

بهینه‌سازی بوردهای الکترونیکی مجهز به دو بسته BGA برای بهبود پاسخ در ارتعاشات تصادفی

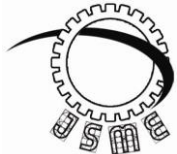
میلاذ شهسواری^{۱*}، مسعود عسگری^۲

* نویسنده مسئول: mech_sh@yahoo.com

واژه‌های کلیدی	چکیده
<p>بورد مدار چاپی، فرکانس طبیعی، ارتعاشات تصادفی، روش پاسخ سطح</p> <p>تاریخ ارسال: ۹۵/۰۹/۱۲</p> <p>تاریخ بازنگری: ۹۵/۱۰/۱۸</p> <p>تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۰۱</p>	<p>طیف وسیعی از قطعات در طول دوره عمر خود، در بیشتر مواقع تحت بارگذاری دینامیکی و کمتر تحت بارهای استاتیکی قرار می‌گیرند. مهمترین بارگذاری دینامیکی در دوره عمر قطعات، ارتعاشات تصادفی می‌باشد. برای ارزیابی چرخه عمر قطعات، معمولاً تحلیل خستگی انجام شده و مقاومت قطعات در محیط کاری، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. خارج از محدوده قرار گرفتن فرکانس طبیعی قطعات، نسبت به حوزه فرکانسی ارتعاش تصادفی، موجب شده تا از پدیده تشدید فاصله گرفته که این امر موجب بالا بردن عمر کاری آن می‌شود. در این تحقیق یک بورد مدار چاپی که دارای دو قطعه الکترونیکی BGA است، مورد مطالعه قرار گرفته و توسط روش‌های خاص بهینه‌سازی، مقدار فرکانس طبیعی آن بررسی و بهینه شده است. بهینه‌سازی با دو الگوریتم مختلف انجام شده و پاسخ‌های بدست آمده از هر الگوریتم، مقایسه و صحت-گذاری شده است. ضمناً برای بدست آوردن پاسخ در هر طیف ارتعاش، از نرم افزار آباکوس استفاده شده است.</p>

۱- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران.

۲- استادیار، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.



Journal of
Solid Mechanics
in Engineering

Journal of Solid Mechanics in Engineering

<http://jsme.iaukhsh.ac.ir>



Optimization of Electronic Boards Equipped with the BGA Package to Improve the Response in Random Vibration

M. Shahsavari^{1,*}, M.Asgari²

* Corresponding Author: mech_sh@yahoo.com

Abstract:

A wide range of electronic components are affected by dynamic loading during its lifetime mostly included variable frequencies and amplitude called random vibration. In order to evaluate the life cycle and endurance resistance of such components, fatigue analysis under different working condition is necessary. An effective solution for improving life cycle of the components could be making the natural frequencies of the components far away from the range of loading frequencies in random loading. In this paper a printed circuit board (PCB) with two BGA electronic components has been considered in order to optimize natural frequency. The PCB simulated using ABAQUS FEM software and published experimental test has been used for validation of results. The optimization has been performed by two different algorithms including GA and a DOE based RSM. The obtained responses have been compared and validated.

Key words:

PCB.
Natural frequency.
Random vibration.
RSM.

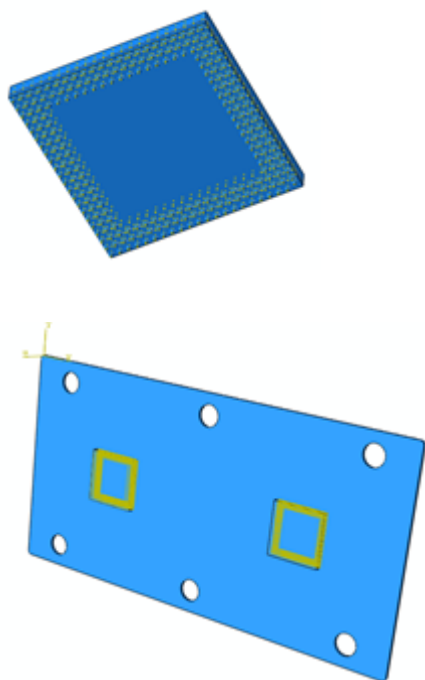
1- MSc Student, Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Tehran North Branch, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, K.N. TOOSI University of technology, Tehran, Iran.

