جمله فیلترهای نرم افزاری

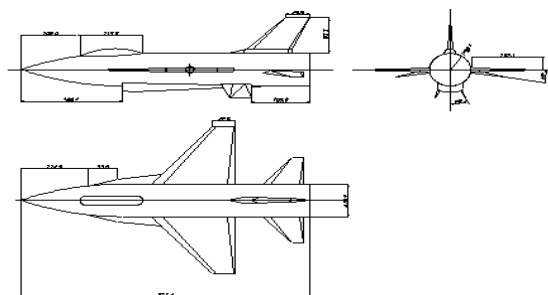
۳- سیستم نوسان ساز دینامیکی

سیستم نوسان ساز دینامیکی تونل باد مورد نظر قادر است فرکانس های نوسانی ۱ تا ۸ هرتز را ایجاد و به مدل انتقال دهد. دامنه ارتعاشات مدل نیز از یک تا حداکثر $5 \pm$ سانتی متر قابل تنظیم است [۲،۱]. شکل ۲ نمای این سیستم را به همراه بالانس دینامیکی و مدل نصب شده روی آن نشان می دهد. با تکمیل این سیستم امکانات سخت افزاری لازم برای انجام آزمایش دینامیکی روی مدل در حالت های نوسانی پیشگی^۱ و نوسانی عمودی^۲ در جریان های تراکم پذیر و مافوق صوت در کشور فراهم شده و می توان کلیه هواپیماها و موشک های در دست تحلیل و طراحی را مورد آزمایش قرار داد [۲،۱].



شکل ۲: نمای دستگاه نوسان ساز دینامیکی.

جهت کنترل صحت عملکرد سیستم دینامیکی و نتایج بدست آمده از آزمون های دینامیکی در این مرکز از مدل استاندارد دینامیکی (SDM) استفاده شده است.



شکل ۳: مدل استاندارد دینامیکی SDM.

این مدل یکی از مدل های معروف در زمینه انجام آزمون های دینامیکی در شرایط ناپایا می باشد. این مدل در بسیاری از مراکز تحقیقاتی معتبر جهان مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج آن نیز در مراجع معتبر ارائه شده است [۴،۳]. در واقع SDM مدل ساده شده هواپیمای F-16 می باشد. شکل ۳ نمای این مدل را نشان می دهد.

۴- محاسبه فرکانس طبیعی سیستم نوسان ساز به همراه مدل و بالانس دینامیکی

در آزمایش های دینامیکی تعیین فرکانس طبیعی مدل، بالانس و سیستم رابط، بسیار حائز اهمیت می باشد. زیرا با مشخص بودن این فرکانس می توان از ایجاد حالت رزونانس در حین آزمایش جلوگیری نمود. یک روش متداول برای تعیین فرکانس طبیعی مجموعه مدل با بالانس و سیستم های رابط اعمال ضربه ناگهانی به بالانس و تعیین تبدیل فوریه سیگنال خروجی بالانس در فضای فرکانس می باشد. جهش های مشاهده شده در فضای فرکانس نشان دهنده فرکانس های طبیعی سیستم هستند. با توجه به اینکه در بررسی مشتقات پایداری مدلها، ضرایب نیروی عمودی (Cn) و لنگر پیشگی (Cm) دارای اهمیت فوق العاده ای می باشند [۲،۳]. به همین دلیل در محاسبه و تعیین بهینه فرکانس طبیعی، فرکانس نمونه برداری و تعداد نمونه ها مولفه نیروی عمودی مورد بررسی قرار می گیرد. شکل ۴-الف خروجی کانال نیروی عمودی با زمان را بعد از اعمال ضربه به بالانس دینامیکی نشان می دهد. تقریباً بعد از سه ثانیه این نوسانات میرا شده اند. شکل ۴-ب تبدیل فوریه گسسته^۳ خروجی کانال نیروی عمودی در فضای فرکانس را نشان می دهد.

اولین و بیشترین جهش سیگنال در فرکانس حدود ۲۷ هرتز می باشد. جهش های کوچکی در هارمونیک های بالاتر این فرکانس دیده می شوند که در نتیجه این جهش، فرکانس طبیعی را نشان می دهد. وجود هارمونیک های متعدد انتخاب فرکانس نمونه برداری بالایی را برای جلوگیری از پدیده ی تداخل طیف^۴ الزامی می سازد. که

³-Discrete Fourier Transformation

⁴-Aliasing

¹-Pitching

²-Plunging

$$e = \left[\frac{M}{(T - T_s/2)} - \frac{M}{(T + T_s/2)} \right] / 2 = \frac{MT_s/2}{T^2 - T_s^2/4} \quad (2)$$

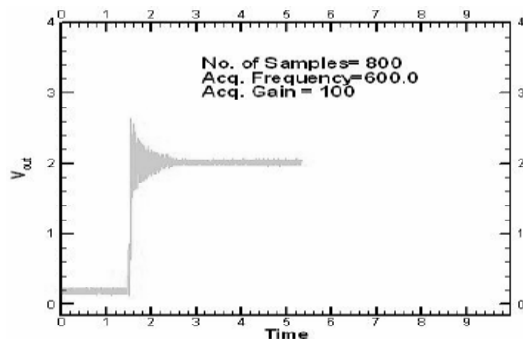
با تقسیم e بر F می توان خطای نسبی فرکانس را بدست آورد:

$$\text{error}[\%] = \frac{T_s/2}{T - T_s^2/4T} \times 100 \approx 50 \frac{T_s}{T} \quad (3)$$

