



Araştırma Makalesi

Yeni Bir FPGA Geliştirme Kartı Tasarımı Ve Uygulaması

Adem Keskin*¹, İsmail Koyuncu²

¹Afyon Kocatepe University, Institute of Natural and Applied Sciences, Afyonkarahisar, Türkiye

²Afyon Kocatepe University, Technology Faculty, Department of Electrical Electronics Engineering, Afyonkarahisar, Türkiye

ÖZ

Anahtar Kelimeler:

FPGA
VHDL
JTAG
Xilinx
Geliştirme Kartı

Sunulan bu çalışmada, üzerinde mühendislik alanındaki temel sayısal uygulama ve tasarımların gerçek zamanlı FPGA tabanlı olarak gerçekleştirilebilmesi için gerekli donanım elemanlarına sahip yeni bir yerli FPGA devre kartı tasarlanmıştır. FPGA geliştirme kartının maliyetinin düşürülmesi amacı ile üzerindeki donanım minimum seviyede tutulmuştur. FPGA geliştirme kartının elektronik devre çizimlerinde Altium PCB Design Software & Tools programı kullanılmıştır. Tasarlanan FPGA geliştirme kartının test edilebilmesi amacı ile Xilinx ISE Design Tools programı ile VHDL (Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language-Çok Yüksek Hızlı Tümlüşik Devre Donanımı Tanımlama Dili) dilinde örnek sayısal sistem tasarımı projeleri kodlanmıştır. Örnek sayısal sistem tasarımı projelerinin Place-Route sürecinden elde edilen bitstream dosyaları JTAG (Joint Test Action Group (Ortak Test Eylem Grubu)) ara yüzü kullanılarak FPGA çipine yüklenmiştir. Yükleme işleminin ardından örnek sayısal sistem tasarımı projelerinin FPGA geliştirme kartı üzerinde başarılı bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada sunulan tasarım ile hali hazırda dışa bağımlı bir şekilde yurtdışından temin edilerek çok yüksek maliyetler ile kullanılan FPGA geliştirme kartlarına alternatif olarak daha düşük maliyet ile mühendislik eğitim ve uygulamalarında kullanılacak yerli bir FPGA geliştirme kartı başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Design And Application Of A New FPGA Development Board

ABSTRACT

Keywords:

FPGA
VHDL
JTAG
Xilinx
Development Board

In this study, it is aimed to design a new native FPGA circuit board with the necessary hardware elements in order to realize the basic digital applications and designs in the field of engineering on a real-time FPGA-based basis. In order to reduce the cost of the FPGA development board, the hardware on it is kept to a minimum. Altium PCB Design Software & Tools program was used in the electronic circuit drawings of the FPGA development board. In order to test the designed FPGA development board, sample digital system design projects were coded in VHDL (Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language) language with Xilinx ISE Design Tools program. The bitstream files obtained after the Place-Route process of the sample digital system design projects were loaded onto the FPGA chip with the JTAG (Joint Test Action Group) interface. After the installation process, it has been observed that the sample digital system design projects work successfully on the FPGA development board. With the design presented in this study, a domestic FPGA development board that can be used in engineering education and applications with a lower cost as an alternative to the FPGA development boards that are currently used with very high costs by being imported from abroad has been successfully developed.

*Sorumlu Yazar

*(ademkeskin2004@gmail.com) ORCID ID 0000-0001-9781-4358
(ismailkoyuncu@aku.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-4725-4879

e-ISSN: 2717-8579

Geliş Tarihi: 27/07/2022; Kabul Tarihi: 12/10/2022

Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi

1. GİRİŞ

FPGA (Field Programmable Gate Array-Saha(da)/Alan(da) Programlanabilir Kapı Dizileri) donanımları, silikon üretiminin tamamlanmasının ardından tasarımcının ihtiyaç duyduğu veya tasarlamak istediği sisteme bağlı olarak iç yapısının değiştirilerek programlanabilmesini sağlayan yarı iletken teknolojiye sahip tümleşik devre yapılarıdır (Karataş vd 2020). FPGA donanımları çok yüksek performans, paralel sinyal işleme ve tekrar tekrar programlanabilme gibi özellikleriyle ön plana çıkmaktadır (Yılmaz vd 2019). Bu gibi nedenlerden dolayı FPGA çipleri DSP (Digital Signal Processor), µP (Micro Processor) ve ASIC (Application Specific Integrated Circuit) gibi sayısal platformlara göre önemli avantajlar sunmaktadır (Rahul 2009).

Son yıllarda FPGA platformları yüksek kapasite ve çalışma frekansına sahip olmakla birlikte farklı alanlardaki uygulamaların gerçekleştirilebilmesi için yapısal özellikleri geliştirilerek daha fonksiyonel bir hale getirilmektedirler. FPGA donanımları tamamen tasarımcının ihtiyaç duyduğu nitelikte bir sistem tasarımına uygun olarak üretildiği için tasarlanan bir sistemin çip içerisinde birden fazla kopyası kolayca çalıştırılabilecek şekilde sistem tasarlanarak çalıştırılabilmektedir.

FPGA çipleri başta savunma sanayi olmak üzere kriptoloji, yapay zekâ, uydu ve radar haberleşmesi, tüketici elektroniği, görüntü-ses işleme, tıp elektroniği gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Literatürde FPGA tabanlı olarak gerçekleştirilmiş birçok çalışma bulunmaktadır. Akkoyun yaptığı çalışmada, FPGA tabanlı bir platformda dokunmatik LCD ekranların kullanılması çalışmasını gerçekleştirmiştir. FPGA tabanlı platformun, maliyet açısından düşük ve performans bakımından hızlı olmasını hedeflemiştir. Yaptığı tasarımda, dokunmatik ekranlı kullanıcı ara yüzünün insan ile etkileşimini seri port kullanarak sağlamıştır. Çalışmanın sonunda FPGA tabanlı sistemlerde kolay ve hızlı çalışan yapıyı oluşturmayı başarmıştır. (Akkoyun 2011).

