

# FPGA KULLANILARAK DIŞ PROTEZ PİŞİRME FIRINLARININ ESNEK VE HASSAS DENETİMİNİ SAĞLAYAN BİR KONTROL KARTININ TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

**Süleyman UZUN<sup>a</sup>, M. Rahmi CANAL<sup>b</sup>, Nurettin TOPALOĞLU<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> Erzincan Üniversitesi, Bilgisayar Programcılığı, Kemaliye H. Ali Akın Meslek Yüksekokulu, Erzincan, Türkiye

<sup>b</sup> Gazi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Ankara, Türkiye  
[suzun@erzincan.edu.tr](mailto:suzun@erzincan.edu.tr), [mrcanal@gazi.edu.tr](mailto:mrcanal@gazi.edu.tr), [nurettin@gazi.edu.tr](mailto:nurettin@gazi.edu.tr)

(Geliş/Received: 03.05.2011; Kabul/Accepted: 16.09.2011)

## ÖZET

Bu çalışmada, diş laboratuvarlarında diş protezinin pişirilmesinde kullanılan diş protezi pişirme fırınının esnek ve hassas bir şekilde denetlenmesi amacıyla, programlanabilir mantık blokları (FPGA) kullanılarak kontrol birimi tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sistemin denetimini Xilinx firmasına ait XC3S700A-4FG484 FPGA entegre devresi sağlamaktadır. Bu elektronik kontrol kartı tasarlanırken düşük güç tüketimine ve yüksek çalışma hızına sahip FPGA' lar da daha az kapı kullanılmasına imkan sağlayan donanım tanımlama dili (VHDL) programı ve algoritması geliştirilmiştir. Diş protezi pişirme fırınlarında iyi bir zamanlama, doğrusal ve kararlı çalışma, hassas sıcaklık, basınç denetimi ve esnek kullanımı çok önem taşımaktadır. Tüm bu özellikleri üzerinde barındıran FPGA' ların ilk defa kullanılmasıyla gerçekleştirilen kontrol kartı ile diş protez pişirme fırınında sıcaklık ve basınç belirlenen değerlerde tutulmuş ve tam zamanında pişirme işlemi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Böylece, geliştirilen kontrol kartı ve yazılım sayesinde hassas değerlerde pişirilen protezler hem sağlam hemde uzun ömürlü olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Diş Protezi Pişirme Fırını, FPGA, VHDL, Gömülü Sistemler

## DESIGN AND REALIZATION OF A PRECISE AND FLEXIBLE CONTROL CARD FOR A DENTAL PROSTHESIS BAKING FURNACE BY USING FPGA

### ABSTRACT

In this study, a dental prosthesis baking furnace, which is used in baking of the dental prosthesis in the dental laboratories, has been explored in terms of the control unit design and application with FPGA (Field Programmable Gate Array - FPGA). Governing of the furnace has been realized by an XC3S700A-4FG484A FPGA integrated circuit which was produced by Xilinx firm. During the design process of this electronic control card, VHDL (VHSIC Hardware Description Language – VHDL) program and algorithm, which are used fewer gates in developing the FPGA ICs and have high speed of hardware and low power consumption have been developed. In any dental prosthesis baking furnace, a good timing, linear and stabilized operation, sensitive temperature and pressure monitoring and flexible usage are of vital. With the proposed control card for first time, the FPGA which contains the above-mentioned features temperature and pressure values have been adjusted at a desired order and process of baking has been implemented on time, successfully. Thus, Prosthesis which baked in many precise operation parameters (i.e. temperature, pressure) during the process has been observed to be long-lived and durable due to this control card and software.

**Keywords:** Dental Prosthesis Bacing Furnace, FPGA, VHDL, Embedded Systems

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Diş protezi pişirme fırınları; 4 bar – 6 bar basınç arasında, 90°C – 120°C sıcaklık arasında ve 120s ile 240s süre içerisinde protez dişleri pişiren cihazlardır. Protez dişlerin yapısında bulunan akrilik denen madde bu basınç, sıcaklık ve zaman arasında sertleşen bir maddedir [1].

Diş protezi pişirme fırınları protez dişleri pişirerek kullanıma hazır hale getiren cihazlardır. Diş protezi pişirme fırınının kontrol kartında mikroişlemci seçimi oldukça önemlidir. Programlanabilir lojik devreler (PLD), lojik devrelerin tasarımında ve prototip hazırlamada zaman, maliyet ve hız gibi önemli avantajlar sağlamaktadır [2,3]. PLD teknolojisinin günümüzdeki en önemli uygulaması FPGA' larıdır [4,5]. Sıradan PLD teknolojisi ile karşılaştırıldığında FPGA' lar yüksek hız, düşük güç, kısa geliştirme zamanı ve düşük maliyet gibi özelliklere sahiptir [6]. FPGA' lar hızlı prototipler için etkin bir donanımdır ve yüksek seviyeli devre tasarımını sağlayan binlerce mantıksal kapılardan oluşmaktadır [7]. FPGA' daki "alanda programlanabilir" kelimesi, aslında cihazın üretici firmasından ziyade, kullanıcının programı ile çalışan bir fonksiyonun tanımlandığı anlamına gelen, uygulamaya bağlı programlamadır [8]. Genel tümleşik devreler kısmen üreticinin belirlediği fonksiyonlara göre işlev görürler. Bununla birlikte, FPGA, içerisine kullanıcı tarafından belirlenerek ve algoritması çıkartılarak yüklenen programa göre çalışır. Kullanıcı tarafından programlanabilirliğin getirdiği en büyük avantaj karmaşık entegre tasarımında yüksek mühendislik maliyetleri getirmeden özel amaçlı entegre devreler tasarlayabilmektir [6].