که مقدار تقریبی برای نسبت های $\frac{T_s}{T}$ کوچک صدق می کند. تعداد نمونه های برداشته شده در زمان T برابر است با:

$$N = T/T_s \quad (4)$$

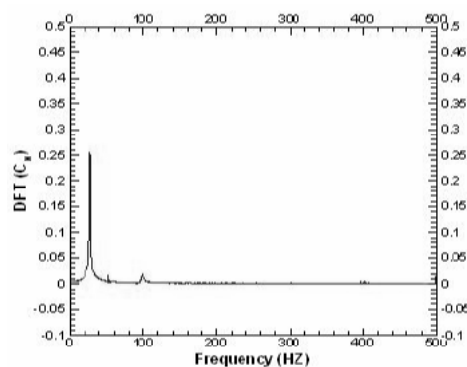
با فرکانس نمونه برداری 600 هرتز و $1/5$ در صد خطای اندازه گیری فرکانس به حدود 800 نمونه نیاز است که در اندازه گیری نیروها و لنگرهای آیرودینامیکی وارد بر مدل در آزمونهای تونل باد با استفاده از بالانس دینامیکی از همین تعداد نمونه استفاده شده است که بوسیله سیستم اخذ اطلاعات بر اساس برنامه نرم افزاری از قبل تعریف شده دریافت و در فایلهای متعدد ذخیره می شوند.



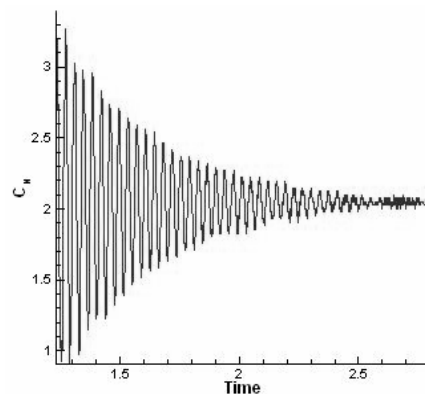
شکل ۵: اثرات فرکانس نمونه برداری و تعداد نمونه ها بر تغییرات نیروی عمودی قبل و بعد از وارد شدن ضربه به بالانس دینامیکی.

همچنین به صورت عملی آزمایش ضربه به مدل SDM در فرکانس های نمونه برداری انجام گرفت چنانچه فرکانس داده برداری برابر یا کمتر با فرکانس طبیعی سیستم باشد، تقریباً هیچ نوسانی در خروجی ثبت نخواهد شد. بهترین نتایج مربوط به فرکانس داده برداری 600 هرتز و 800 هرتز، نمونه در هر سیکل نوسانی می باشد. که شکل ۵ نتایج کار را نشان می دهد.

برای این منظور باید نرخ نمونه برداری نایکویست برای بالاترین مولفه های هارمونیک رعایت گردد.



۴- الف



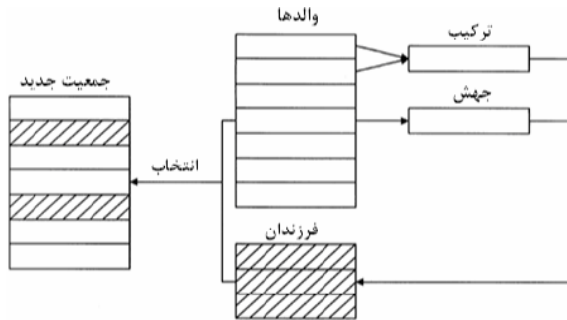
۴- ب

شکل ۴: تغییرات نیروی عمودی در فضای زمان و فرکانس پس از وارد شدن ضربه به بالانس دینامیکی.

برای تعیین فرکانس و نرخ نمونه برداری بهینه، پس از انجام آزمایشهای متعدد برای پنج مؤلفه بالانس و بررسی نتایج خروجی یک نرخ نمونه برداری مناسب فرکانس 600 هرتز انتخاب گردید. ضمناً تعداد نمونه های برداشته شده برای رسیدن به دقت اندازه گیری مناسب برای فرکانس بسیار حائز اهمیت است زیرا خطای اندازه گیری فرکانس به طول زمان اندازه گیری بستگی دارد. اگر زمان T معرف M سیکل از سیگنال با فرکانس F باشد، فرکانس را می توان از فرمول زیر محاسبه کرد [۷]:

$$F = M/T \quad (1)$$

حداکثر خطای مطلق اندازه گیری زمان حدود نصف پیوند نمونه برداری است $(T_s/2)$ در نتیجه می توان حداکثر دامنه خطای فرکانس را بصورت زیر بیان نمود:



شکل ۶: چگونگی اجرای عملگر انتخاب روی فضای نمونه.

روش نشان داده شده دارای این برتری است که می توان کارایی الگوریتم ژنتیک را با افزایش نرخ جهش و ترکیب افزایش داد [۳]. با توجه به مقادیر برازندگی یک نسل جدید با انتخاب کروموزوم بهتر از بین فرزندان و پدران و با حذف دیگر کروموزومها بگونه ای که انداز جمعیت ثابت بماند، ایجاد می گردد. بعد از چند نسل الگوریتم به بهترین کروموزوم که نشان دهنده راه حل بهینه برای مسئله است، همگرا می گردد.

