

---

## Baskı Devre Yerleşim Optimizasyonu için Genetik Algoritma

Abdülkadir ÇAKIR<sup>1</sup>, Ecir Uğur KÜÇÜKSİLLE<sup>2</sup>, Volkan ALTINTAŞ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Isparta

<sup>2</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Müh. Fakültesi, Bilgisayar Müh. Bölümü, Isparta

<sup>3</sup>Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Akhisar MYO, Bilgisayar Programcılığı Bölümü, Akhisar/ Manisa

(Alınış / Received: 26.04.2018, Kabul / Accepted: 26.07.2018)

---

### Anahtar Kelimeler

Genetik Algoritma,  
Baskı Devre,  
Optimizasyon,  
Yapay Zeka.

**Özet:** Sayısal optimizasyon yöntemlerinden olan genetik algoritmalar, geleneksel yöntemlerle, çözümü zor veya neredeyse imkansız olan problemlerin çözümü için kullanılan ve kısa zamanda kabul edilebilir sonuçlar veren tekniklerden biridir. Elektronik cihaz tasarımında; cihazın kapladığı alan, elektronik devre elemanlarının çalışma esnasında birbirlerini etkilemesi, elemanların aşırı ısınması, devrelerin ağırlığı, devre yoğunluğu, maliyeti vb. üzerinde çalışılan konulardır. Bu çalışmada; elektronik cihazlarda karşılaşılan üretim kaynaklı sorunlardan biri olan elektronik devre elemanlarının yerleşiminin optimizasyonu için genetik algoritma kullanılmıştır. Elektronik devre kartları (baskı devre) üzerindeki eleman yerleşimleri, devredeki eleman sayısına ve elemanların özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Yapılan çalışmada devre elemanı yerleşim işlemi; elemanların sıcaklık değerleri, boyut ve bacak sayılarına göre optimize edilerek gerçekleştirilmiştir. Genetik algoritmanın uygunluk fonksiyonu, elektronik devre kartı üzerindeki devre elemanlarının yerleşimi sonrasında kartın boyutları en az alanı kapsayacak biçimde oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, önerilen baskı devre boyutlarının daha önceden bilinen programlardan Proteus programının önerdiği devre boyutlarına göre küçüldüğü görülmüştür.

---

## Genetic Algorithm for Print Circuit Layout Optimization

### Keywords

Genetic Algorithms,  
Printed Circuit,  
Optimization,  
Artificial Intelligence.

**Abstract:** Genetic algorithms, which are numerical optimization methods, traditional methods for solving problems that are difficult or almost impossible to solve and is one of the techniques that give acceptable results in a short time. In electronic device design are the subjects studied which the area covered by the device, electronic circuit elements affect each other during operation, overheating of elements, the weight of the circuits, the density of the circuits and the cost of circuits etc. In this study; a genetic algorithm was used to optimize the placement of electronic circuit elements, which is one of the production-related problems encountered in electronic devices. Settlement forms of electronic circuits, circuit elements and the number are different according to the characteristics of the elements. The study settlement process settlement process, element temperature, size, and number of legs is optimized. The fitness function of genetic algorithm is designed so that the size of the card covers the minimum area of the board after placement of the circuit elements on the electronic circuit board (printed circuit). When the obtained results are examined, it has been seen that the proposed printed circuit dimensions are reduced according to the circuit dimensions suggested by previously known programs Proteus.

---

## 1. Giriş

Transistör teknolojisi zaman geçtikçe küçülüp kendini geliştirmesi ile beraber avantajları kadar dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Elektronik devrelerde boyut azaldıkça karmaşıklık artmakta ve karmaşıklık artıka da tasarım ve optimizasyon süreci uzamaktadır. Bu sürecin otomatikleştirilmesi ve daha hızlı bir şekilde çalışması gerekmektedir. Elektronik devre tasarımındaki araştırma uzayının karmaşıklığı evrimsel metotlar içinde bir çalışma olmaktadır [1].