۱- مقدمه

فرکانس کم مقایسه شده است. ضمناً در این تحقیق بمنظور استخراج نتایج مورد نظر، از آزمایش تجربی و شبیه‌سازی استفاده شده است. در سال ۲۰۱۵ مقاله‌ای با عنوان خصوصیات الکتریکی و مکانیکی اتصالات سیم طلا در بسته‌های الکترونیکی تحت شرایط آزمون ترکیبی دما و ارتعاش توسط میرگیزودی [۵] از مرکز ولفسون دانشگاه لاقبوروق ارائه شده که ترکیب وجود شرایط ارتعاش و دما را بر روی اتصالات موجود در بوردهای الکترونیکی مورد بحث قرار داده است. اف ایکس چه [۶] از دانشگاه نانیانگ شکست خستگی اتصالات لحیم PQFP تحت بارگذاری ارتعاش تصادفی را بررسی نموده است. وی در سال ۲۰۱۵ قابلیت اطمینان اتصالات لحیم‌کاری در بسته بندی سخت مربعی پلاستیک (PQFP) که بر روی مدار چاپی PCB توسط اتصال لحیم‌کاری بدون سرب 3.8A-0.7CU نصب شده در برابر تست ارتعاش تصادفی را مطالعه کرده است. ضمناً از یک دوربین سرعت بالا برای گرفتن عکس از پاسخ دینامیکی اتصالات PCB و PQFP در مدت زمان تست ارتعاش تصادفی استفاده نموده است. فانگ لیو [۷] از دانشگاه واهان تکستیل چین در سال ۲۰۱۴ بیان می‌کند که روند اخیر تکنولوژی الکترونیک، کوچک‌سازی بوردها و افزایش چگالی آنها را نشان می‌دهد که این مسأله افزایش احتمال شکست تحت شوک و ارتعاش را موجب می‌شود. در تحقیقات صورت گرفته توسط وی، ابتدا تحلیل مودال تجربی بمنظور بدست آوردن اولین فرکانس طبیعی و ویژگی‌های دینامیکی آن انجام می‌شود. سپس مقاومت اتصالات توسط آزمون ارتعاش تصادفی مورد مطالعه قرار گرفته و فرکانس طبیعی اساسی آن به عنوان فرکانس مرکزی برای آزمون خستگی ارتعاش در نظر گرفته شده است. ترکیب تأثیرات ارتعاشات مکانیکی و چرخه حرارتی بر روی قابلیت اطمینان اتصالات لحیم‌کاری CCGA توسط بینگ دینگ [۸] از مرکز کنترل مهندسی بیجینگ چین در سال ۲۰۱۵ مورد بررسی قرار گرفته است. در تحقیق صورت گرفته ساختار میکروسکوپی و انتشار ترک در اتصالات لحیم‌کاری CCGA بعد از آزمون ارتعاش مکانیکی و چرخه حرارتی مورد بررسی قرار گرفته است.

شکست در تجهیزات الکترونیکی می‌تواند به علل مختلفی مانند شوک/ضربه، ارتعاشات و شکست حرارتی تقسیم بندی شوند. بسیاری از تجهیزات میکروالکترونیکی در محیط‌های شدید ارتعاشی مانند کاربردهای نظامی و خودروسازی استفاده می‌شوند. ارتعاش تصادفی یکی از مهمترین شرایط محیطی اعمال شده بر روی تجهیزات می‌باشد که وجود فرکانس طبیعی قطعه در بازه فرکانسی ارتعاشی، مشکلات را بیشتر می‌کند. در زمینه تحلیل خستگی این قطعات در برابر ارتعاشات تصادفی دانشمندان زیادی تحقیق نموده‌اند. یانگ [۱] از دانشگاه اینها چین در سال ۲۰۱۵ تحلیل تجربی و عددی بر روی PBGA برای استخراج قابلیت اطمینان اتصالات لحیم‌کاری تحت ارتعاش تصادفی با حضور گرما انجام داده است. در سال ۲۰۱۱، دایا [۲] از دانشگاه نیویورک یک روش برای تخمین عمر خستگی تجهیزات الکترونیک تحت بارگذاری ارتعاش تصادفی را بر اساس آزمون ارتعاش و تحلیل المان محدود ارائه داده است. بورد طراحی شده با بسته BGA بر روی شیکر الکترو دینامیکی نصب شده و تحت تحریک ارتعاشات مختلف قرار گرفته است. ضمناً روش المان محدود را برای تخمین عمر خستگی بکار برده و در نهایت محاسبه عمر خستگی اتصالات لحیم‌کاری بر اساس شمارش چرخه خستگی Rain flow، منحنی S-N و قانون فون میسر بهینه شده با نتایج آزمون واقعی مقایسه و یکسان شده‌اند. تأثیر حرارت بالا بر روی پاسخ PCB و قابلیت اطمینان اتصال لحیم‌کاری تحت بارگذاری ارتعاشات در سال ۲۰۱۵ توسط ژانگ [۳] از دانشگاه هربین چین مورد بررسی قرار گرفته است. چولمین چو [۴] از دپارتمان مهندسی مکانیک امریکا در سال ۲۰۱۴ مقاله‌ای در خصوص خستگی اتصالات لحیم‌کاری میکرو الکترونیک مونتاژی تحت ارتعاش تصادفی ارائه داده است. این کار به بررسی مقاومت خستگی اتصال لحیم‌کاری در یک قطعه الکترونیکی تحت ارتعاش هارمونیک و تصادفی می‌پردازد که ویژگی‌های تاریخچه تنش تحت بارگذاری ارتعاش با دامنه کم و فرکانس بالا، و بارگذاری چرخه‌ای حرارت با دامنه بالا و