Bu makalede, diş laboratuvarlarında kullanılan diş protez pişirme fırını denetlemek için gerçekleştirilen FPGA'lı kontrol kartının tasarımı ve programlanması tanıtılmaktadır. Tasarlanan kontrol devresinde mikroişlemci olarak Xilinx firmasına ait XC3S700A entegresi ve yazılım geliştirme kiti (SDK) olarak aynı firmanın ISEWebPack 9.2i platformu kullanılmıştır. Programlama şematığı VHDL donanım programlama dili ve Verilog programlama diliyle yapılmıştır. Bunun yanında ISEWebPack platformunun sağladığı çok sayıda programlama seçeneklerini kullanarak programların daha hızlı, gelişmeye açık ve çabuk değiştirilerek değişiklikleri anında görme gibi avantajlarından faydalanılmaktadır [9]. FPGA özellikle endüstriyel olmak üzere birçok uygulamalarda arabulucu özelliğe sahiptir [10]. Yeni geliştirilen FPGA'lar DSP ve ASIC işlemcilerin birçok avantajını birleştirmiştir [11].

Sadece diş implant uygulaması dışında [12] FPGA' lar diş protezi pişirme fırını tasarımında ilk defa bu çalışmada kullanılmıştır. Dolayısıyla bu çalışma daha da önem kazanmaktadır.

Bu tasarımla; halihazırdaki bir diş protezi pişirme fırınının maliyetlerinin azaltılması, FPGA' ların hız, zamanlama ve programlamadaki esneklik gibi özellikleri kullanılarak daha ucuz, daha sağlam, daha uzun ömürlü, zamanlama hataları olmayan, kaliteli protezler meydana getiren farklı bir diş protezi pişirme fırını kontrol kartı tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Makalenin ikinci bölümünde diş protezi pişirme fırınının çalışması ve sistem yazılımından bahsedilmiş, üçüncü bölümünde elde edilen bulgular ile diğer farklı tasarımlarla gerçekleştirilen diş protezi pişirme fırınlarının bulguları karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar ve yorumlara yer verilmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Diş Protezi Pişirme Fırınının Çalışma Prensipleri ve Akış Şeması (The Working Principle and Flowchart of Furnace Dental Prosthesis)

Protez diş, 4 bar basınç ve 90°C değerlerin altında pişirilirse akrilik maddede kabarcıklar oluşmaktadır. Bu sebeple akrilik tam anlamıyla pişmemektedir. Bu şekilde pişirilen bir protezin kullanımı uygun değildir.

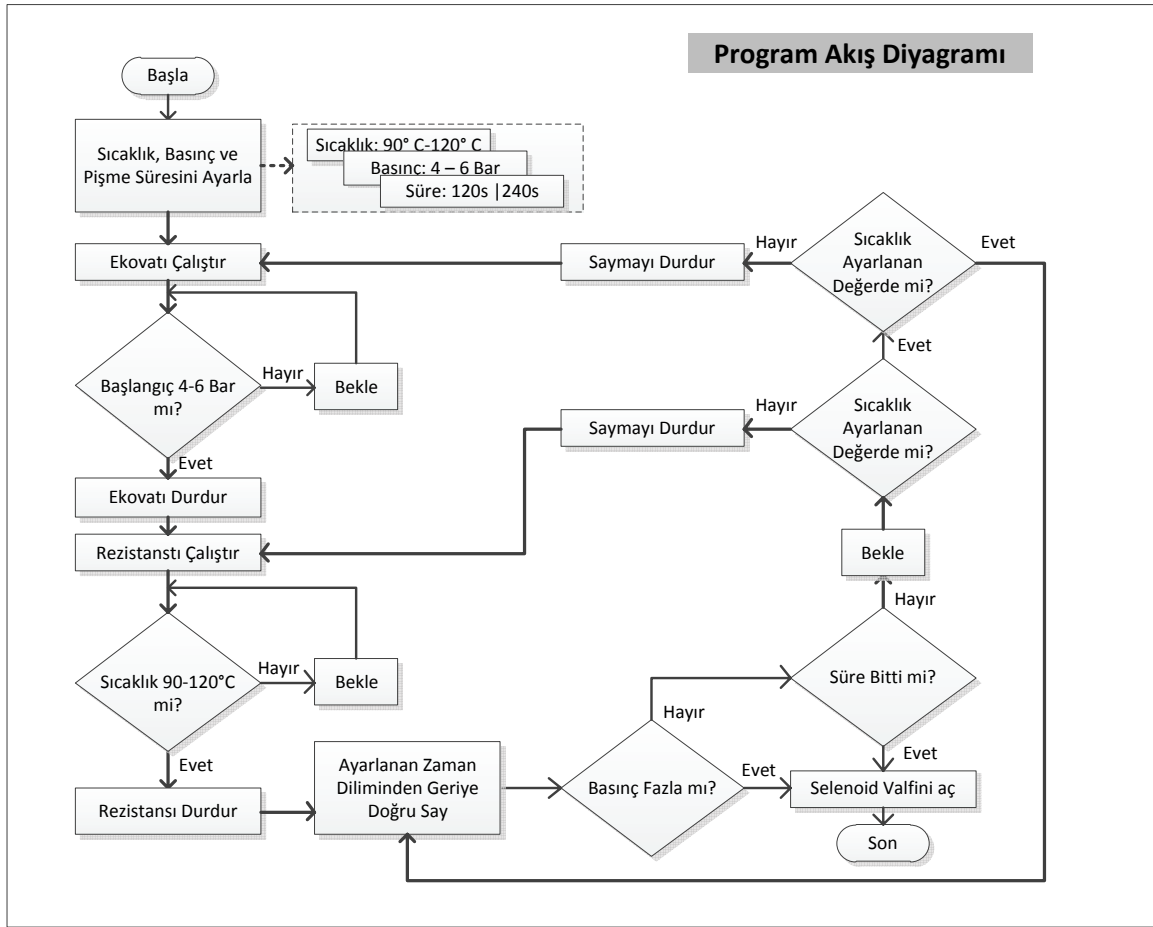
Protez diş, 6 bar basınç ve 120°C değerlerin üstünde bir değerde pişirilirse akrilik madde küçülmekte ve özelliğini kaybetmektedir. Bu şekilde pişirilen bir protez hastanın ağızına tam olarak oturmamaktadır.