Baskı devre yerleşim problemlerini de bu dezavantajlar arasında sayılabilir. Baskı devre yerleşimi esasında malzemelerin birbirine değmesi, lehim petlerinin birbirine temas etmesi, alt devre yollarının birbirine yakın olması başlıca problemlerdir. Bu problemlerin en aza indirgenmesi için Proteus, DipTrace gibi bazı paket programlar mevcuttur. Fakat bu programlarda diğer koşullar göz ardı edilerek yerleştirme işlemi yapılmaktadır. Göz ardı edilen konuların başında, ısınma sorunu gelmektedir. Isınma problemi, çalışma esnasında devrenin çalışma şeklini etkileyen en önemli faktörlerin başında gelmektedir.

Baskı devre tasarımının optimizasyonu 90'lı yılların sonundan itibaren üzerinde çalışılan bir konu olmuştur. Bu konu çeşitli araştırmaların yapıldığı problemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Khoo ve Ng [2] PCB (Printed Circuit Board) bileşen yerleştirme sırası için genetik algoritma tabanlı olarak bir çalışma yapmıştır. Oluşturulan yapıda yarı otomatik olarak çalışan yerleştirme makinelerinde mühendislere yardımcı bir prototip meydana çıkmıştır. Sistem daha önceden oluşturulmuş bir PCB yerleşimi ile karşılaştırılmıştır.

Hardas vd. [3] baskı devre kartlarına montaj esnasında bileşenlerin yerleşim sırası üzerine çalışma yapmıştır. Geliştirilen uygulama ile montaj sürelerinin azaltılması ve montaj maliyetinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Uygulama sonuçlarına göre genetik algoritmanın bu tür problemlerdeki etkinliği de değerlendirilmiştir. Başlıca üç kısıtta göre değerlendirme yapılmıştır. Montajı yapan makinenin yapacağı tur, yerleştirme sırası ve elemanların yakınlığı göz önüne alınmıştır. Ismail vd. [4] elektronik devre elemanlarının baskı devre kartı üzerinde yerleşiminin optimizasyonu üzerine Self Organizing Genetic Algorithm (SOGA) ile çalışma yapmıştır. Elektronik devre elemanlarının yerleşiminde elemanların sıcaklığı, yüksek potansiyelli elemanların birbirine olan uzaklığı, baskı devre kartının boyutu ve yüksek güçlü elektronik devre elemanlarının baskı devre üzerindeki yerleşimi olmak üzere 4 kısıt belirlenmiştir. Daha küçük boyutlarda ve sistem performansını artırmak amaçlanmıştır. Yapılan çalışma Fixed Weight Genetic Algorithm (FWGA) ve Random Weighted Genetic Algorithm (RWGA)

metotlarıyla yapılan yerleşim ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda SOGA yöntemi diğer yöntemlere göre en optimal çözümü vermiştir. Garcia-Najera vd. [5] bir makine ile baskı devre yerleşim işleminin optimizasyonu için genetik algoritma ile bir çalışma yapmıştır. Bu çalışma da amaç yerleşim zamanını minimize etmektir. Tek makine ile yapılan baskı devre yerleşim problemlerinde kullanılan 90 farklı örnek kullanılmıştır. Önerilen algoritma problemin örneklerinin en iyi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Önerilen algoritma ile yerleşim yapıldığında baskı devre kart gruplarının kullanımı 6'dan 5'e düştüğü, elemanların karta entegre edilmesi için elemanları veren besleyici değişim sayısının ise 62'den 45'e düştüğü görülmüştür.