Az tarafından yapılan çalışmada, farklı konumlarda bulunan kullanıcılar arasında şifreli olarak mesaj, resim ve ses verisi gönderip alabilen güç tüketimi düşük ve maliyet açısından ekonomik FPGA tabanlı kablosuz haberleşme sisteminin tasarımını gerçekleştirmiştir. Ayrıca bu sistemde kullanıcılar, ara yüz programı üzerinden şifreli veya şifresiz iletişim kanallarından istediğini seçebilmektedir. Algoritmanın şifreleme ve şifre çözme adımlarının donanım gerçeklemesini FPGA üzerinde yapmıştır. Programlama dili olarak VHDL kullanmıştır. Önerilen sistemin var olan diğer sistemlere göre daha az güç tükettiği belirtilmiştir (Az 2014).

Özgür tarafından yapılan bir çalışmada, radar sinyal işleme algoritmaları ve bazı sayısal işlemler FPGA ve GPU (Graphics Processing Unit-Grafik

İşleme Birimi) platformlarını kullanarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yaptığı tasarımda benzetim modelinde sinyalin varış yönü, sinyalin menzili ve doppler frekansı tahmin edilebilmektedir. Çalışmanın sonunda tasarımda kullanılan FPGA çipinin GPU platformuna kıyasla çok avantajlı olduğu vurgulanmıştır (Özgür 2014).

Tengilimoğlu tarafından yapılan bir diğer çalışmada, yeniden yapılandırılabilir sistem mimarileri üzerinde işlemler gerçekleştirmiştir. Yaptığı örnek bir uygulamada, gerçek zamanlı bir hedef takip ve tespit sisteminde donanımsal hızlandırma amacıyla kullanılan FPGA çipinde kısmi yeniden yapılandırma tekniğini uygulamıştır. Önerilen sistemde FPGA kaynak kullanımı ve güç tüketimi azaltılmaya çalışılmıştır (Tengilimoğlu 2014).

Sinha ve Lotia tarafından yapılan çalışmada, sayısal modülasyon teknikleri FPGA donanımı kullanılarak tasarlanmış ve çalışmadan ortaya çıkan bit oranı hataları incelenerek sunulmuştur. Modülatörlerin tasarımını VHDL dili ile FPGA üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Sunulan çalışmada gerçekleştirilen uygulamaların en az FPGA sayısal kaynak kullanım oranı ve düşük hata oranı ile gerçekleştirilebildiğini göstermişlerdir (Sinha ve Lotia 2015).

Günümüzde ülkemizde hali hazırda kullanılan FPGA geliştirme kartları dışa bağımlı olarak yurtdışından temin edilmektedir. Bu nedenle ilgili FPGA geliştirme kartları çok yüksek maliyetler ile elde edilmekte ve bu alanda çalışmak isteyen mühendis ve araştırmacıların FPGA geliştirme kartlarına ulaşması oldukça zorlaşmaktadır. Ayrıca kullanımda olan geliştirme kartlarının üzerinde gerçekleştirmek istenilen uygulamalar için gereksiz donanımlar bulunabilmektedir. Bu iki durum maliyet açısından büyük bir engel olarak karşımıza çıkmaktadır. Sunulan çalışma kapsamında hali hazırda yurt dışından hazır olarak yüksek maliyetler ile ithal edilen yüksek teknoloji içeren FPGA geliştirme kartlarına alternatif olarak dışa bağımlılığı azaltmak amacı ile düşük maliyete sahip yerli bir FPGA geliştirme kartı tasarlanmıştır. Çalışma kapsamında geliştirilen yerli FPGA geliştirme kartı ile pazardaki bu ihtiyacın karşılanması amaçlanmıştır. Ayrıca yerli FPGA geliştirme kartı tasarımı ile Türkiye'de ilgili sektörün teknolojik olarak iyileştirilmesi ve dünya FPGA pazarında yer alınarak yerli üretimdeki sürdürülebilirliğin kazanılmasına katkı sunulması hedeflenmiştir. Çalışmanın İkinci bölümde FPGA çipleri ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde tasarlanan FPGA geliştirme kartı prototipi genel yapısı ve kart bileşenleri sunulmuştur. Dördüncü bölümde tasarlanan FPGA geliştirme kartı üzerinde yapılan örnek bir uygulamaya ait süreçler verilmiştir. Çalışmanın Son bölümde elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

2. FPGA ÇİPLERİ

FPGA çipleri ilk silikon üretiminin ardından tasarımcının istediği sistem veya tasarıma göre donanım yapısı değişebilen tümleşik devre donanımlarıdır. FPGA çipleri tekrar tekrar programlanabilme özelliği ile ASIC çiplerine göre daha esnek bir yapıya sahip sayısal işlemcilerdir (Tuna vd 2018). ASIC donanımlarının ise tasarlandıktan sonraki içyapısı sabit kalmaktadır. Diğer bir deyişle tasarım aşaması veya sürecinde gerçekleşen herhangi bir hatadan dolayı bir daha ASIC çipleri kullanılamaz hale gelmektedir (Alçın vd 2019). Şekil 1'de Xilinx firmasına ait Artix-7 FPGA kartı gösterilmiştir.



Şekil 1. Xilinx Artix-7 çipi içeren FPGA geliştirme kartı

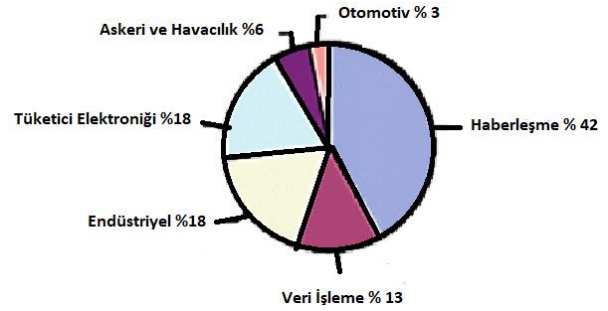
FPGA çipleri “çip üzerinde sistem” (System On a Chip (SoC)) olarak da adlandırılmakta ve gerek duyulduğunda diğer çiplerle birlikte büyük sistemlerin bir parçası olarak da çalışabilmektedirler (Munden 2005).

Üretim aşamasının ardından tasarımcının istediği biçimde sisteme özel olarak programlanabilen FPGA platformları, GHz seviyesinde çalışma frekansına çıkabilmektedirler. FPGA çiplerinin çalışma frekansı, kişisel bilgisayarlardan daha düşük olmasına rağmen paralel çalışma ve sisteme özel tasarım yapılabilmesi gibi avantajlarından dolayı kişisel bilgisayarlardan çok daha hızlı çalışabilmektedirler (Şahin ve Koyuncu 2011).