Protez diş, 120 saniyelik sürenin altında pişirilirse tam olarak pişirme işlemi gerçekleşmemiş olmaktadır. Protez dişler sağlam bir şekilde akrilik tarafından tutulmadığı için dişler zaman içerisinde dökülmektedir. Protez diş, 240 saniyelik sürenin üzerinde bir süreyle pişirilirse akrilik madde çatlayarak kırılmaktadır.

Anlaşılabileceği üzere protez bir dişin pişirilmesi sırasında sıcaklık, basınç ve süre çok önem taşımaktadır. Belirlenen süre, sıcaklık ve basınç değerleri arasında pişirilen bir protez sağlam ve daha uzun ömürlü olmaktadır [1].

Diş protezi pişirme fırınının çalışması kısaca özetlenirse; öncelikli olarak fırının kazan dairesine protez diş yerleştirilir, protez dişin yarısı su içerisinde kalacak şekilde kazan dairesine su koyulur ve kazan dairesinin kapağı kapatılır. Belirlenen süre, sıcaklık ve basınç değerleri ayarlanarak sistem başlatılır.

Protezin büyüklüğüne göre sıcaklık değeri 90°C ile 120°C arasında bir değere ayarlanır, basınç değeri fırının kullanıma başlamadan önce sadece bir kereliğe mahsus 4 bar – 6 bar basınç arasında bir değerde ayarlanır. Seçim anahtarı sayesinde 120s'lik veya 240s'lik programlardan biri seçilir. Start anahtarına basılarak sistem çalıştırılır. İlk önce ekovat çalışarak



Şekil 1. Program akış şeması (Flowchart of program)

kazan dairesinin basıncını ayarlanan değere kadar çıkartacaktır. Basınç bu değere ulaşınca basınç algılayıcısı bunu sezerek ekovatin çalışmasını durduracaktır. Ekovatin durmasıyla rezistans devreye girecek ve kazan dairesinin sıcaklığını ayarlanan değere kadar yükseltecektir. Kazan dairesinin sıcaklığı bu ulaşınca sıcaklık algılayıcısı tarafından seziyecek ve rezistansın çalışması durdurulacaktır. Bundan sonra ayarlanan sürelerden geriye doğru sayma işlemi başlayacaktır. Sayma işlemi bitince kazan dairesi içerisindeki hava, buhar ve sıcak su selenoid valf tarafından tahliye edilecektir. Böylece kıvamında bir diş protezi pişirme işlemi gerçekleşecektir.

Herhangi bir sebepten dolayı geri sayma esnasında sıcaklık azalması meydana gelirse geri sayma işlemi durdurulacak ve rezistans tekrar çalışmaya başlayacaktır. Kazan dairesinin içerisindeki sıcaklık ayarlanan seviyeye gelince rezistans durdurulacak ve sayma işlemi kaldığı yerden devam edecektir. Yine aynı şekilde basınç düşmesi yaşanır, geri sayma işlemi durdurulacak ve ekovat çalışmaya başlayacaktır. Kazan dairesi içerisindeki basınç değeri ayarlanan değere ulaşınca ekovat durdurulacak ve sayma işlemi kaldığı yerden devam edecektir.

Diş protezi pişirme fırınının çalışması sırasında kazan dairesi içerisindeki basınç değeri 6 bar' ı geçerse bu basınç sensörü tarafından algılanacak ve selenoid valf açılarak yüksek basınç tahliye edilecektir. Böylece kazan dairesinin aşırı basınç artışından dolayı kapak kısmının patlaması önlenmiş olacaktır. Programa ait akış şeması Şekil 1' de görülmektedir.

