Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 32:2 (2017) 363-375

Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi
Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University

Elektronik / Online ISSN : 1304 - 4915
Basılı / Printed ISSN : 1300 - 1884

# E-laboratuvarlar için yeni bir tasarım: Eş zamanlı erişilebilen deneysel uygulama platformu

Erdal Irmak[1*], Ayberk Calpbinici[2]
[1]Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye
[2]Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Nevşehir, Türkiye

## Ö N E Ç I K A N L A R

- Web tabanlı uzaktan erişimli laboratuvar
- Birden fazla deneye eş zamanlı erişim
- Kullanıcı dostu ara yüz tasarımı

Makale Bilgileri
Geliş: 29.02.2016
Kabul: 15.11.2016

DOI:
10.17341/gummfd.61874

Anahtar Kelimeler:
e-Laboratuvar,
web kontrol,
eş zamanlı erişim,
elektrik makinaları,
uzaktan erişim

ÖZET

Uzaktan erişimli deneysel çalışma imkânı sunan web tabanlı laboratuvarlardaki en önemli sorunlardan biri, aynı anda birden fazla kullanıcının deney platformundan yararlanamayışıdır. Bu soruna çözüm olarak çalışmada, tek bir platform ve aynı sunucu bilgisayar üzerinden aynı anda birden fazla kişinin deney yapmasına izin veren bir e-laboratuvar tasarımı ve uygulaması sunulmuştur. Örnek uygulama alanı olarak Elektrik Elektronik Mühendisliği programında önemli bir yeri olan Elektrik Makinaları dersinin bazı uygulamaları seçilmiştir. Endüstriyel uygulamalarda sıkça kullanılan doğru akım motoru, adım motoru ve servo motor ile ilgili temel deneyler, gerçekleştirilen platform üzerinden eş zamanlı olarak yapılmaktadır. Sistemin genel kontrolünde FPGA denetleyici kullanılmıştır. FPGA'in paralel işlem yapmasından dolayı hem deneylere eş zamanlı erişim kolaylıkla sağlanmış hem de veri alışverişi daha hızlı ve güvenli gerçekleştirilmiştir. Kullanıcılar tasarlanan web sayfaları üzerinden dilediği deney düzeneğine bağlanarak deneyi uzaktan yürütebilmekte ve tüm deneysel verileri sayısal ve grafiksel ortamda inceleyebilmektedir. Çalışmanın tek bir sunucu bilgisayar ve denetleyici üzerinden gerçekleşmesi sistemin maliyetini ve boyutunu düşürmüştür. Ayrıca kolay bir şekilde yeni deney düzeneklerinin eklenebilmesinden dolayı sistem rahatlıkla geliştirilebilir. Böylece, sunulan çalışma yeni ve özgün bir yöntem ile e-laboratuvar uygulamalarına katkı sağlamaktadır.

# A novel design for e-laboratories: Simultaneously accessible experimental application platform

## H I G H L I G H T S

- Web based remote access laboratory
- Simultaneous access to multiple experiments
- User-friendly interface design

Article Info
Received: 29.02.2016
Accepted: 15.11.2016

DOI:
10.17341/gummfd.61874

Keywords:
e-Laboratory,
web control,
simultaneous access,
electrical machines,
remote access

ABSTRACT

One of the crucial issues in web-based laboratories allowing remote access to real experiments is their insufficiency for allowing simultaneous access to multiple users. As a solution to this problem, this study presents the design and implementation of an e-laboratory that allows conducting experiments by more than one users at the same time through a single experimental platform and the same server. For the case study, some experiments of Electrical Machines course, which has an important role in Electrical and Electronics Engineering syllabus, are selected. In this context, basic experiments of some widely used machines in industrial applications like direct current machines, stepper motors and servo motors can be conducted simultaneously by using the platform achieved. A FPGA controller is used for the main control process of the system. Thanks to the FPGA's capability of parallel operation, simultaneous access to experiments are provided easily and data transfer is performed more quickly as well as reliably. Users can carry out any experiment remotely by connecting to the related experimental set via the designed web pages and can analyze all experimental results both graphically and numerically. The cost and the dimension of the system is decreased because of using just a single controller and only one server as well. Besides, the system can be expanded easily because of the ability to add new experimental sets simply. Thus, the study contributes to e-laboratory applications by presenting a novel and innovative approach.