FPGA-tabanlı sayısal tasarımların bir diğer önemli avantajı ise IP-Core yapıları oluşturulup; hazır kütüphane dosyaları kullanılarak hızlı bir tasarım sürecinin olmasıdır (Akçay vd 2020). Genel amaçlı bilgisayar ve buna bağlı çalışan üzerinde çok sayıda FPGA çipi barındıran FPGA tabanlı Özel Amaçlı Bilgisayarlar (FPGA-based Custom Computing Machines (F-CCMs)) ile çok yüksek hızlarda çalışabilen platformlar oluşturulabilmektedir (Şahin vd 2000).

FPGA çipleri günümüzde sinyal işleme (Diao vd. 2018), ses tanıma (Rodriguez-Orozco vd. 2018), kontrol (Özkan vd 2011), yapay sinir ağları (Libano vd. 2018), kaotik sistem tasarımı (Tuna vd 2019), uzay araçları (Schafer vd. 2009), kriptoloji (Ismail vd 2017), rasgele sayı üreteçleri (Bakiri vd. 2018), sözde rasgele sayı üreteçleri (Dong vd 2019), gerçek

rasgele sayı üreteçleri (Alçın vd 2019), kaotik osilatör tasarımları (Telo-Cuautle vd. 2019) (Rajagopal vd. 2018), görüntü işleme (Koyuncu vd 2015), modelleme (Tuntaş 2015), robotik (Bargsten ve Fernandez 2020), güvenli iletişim (Savran 2017), tıp (Abdullah ve Younis 2019), hidrojen üretim sistemleri (Yılmaz vd. 2019), bulanık mantık (Karataş vd. 2020), modülasyon (Mohammed ve Abdullah 2020), savunma sistemleri (Drozd and Kapulin 2018) gibi birçok alanda çok yaygın olarak kullanılmaktadır. FPGA çiplerine birçok program yüklenerek çalıştırılabilmektedir (Yılmaz, 2008). Şekil 2'de FPGA çiplerinin kullanım alanlarının dağılımı gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi haberleşme alanında %42, endüstriyel alanında %18, tüketici elektroniği alanında %18, veri işleme alanında %13, askeri ve havacılık alanında %6, otomotiv alanında %3'lük kullanıma sahiptir.



Şekil 2. FPGA çiplerinin kullanım alanları ve oranları

Günümüzde FPGA çipleri üreten birçok firma bulunmaktadır. Bunların başlıcaları Xilinx, Altera, Atmel, SiliconBlue, Microsemi ve Lattice firmalarıdır. FPGA çipleri her firmada farklı isimler altında üretilmektedir. Örnek olarak Xilinx üretilen çiplere Virtex ve Kintex gibi isimler verirken, Altera ise ürettiği çiplere Cyclone ve Stratix gibi isimler vermektedir.

3. FPGA TABANLI GELİŞTİRME KARTI TASARIMI

Sunulan bu çalışmada, üzerinde mühendislik alanındaki temel sayısal uygulama ve tasarımların gerçek zamanlı FPGA tabanlı olarak gerçekleştirilebilmesi için gerekli donanım elemanlarına sahip yeni bir yerli FPGA devre kartı tasarlanmıştır. Tasarımda XILINX firmasının XC2C64A-7-VQ44 ailesine ait FPGA çipi seçilmiştir. XC2C64A çipi 33 adet I/O, 3 adet toprak, 4 adet Vcc, 4 adet JTAG (Joint Test Action Group) pini olmak üzere 44 adet pini bulundurmaktadır. Yüksek performans ve düşük güç gerektiren uygulamalar için ideal bir çiptir. Şekil 3'te XC2C64A-7-VQ44 FPGA çipi görülmektedir.



Şekil 3. Xilinx firmasına ait XC2C64A-7-VQ44 FPGA çipi

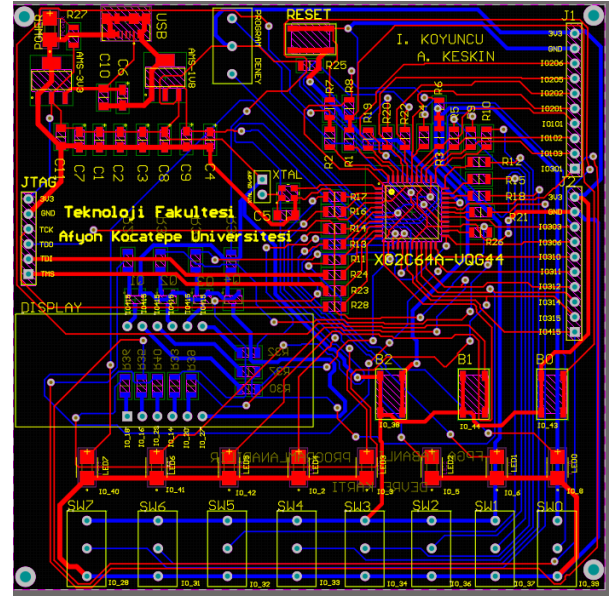
Tasarlanan FPGA geliştirme kartını oluşturan bileşenler tasarımda kullanım adedi ile birlikte Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Tasarlanan FPGA geliştirme kartını oluşturan bileşenler ve kullanım adedi

Komponent Adı	Adedi
100 Ω SMD Direnç	13
330 Ω SMD Direnç	8
10 K Ω SMD Direnç	15
2.2 K Ω SMD Direnç	4
100 nF SMD Kondansatör	3
4.7 nF SMD Kondansatör	4
1 μ F SMD Kondansatör	2
22 μ F SMD Kondansatör	2
SMD LED Beyaz	8
SMD LED Mavi	1
48 MHz Kristal	1
SMD BC 807	4
Anahtar	9
Micro USB	1
Header	3
Display	1
AMS 1117 1.8 V	1
AMS 1117 3.3 V	1
Buton	4
FPGA Çipi	1
PCB	1