۶ - بررسی و تحلیل مؤلفه های مدل استاندارد دینامیکی

بررسی و تحلیل روی فایلهای خروجی آزمون مدل استاندارد دینامیکی در چند عدد ماخ با فرکانسهای ارتعاش اجباری (f_m) ۱، ۳، ۶ و هرتز، زاویه حمله (a) $(0, 2, 4, 6)$ درجه و دامنه های ارتعاشی (H) ۱ و ۵ سانتی متر در حالت های پیچشی و نوسانی عمودی انجام گرفته که نتایج تحلیل مدل در عدد ماخ ۱/۵ با فرکانس ارتعاش اجباری (f_m) ۱ و ۶ هرتز، زاویه حمله (a) صفر درجه و دامنه های ارتعاشی (H) ۱ و ۵ سانتی متر بر روی مؤلفه نیروی عمودی در حالت نوسانی عمودی بعنوان نمونه، با توجه به این مطلب که در دو وضعیت حرکتی ذکر شده این مؤلفه بیشترین تاثیرپذیری را داراست، ارائه می گردد [۲، ۱]. مؤلفه نیروی عمودی دارای نویز، تغییرات لحظه ای فاز، دامنه و اعوجاج است. برای حذف نویز و هارمونیکهای بالای ناشی از اعوجاج از فیلترهای دیجیتال استفاده گردید. فیلترهای دیجیتال به دو دسته، پاسخ ضربه نامحدود^۱ و پاسخ ضربه محدود^۲ تقسیم می شوند که

از آنجا که نتایج خروجی سنسورهای بالانس همواره با اغتشاش همراه است، قبل از پردازش و بدست آوردن ضرایب آیرودینامیکی مدل، باید این سیگنالهای اضافی و متفرقه از نتایج حذف شوند و علل پیدایش آنها مشخص گردد، که در ادامه تحقیق به آن می پردازیم.

۵ - ساختار الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک بخشی از دانش نوین پردازش تکاملی است که شامل محدوده در حال رشدی در زمینه هوش مصنوعی می باشد. این الگوریتم یک شیوه بهینه سازی احتمالی بوده که از الگوی تکامل طبیعی ایده گرفته اند [۵، ۶]. الگوریتم ژنتیک را می توان یک روش بهینه سازی تصادفی جهت دار دانست که به تدریج به سمت نقطه بهینه حرکت می کند. این الگوریتم با یافتن پاسخ بهینه و با استفاده همزمان از متغیرهای پیوسته و گسسته، عدم نیاز به پیوسته بودن، مشتق پذیر بودن یا یکنواخت بودن تابع هدف و عدم توقف در نقاط بهینه محلی و غیره آنرا برای حل بسیاری از مسائل مهندسی بسیار جذاب نموده است [۵، ۸]. در الگوریتمهای ژنتیک، در طی مرحله تولید نسل از سه عملگر ژنتیکی استفاده می شود. با تاثیر این عملگرها بر روی یک جمعیت، نسل بعدی آن جمعیت تولید می شود.

در این تحقیق عملگر ترکیب یک فرزند N_3 از دو والد N_1 و N_2 را بر اساس رابطه (۵) تولید می کند. در این رابطه R یک عدد تصادفی بین یک و صفر است با فرض اینکه N_2 از N_1 بدتر نیست یعنی $Fitness(N_2) \geq Fitness(N_1)$ برای مسائلی که به ماکزیمم سازی نیاز دارند و $Fitness(N_2) \leq Fitness(N_1)$ برای مسائلی که نیاز به مینیمم سازی دارند. با توجه به اینکه تابع هدف تعریف شده در این تحقیق توان سیگنال اغتشاش (N) است از حالت مینیمم سازی برای طراحی و بهینه سازی فیلتر FIR استفاده می شود [۳].

$$N_3 = R(N_2 - N_1) + N_2 \quad (5)$$

همچنین با توجه احتمال پائین عملگر جهش در طبیعت، در این تحقیق نرخ جهش ۱٪ در نظر گرفته می شود. عملگر انتخاب از بین کروموزومهای موجود در یک جمعیت، تعداد کروموزوم را برای تولید نسل انتخاب می کند شکل ۶ چگونگی انجام کار عملگر این تحقیق را نشان می دهد.

^۱-Infinite Impulse Response

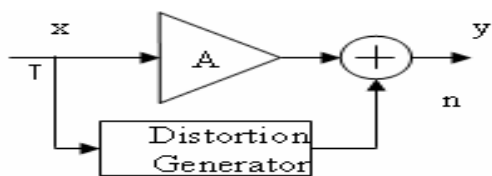
^۲-Finite Impulse Response

شدن می باشد که بعنوان تابع هدف انتخاب شده و هدف مینیمم کردن این تابع است.

۷- استفاده آگوریتم ژنتیک در بررسی و تحلیل

مؤلفه های مدل SDM

اندازه گیری قدرت نویز را نمی توان به آسانی انجام داد زیرا سیگنال علاوه بر اعوجاج تضعیف نیز می شود. بر این اساس مدلی از یک چنین سیستمی ارائه شده که شکل ۸ آنرا نشان می دهد [۲] که در آن سیگنال خروجی y از یک سیگنال اغتشاشی n و یک سیگنال تقویت شده خطی αx به صورت زیر تشکیل شده است:



شکل ۸: مدلی از یک سیستم با اغتشاش

$$y = \alpha x + n \quad (۶)$$

در رابطه (۶) ضریب بهره ای است که ماکزیمم سیگنال بدون اغتشاش را می دهد. توان سیگنال اغتشاش N را از رابطه زیر می توان پیدا کرد که در آن علامت ستاره نشان دهنده مزدوج مختلط و علامت بار نشان دهنده متوسط زمانی است. در این تحقیق، توان سیگنال اغتشاش N بعنوان تابع هدف قرار گرفته و کمینه کردن آن ملاک بهینگی انتخاب شده است.