Yi Lin vd. [6] baskı devre elemanlarının yerleşiminin optimizasyonu için genetik algoritmaları kullanarak bir çalışma yapmıştır. Yapılan çalışma da elemanların yerleşim problemi ve eleman seçme işlemi için hibrit genetik algoritma önerilmiştir. Önerilen metotta ilk olarak elemanları boyutlarına göre tutan ağızlık kurulum probleminin çözümü olarak minimum sayıda seçme ve aynı anda maksimum seçme işlemi için otomatik ağızlık değiştirici dizisi edinilmiştir. Daha sonra bilinen otomatik ağızlık değiştirici sıralama ile genetik algoritma, en yakın komşuluk algoritmasının baskı devre kartı için seçme ve yerleştirme optimal zamanı belirlenmiştir. Elde edilen sonuca göre önerilen hibrit genetik algoritmanın diğer metotlara göre daha az sayıda eleman seçme sayısı, yerleştirme kafasının mesafe olarak daha kısa mesafe yaptığını ve zaman olarak da en az sürede yaptığı gözlemlenmiştir. Delkhooni vd. [7] genetik algoritma yöntemiyle radyal dağıtım sisteminde optimum kapasitör yerleştirme problemi üzerine bir çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmada, optimum kapasitör yerleştirme için genetik algoritma kullanılarak bir yöntem önerilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kapasitör yerleşim probleminde genetik algoritma kullanılarak önerilen modelin kullanılabilirliği görülmüştür.

Zhang vd. [8] çeşitli mühendislik çalışmalarında sık karşılaşılan sorunlardan olan radyo frekanslı tanımlama sistemlerinin veya kablosuz sensör ağlarının konuşlandırılması gibi düğüm yerleştirme sorunları üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu sorunu çözmek için esnek bir genetik algoritma modeli önermişlerdir. Önerilen algoritmanın performansını araştırmak için iki tipik gerçek dünya düğüm yerleşimi problemi, yani rüzgar çiftliği düzen optimizasyonu ve radyo frekansı tanımlama ağı planlama problemleri üzerine kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, esnek genetik algoritmanın, düğüm yerleştirme problemlerini çözmek için mevcut araçlardan daha yüksek performans gösterdiği görülmüştür.

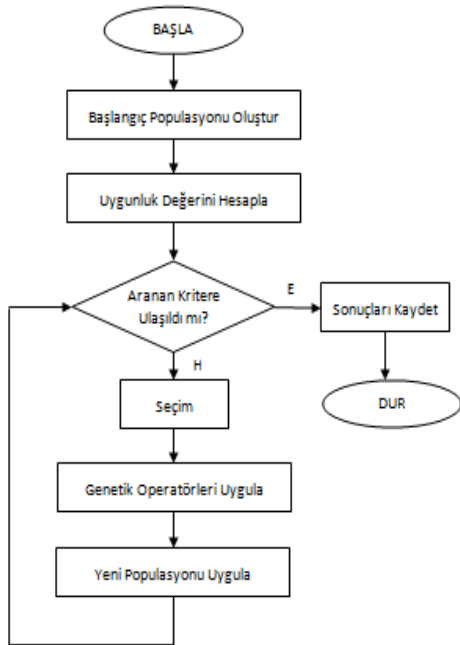
Sakha ve Shaker [9] genetik algoritma yoluyla büyük ölçekli kararsız sistemler için optimum sensörler ve aktüatörler yerleştirme modeli önermişlerdir. Bu

çalışmada, geniş ölçekli sistemlerde sensör ve aktüatörün kısıtlı genetik algoritma (RGA) kullanılarak yerleştirilmesi için yeni bir teknik geliştirilmiştir. RGA, sensörler ve aktüatör yerleşimi için özel olarak geliştirilen bir tür genetik algoritmadır. Sayısal araştırmalar, özellikle büyük ölçekli kararsız sistemlerle uğraşırken, açıkça önerilen metotların avantajlarını doğrulamıştır.

Bu çalışmada, genetik algoritma kullanılarak elektronik devre tasarımında karşılaşılan bir sorun olan elektronik devre elemanlarının yerleştirilmesi için baskı devre yerleşim optimizasyonu yapılmıştır. Yapılan çalışmada devre elemanı yerleşim işlemi; elemanların sıcaklık değerleri, boyut ve bacak sayılarına göre optimize edilerek gerçekleştirilmiştir. C# programlama dili kullanılarak bir arayüz geliştirilmiştir. Devre şemasında bulunan elemanlar netlist dosyasına aktararak, devrede bulunan elemanların bilgileri alınmıştır. Daha sonra belirlenen kısıtlara göre baskı devre yerleşim işlemi yapılmıştır.