شکل (۱) مدل طراحی شده در نرم افزار آباکوس



شکل (۲) برد الکترونیکی موجود در مقاله دایا [۲]

۲-۱- مشخصات هندسی

- برد مورد بررسی دارای مشخصات ابعادی ذیل می باشد:
- برد (PCB): برد الکترونیکی که پایه تجهیزات بوده، یک ورق مستطیلی با ابعاد 100 در 50 و ضخامت 0.6 میلی-متر می باشد.
 - قطعه الکترونیکی (BGA): قطعه مورد نظر یک ورق مربعی 12 در 12 با ضخامت 0.8 میلی متر است.
 - پایه BGA (Substrate): این قطعه واسط یک ورق مربعی با ابعاد 12 در 12 و ضخامت 0.3 میلی متر می باشد.

هدف از این تحقیق، بهینه سازی پاسخ یک برد الکترونیکی تحت ارتعاش تصادفی می باشد. در صورتی که مقدار فرکانس طبیعی خارج از حوزه فرکانسی ارتعاش تصادفی اعمال شده به قطعات باشد، از پدیده تشدید فاصله گرفته و موجب بالا رفتن عمر کاری می شود. در این تحقیق برد الکترونیکی ارائه شده توسط دایا [۲]، مدل سازی شده و مقدار فرکانس طبیعی بدست آمده از FEM با مقدار درج شده در مقاله، صحت گذاری می شود. پس از اطمینان از صحت مدل المان محدود، با در نظر گرفتن چند پارامتر تأثیر گذار در مقدار فرکانس طبیعی، سعی در بهینه سازی آن (یعنی افزایش مقدار فرکانس طبیعی) می شود. در واقع کاری که این تحقیق را نسبت به کارهای گذشته متمایز می نماید، بهینه سازی صورت گرفته در فرکانس طبیعی برد می باشد.

۲- تشریح مسأله

برد مدل سازی شده مطابق با مقاله دایا در شکل (۱) نمایش داده شده که مقادیر فرکانس طبیعی استخراج شده می بایست با نتایج برد نشان داده شده در شکل (۲)، مقایسه و صحت گذاری شود. پس از آن فرآیند بهینه سازی انجام خواهد شد. بدین منظور از روش بهینه سازی پاسخ سطح (Response Surface Method) یا به اختصار از RSM استفاده می شود. در این مسأله متغیر خروجی «فرکانس طبیعی برد» و متغیرهای ورودی، پارامترهایی مانند ضخامت برد، طول برد و ... می باشد. در این تحقیق برای استفاده از این تکنیک، از نرم افزار Design Expert استفاده شده است. در واقع پس از مدل سازی و صحت گذاری مدل در نرم افزار Abaqus، پارامترهای تأثیر گذار در مقدار فرکانس طبیعی و سطوح مورد بررسی را وارد نرم افزار Design Expert کرده و فرایند بهینه سازی انجام می شود.

۲-۴- بهینه سازی

بورد طراحی شده در دوره عمر کاری، تحت ارتعاشات با فرکانس‌های مختلف قرار می‌گیرد که وجود فرکانس طبیعی در این محدوده، موجب تشدید خواهد شد. هر چه مقدار فرکانس طبیعی بورد بالاتر رود، از ایجاد این پدیده جلوگیری خواهد شد. در این تحقیق سعی در بهینه سازی فرکانس طبیعی (بیشترین مقدار) به ازای تغییرات محدود برخی از پارامترهای بورد می‌باشد. پارامترهای متغیر و مقادیر مجاز آن در جدول شماره (۲) نشان داده شده است.