$$N = \overline{nn^*} = \overline{(y - \alpha x)(y^* - \alpha^* x^*)} \quad (۷)$$

معادله (۷) را می توان بصورت زیر بسط داد:

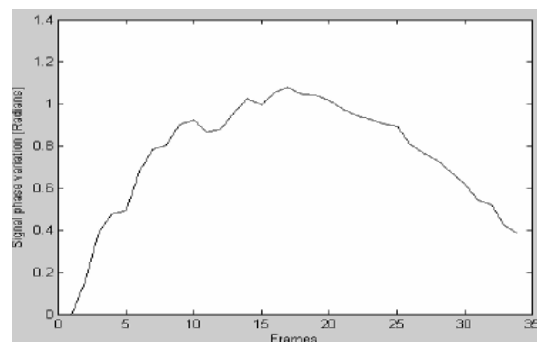
$$N = |y|^2 + |\alpha|^2 |x|^2 - \overline{\alpha x y^*} - \overline{\alpha^* x^* y} \quad (۸)$$

برای یافتن مقدار α که N را می نیمم می سازد مشتقات N نسبت به جزء حقیقی و موهومی α را بصورت زیر مساوی صفر قرار می دهیم:

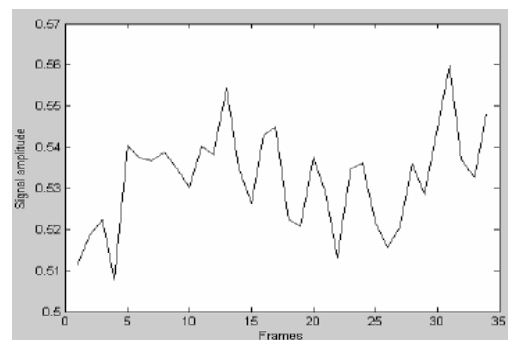
$$\left. \frac{\partial N}{\partial \text{real}(\alpha)} \right|_{\text{imag}(\alpha)} = \left. \frac{\partial N}{\partial \text{imag}(\alpha)} \right|_{\text{real}(\alpha)} = 0 \quad (۹)$$

در عملکرد و نحوه فیلتر نمودن بطور کلی با هم متفاوت هستند [۱۱، ۱۲، ۱۰]. با توجه به مزایای نسبی فیلترهای FIR نسبت به فیلترهای IIR، این نوع فیلتر جهت حذف سیگنالهای اضافی انتخاب شد [۲].

طراحی فیلتر مورد نظر این تحقیق با نرم افزار شبیه سازی مطلب (MATLAB) انجام گرفت شکل ۷-الف میزان اعوجاج فاز و شکل ۷-ب تغییرات دامنه مولفه نیروی عمودی را نشان می دهد.



شکل ۷-الف



شکل ۷-ب

شکل ۷: میزان اعوجاج فاز و تغییرات دامنه مولفه نیروی عمودی در عدد ماخ ۱/۵.

نکته مهمی که باید در این طراحی در نظر گرفت حذف حداکثر نویز و اعوجاج از سیگنال باعث افت دامنه و تغییراتی در فاز سیگنال اصلی می گردد با توجه به اینکه تغییر یک متغیر، همزمان تاثیرات مثبت و منفی بهمراه دارد. بنابراین باید بین این دو اثر تعادل برقرار نموده و هدف یافتن ترکیب بهینه و مناسب متغیرهای مختلف در راستای بهینه سازی تابع هدف باشد [۱۳]. برای این کار مشخصات فیلتر مورد نظر مانند پهنای باند، فرکانس قطع، فاز سیگنال و غیره بر اساس یک معیار ویژه تعیین گردند [۱۱، ۱۰، ۲]. معیار در این تحقیق میزان توان سیگنال اغتشاش باقیمانده در کانال پس از فیلتر

تغییرات فاز سیگنال خروجی با توجه به مولفه های ورودی و برازش کردن اعضای جمعیت بوسیله تابع برازندگی و در نظر گرفتن تابع جریمه در صورت تخلف از محدودیت در نظر گرفته شده، بهترین پاسخ را تولید می نماید.

برای کاربرد متغیرهای دامنه، فاز و فرکانس در الگوریتم ژنتیک، محدوده آنها را بر اساس مطالب مطرح شده فوق مشخص نموده محدوده دامنه (α) را بین $(\alpha - \Delta\alpha, \alpha + \Delta\alpha)$ ، فرکانس ارتعاشی (f_m) را بین $(f_m - \Delta f_m, f_m + \Delta f_m)$ و محدوده در نظر می گیریم. پس از تعیین محدوده متغیرهای طراحی، برای اعمال الگوریتم ژنتیک در این فضا، متغیرها به صورت دودویی کد می شوند. برای این کار هر متغیر در محدوده مشخص با فواصل مساوی (معمولاً به تعداد 2^n که n یک عدد صحیح) تقسیم می شود. با توجه به تعداد تقسیم ها، طول هر ژن محاسبه شده و از مجموع آنها، طول کروموزوم طراحی معادل با ۲۰ به دست می آید [۵].

برای طراحی و بهینه سازی، مطابق با الگوریتم شکل ۹، یک برنامه در جعبه ابزار GA در مطلب نوشته شده است تا محاسبات مربوط به طراحی و بهینه سازی صورت گیرد. این الگوریتم، ابتدا با تشکیل جمعیتی از کروموزوم ها شروع گردیده و سپس برازندگی یا مقدار تابع هدف برای هر کروموزوم محاسبه می شود.