## 2. Genetik Algoritma

Genetik algoritma (GA), polinom zamanda çözülemeyen zor problemlerin çözümüne yönelik olarak geliştirilmiş, popülasyon temelli sezgisel bir yöntemdir [10]. Genetik algoritmalar, potansiyel çözümlerden oluşan başlangıç popülasyonu ile sorunun çözümünü gerçek bir uzayda stokastik olarak aramaktadır [11]. Probleme ait olan bütün bilgiler genlerle ifade edilir. Genler birleşerek kromozomları oluşturmaktadır. Problemin çözümü için en önemli noktalardan birisi genlerin kodlanmasıdır. Optimizasyon problemleri için genetik algoritmaların çalışma şekli Şekil 1'deki gibidir.



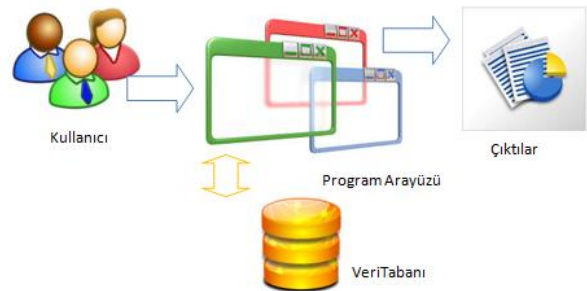
Şekil 1. Genetik Algoritma Çalışma Şekli

Genetik algoritmaların mühendislik, tıp, işletme, istatistik, sinyal işleme gibi birçok alandaki parametre ve sistem tanılama, kontrol sistemleri, robot uygulamaları, görüntü ve ses tanıma, mühendislik tasarımları, planlama, yapay zeka uygulamaları, uzman sistemler, fonksiyon ve kombinasyonel eniyileme problemleri ağ tasarım problemleri, yol bulma problemleri, sosyal ve ekonomik planlama problemleri için diğer eniyileme yöntemlerinin yanında başarılı sonuçlar verdiği bilinmektedir [10].

Sınırlı kaynakların etkin kullanımı problemleri genel olarak işgücü, tedarik ve bütçe ile ilgilidir. Bu tip problemlere örnek olarak, gezgin satıcı problemi, rota problemi, kargo yükleme problemi, atama problemi, atölye çizelgeleme problemi, yerleşim tasarımı problemi örnek verilebilir. Bu tip problemlerde, incelenen değişken sayısının artması çözüme ulaşma zamanını da artırmaktadır. Çözüm uzayının tamamının taranmasını gerektiren geleneksel optimizasyon yöntemlerinde problem çözümü değişken sayısının artmasıyla imkansız hale gelebilmektedir. GA ise çözüm uzayının yalnızca belli bir kısmını taradığı ve eş zamanlı arama yaptığı için bu tip problemlerde çözüme daha kısa sürede ulaşabilmektedir [12].

## 3. Genetik Algoritma ile Baskı Devre Yerleşim Optimizasyonu

Elektronik bir devrenin baskı devre yerleşim aşaması özellikle endüstri de önemli bir sorun teşkil etmektedir. Devre üzerindeki elemanların karakteristik özellikleri ve boyutları yerleşimi etkileyen en önemli etkenlerdir [13]. Bu çalışmada, bu sorunları çözecek kısıtları kullanarak devre elemanlarının optimum yerleşimini gerçekleştiren bir model genetik algoritma ile geliştirilmiştir. Geliştirilen Genetik algoritma ile baskı devre yerleşim optimizasyonu blok şeması Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Genetik Algoritma ile Baskı Devre Yerleşim Optimizasyonu Blok Şeması

Geliştirilen sistemde, kullanıcı optimize edilmek istenen elektronik devre şemasının Netlist dosyasını Proteus paket programı yardımıyla oluşturmakta ve oluşturulan .txt uzantılı Netlist dosyasını C# programlama dilinde hazırlanan bir ara yüz ile sisteme aktarmaktadır. Sisteme aktarılan elektronik devre bilgileri genetik algoritma ile kısıtlara ve uygunluk

fonksiyonuna göre işlenerek en uygun çözüme ulaşılmaktadır.