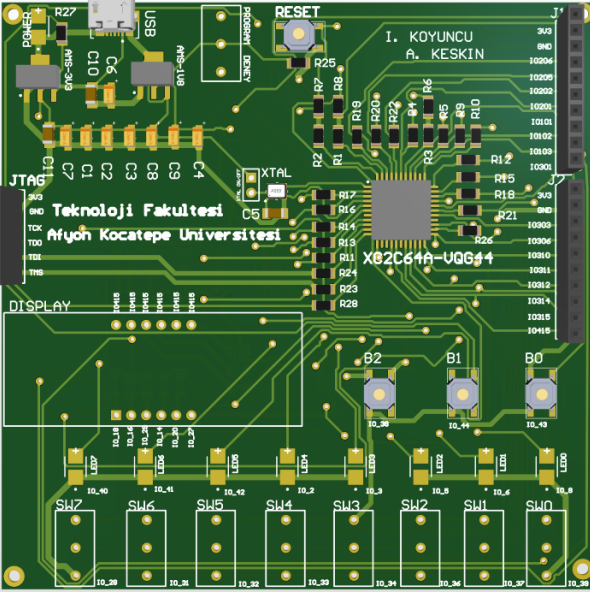
PCB (Printed Circuit Board-Baskılı Devre Kartı) tasarım programları, kullanıcıların elektronikte kendi donanım ürünlerini oluşturmalarına yardımcı olmaktadır. Uygulamalarda teknolojik gelişmelerle birlikte baskılı devre kartları da üretilmeye

başlanmıştır. Proteus ve Eagle gibi programların yanı sıra Altium Designer gibi birçok PCB tasarım yazılımları bulunmaktadır. Bu programların hepsi aynı görevi yapsalar da, bazı detay farkları bulunmaktadır. Bu farklılıklar, kullanıcının o programı tercihinde etkilidir. Bu farklılıklar, basit arayüz, geniş kütüphane, hata analizi, simülatöre sahip olma ve satın alma maliyeti olarak sıralanabilmektedir. Bu çalışmada FPGA kitleri gibi ayrıntılara sahip profesyonel devrelerin tasarımı için Altium Designer programının daha işlevsel olduğu değerlendirilmiştir. Bunun en önemli sebebi detaylı olarak hata analizi yapabilmesi ve üretimden sonra karşılaşılabilecek herhangi bir hatadan kaçınmayı sağlamasıdır. Kullanıcılar PCB çiziminden önce ayarlanabilen kurallar ile 3D arasında geçişler ve 2 boyutlu tasarım, devre elemanlarının grafik analizi vb. simülasyon işlemlerini gerçekleştirebilmektedir. Bu çalışmada üretilen devre kartının çizimi Altium Designer programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Şekil 4’te FPGA tabanlı devre kartının Altium Designer programı yardımıyla elde edilen çift yüzü bakır yollarının gösterimi verilmiştir.



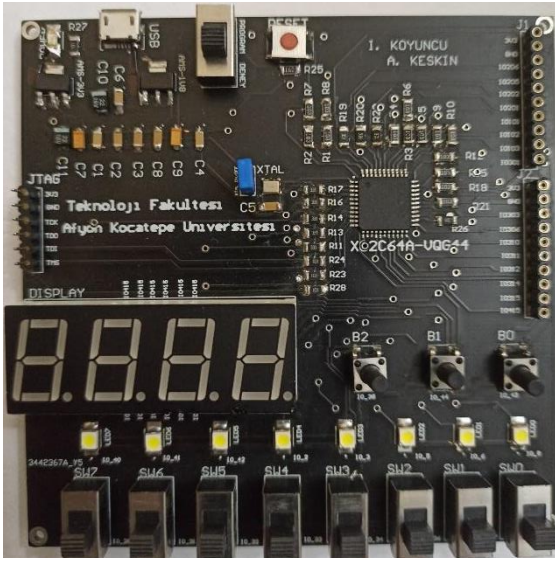
Şekil 4. FPGA tabanlı geliştirme kartının çift yüzü bakır yollarının gösterimi

Şekil 5’te FPGA geliştirme kartının Altium Designer programı yardımıyla alınan üç boyutlu gösterimi verilmiştir.



Şekil 5. FPGA tabanlı geliştirme kartının üstten üç boyutlu gösterimi

Şekil 6'da tasarımı gerçekleştirilen FPGA tabanlı geliştirme kartının üretim aşamasından sonraki üstten görünümü verilmiştir.



Şekil 6. FPGA geliştirme kartının üstten görünümü

Devrenin prototipin montaj işlemi yapıldıktan sonra tasarımlar için kullanıma hazır hale getirilmiştir. Uygulama ve geliştirme işlemlerine bundan sonra anakart üzerinde FPGA çipinin programlanması ile devam edilmiştir. Programlama işlemi, bilgisayar ve JTAG-programmer cihazı bağlantı portları ile gerçekleştirilmiştir. Tasarımımızda FPGA aygıtına yazılımı yüklemek için JTAG arabirimi kullanılmıştır. JTAG arabirimi IEEE 1149.1 Standardını kullandığı için Xilinx ISE programı ile uyumlu çalışmaktadır. Tasarımda JTAG bağlantı portu üzerindeki pinlerin uygun dizilimine dikkat edilmiştir. Böylelikle yanlış bir bağlantının önüne geçilmiştir.

Devre prototipinin program modu ve deney modu olmak üzere iki modu bulunmaktadır.

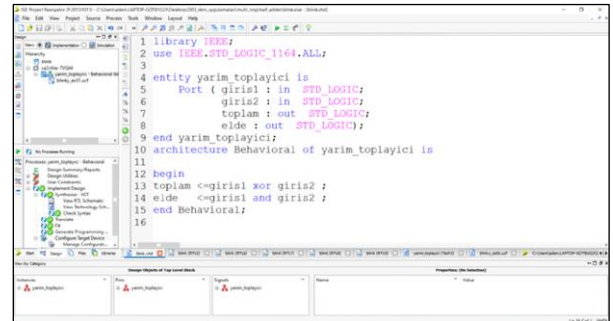
Öncelikle çıkışlar program modunda aktif halde değildir. FPGA çipinin programlanması bu moda gerçekleşmektedir. Programın kurulumu bitirildikten sonra deney moduna geçilmekte ve pinler etkinleştirilmektedir. Programlamada Xilinx ISE içerisinde bulunan ISE iMPACT arayüzü kullanılmıştır.