با جایگزینی رابطه (۸) در رابطه (۹) و حل آن نتیجه می گیریم:

$$real(\alpha) = \frac{x^*y + xy^*}{2|x|^2}, \quad imag(\alpha) = \frac{x^*y - xy^*}{2j|x|^2} \quad (10)$$

با ترکیب معادلات در رابطه (۱۰) دامنه سیگنال واقعی بصورت زیر حاصل می شود:

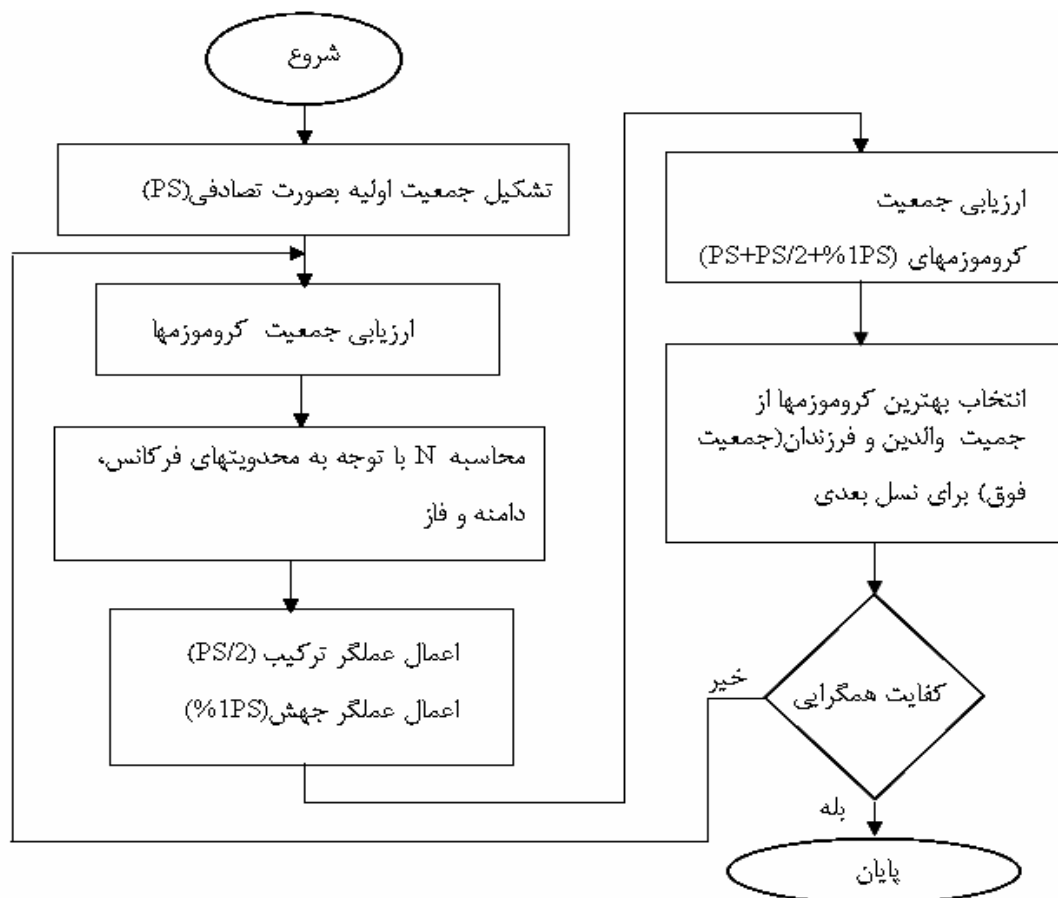
$$\alpha = \frac{\overline{x^*y}}{|x|^2} \quad (11)$$

توان اغتشاش با جایگزینی رابطه (۱۱) در رابطه (۸) پیدا می شود:

$$N = |y|^2 - |\alpha|^2 |x|^2 \quad (12)$$

توان سیگنال بدون اغتشاش که از آن نسبت سیگنال به اغتشاش را می توان محاسبه کرد برابر است با $S = |\alpha|^2 |x|^2$. به سادگی می توان نشان داد که $xn^* = x^*n = 0$ که دلالت بر آن دارد که سیگنال اغتشاش n با سیگنال ورودی x در زمان صفر همبستگی ندارد. این روش اندازه گیری را تنها در صورتی می توان بکار برد که سیگنال مرجع x در اختیار باشد.

از آنجائیکه شکل موج سیگنال تحریک سینوسی است با تولید یک موج سینوسی مرجع و با استفاده از فرمولهای (۱۱) و (۱۲) می توان مقدار نویز کانال را اندازه گیری کرد. مشکل اصلی که در بکار گیری این روش مشاهده می شود این است که دامنه و فاز سیگنال دریافتی بطور لحظه ای با زمان تغییر می کند شکل ۷. فاز سیگنال مرجع در پله های چند درجه ای تغییر داده شود، تا اینکه نویز خروجی کمتر شود [۲]. از مشکلات دیگر این روش که می بایستی بر آن غلبه نمود خطای اندازه گیری فرکانس سیگنال تحریک است که دقت آن می تواند اندازه گیری فاز را تحت تأثیر قرار دهد زیرا وسائل تنظیم فرکانس تحریک دارای خطای ۱۰ درصدی هستند که این خطا زیاد است. برای کاهش این خطاها و بدست آوردن بهترین منحنی سیگنال اصلی در این تحقیق از روش الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. این روش با تست سریع تعداد زیادی از نقاط کاندید شده و انتخاب فیلتر بهینه مبنی بر کاهش حداکثری قدرت نویز، حداقل افت دامنه و



شکل ۹: فرآیند طراحی و بهینه سازی روش الگوریتم ژنتیک مورد نظر تحقیق.