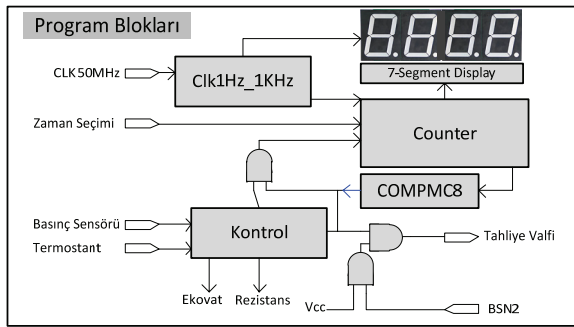
Kullanılan FPGA ile yazılım sayesinde sistemin sıcaklığı ve basıncı hep ayarlanan değerlerde tutulmakta ve tam zamanında pişirme işlemi gerçekleştirilmiş olmaktadır. Bu şekilde pişirilen protez dişler hem sağlam hem de uzun ömürlü olmaktadır.

## 2.2. Xilinx ISEWebPack 9.2i platformunda geliştirilen sistem yazılımı (System software developed on the platform of Xilinx ISEWebPack 9.2i)

Sistemin kontrol kartında kullanılan XC3S700A-4FG484 FPGA entegre devresinin programlanması için ISEWebPack platformu kullanılmıştır. Burada gerçekleştirilen program ISEWebPack platformunun şematik programlama ve kod programlama seçenekleri kullanılmıştır. Kod olarak verilmiş ve VHDL donanım tanımlama dilleri kullanılmıştır.

Devre, program hazırlanma aşamasında Şekil 2' de gösterildiği biçimde bloklara ayrılmıştır. Bu blokların

her birinde farklı programlama mantığı kullanılmıştır. Kontrol bloğu açma/kapama düğmesi, sıcaklık ve basınç sensörlerinden aldığı bilgilere göre fırının çalışmasını başlatıp sırasıyla ekovat, rezistans ve selenoid valfleri çalıştırma işlemlerini gerçekleştirmektedir. Clk1Hz\_1KHz bloğu, 50MHz'lik entegrenin dâhili saat sinyalini 1Hz ve 1KHz'e çevirmektedir. Counter isimli blok ayarlanan zamanları geri sayma işlemini gerçekleştirmektedir. Seven\_segment\_display isimli blok Counter bloğundan aldığı bilgileri göstergeye yazma işlemini gerçekleştirmektedir. Compmc8 bloğu ise sayma işlemini kontrol bloğuna bildirerek işlemi sonlandırmaktadır.



**Şekil 2.** FPGA içerisine yüklenen kodun blok diyagramı (Block diagram of code loaded into FPGA)

Clk1Hz\_1KHz isminde 50MHz' i 1Hz ve 1KHz' e çevirme işlemini gerçekleştiren blok VHDL kodu ile önce 50MHz 1KHz' e sonra, yine VHDL kodu ile 50MHz 1Hz' e çevrilmiştir.

50MHz'lik saat sinyalini 1KHz' e çevirme işlemini gerçekleştiren program kodları aşağıda görülmektedir.

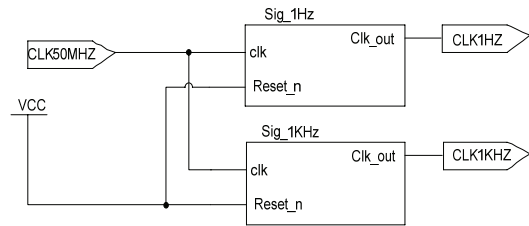
```
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_ARITH.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.ALL;
entity sig_1KHz is--1KHz
Port (clk : in STD_LOGIC;
reset_n : in STD_LOGIC;
clk_out : out STD_LOGIC);
end entity sig_1KHz;
architecture Behavioral of sig_1KHz is
signal clk_sig : std_logic;
begin
process(reset_n,clk)
variable cnt : integer;
begin
if (reset_n='0') then
clk_sig<='0';
cnt:=0;
elsif rising_edge(clk) then
if (cnt=24999) then -- 24999
clk_sig<=NOT(clk_sig);
cnt:=0;
else
cnt:=cnt+1;
end if;
end if;
end process;
clk_out <= clk_sig;
end Behavioral;
```

50MHz'lik saat sinyalini 1Hz'e çevirme işlemini gerçekleştiren program kodları aşağıda görülmektedir.

```
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_ARITH.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.ALL;
entity sig_1hz is--1HZ
Port (clk : in STD_LOGIC;
reset_n : in STD_LOGIC;
clk_out : out STD_LOGIC);
end entity sig_1hz;
architecture Behavioral of sig_1hz is
signal clk_sig : std_logic;
begin
process(reset_n,clk)
variable cnt : integer;
begin
if (reset_n='0') then
clk_sig<='0';
cnt:=0;
elsif rising_edge(clk) then
if (cnt=24999999) then -- 24999999
clk_sig<=NOT(clk_sig);
cnt:=0;
else
cnt:=cnt+1;
end if;
end if;
end process;
clk_out <= clk_sig;
end Behavioral;
```

Bu program kodlarının şematığıde ISEWebPack programı tarafından oluşturulmuştur.