4. FPGA GELİŞTİRME KARTI ÜZERİNDE ÖRNEK UYGULAMALAR

Çalışmanın bu bölümünde tasarlanan FPGA geliştirme kartı üzerinde örnek sayısal uygulama gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tasarım öncelikle Xilinx ISE Design Tools programı kullanılarak VHDL dilinde kodlanmıştır. Ardından tasarımın RTL şeması ve teknoloji şeması çıkarılmıştır. Sonraki aşamada FPGA çipine ait pin atamaları gerçekleştirilmiş ve projeye ait .ucf dosyası oluşturulmuştur. Bu işlemten sonra projeye ait bitstream dosyası Generate Programming File aracı kullanılarak elde edilmiştir. Bu aşamada tasarımın çalışması için kullanılan Xilinx XC2C64A-7 çipine ait kaynak kullanım bilgileri elde edilmiş ve bu bilgiler sunulmuştur. Son aşamada ise ISE Impact aracı kullanılarak elde edilen bitstream dosyası FPGA çipine yüklenmiştir. Yükleme işleminin ardından tasarlanan FPGA geliştirme kartının beklendiği biçimde başarılı bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir. Tasarlanan FPGA geliştirme kartı üzerinde gerçekleştirilen uygulamalara ait görüntüler sunulmuştur.

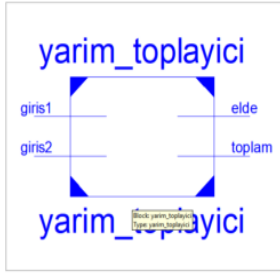
4.1. Yarım toplayıcı Uygulaması

Çalışma kapsamında yerli olarak tasarlanan FPGA geliştirme kartının test edilebilmesi için kart üzerindeki anahtar (switch) ve ledler kullanılarak yarım toplayıcı sayısal uygulaması gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tasarım öncelikle Xilinx ISE Design Tools programı kullanılarak VHDL dilinde kodlanmıştır. Tasarıma ait VHDL kodu aşağıda Şekil 7'de verilmiştir.

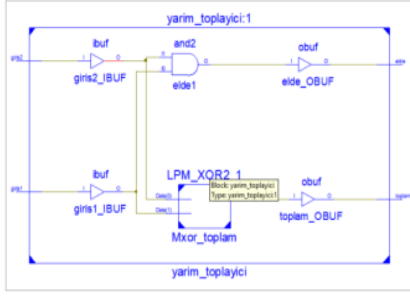


Şekil 7. Yarım Toplayıcı sayısal uygulamasına ait VHDL kodu

Şekil 8'de FPGA geliştirme kartında tasarlanan yarım toplayıcı uygulamasına ait RTL şeması ve Şekil 9'da teknoloji şeması verilmiştir.



Şekil 8. Yarım Toplayıcı uygulamasına ait RTL şeması



Şekil 9. Yarım Toplayıcı sayısal uygulamasına ait teknoloji şeması.

Sonraki aşamada FPGA çipine ait pin atamaları gerçekleştirilmiş ve yarım toplayıcı uygulamasına ait .ucf dosyası oluşturulmuştur. Şekil 10'da ucf dosyasının kodu görülmektedir.

```

1 #PACE: Start of Constraints generated by PACE
2
3 #PACE: Start of PACE I/O Pin Assignments
4 NET "giris1" LOC = "39" ;
5 NET "giris2" LOC = "39" ;
6 NET "toplam" LOC = "8" ;
7 NET "elde" LOC = "6" ;
8
9
10 #PACE: Start of PACE Area Constraints
11
12 #PACE: Start of PACE Prohibit Constraints
13
14 #PACE: End of Constraints generated by PACE
15

```

Şekil 10. Yarım toplayıcı sayısal uygulamasına ait ucf dosyası kodu.

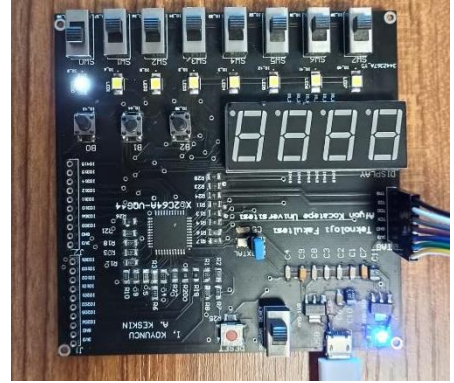
Şekil 11'de yarım toplayıcı devresinin Xilinx XC2C64A-7 çipi üzerinde gerçekleştirildiğinde FPGA çipine ait kaynak kullanım bilgileri verilmiştir.

XILINX CPLD Reports		CoolRunner-II			
Filter Report		Timing Report			
Summary					
Design Name	yarim_toplayici				
Fitting Status	Successful				
Software Version	P 20131013				
Device Used	XAC2C64A-7-VQ44				
Date	6-24-2022, 4:26PM				
RESOURCES SUMMARY					
Macros Used	Pins Used	Registers Used	Pin Used	Function Block Inputs Used	
8/64 (13%)	3/224 (2%)	0/64 (0%)	10/33 (31%)	2/160 (2%)	
PIN RESOURCES					
Signal Type	Required	Mapped	Pin Type	Used	Total
Input	2	2	IO	10	26
Output	8	8	GCK/IO	0	3
Bidirectional	0	0	GTS/IO	0	4
GCK	0	0	GSR/IO	0	1
GTS	0	0	DCE/IO	0	-1
GSR	0	0			

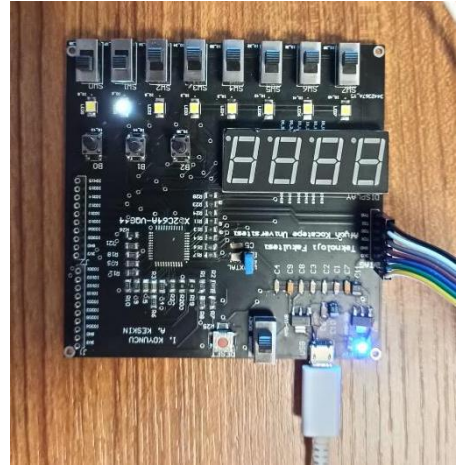
Şekil 11. Yarım toplayıcı devresinin Xilinx XC2C64A-7 FPGA çipi kaynak kullanım bilgileri.