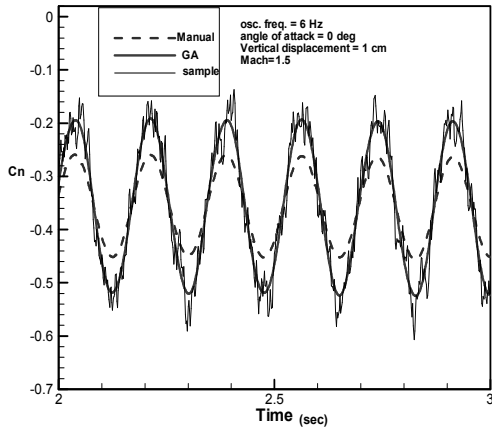
پیش از محاسبه برازندگی، عملگرهای الگوریتم ژنتیک روی نسل اعمال می شوند. تشکیل نسل های بعد تا جایی ادامه می یابد که برازندگی کروموزوم ها بهبود چشم گیر و قابل توجهی نداشته باشند. همچنین به علت استفاده از نخبه گرایی در الگوریتم ژنتیک که در هر نسل بهترین نمونه را مستقیماً به نسل بعد انتقال می دهد، بهتر شدن نمونه ها در هر نسل نسبت به نسل قبل تضمین شده است. در هر صورت الگوریتم ژنتیک قابلیت یافتن جواب بهینه را دارد. در واقع این الگوریتم وظیفه خود را به خوبی انجام می دهد و حتی در بین جواب های غیر دقیق نیز بهترین را پیدا می کند.

۸- ارزیابی عملکرد خروجی الگوریتم ژنتیک

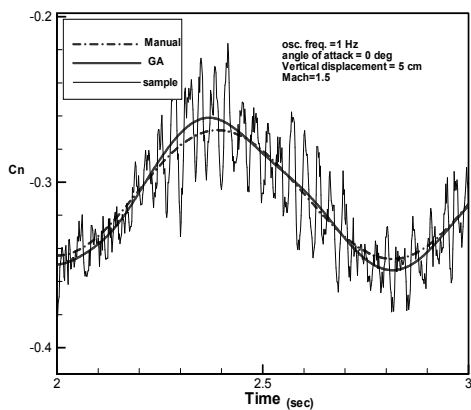
برنامه به ازای مقادیر مختلف پارامترهای الگوریتم ژنتیک، یعنی جمعیت هر نسل، احتمال ترکیب و احتمال جهش اجرا

شده است. همگرایی و تسریع در رسیدن به جواب بستگی به انتخاب مناسب این پارامترها دارد. در این تحقیق بهترین نتایج برنامه، به ازای جمعیت برابر ۲۰۰، احتمال ترکیب $(p_c = 0.92)$ و احتمال جهش $(p_m = 0.01)$ به دست آمده است. با این مقادیر برنامه چندبار اجرا شده است. از آنجا که شروع الگوریتم ژنتیک تصادفی می باشد، در صورت به دست آمدن یک جواب در چندین اجرای متوالی، اینطور استنباط می شود که جواب بهینه مشخص شده است و در هر نسل، به ازای هر نمونه از جمعیت، توان سیگنال اغتشاش N محاسبه می گردد. شکل ۱۰ چند نمونه از سیگنال نیروی عمودی اغتشاشی را به همراه آرایه های خروجی الگوریتم ژنتیک بکار رفته که نمایش بهتری به لحاظ افت بسیار کمتر دامنه و همپوشانی فازی و فرکانسی سیگنال از آرایه های دستی (خروجی فیلتر بدون اثر روش GA) انتخاب شده برای

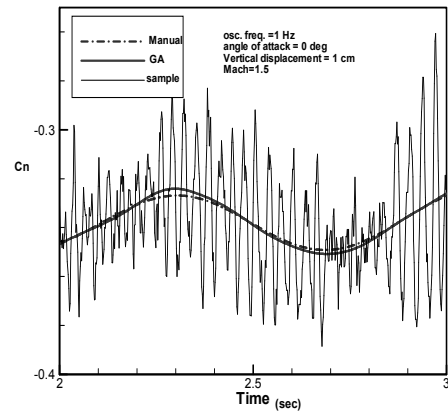
سیگنال نیروی عمودی دارد، در عدد ماخ ۱/۵ و با فرکانسهای ارتعاش اجباری (f_m) ۶ و ۱ هرتز، زاویه حمله (a) صفر درجه و دامنه های ارتعاشی (H) ۱ و ۵ سانتی متر نشان می دهد.