Baskı devre optimizasyonunun yapılabilmesi için bazı kısıtlar belirlenmiştir. Bu kısıtlar optimizasyonu yapılacak olan bütün devrelere uygulanmaktadır. Başlangıç popülasyonu oluşturulurken bu kısıtlara uyan ve sağlıklı bireyler oluşturulmuştur.

Baskı devre yerleşim optimizasyonu için kullanılan kısıtlar dört tane olup bunlar:

- 1) Entegre merkezde veya yakınında olmalıdır.
- 2) Transistor var ise entegre çevresinde olmalıdır.
- 3) Çalışma sıcaklığı fazla olan devre elemanları birbirinden uzak olmalıdır.
- 4) Devrede güç elemanları var ise birbirinin çalışmasını etkilememesi için birbirlerine uzak olmalıdır [3].

Bu çalışmada kromozomlarla temsil edilen çözümlerin nasıl oluşturulması gerektiğini gösterilmesinde kullanılan kodlama çeşitlerinden değer kodlaması kullanılmıştır. Her devredeki her bir elemanın kendisi alınmıştır. Devredeki bütün elemanlar bir dizi halinde Şekil 3'de görüldüğü gibi kodlanmaktadır.

0	1	2	3	4	5	6	7
C1	Q1	D1	R3	U1	R1	Q2	C2

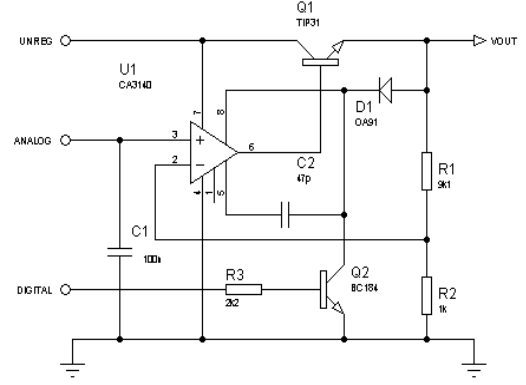
Şekil 3. Kromozomların kodlanması

Genetik algoritmada kullanılan parametreler Tablo 1'de gösterilmektedir.

**Tablo 1.** Optimizasyon için Kullanılan Genetik Algoritma Parametre Değerleri

Parametre	Değer
Popülasyondaki Birey Sayısı	100
Seçme Oranı	0.4
Çaprazlama Oranı	%40
Mutasyon Oranı	0.1
Jenerasyon Sayısı	500

Şekil 4'de yerleşim optimizasyonunda kullanılan örnek elektronik devre şeması görülmektedir. Şekil 5'te örnek elektronik devre şemasına ait Proteus Paket Programı tarafından oluşturulan .txt uzantılı Netlist dosyası gösterilmektedir. Her bir elemanın hangi bacağına hangi noktaya bağlandığı bilgisi bu listede verilmektedir. Örneğin 1 nolu transistörün beyz bacağı 0 nolu noktaya bağlıdır. Bu bilgiler çalışmanın bir sonraki aşamasında devrenin üstten görünümü çıkartılması için kullanılabilir.



Şekil 4. Örnek Elektronik Devre Şeması

Dosya	Düzen	Biçim	Görünüm	Yardım
N00000			Q1	B
N00000			U1	6
N00001			U1	2
N00001			R1	2
N00001			R2	1
N00002			U1	5
N00002			C2	2
N00003			U1	8
N00003			D1	K
N00003			C2	1
N00003			Q2	C
N00004			Q2	B
N00004			R3	2
UNREG			Q1	C
UNREG			U1	7
VOUT			Q1	E
VOUT			R1	1
VOUT			D1	A
ANALOG			U1	3
ANALOG			C1	2
GND			U1	4
GND			Q2	E
GND			R2	2
GND			C1	1

Şekil 5. Örnek Elektronik Devre Netlist Dosyası

Uygunluk fonksiyonu olarak devrenin kapladığı alanın en düşük yer kaplaması belirlenmiştir. Alan hesabı yapılırken çalışma kapsamında oluşturulan temel elektronik elemanların en, boy, sıcaklık verilerinin saklandığı ve her bir devre için önerilen yerleşim şeklinin tutulduğu veritabanı üzerinden her elemanın en, boy bilgileri alınarak devrenin kapladığı alan bulunmaktadır. Her bir çözümün kapladığı alan hesaplanmaktadır.