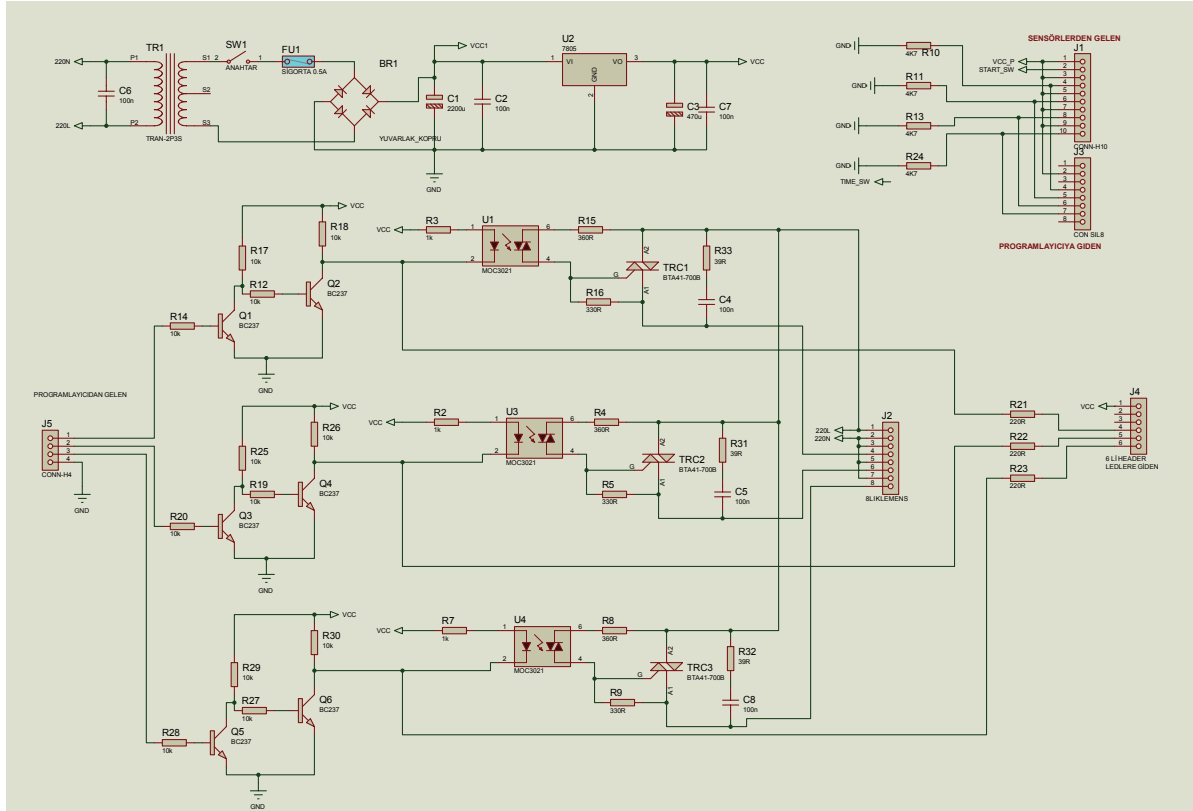
Her iki VHDL kodlarını birbirine kod ile bağlamak hem zor hem de çok zaman aldığı için her iki kodun şematığı oluşturulmuştur. Şekil 3'de birbiriyle bağlantısı gösterilen devrenin ISEWebPack programı tarafından tekrar şeması oluşturulmaktadır.



**Şekil 3.** 1Hz ve 1KHz Çevirme Blok Şeması (Block circuit of 1Hz and 1KHz Conversion)

Yukarıda da görüldüğü gibi, sadece 50MHz saat sinyalini 1Hz ve 1KHz' e çevirme işleminde hem VHDL hem de schematic programlama kullanılmıştır. Programın diğer kısımları da bu şekilde bölümlere ayrılarak hazırlanmıştır.

FPGA içerisine yüklenen devre tasarımında 89 adet flip-flop, 257 adet LUTs, 20 adet IOBs, 2450 adet lojik kapı kullanılmıştır.



Şekil 4. Kontrol Kartının Devre Şeması (Circuit Diagram of Control Card)

### 2.3. Tasarlanan elektronik kart (Designed Electronics Card)

Diş protezi pişirme fırını için tasarlanan elektronik kartı; kontrol kartı, programlayıcı kartı ve display kartı olmak üzere üç karttan oluşmaktadır. Kontrol kartında ekovat, rezistans ve selenoid valfini sürmek için BTA41 Triac' ı ve Triac' ları sürmek içinde MOC3041 optokuplörü kullanılmıştır. Bu eleman 220V' luk şehir şebekesi ile mikroişlemci arasındaki izolasyonu sağlamaktadır [13]. Mikroişlemciye zarar gelmemesi için ve daha kararlı bir şekilde Triac' ları sürmek için MOC3041' ler BJT (Bipolar Junction Transistor) transistörlerin darlington şeklinde bağlanarak sürülmektedir.

Programlayıcı kartı olarak; yapılan uygulamaların ve değişikliklerin hemen görülmesi için Xilinx firmasına ait spartan-3A starter kiti kullanılmıştır. Bu kit üzerinde XC3S700A-4FG484A FPGA' sı ve programlayıcısı bulunmaktadır. Bunun dışında 4 adet anahtar, 4 adet buton, 8 adet led, 1 adet PS/2 portu, 2 adet VGA portu, 1 adet RS232 portu, 1 adet RJ45 portu bulunmaktadır [9]. Bu kartı kullanmakla yüklenen programlar hızlı bir şekilde çalıştırılarak sonuçlar hemen elde edilmektedir. Böylece kod geliştirmek bu kartta oldukça hızlı ve kolay olmaktadır. Kontrol kartının devre şeması Şekil 4' de görülmektedir.