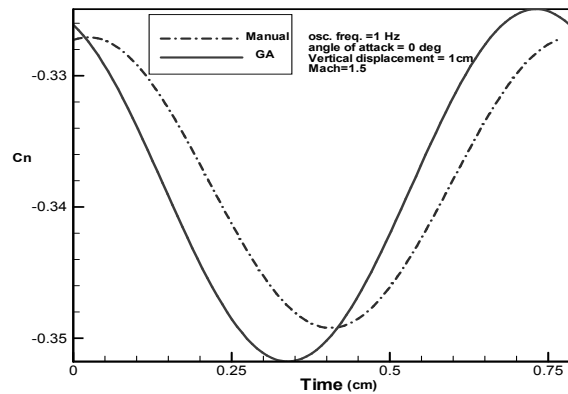
الف-۱۰



ب-۱۰



ج-۱۰

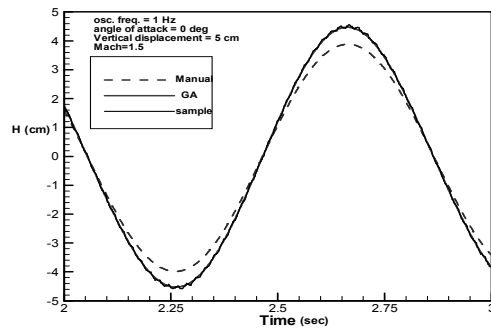


د-۱۰

شکل ۱۰: مقایسه خروجی الگوریتم ژنتیک و روش دستی روی سیگنال C_n .

جهت کنترل و محاسبه زاویه حمله دینامیکی مدل دامنه ارتعاشی (H) ۱ و ۵ سانتی متر از یک پتانسیومتر خطی با دقت بالا (۰/۰۱) استفاده شده است که سیگنال خروجی آن قبل و بعد از فیلتر شدن به همراه خروجی فیلتر بهینه سازی شده به روش الگوریتم ژنتیک که به لحاظ پارامترهای مقایسه ای بیان شده نمایش بهتری دارد در شکل ۱۱ آمده است.

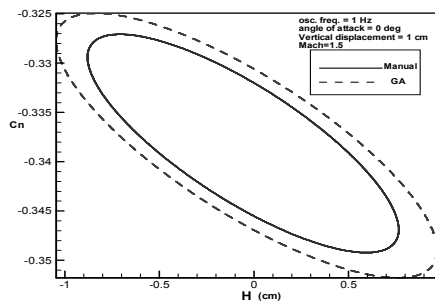
با توجه به اینکه زاویه حمله استاتیکی صفر بوده و مدل زاویه حمله دینامیکی در اثر ارتعاش اجباری متناسب با دامنه نوسانی دریافت می کند و بررسی ضرایب آیرودینامیکی بسیار حائز اهمیت است به همین دلیل نتایج خروجی روشهای بیان شده برای ضریب C_n بر حسب H در شکل ۱۲ آمده است.



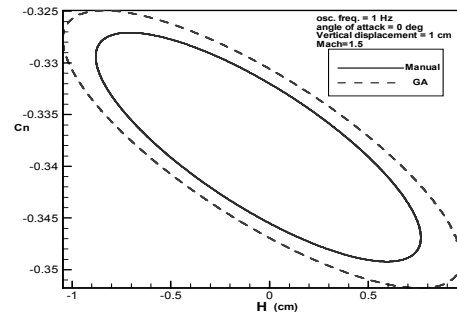
د-۱۱

شکل ۱۱: مقایسه خروجی الگوریتم ژنتیک و روش دستی

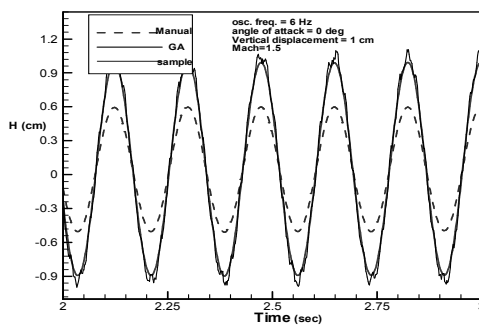
روی سیگنال دامنه ارتعاشی H .