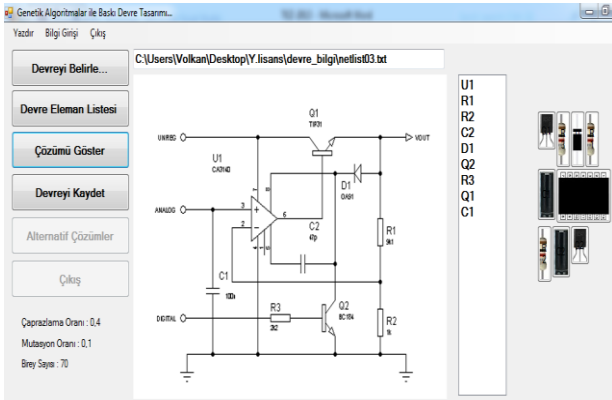
Her bireyin uygunluk fonksiyonu denklem 1'de verilmektedir;

$$F = \sum_{i=0}^n en_i * boy_i \quad (1)$$

ile ifade edilir. Burada en, devre elemanlarının en bilgisini ve boy, devre elemanlarının boy bilgisini temsil etmektedir. En uygun çözüm en az alanı kaplayan devre olmaktadır. Uygunluk fonksiyonuna kısıtlara uyan sağlıklı bireyler alınarak hesaplama yapılır. Her çevrimde alan bilgisi tutulmaktadır. Alan bilgisi en az olana kadar çevrim devam etmektedir.

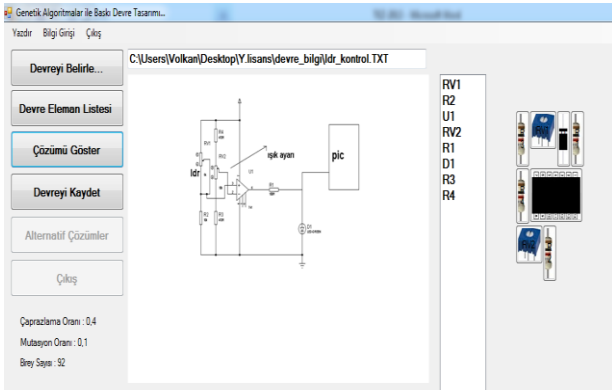
Şekil 6'da Visual Studio 2013 platformunda C# programlama dili ile hazırlanan uygulama arayüzü

gösterilmektedir. Uygulama arayüzünde optimizasyonu yapılacak elektronik devre belirlendikten sonra genetik algoritma ile optimizasyon işlemi yapılmaktadır. Optimizasyon işlemi sonunda oluşan elektronik devre yerleşim şekli arayüzde gösterilmektedir. Elektronik devre yerleşim şemasında her bir devre elemanı görsel olarak ifade edilmektedir. Her bir devre elemanına ait sıcaklık, en ve boy bilgisi veritabanında tutulmaktadır. Yerleşim için elektronik devrede bulunan eleman sayısına kare matrisler oluşturulmakta ve matrisin her hücrelerine optimizasyon işlemi sonucuna göre devre elemanı yerleştirilmektedir. Optimizasyon işlemi sonunda oluşan yerleşim, genetik algoritmanın her çalışmasında farklılık gösterebilir. Oluşan bu farklılığın nedeni, başlangıç popülasyonunun rastgele seçilmesi ve her çalışma sırasında farklı olmasıdır.