Bu işlemten sonra yarım toplayıcı uygulamasına ait bitstream dosyası Generate Programming File aracı kullanılarak elde edilmiştir. ISE Impact aracı kullanılarak led yakma uygulamasında elde edilen bitstream dosyası FPGA çipine yüklenmiştir. Yükleme işleminin ardından tasarlanan FPGA geliştirme kartının beklendiği biçimde başarılı bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir.

Tasarlanan FPGA geliştirme kartı üzerinde gerçekleştirilen uygulamalara ait görüntü Şekil 12'de ve Şekil 13'de sunulmuştur.



Şekil 12. FPGA geliştirme kartı üzerinde gerçekleştirilen yarım toplayıcı uygulaması (giris1=1 giris2=0 durumu).



Şekil 13. FPGA geliştirme kartı üzerinde gerçekleştirilen yarım toplayıcı uygulaması (giris1=1 giris2=1 durumu).

4.2. Yukarı Sayıcı Uygulaması

Çalışma kapsamında yerli olarak tasarlanan FPGA geliştirme kartının test edilebilmesi için kart üzerindeki dörtlü yedi segment display kullanılarak yukarı sayıcı uygulaması gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tasarım öncelikle Xilinx ISE Design Tools programı kullanılarak VHDL dilinde kodlanmıştır. Şekil 14'de tasarıma ait VHDL kodu verilmiştir.

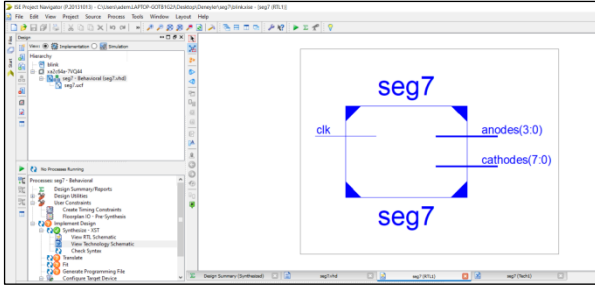

```

1 library IEEE;
2 use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
3 entity seg7 is
4     Port ( clk : in  STD_LOGIC;
5           anodes : out STD_LOGIC_VECTOR (3 downto 0);
6           cathodes,led : out STD_LOGIC_VECTOR (7 downto 0));
7 end seg7;
8 architecture Behavioral of seg7 is
9     signal clk_counter : natural range 0 to 48000000 :=0;
10    signal counter : natural range 0 to 10 :=0;
11 begin
12    process(clk)
13    begin
14        if rising_edge(clk) then
15            clk_counter <= clk_counter + 1;
16            if clk_counter >= 48000000 then
17                clk_counter <= 0;
18                counter <= counter +1;
19                if counter>9 then
20                    counter <=0;
21                end if; end if; end if; end process;
22    process(counter)
23    begin
24        case counter is
25            when 0 => cathodes <= "11000000"; --0
26            when 1 => cathodes <= "11111001"; --1
27            when 2 => cathodes <= "10100100"; --2
28            when 3 => cathodes <= "10110000"; --3
29            when 4 => cathodes <= "10011001"; --4
30            when 5 => cathodes <= "10010010"; --5
31            when 6 => cathodes <= "10000010"; --6
32            when 7 => cathodes <= "11111000"; --7
33            when 8 => cathodes <= "10000000"; --8
34            when 9 => cathodes <= "10010000"; --9
35            when others => cathodes <= "11111111";
36        end case; end process;
37    anodes <= "0000"; led<="x"00";
38 end Behavioral;

```

Şekil 14. Yukarı sayıcı uygulamasına ait VHDL kodu.

Şekil 15'de FPGA geliştirme kartında tasarlanan yukarı sayıcı uygulamasına ait RTL şeması verilmiştir.



Şekil 15. Yukarı sayıcı uygulamasına ait RTL şeması.

Sonraki aşamada FPGA çipine ait pin atamaları gerçekleştirilmiş ve yukarı sayıcı uygulamasına ait .ucf dosyası oluşturulmuştur. Şekil 16'da .ucf dosyasının kodu görülmektedir.

```

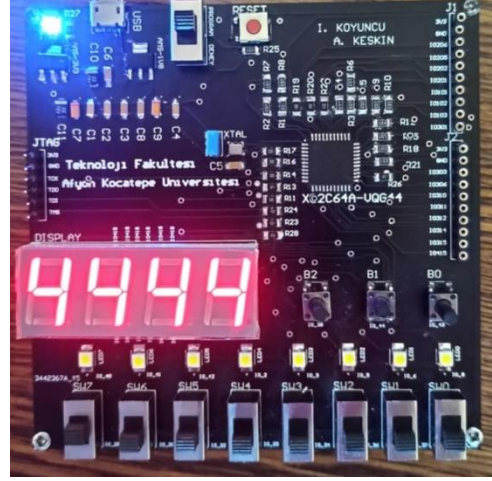
1 NET "anodes<0>" LOC = "27";
2 NET "anodes<1>" LOC = "23";
3 NET "anodes<2>" LOC = "22";
4 NET "anodes<3>" LOC = "21";
5
6 NET "clk" LOC = "1";
7
8 NET "cathodes<0>" LOC = "12";
9 NET "cathodes<1>" LOC = "13";
10 NET "cathodes<2>" LOC = "14";
11 NET "cathodes<3>" LOC = "16";
12 NET "cathodes<4>" LOC = "18";
13 NET "cathodes<5>" LOC = "19";
14 NET "cathodes<6>" LOC = "20";
15 NET "cathodes<7>" LOC = "29";
16

```

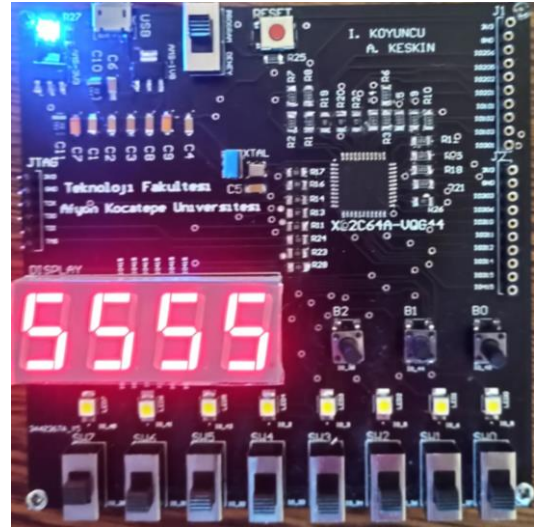
Şekil 16. Yukarı sayıcı uygulamasına ait .ucf dosyası kodu.