جدول (۲) متغیرهای طراحی و سطوح آن

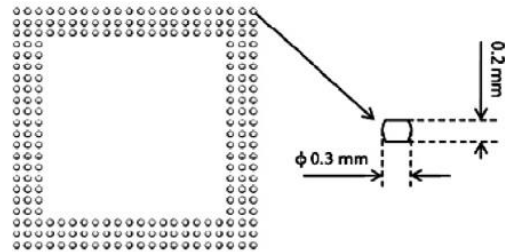
پارامتر	ضخامت صفحه (mm)	تعداد سوراخ‌های مقید شده	شعاع سوراخ (mm)	شعاع فیلت بورد (mm)
سطح یک	۰/۴	۲	۲	۰/۵
سطح دو	۰/۶	۴	۳	۱/۰
سطح سه	۰/۸	۶	۴	۱/۵

می‌توان توسط انجام آزمایش در تمامی حالات ممکن، بهترین حالت (بیشترین مقدار فرکانس طبیعی) را بدست آورد. ولی برای انجام چنین کاری نیازمند ۸۱ آزمایش مختلف می‌باشیم. حال آنکه توسط روش بهینه سازی RSM و استفاده از نرم افزار Design Expert، پس از طراحی آزمایش و کم کردن تعداد آن، بهترین حالت استخراج می‌شود.

۳- مدلسازی عددی و صحه گذاری آن

مدلسازی در نرم‌افزار آباکوس صورت گرفته که المانها بصورت تغییر شکل پذیر، از نوع C3D8R و به تعداد ۶۶۰۲۱۶ می‌باشد. تعداد المانها در بورد ۱۳۹۰۴، در BGA ۸۸۲ در لحیم ۱۴۰۸ و در قطعه واسط ۱۲۵۰ است. مقدار فرکانس طبیعی از نرم‌افزار بدست آمده و مقدار آن با مقادیر ذکر شده در مقاله دایا [۲] مقایسه شده است. مقدار فرکانس طبیعی بدست آمده 296.87 Hz می‌باشد و شکل مود آن در شکل (۵) نشان داده شده که با توجه به هم‌پوشانی مناسب با نتایج تحقیق دایا، مدل صحه گذاری شده است.

- لحیم (Solder): قطعات لحیم که در ردیف‌های سه تایی و در هر ردیف به تعداد ۲۲ عدد در زیر BGA قرار دارد، دارای مشخصاتی مانند آنچه در شکل شماره (۳) نشان داده شده، می‌باشد.



شکل (۳) مشخصات لحیم در بورد

۲-۲- خواص مواد

خواص مواد قطعات استفاده شده، در جدول شماره (۱) نشان داده شده است.

جدول (۱) خواص مواد قطعات

نام قطعه	مدول الاستیسیته (Gpa)	ضریب پواسون	چگالی (Kg/m3)
بورد PCB	۲۸	۰/۲۸	۳۴۰۰
قطعه پایه (Substrate)	۲۲	۰/۲۸	۲۰۰
قطعه BGA	۲۰	۰/۳	۱۸۹۰
لحیم	۵۳/۳	۰/۳۵	۷۴۴۰

۳-۲- مشخصات ارتعاشی

مقادیر فرکانس طبیعی به همراه شکل مودهای بورد مقاله دایا [۲]، در شکل شماره (۴) نشان داده شده است.

	First mode	Second mode	Third mode
FEA (Hz)	281	519	768
Experiment (Hz)	282	521	757
FEA			
Experiment			

شکل (۴) فرکانس طبیعی و شکل مود مقاله دایا [۲]

جدول (۴) نتایج آماری اولیه

انحراف	میانگین	مقدار حداکثر	مقدار حداقل	واحد
۵۰۴/۶۷۴	۵۷۱/۰۱۶	۱۷۷۷/۷	۱۴۹/۵۹	Hz

۶- تحلیل نتایج بدست آمده

نتایج بدست آمده را تحلیل کرده تا تابع هدف ذکر شده در معادله (۱) بدست آید. نمودار شکل های شماره (۶) و (۷) و (۸) تغییرات مقدار فرکانس طبیعی را با تغییر در سطوح دو پارامتر دیگر بصورت سطوح سه بعدی نمایش داده است.