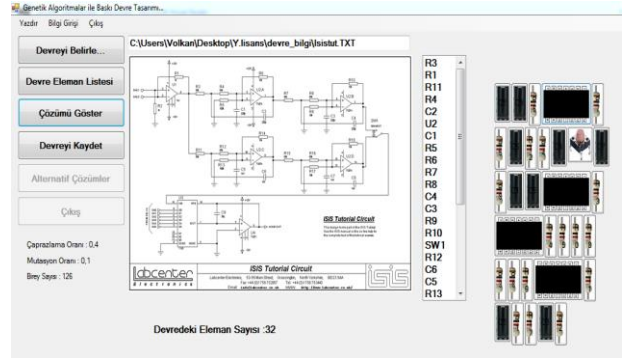


Şekil 6. Uygulama Arayüzü

Geliştirilen uygulama ile yapılmış bazı örnekler Şekil 7' ve Şekil 8'de gösterilmektedir. Şekil 7'de verilen örnekte devrede bulunan eleman sayısı ile Şekil 8'de verilen örnekteki devrede bulunan eleman sayıları arasında fark bulunmasına rağmen hatasız bir şekilde yerleşim işlemi yapılabilmektedir.

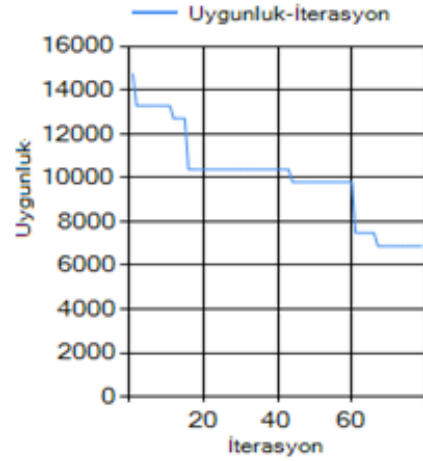


Şekil 7. Örnek Uygulama



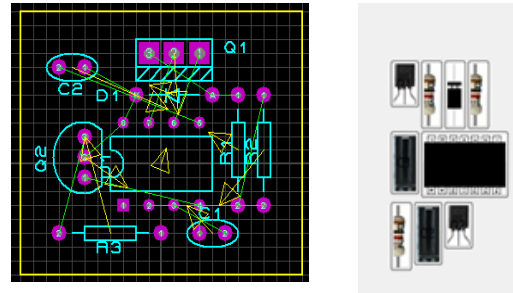
Şekil 8. Örnek Uygulama

Şekil 9'de optimizasyon işlemi sırasında uygunluk fonksiyonunun aldığı değerler grafik olarak gösterilmektedir. Uygunluk değeri başlangıçta yüksek değerde iken iterasyon sayısı arttıkça azalmaktadır. Devrenin kapladığı alanı temsil eden uygunluk fonksiyonunun azalması her bir adımda devrenin kapladığı alanın azaldığını göstermektedir.



Şekil 9. Uygunluk Değeri- İterasyon Grafiği

Şekil 10'da oluşturulan uygulama ile alternatif program olarak Proteus paket programının aynı elektronik devre için önerdiği devre yerleşim şeması karşılaştırılmıştır.



Şekil 10. Devre Yerleşimlerini Karşılaştırma

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, baskı devre tasarım işleminin bir parçası olan devre elemanlarının yerleşiminin GA kullanılarak hazırlanabileceği gösterilmiştir. Bunun için C# dili kullanılarak kullanıcı etkileşimli bir program geliştirilmiştir.

Elde edilen çözüm, rastgele oluşturulan ve çözümler kümesi olarak da tanımlanabilecek olan başlangıç popülasyonuna bağlıdır. Programın her çalıştırılmasında başlangıç popülasyonuna bağlı olarak aynı devre için farklı sonuçlar görülebilir. Elde edilen çözümler farklı da olsa uygunluk fonksiyonu nedeniyle birbirine çok yakındır. GA'ların birkaç deneme ile hedefe daha yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

Optimizasyon işlemi için GA kullanılması ile uygun kısıt ve genetik operatörlerin seçimi ile ideal devre yerleşim şemasının elde edilebileceği gösterilmiştir. Yapılan çalışma ile kısıtlara uygun bir şekilde devre yerleşimi yapılabildiği görülmüştür. Baskı devre yerleşimi işlemi, baskı devre tasarımında zaman alan ve önemli bir yere sahip olduğu için bu çalışma ile iş yükü önemli oranda azaltılmaktadır.