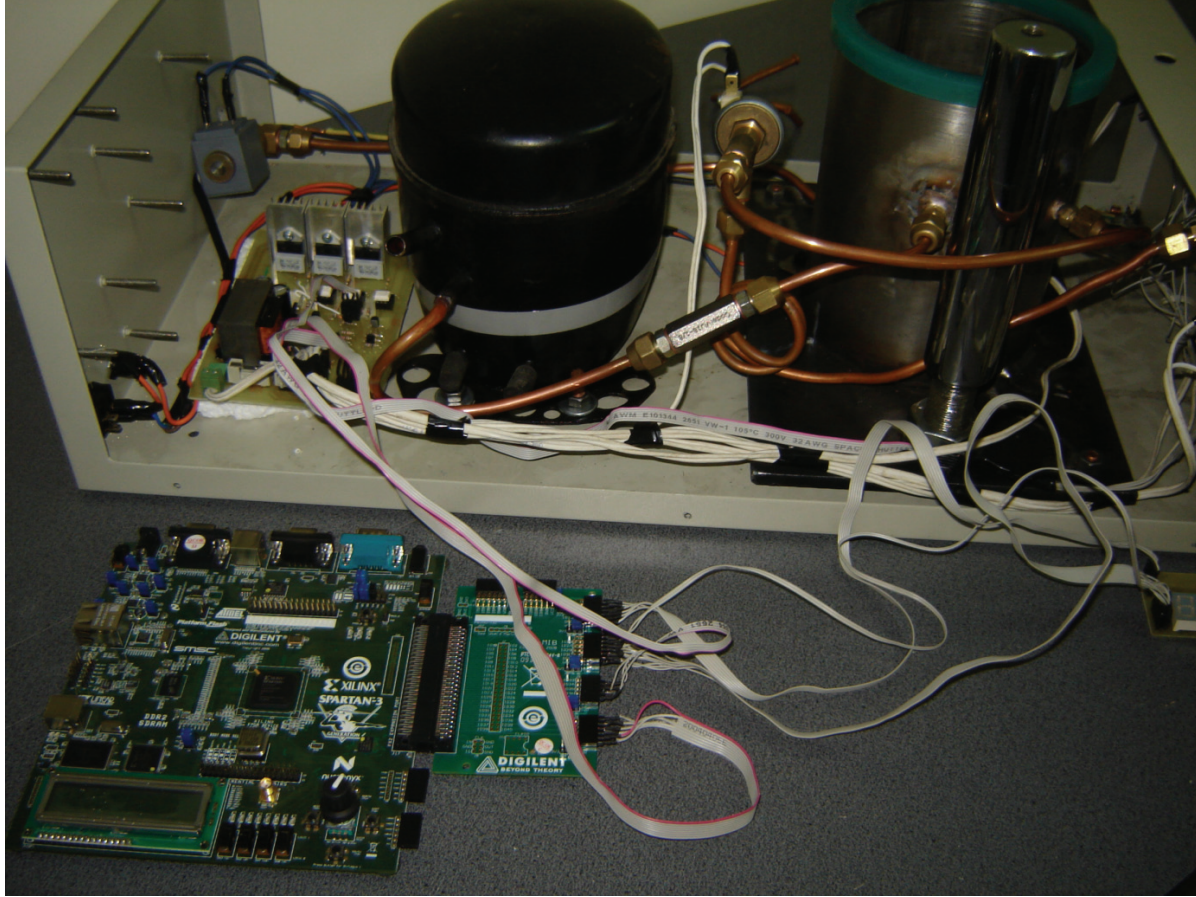
Display kartı ise FPGA' dan gelen bilgileri ekrana yansıtan 4 haneli 7 segment displayden oluşmaktadır.

Programlayıcı kart açma/kapama düğmesi, sıcaklık ve basınç sensörlerinden aldığı verilere göre kontrol kartına komutlar göndererek ekovat, rezistans, zaman ve selenoid valfi kontrol etmektedir. Tasarlanan Kontrol Kartı Şekil 5' de görülmektedir.

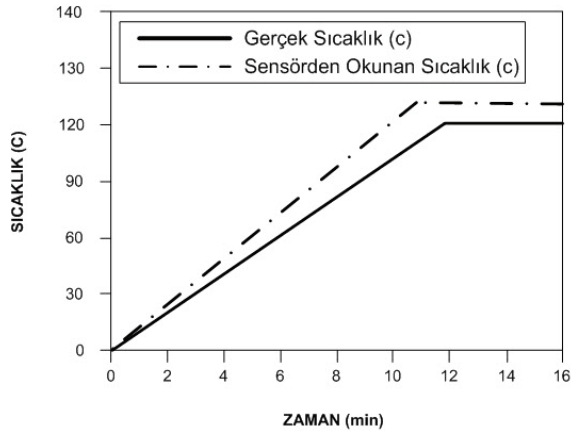
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Diş protezi pişirme fırınının yazılım ve donanımları tamamlandıktan sonra fırın birçok kez çalıştırılarak sistemde basınç azalmaları veya sıcaklık azalmalarının olup olmadığı kontrol edilmiş ve sistemde hiçbir kaçığın olmadığı gözlemlenmiştir. Basınç azalmasına sebep olan faktörler, contadan kaçırabilir, kazan dairesine bağlantı noktalarından kaçak olabilir, fırının bulunduğu ortam ısısının değişmesinden vb. gibi sebeplerden dolayı. Sıcaklığın değişme sebepleri; pişirme esnasında kullanılan programın süresine göre en son bekleme anında sıcaklık azalabilir.