$$\ln(\text{Frequency}) = \quad (1)$$

$$+5.70218$$

$$+0.17902 * \text{PCB Thickness}$$

$$+0.89205 * \text{Nom Of Hole}$$

$$+0.16401 * \text{Radius Of Hole}$$

$$-8.83183\text{E-}004 * \text{Fillet}$$

$$+0.029089 * \text{PCB Thickness} * \text{Nom Of Hole}$$

$$-0.038295 * \text{PCB Thickness} * \text{Radius Of Hole}$$

$$+3.31892\text{E-}003 * \text{PCB Thickness} * \text{Fillet}$$

$$+0.022211 * \text{Nom Of Hole} * \text{Radius Of Hole}$$

$$-1.57232\text{E-}003 * \text{Nom Of Hole} * \text{Fillet}$$

$$-4.08120\text{E-}003 * \text{Radius Of Hole} * \text{Fillet}$$

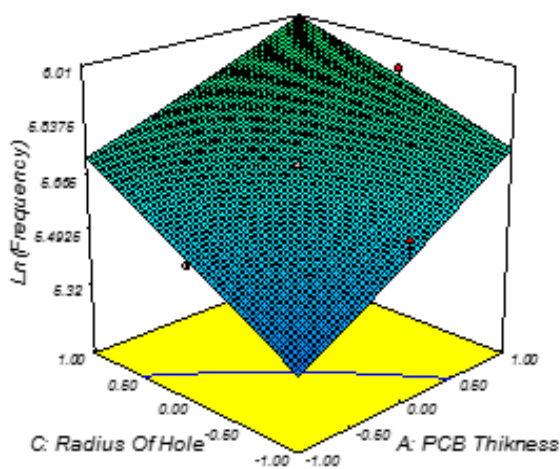
$$+7.73314\text{E-}003 * \text{PCB Thickness}^2$$

$$+0.53103 * \text{Nom Of Hole}^2$$

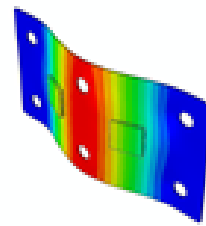
$$-6.77065\text{E-}003 * \text{Radius Of Hole}^2$$

$$+1.15934\text{E-}003 * \text{Fillet}^2$$

که در این رابطه $\ln(\text{Frequency})$ لگاریتم طبیعی فرکانس طبیعی، PCB Thickness ضخامت، Nom Of Hole تعداد سوراخهای مقید شده، Radius Of Hole شعاع سوراخ ها و Fillet مقدار شعاع پخ مورد می باشد.



شکل (۶) تغییرات فرکانس طبیعی با تغییر دو پارامتر ضخامت مورد و شعاع سوراخها



شکل (۵) فرکانس طبیعی و شکل مود مقاله دایا [۲]

با توجه به مقدار فرکانس طبیعی محاسبه شده و مقدار فرکانس طبیعی بدست آمده در مقاله دایا که در شکل ۴ نشان داده شد، مقدار خطا تقریباً ۵ درصد می باشد. این مقدار خطا در مقادیر ابعادی که در مقاله بطور دقیق ذکر نشده، قابل توجیه است. شایان ذکر است که در مقاله دایا مقادیر دقیق ابعادی قطعات BGA و Substrate بطور دقیق ذکر نشده که با توجه به ابعاد دیگر قطعات و اشکال موجود، تخمین زده شده است.

۴- طراحی آزمایش

بمنظور طراحی آزمایشات از نرم افزار Design Expert استفاده شده و پس از وارد کردن پارامترهای طراحی و سطوح هر یک، و تعیین مقدار آلفا مطابق جدول شماره (۳)، آزمایشات لازم برای تعیین مقدار بهینه فرکانس طبیعی استخراج می شود. انجام هر آزمایش در نرم افزار Abaqus انجام و نتایج آن ثبت می شود.

جدول (۳) تنظیم سطوح آزمایش با ضریب آلفا

آلفا	+۱	۰	-۱
ضخامت صفحه	۰/۸	۰/۶	۰/۴
تعداد سوراخهای مقید شده	۶	۴	۲
شعاع سوراخ	۴	۳	۲
شعاع فیلت	۱/۵	۱/۰	۰/۵

۵- بررسی آماری نتایج بدست آمده

نتایج بررسی اولیه آزمایشهای صورت گرفته در جدول شماره (۴) آمده است. در آزمایشات صورت گرفته بیشترین مقدار فرکانس طبیعی ۱۷۷۷.۷ Hz، کمترین ۱۴۹.۵۹ Hz، میانگین ۵۷۱.۰۱۶۷ و انحراف از آن ۵۰۴.۶۷۱ می باشد.