Yapılan çalışmada sadece temel devre elemanlarının yerleşim optimizasyonu yapılmaktadır. Bu yüzden kullanıcı önerilen yerleşim şekline göre baskı devre şemasını oluşturması gerekmektedir.

Geliştirilen program basit devre elemanlarından oluşan elektronik devreler için tasarlanmıştır. Fakat daha karmaşık ve üst düzey devreler içinde uygulanabilir bir yapıya sahiptir. Alternatif yazılımlardan Proteus Ares yazılımı ile yapılan karşılaştırmada iki sisteminde önerdiği alanların birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Geliştirilen uygulama belirli kısıtlara göre devre elemanlarını yerleştirdiği için devrenin çalışması sırasında devre elemanlarının birbirinin çalışmasını etkileyecek bir olumsuz etkisi olmayacaktır.

#### Teşekkür

2815-YL-11 numaralı projeye vermiş oldukları destekten dolayı Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederiz.

#### Kaynakça

- [1] [1] M. Çakır, Elektronik Devrelerin Evrimsel Algoritmalarla Tasarımı, 2007. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- [2] [2] Khoo, L. P., Ng, T. K., 1998. A Genetic Algorithm-Based Planning System for PCB Component Placement. Inter National Journal of Production Economics, 54, 321-332.

- [3] [3] Hardas, S. C., Doolen, T. L., Jensen, D. 2008. Development of a Genetic Algorithm For Component Placement Sequence Optimization In Printed Circuit Board Assembly. Computers and Engineering System, 55, 165-182.
- [4] [4] Ismail, S.F., Yusof, R., Khalid, M., 2012. Optimization of Electronics Component Placement Design On PCB Using Self Organizing Genetic Algorithm (SOGA). Intel Manuf, 23, 883-895.
- [5] [5] Garcia-Najera, A., Brizuela, C. A., Martinez-Perez, I, M., 2015. An Efficient Genetic Algorithm For Setup Time Minimization in PCB assembly. Int J Adv Manuf Technol, 77:973-989
- [6] [6] Lin, H.Y., Lin, C.J., Huang, M.L., 2016. Optimization Of Printed Circuit Board Component Placement Using An Efficient Hybrid Genetic Algorithm. Appl Intell, 45:622-637 DOI:10.1007/s10489-016-0775-1
- [7] [7] M. Delkhooni, O.Ayan, M. Purlu, B. Türkay, 2017. Optimal capacitor placement in radial distribution system using genetic algorithm method, 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO).
- [8] [8] Y. Zhang, Y.Gong, T. Gu, Y. Li, J. Zhang, 2017. Flexible genetic algorithm: A simple and generic approach to node placement problems, Applied Soft Computing, 52, 457-470.
- [9] [9] M. S. Sakha, H. R. Shaker, (2017) "Optimal sensors and actuators placement for large-scale unstable systems via restricted genetic algorithm", Engineering Computations, Vol. 34 Issue: 8, pp.2582-2597,
- [10] [10] D. Goldberg, Genetic Algorithms in Optimization, Search and Machine Learning, Addison Wesley, 1989.
- [11] [11] S. Rahmani, S.M. Mousavi, M.J. Kamali, 2011. Modeling of road-traffic noise with the use of genetic algorithm. Applied Soft Computing, 11, 1008-1013.
- [12] [12] Gonzales, E. L., Fernandez, M.A.R.,2000. Genetic Optimisator of a Fuzzy Distribution Model. Inter National Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 30(7/8), 681 - 696.
- [13] [13] MEGEP, 2007. Milli Eğitim Bakanlığı, Bilgisayarla Devre Çizimi Ve Simülasyonu.