Diş protezi pişirme fırınının sıcaklık ölçümleri ve basınç ölçümleri TSE' den kalibre edilmiş bir ısıl çift (Termokupl) ve manometre ile ölçülmüştür. Diş protezi pişirme fırınının kazan dairesinin olması gereken gerçek sıcaklığa oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 6' da gerçek sıcaklık ile ölçülen sıcaklık değerleri görülmektedir.



Şekil 5. Kontrol Kartı (Control Card)

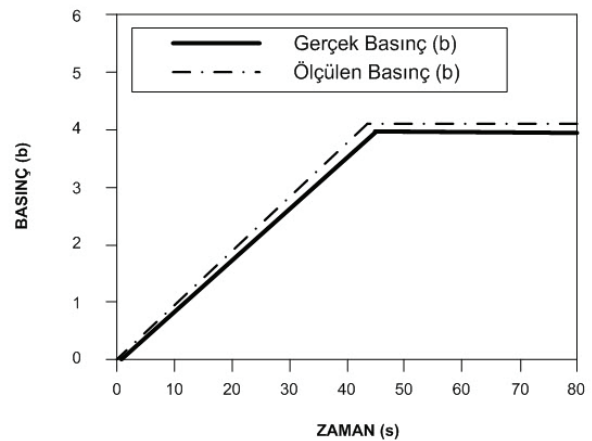


Şekil 6. Gerçek sıcaklık ile ölçülen sıcaklığın zamana bağlı değişim grafiği (Graph of time-dependent change in actual temperature and measured temperature)

Kazan dairesindeki basınç ile ilgili alınan ölçümler ise Şekil 7' de görüldüğü gibidir.

Şekil 7' deki grafikten de anlaşılacağı üzere basınç değeri 4 bar' a kadar yükselmekte ve daha sonra sabit kalmaktadır. Sistem çalışması boyunca kazan içerisindeki sıcaklık ve basınç değerleri ayarlanan değerlere ulaştıktan sonra hiç değişmedikleri gözlemlenmiştir.

Dışarıdan bir müdahale ile kazan dairesindeki basınç, zamanın geri sayımı esnasında azaltılmıştır. Fırının geri sayma işlemini durdurduğu, ekovatu çalıştırarak kazan dairesinin basıncını 4 bar' a çıkardığı ve daha sonra geri sayma işlemine kaldığı yerden devam ettiği gözlemlenmiştir.



Şekil 7. Basıncın zamana bağlı değişim grafiği (Graph of time-dependent change in the pressure)

Yine aynı şekilde kazan dairesinin sıcaklığının dışarıdan bir müdahale ile azaltılması sonucu fırının geri sayma işlemini durdurduğu ve rezistansı çalıştırdığı gözlemlenmiştir. Kazan dairesi içerisindeki sıcaklık ayarlanan sıcaklığa çıkınca

rezistansın çalışmasının durduğu ve geri sayma işleminin kaldığı yerden devam ettiği gözlemlenmiştir.

#### 4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (CONCLUSIONS)

Diş protezi pişirme fırınlarının kontrol kartları FPGA' da lojik olarak oluşturulması için bir yöntem sunulmuştur. Lojik olarak tasarlanan bu sistemin basınç, sıcaklık ve zaman ölçümleri deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık, basınç ve zaman doğruluklarının tatmin edici olduğu elde edilen sonuçlarda görülmüştür.

Diş protezi pişirme fırınının kontrol kartı tasarımı, FPGA kullanılmayan diğer mikrodenetleyiciler ile de gerçekleştirilmektedir. Fakat bu gibi uygulamalarda zamanlama hataları olumsuz gelişmelere yol açmaktadır ki bu istenmeyen bir durumdur. Bu tip çalışmalarda kullanılan harici saat sinyalleri gürültülerden çok fazla etkilendikleri için zamanlama hatalarına rastlandığı görülmektedir.

FPGA ile yapılan tasarımların yüksek hız, düşük maliyet, tekrar programlanabilme, esnek kullanım gibi getirileri, lojik sistemlerin tasarımında son yıllarda tercih edilmelerinin ana sebeplerindendir [14]. Lojik sistemlerin elektrik ve elektroniğin her alanında kullanımı hız etkeni bakımından oldukça önem kazanmıştır [4]. FPGA' ların bu hız özelliği ve tasarımda entegrenin kendi içerisindeki 50MHz' lik bir saat sinyali kullanması bu gibi zamanın çok önemli olduğu tasarımlarda zamanlama hatalarını sıfıra indirgemektedir.

Tasarlanan bu sistemde fırının geri sayma esnasında kazan dairesinde herhangi bir sebepten dolayı basınç veya sıcaklık azalması meydana gelirse geri sayma işlemi FPGA tarafından durdurulur. Sıcaklık azalmışsa rezistans, basınç azalmışsa ekovat devreye girer ve çıkar. Bu işlemler pişirme boyunca devam eder. Rezistansın ve ekovatin devreden çıkmasıyla geri sayma işlemi kaldığı yerden devam etmektedir. Programdaki bu özellik sayesinde pişirilmesi gerçekleştirilen protez dişler daha sağlam ve daha uzun ömürlü olmaktadır.