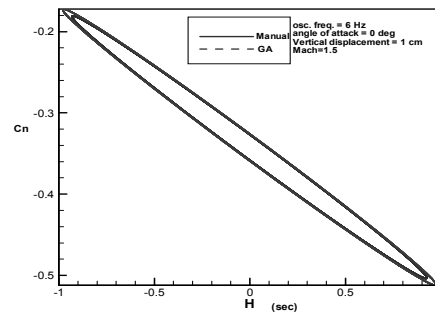
الف-۱۱



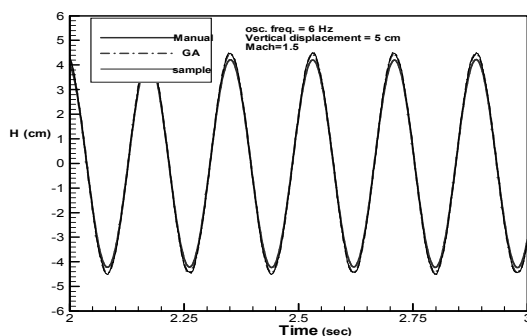
الف-۱۲



ب-۱۱



ب-۱۲



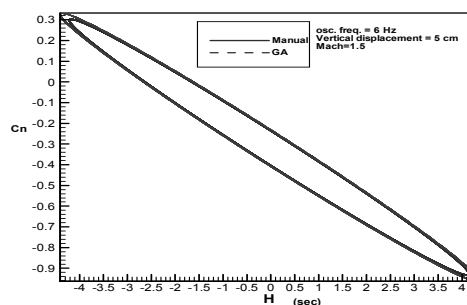
ج-۱۱

۹ - نتیجه گیری

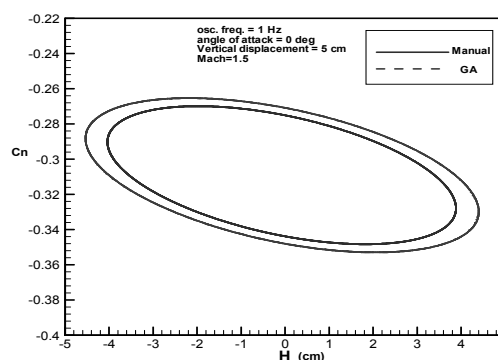
آزمونهای تونل باد فرآیندی پیچیده، طولانی مدت، پرهزینه و دارای خطرات جانبی (صدای زیاد، مخازن پرفشار و ...) می باشد. لذا، آزمونهای تونل باد باید با نهایت دقت، ایمنی و قابلیت اطمینان بالا انجام گیرد تا از تکرار انجام آزمونها جلوگیری شود. در این تحقیق روشی جدید برای ارزیابی و تحلیل کیفیت سیگنال براساس حداقل سازی نویز درون کانال بر اساس روش الگوریتم ژنتیک ارائه گردید. معیار ارائه شده در مقایسه با روش مرسوم پاسخ های مناسب و بهینه را در کمترین زمان و بالاترین دقت استخراج و آماده تحلیل از دید آیرودینامیکی می نماید. این نتایج نقش عمده ای در کاهش انجام آزمونهای تکراری مدل و نهایتا کاهش زمان و هزینه انجام آزمونها را به همراه دارد.

مراجع

1. Soltani, M.R. and Davari, A.R., "Experimental Investigation of the Dynamic Stability Derivatives for a Fighter Model", ICAS Conf., Japan, 2004.
2. Kangavari, M.R, Berangi R., and Hassani-Ahangar, M.R., "Investigation of Error Sources on the Balance and the Standard Dynamic Model in the Wind Tunnel", ICAS Conf., Hamburg Germany, 2006.
- 3- حسنی آهنگر، م.ر.، رحمانی، ع. و حقیری، ع.، "طراحی فیلتر دیجیتال بهینه آزمونهای دینامیکی در تونل باد بر اساس الگوریتم ژنتیک"، ششمین کنفرانس انجمن هوافضا، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، چکیده مجموعه مقالات، ص ۵۹ تا ۶۴، ۱۳۸۵.
4. Sunada, S., Kawachi, K., Matsumoto, A., and Sakaguchi, A. "Unsteady Forces on a Two-dimensional Wing in Plunging and Pitching Motions," AIAA J., Vol. 39, No.7, 2001.
5. Mitchell, M, "An Interoduction to Genetic Algorithms", MIT Press, Cambridge, MA, 1999.
6. Hajela, P. "Genetic Search-Optimization Problem", AIAA J., Vol. 28, No.7, pp.1205-1210, 1990.
7. Goldberg, D.E. "Genetic Algorithms in Search", Optimization and Machine Learning, Amesterdam, Addison-Wesley, 1989.



ج-۱۲



د-۱۲

شکل ۱۲: مقایسه خروجی الگوریتم ژنتیک و روش دستی روی سیگنال H بر حسب C_n .

نکته آخر اینکه الگوریتم ژنتیک قابلیت یافتن حالت بهینه در میان حالات بسیار زیاد را دارا می باشد. در این روش طول کروموزوم در برنامه بهینه سازی ۲۰ ژن بوده یعنی ۲۰ حالت وجود دارد. از طرفی جمعیت هر نسل ۲۰۰ بوده و برنامه تا ۷۵ نسل اجرا شده است. یعنی الگوریتم ژنتیک حداکثر ۷۵×۲۰۰ حالت را با هم مقایسه کرده و با ۱۵۰۰۰ طراحی در زمان حدود دوازده (۱۲) دقیقه (با کامپیوتر پنتیوم چهار با ۲/۴ مگاهرتز) به جواب نهایی رسیده است که برای بررسی دستی ۲۰ حالت، زمانی طولانی مورد نیاز خواهد بود.

- Interferogram Data from Airborne Passive Fourier Transform Infrared Spectrometry”, *Vibrational Spectroscopy*, In Press, Corrected Proof, Available Online, 2004.
13. Rogers, J.L., “Optimum Actuator Selection with a Genetic Algorithm”, NASA Langley Research Center, University at Buffalo, 2001.
 14. Lu, H.C. and Tzeng, S.T., “Design of 2-D FIR Digital, Using McClellan Transformation with Genetic Algorithms”, *The IEEE Int. Conf. on Evolutionary Computation*, pp. 265-270, 1998.
 15. Shian, T.T., “Genetic Algorithm Approach for Designing 2-D FIR Digital Filters with 2-D Symmetric Properties”, *Signal Processing*, pp. 1883–1893, Vol. 3, No. 84, 2004.
 8. Man, K.F. and Tang K.S., “Genetic Algorithms for Control and Signal Processing”, *American Control Conf.*, pp. 1541-1555, California, 1997.
 9. OTT, H.W. “Noise Reduction Techniques in Electronic System,” *Signal Processing*, 2000.
 10. Soo, C.P. and Chien C.T, “Design of Equiripple Log FIR and IIR Filters Using Multiple Exchange Algorithm”, *Signal Processing*, Volume 59, No. 3, pp. 291-303, 1997.
 11. Shefeng, Y. and Yuanliang, M., “A Unified Framework for Designing FIR Filters, with Arbitrary Magnitude and Phase Response”, *Digital Signal Processing*, In Press, Available Online, 2004.
 12. Toshiyasu, t., Gary, w. and Roger, J., *Infinite Impulse Response Filters for Direct Analysis of*