Bu işlemten sonra yukarı sayıcı uygulamasına ait bitstream dosyası Generate Programming File aracı kullanılarak elde edilmiştir. ISE Impact aracı kullanılarak yukarı sayıcı uygulamasında elde

edilen bitstream dosyası FPGA çipine yüklenmiştir. Yükleme işleminin ardından tasarlanan FPGA geliştirme kartının istenilen biçimde başarılı bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir. Tasarlanan FPGA geliştirme kartı üzerinde gerçekleştirilen uygulamalara ait görüntü Şekil 17'de ve Şekil 18'de sunulmuştur.



Şekil 17. Tasarlanan FPGA devre kartı üzerinde gerçekleştirilen yukarı sayıcı uygulaması (örnek durum1).



Şekil 18. Tasarlanan FPGA devre kartı üzerinde gerçekleştirilen yukarı sayıcı uygulaması (örnek durum2).

5. FARKLI FPGA KARTLARI ARASINDA DONANIM VE FİYAT KARŞILAŞTIRMASI

Bu çalışma kapsamında sunulan yeni FPGA geliştirme kartı ile Digilent firmasına ait C-Mod C2 FPGA geliştirme kartı genel özellikler açısından birbirine yakın donanımlar içermektedir. Tablo 2'de farklı FPGA geliştirme kartlarına ait donanım özellikleri verilmiştir. Tablo üzerinde, geliştirme kartında bulunan FPGA çipleri, çiplerin maksimum saat frekansları ve kart üzerinde kullanılan genel donanımsal özellikler sunulmuştur.

Tablo 2. Farklı FPGA geliştirme kartlarına ait donanımsal özellikler.

FPGA Geliştirme Kartları	FPGA Çipi	Saat Frekansı	Kart Üzerindeki Donanımlar
Cmod C2	XC2C64A-7VQG44	159 Mhz	33 adet I/O pini
Cmod A7-35T	CX7A35T-1CPG236C	464 MHz	USB-JTAG port, 3 adet LED, 2 adet buton, 44 dijital I/O ve 2 analog input pini
Basys 3	XC7A35T1CPG236C	450 MHz	16 adet anahtar, 16 adet LED, 5 adet buton, 1 adet 4'lü 7-segment display, 4 adet Pmod port, 1 adet VGA çıkış, 1 adet Serial Flash, 1 adet USB-JTAG port
Arty Board A7-35T	XC7A35TI CSG324-1L	450 MHz	4 adet anahtar, 5 adet Buton, 8 adet LED, 4 adet Pmod port, 1 adet Ethernet portu, 1 adet USB-JTAG port
Zybo Z7-10	Xilinx Zynq™-7000	766 MHz	5 adet p-mod port, 8 adet buton, 4 adet anahtar, 3 adet ses portu, 2 adet HDMI portu, 1 adet Ethernet portu, 1 adet Serial flash, 1 adet micro USB, 1 adet sd micro portu

6. SONUÇLAR

Sunulan çalışmada mühendislik alanındaki temel sayısal uygulama ve tasarımların gerçek zamanlı FPGA tabanlı olarak gerçekleştirilebilmesi için gerekli donanım elemanlarına sahip yeni bir yerli FPGA devre kartı tasarlanmıştır. FPGA geliştirme kartının maliyetinin düşürülmesi amacı ile üzerindeki donanım minimum seviyede tutulmuştur. FPGA geliştirme kartına ait PCB'yi oluşturmak için Altium PCB Design Software & Tools programı kullanılmıştır. Tasarlanan FPGA geliştirme kartının test edilebilmesi amacı ile Xilinx ISE Design Tools programı ile VHDL dilinde örnek sayısal sistem tasarımı projeleri kodlanmıştır. Örnek sayısal sistem tasarımı projelerinin Place-Route işleminin ardından elde edilen bitstream

dosyaları JTAG ara yüzü ile FPGA çipine yüklenmiştir. Yükleme işleminin ardından örnek sayısal sistem tasarımı projelerinin FPGA geliştirme kartı üzerinde başarılı bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiş ve örnek uygulamaların sonuçları çalışmada sunulmuştur. Bu çalışmada sunulan yeni bir yerli FPGA geliştirme kartı tasarımı ile hali hazırda dışa bağımlı bir şekilde yurtdışından temin edilerek çok yüksek maliyetler ile kullanılan FPGA geliştirme kartlarına alternatif olarak daha düşük maliyet ile mühendislik eğitiminde temel uygulamalarda kullanılacak yerli bir FPGA geliştirme kartı başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKÇA

- Abdullah, H. T., Younis, B.M., (2019). FPGA Based Bone Fracture Detector, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 745, 012052.
- Akçay, M. Ş., Koyuncu, İ., Alçın, M., Tuna, M., (2020). Implementation of IQ-Math Based RadBas Activation Function on FPGA, International Asian Congress on Contemporary Sciences-IV, Baku, Azerbaijan, 599-607.
- Akkoyun, F., (2011). FPGA Tabanlı Dokunmatik Ekranlı Kullanıcı Arabirimi Tasarlanması ve Gerçekleştirilmesi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 103s, Kocaeli.
- Alçın, M., Koyuncu, I., Tuna, M., Varan, M., Pehlivan, I., (2019). A novel high speed Artificial Neural Network-based chaotic True Random Number Generator on Field Programmable Gate Array. International Journal of Circuit Theory and Applications, 47(3): 365-378.
- Az, I., (2014). Fpga Tabanlı Şifreli Kablosuz Haberleşme Sistemi, Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bargsten, V., de Gea Fernández, J., (2020). Distributed computation and control of robot motion dynamics on FPGAs, International Journal of SN Applied Sciences, 2, Article number 1239.
- Diao, L., Tang, J., Loh, P. C., Yin, S., Wang, L., Liu, Z., (2018). An efficient DSP-FPGA-based implementation of hybrid PWM for electric rail traction induction motor control. IEEE Transactions on Power Electronics, 33(4): 3276-3288.
- Dong, E., Yuan, M., Du, S., Chen, Z. (2019). A new class of Hamiltonian conservative chaotic systems with multistability and design of