با توجه به بررسی نمودارهای ترسیم شده می‌توان نتیجه گرفت که تغییر در تعداد سوراخ‌های مقید شده بیشترین تأثیر و تغییر در شعاع پخ کمترین تأثیر را در پاسخ دارد.

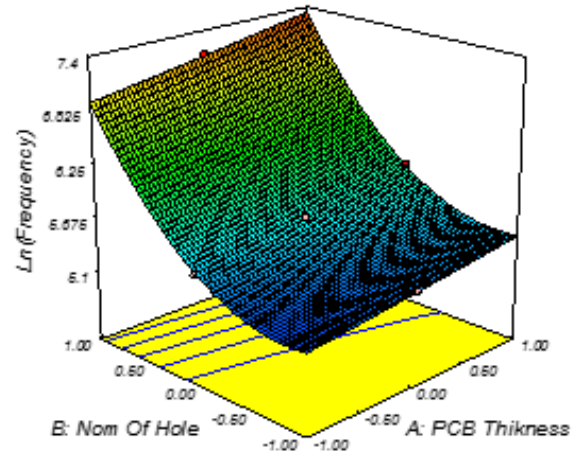
۷- بهینه‌سازی فرکانس طبیعی

پس از استخراج تابع هدف که در آن ارتباط بین فرکانس طبیعی و پارامترهای متغیر بیان شده است، مطابق جدول شماره (۵) وضعیت‌های پیشنهادی برای تابع هدف و قیود موجود بدست می‌آید.

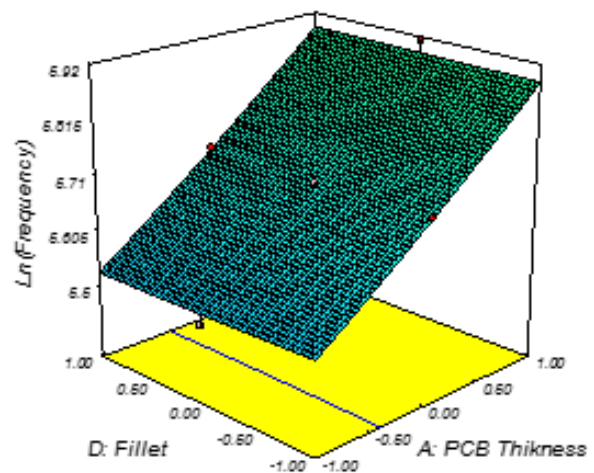
جدول (۵) شرایط پیشنهادی برای بهینه‌سازی

شرایط مطلوب	Ln(Frequency)	شعاع پخ	شعاع سوراخ	تعداد سوراخ	ضخامت برد
۱	۷/۴۸۴۰۳۸	-۰/۵۸	۱	۱	۱
۱	۷/۴۸۳۵۱۴	-۰/۹۸	۰/۹۹	۱	۰/۹۹
۱	۷/۴۸۳۲۰۸	-۰/۷۳	۰/۹۹	۱	۰/۹۹
۱	۷/۴۸۳۱۶۱	-۰/۶۹	۱	۱	۱
۱	۷/۴۸۳۱۴۰	-۰/۴۵	۱	۱	۱
۰/۹۹۹۶۰۹	۷/۴۸۲۱۱۰	-۰/۵۷	۱	۱	۰/۹۹
۰/۹۹۹۳۲۶	۷/۴۸۱۴۰۹	۰/۲۹	۱	۱	۱
۰/۹۹۹۲۷۸	۷/۴۸۱۲۸	۰/۲۸	۱	۱	۱
۰/۹۹۹۰۳۸	۷/۴۸۰۶۹۵	۰/۵۶	۱	۱	۱
۰/۹۹۸۶۹	۷/۴۸۰۵۲۴	۰/۵۴	۱	۱	۱
۰/۹۹۸۱۷	۷/۴۷۸۵۶۹	۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۹
۰/۹۹۵۱۸۸	۷/۴۷۱۱۶۵	۰/۹۱	۰/۹۸	۱	۰/۹۹
۰/۹۹۴۷۳۴	۷/۴۷۰۰۴۳	-۰/۷۹	۱	۰/۹۹	۱
۰/۹۹۴۷۰۲	۷/۴۶۹۹۶۲	۰/۰۴	۰/۹۱	۱	۱
۰/۹۸۸۲۵۱	۷/۴۳۹۹۶	۰/۶۳	۰/۸	۱	۱
۰/۹۸۸۷۵	۷/۴۵۲۳۴۵	-۱	۰/۷۶	۱	۱
۰/۹۸۵۶	۷/۴۴۷۴۵۶	-۱	۰/۷۷	۱	۱
۰/۹۸۰۰۵۶	۷/۴۳۳۷۱۲	-۱	۰/۶۲	۱	۱
۰/۹۷۹۳۲۲	۷/۴۳۱۸۹۶	۰/۷	۰/۶۴	۱	۱
۰/۹۶۴۵۷۹	۷/۳۹۴۵۰۳	-۰/۸۸	۰/۳۶	۱	۱
۰/۹۵۷۷۳۴	۷/۳۷۸۴۶۰	۱	۰/۲۵	۱	۱
۰/۹۴۹۲۹۰	۷/۳۵۷۵۵۹	-۱	۰/۱۱	۱	۱
۰/۹۴۶۹۸۴	۷/۳۵۱۸۵۳	۱	۱	۰/۹۸	۰/۵۲
۰/۹۴۲۶۹۱	۷/۳۴۱۲۲۸	۰/۴۶	۱	۱	۰/۲۳
۰/۹۳۵۷۹۷	۷/۳۲۴۱۶۳	-۰/۹۸	۱	۱	۰/۰۷
۰/۹۳۲۱۳۸	۷/۳۱۵۱۰۶	-۱	-۰/۱۷	۱	۱