Tasarımda güvenlik konusunda bir dizi tedbirler alınmıştır. Kazan dairesi içerisindeki suyun ısınması, alt basınç kontrolünü yapan basınç sensörünün bozulması ve bunun gibi sebeplerden dolayı kazan dairesi içerisindeki basınç sürekli artar ve bir süre sonra kazan dairesi kapak kısmından patlar. Bu aşırı basınç artışının önüne geçmek için sisteme ikinci bir basınç sensörü konulmuştur. Bu ikinci sensör ise kazan dairesi içerisindeki üst basınç sınırını kontrol etmektedir. Eğer basınç 6 bar' ın üzerine çıkarsa selenoid valf açılacak ve basınç tahliye edilecektir. Böylece aşırı basınçtan dolayı oluşan patlamanın önüne geçilmiştir. Piyasada bulunan diğer diş protezi

pişirme fırınlarında bu tür bir güvenlik sistemi olmadığı için kazan dairesi aşırı basınç artışından dolayı patlamakta, etrafa protez diş parçaları ve kaynar sular saçılmaktadır. Etrafa saçılan bu parçalar ise insanların sağlığını tehdit etmektedir.

Daha önceki tasarlanan ve piyasada bulunan diğer fırınlarda pişirme esnasında meydana gelen sıcaklık azalmasında rezistans devreye girmekte fakat geri sayma işlemi durmamaktadır. Bu da diş protezinin belirlenen sürede belirlenen sıcaklıkta tam olarak pişirmediği anlamına gelmektedir. Bu şekildeki protezlerin ömürleri kısa olmaktadır [15].

Bu tasarım da FPGA' ların kullanılmasının amacı, hızlarının yüksek olması, ucuz olmaları, programlama da çok esneklik sağlaması gibi avantajlarının olmasıdır [16]. Ayrıca günümüzde kullanılan mikrodenetleyicilerin aksine komutları paralel işleme yeteneğine de sahiptirler. Bu yetenek FPGA ile gerçekleştirilen donanımların doğrulukları bu uygulama sonuçlarından anlaşılacağı gibi yüksek olmaktadır. Ayrıca, oldukça yüksek hızlarda anahtarlama sinyalleri, donanım gerçekleştirme sorunu olmadan birkaç satır kod dizisi üretimi ile gerçekleştirilebilmektedir [17].

Sistem ne kadar karmaşık olursa olsun, donanımın belirli kod dizileri ile ifade edilmesinden dolayı; hassasiyet, hız ve esnek çalışma açısından oldukça tatmin edici sonuçlar alınmıştır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Martinelli, N., "Dental Laboratory Technology", The C. V. Mosby Company, 172-173, Saint Lois, 1975.
2. Pedroni, V. A., "Circuit Design with VHDL", MIT Press, Cambridge, A.B.D., 2004.
3. Gokhale Maya, Graham Paul S., "Reconfigurable Computing: Accelerating Computation with Field Programmable Gate Array", Springer, 2005.
4. Türk, M., Tuncer, S., Akarçay Türk, M., "Sahada Programlanabilir Kapı Dizileri Kullanılarak İki Kanallı Darbe Genişlik Modülasyonlu Sinyallerin Üretimi: Bir H-Köprü Dönüştürücü Uygulaması", **Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, Cilt 21, No 2, 133-140, 2009.
5. Maxfield. C., "Design Warriors Guide to FPGA", **Mentor Graphics Corporation and Xiling, Inc.**, 2004.
6. Paralı, L., Taşkın, S., Pinar, A.M., "FPGA Donanımı ile Görsel Tabanlı Ölçme Sistemi", **5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)**, Karabük, 13-15, 2009.
7. Fei, L., Lin, Y., Lei, H., Deming, C., Cong, J., "Power Modeling and Characteristics of Field Programmable Gate Arrays", **IEEE Transactions on Computer- Aided Design of Integrated Circuits and Systems**, 24, 11, 1712-1724, 2009.

8. Dueck, R. K., "Digital Design with CPLD Applications and VHDL", **Thomson Delmar Learning**, Clifton Park, New York, 2000.
9. İnternet: Xilinx Company "Spartan-3A FPGA family datasheet" <http://www.xilinx.com> (2010).
10. Jeroen Van Ham, Ignace E. Naert, Robert Puers., "Design and Packaging of a Fully Autonomous Medical Monitoring System for Dental Applications", **Circuits and Systems I: Regular Papers, IEEE Transactions on**, Vol. 54, no.1, 200-208, 2007.
11. Joost, R., Salomon, R., "Advantages of FPGA-based multiprocessor systems in industrial applications," **Industrial Electronics Society, IECON**, 31st Annual Conference of IEEE, 6-10, 2005.
12. Monmasson, E., Cirstea, M. N., "FPGA Design Methodology for Industrial Control Systems—A Review," **Industrial Electronics, IEEE Transactions on**, Vol 54, No 4, 1824-1842, 2007.
13. İnternet: Fairchild "MOC3041M" <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/MOC3041M.pdf>, 2010.
14. Kıymaz, S., Canal, M. R., "CPLD Deney Seti Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 21-27, 2005.
15. Kapıdere, M., "Mikrodenetleyici Kontrollü Diş Protezi Pişirme Fırını", **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1998.
16. Aydın, A., "FPGA Yonga Mimarisi ve Kullanımı", Lisans Tezi, **Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü**, Isparta, 9-21, 2005.
17. Tabaru, İ. E., Bıçakçı, S., Karaboğa, N., "APKD'lerinde Fır Süzgeç Tasarlamak için Geliştirilen VHDL kodu ve Şematığı", **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kayseri, 1-4, 2006.