- pseudo-random number generator. *Applied Mathematical Modelling*, 73: 40-71.
- Drozd, O. V., Kapulin, D.V., (2018). The device of secure data transmission based on Magma crypto algorithm with implementation on FPGA. *IEEE Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT)*, (pp. 1-5).
- İsmail, S. M., Said, L. A., Rezk, A. A., Radwan, A. G., Madian, A. H., Abu-Elyazeed, M. F., Soliman, A. M., (2017). Generalized fractional logistic map encryption system based on FPGA. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 80: 114-126.
- Koyuncu, İ., Akçay, M. Ş., Tuna, M., Alçın, M., (2019). Implementation of IQ-Math-based Linear Activation Functions on FPGA. *1st International Congress of Multidisciplinary Studies and Research, Şanlıurfa, Türkiye*, 114-124.
- Koyuncu, İ., Çetin, Ö., Katırcıoğlu, F., Tuna, M.,(2015). Edge dedection application with FPGA based Sobel operator. *IEEE 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, (pp. 1829-1832).
- Libano, F., Rech, P., Tambara, L., Tonfat, J., Kastensmidt, F., (2018). On the reliability of linear regression and pattern recognition feedforward artificial neural networks in FPGAs. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 65(1): 288-295.
- Munden, R., (2005). *ASIC and FPGA verification: a guide to component modeling*. Morgan Kaufmann Publ., Elsevier, San Francisco, USA.
- Özgür, M., (2014). Radar sinyal işleme algoritmalarının FPGA ve GPU üzerinde uygulanmasının başarımlarını analiz, Master's thesis, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özkan, İ. A., Sarıtaş, İ., Herdem, S. (2011). Manyetik filtreler için FPGA tabanlı bulanık kontrolör tasarımı.
- Rahul, D., (2009). *Introduction to Embedded System Design Using Field Programmable Gate Arrays*.
- Rodríguez-Orozco, E., García-Guerrero, E., Inzunza-Gonzalez, E., López-Bonilla, O., Flores-Vergara, A., Cárdenas-Valdez, J., Tlelo-Cuautle, E., (2018). FPGA-based chaotic cryptosystem by using voice recognition as access key. *Electronics*, 7(12): 414.
- Savran, İ., (2017). *Donanım Tanımlama Dili VHDL ve FPGA Uygulamaları*, Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul.
- Schafer, B. C., Takenaka, T., Wakabayashi, K., (2009). Adaptive simulated annealer for high level synthesis design space exploration. *IEEE International Symposium on VLSI Design, Automation and Test*, (pp. 106-109).
- Sinha, A., Lotia, P., (2015). A study on FPGA based digital modulators. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 4(4), 1935-1942.
- STMicroelectronics. (2020), AN2867 Application Note, (Rev 12). Oscillator design guide for STM8AF/AL/S, STM32 MCUs and MPUs.
- Şahin, İ., Gloster, C., Doss, C., (2000). Feasibility of floating-point arithmetic in reconfigurable computing systems. *Military and Aerospace Applications of Programmable Devices and Techn. Conf., Washington, DC*.
- Şahin, İ., Koyuncu, İ., (2011). A new module design for 3D graphic transformations using generated floating-point core units. *I. Rev. on Modelling and Sim.*, 4(2):691-698.
- Tengilimoğlu, B., Bazlamaççı, C. F., (2014). Partial reconfiguration on a real-time target detection and tracking system. *IEEE 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 1130-1133).
- Tlelo-Cuautle, E., Guillén-Fernández, O., de Jesus Rangel-Magdaleno, J., Melendez-Cano, A., Nuñez-Perez, J. C., de la Fraga, L. G.,(2019). FPGA Implementation of Chaotic Oscillators, Their Synchronization, and Application to Secure Communications.
- Tuntas, R., (2015). The Modeling and Hardware Implementation of Semiconductor Circuit Elements by Using ANN and FPGA, *Acta Physica Polonica Series a*, 128(2B), pp. 78-81.
- Yılmaz, N., (2008). Alan Programlamalı Kapı Dizileri (FPGA) Üzerinde Bir YSA'nın Tasarlanması ve Donanım Olarak Gerçekleştirilmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Yılmaz, C., Koyuncu, İ., Alçın, M., Tuna, M., (2019). Artificial Neural Networks based thermodynamic and economic analysis of a hydrogen production system assisted by geothermal energy on Field Programmable

Gate Array, *International Journal of Hydrogen Energy*, 44, 17443-17459.

Alçın, M., Koyuncu, İ., Tuna, M., Varan, M., Pehlivan, İ., (2019). A novel high speed Artificial Neural Network-based chaotic True Random Number Generator on Field Programmable Gate Array. *International Journal of Circuit Theory and Applications*, 47(3), 365-378.

Karataş, F., Koyuncu, İ., Alçın, M., Tuna, M., (2020). FPGA based Implementation of membership functions for real time fuzzy logic applications, *International Asian congress on Contemporary Sciences-3*, Konya, Turkey, pp. 62-69.

Rajagopal, K., Tuna, M., Karthikeyan, A., Koyuncu, İ., Duraisamy, P., Akgul, A., (2019). Dynamical analysis, sliding mode synchronization of a fractional-order memristor Hopfield neural network with parameter uncertainties and its non-fractional-order FPGA implementation. *The European Physical Journal Special Topics*, 228(10), 2065-2080.

Tuna, M., Koyuncu, İ., Alçın, M., (2018). Fixed and Floating point-Based High-Speed Chaotic Oscillator Design with Different Numerical Algorithms on FPGA. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*. Vol 7, Issue 7.

Tuna, M., Alçın, M., Koyuncu, İ., Fidan, C. B., Pehlivan, İ., (2019). High speed FPGA-based chaotic oscillator design. *Microprocessors and Microsystems*, 66, 72-80.

Yılmaz, C., Koyuncu, İ., Alçın, M., Tuna, M., (2019). Artificial Neural Networks based thermodynamic and economic analysis of a hydrogen production system assisted by geothermal energy on Field Programmable Gate Array. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(33), 17443-17459.