شکل (۶) نشان می‌دهد که تغییر ضخامت برد و شعاع سوراخ‌ها، تأثیر تقریباً یکسانی در مقدار فرکانس طبیعی دارد.



شکل (۷) تغییرات فرکانس طبیعی با تغییر دو پارامتر ضخامت برد و تعداد سوراخ‌های مقید



شکل (۸) تغییرات فرکانس طبیعی با تغییر دو پارامتر ضخامت برد و شعاع پخ

در شکل (۷) تأثیر بیشتر تعداد سوراخ‌های مقید نسبت به ضخامت برد بر روی مقدار فرکانس طبیعی، قابل برداشت بوده و همچنین در شکل (۸) تأثیر بسیار زیاد این پارامتر (ضخامت برد) نسبت به شعاع پخ نشان داده شده است.

شده و در نرم افزار متلب معرفی می شود. تابع هدف توسط یک function تعریف شده و در الگوریتم ژنتیک فراخوانی می شود.

پس از انجام فعالیت بهینه سازی، نتایج حاصل شده به شرح ذیل می باشد:

Thickness = 0.8 mm

Nom Of Hole = 6

Radius Of Hole = 4 mm

Fillet = 0.6

مقایسه این اعداد با نتایج کسب شده از نرم افزار Design Expert که در جدول شماره (۶) آمده است، نشان دهنده انطباق کامل سه پارامتر نخست بوده و پارامتر آخر (Fillet) هم پوشانی دارند.

۸- نتیجه گیری

همانطور که مطرح شد، در این تحقیق پس از مدلسازی یک برد الکترونیکی و صحنه گذاری آن، توسط طراحی آزمایش در نرم افزار Design Expert، ۳۰ آزمایش با حالت های درخواستی انجام شد. هدف پیدا کردن ماکزیمم مقدار فرکانس طبیعی با چهار متغیر بوده که هر یک از آنها در سه سطح می باشند. پاسخ هر آزمون به نرم افزار انتقال داده شده و پس از تجزیه و تحلیل، گزارش آماری تهیه گردید. در این مرحله تأثیر هر پارامتر بر روی پاسخ مشخص شده، بطوری که مشاهده گردید تعداد سوراخ های مقید شده بیشترین تأثیر را دارد.

سپس رابطه بین پاسخ (فرکانس طبیعی) و پارامترهای تأثیر گذار بدست آمده که از این تابع می توان در الگوریتم های بهینه سازی مختلف بهره برد. این امر در نرم افزار Matlab و توسط الگوریتم ژنتیک انجام شده است. در مرحله آخر به بهینه سازی پرداخته شده و بهترین حالت برای بدست آوردن بالاترین مقدار فرکانس طبیعی استخراج شده است. اعداد بدست آمده برای سطوح بهینه پارامترهای طراحی از دو روش (نرم افزار متلب/الگوریتم ژنتیک و نرم افزار Design Expert / روش RSM) با یکدیگر همپوشانی مناسبی دارند.

۰/۹۲۹۵۷۳	۷/۳۰۸۷۵۷	۰/۸۲	-۰/۲۳	۱	۱
۰/۸۸۱۹۰۴	۷/۱۹۰۷۶۹	۱	۱	۱	-۰/۶۵
۰/۶۴۸۹۳۱	۶/۶۱۴۱۱	۰/۹۵	-۱	۰/۶۸	۰/۹۶
۰/۵۶۳۸۴۶	۶/۴۰۳۵۱۷	-۱	-۱	۰/۵۵	۱

مطابق جدول شماره (۵)، بهترین حالت برای مشخصات ذیل ایجاد می شود که پیشنهاد نرم افزار بوده و میزان رضایت مندی (Desirability) برای این حالت برابر با یک (بهترین حالت) می باشد. این مقادیر بر حسب کد آلفا بوده که مقادیر واقعی در جدول شماره (۶) نمایش داده شده است:

جدول (۶) اعداد بهینه ترین حالت برای پارامترهای مختلف

شعاع بیخ	شعاع سوراخ	تعداد سوراخ	ضخامت برد
۰/۶۷ mm	۴	۶	۰/۸ mm

۸- حل مسأله توسط الگوریتم ژنتیک

۸-۱- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک تکنیک جستجویی در علم رایانه برای یافتن راه حل تقریبی برای بهینه سازی و مسائل جستجو است. در این الگوریتم از اصول انتخاب طبیعی داروین برای یافتن فرمول بهینه جهت پیش بینی یا تطبیق الگو استفاده می شود. الگوریتم های ژنتیک اغلب گزینه خوبی برای تکنیک های پیش بینی بر مبنای رگرسیون هستند. در هوش مصنوعی الگوریتم ژنتیک یک تکنیک برنامه نویسی بوده که از تکامل ژنتیکی به عنوان یک الگوی حل مسئله استفاده می کند. مسئله ای که باید حل شود دارای ورودی هایی بوده که طی یک فرایند الگوبرداری شده از تکامل ژنتیکی به راه حلها تبدیل می شود. سپس راه حلها بعنوان کاندیدها توسط تابع ارزیاب (Fitness Function) مورد ارزیابی قرار می گیرند و چنانچه شرط خروج مسئله فراهم شده باشد، الگوریتم خاتمه می یابد.

۸-۲- حل مسأله با الگوریتم ژنتیک در نرم افزار متلب

برای انجام این کار، نیاز به نوشتن تابع هدف می باشد. این تابع در بند ششم توسط نرم افزار Design Expert استخراج

مراجع:

- [1] Yeong K. Kim, Do Soon Hwang, *PBGA packaging reliability assessments under random vibrations for space applications*, Microelectronics Reliability, 2015, pp. 1-2.
- [2] Da Yu a, Abdullah Al-Yafawi, Tung T. Nguyen, Seungbae Park, Soonwan Chung, *High-cycle fatigue life prediction for Pb-free BGA under random vibration loading*, Microelectronics Reliability, 2011, pp. 1-3.
- [3] H.W. Zhang, Y. Liu, J. Wang, F.L. Sun, *Effect of elevated temperature on PCB responses and solder interconnect reliability under vibration loading*, Microelectronics Reliability, 2015, pp. 1-2.
- [4] Cholmin Choi, Abhijit Dasgupta, *Fatigue of Solder Interconnects in Microelectronic Assemblies under Random Vibration*, Procedia Engineering, 2014, pp. 1-2.
- [5] M. Mirgizoudi, C. Liu, P.P. Conway, S. Riches, *Mechanical and electrical characterisation of Au wire interconnects in electronic packages under the combined vibration and thermal testing conditions*, Microelectronics Reliability, 2015, pp. 1-2.
- [6] F.X. Che, John H.L. Pang, *Study on reliability of PQFP assembly with lead free solder joints under random vibration test*, Microelectronics Reliability, 2015, pp. 1-2.
- [7] Fang Liu, Guang Meng, *Random vibration reliability of BGA lead-free solder joint*, 2014, pp. 1-2.
- [8] Ying Ding, RuyuTian, XiuliWang, Chunjin Hang, FangYu, Ling Zhou, XiangangMeng, Yanhong Tian, *Coupling effects of mechanical vibrations and thermal cycling on reliability of CCGA solder joints*, 2015, pp. 1-2.