* Sorumlu Yazar/Corresponding author: erdal@gazi.edu.tr / Tel: +90 312 2028516

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

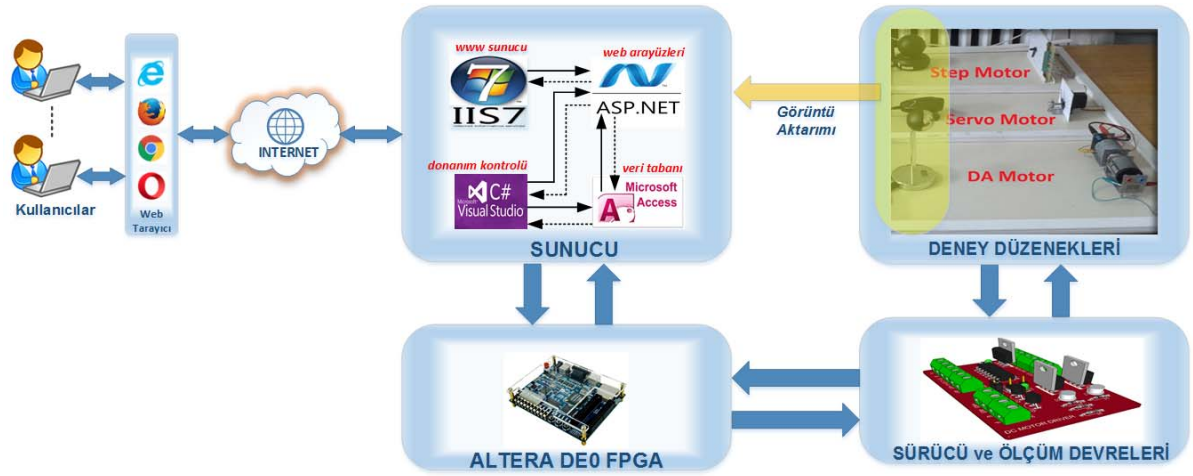
Günümüzde her alanda bilişim teknolojilerinin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu teknolojiler arasında özellikle internet kullanımında önemli ölçüde artış görülmektedir [1]. İnternet kullanım artışına bağlı olarak web uygulamalarının ve web servislerinin sayısı ve çeşitliliği de gelişim ve değişim göstermektedir [2]. Kullanımı yaygınlaşan bu web uygulamalarından biri web tabanlı eğitim modelleridir. Ancak, tüm eğitim programlarına ortak hitap edebilecek standart modellerin kullanılması mümkün değildir. Örneğin, mühendislik eğitimi alanında teorik bilginin yanında uygulamalı eğitimin de büyük önem taşıması, bu alandaki web tabanlı eğitim modellerinde laboratuvar gereksinimlerini ortaya çıkarmaktadır. Bu ihtiyaç ilk dönemlerde sanal laboratuvarlar ile giderilmeye çalışılmış ve literatürde bu alanda birçok çalışma yapılmıştır. Örneğin, elektrik devre çözümlerine yönelik benzetim çalışması [3], yapay zeka kullanılarak sanal laboratuvar tasarımında çekme testinin modellenmesi [4], sanal senkron makine uygulamaları [5], doğru akım motorunun açık ve kapalı döngü hız kontrolü [6], AA makinaların hız kontrolünde sıkça kullanılan evirici ve çeviricilerin benzetimi ve analizi [7], generatör deneylerinin yapıldığı sanal elektrik laboratuvarı [8], asenkron motorun açık döngü ve kapalı döngü çalışmasını gerçekleştiren simülasyon uygulaması [9], doğrusal olmayan sistemlerin analizi [10] gibi çalışmalar literatürde yer almaktadır. Uygulamalı eğitimde kullanılan benzetim yöntemleri öğrenme açısından önemli olsa bile gerçek laboratuvarın yerini tutamamaktadır. Bu yüzden web tabanlı mühendislik eğitimi modellerinde gerçek zamanlı deneysel çalışmalara olanak veren uzaktan erişimli setlerin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Literatürde, bu konuda da çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar arasında çift rotorlu motor kontrol deneyleri [11], doğru akım motorunun hız kontrol deneylerinin açık döngü [12], PI kontrollü [13] ve Ward-Leonard sistemi tabanlı [14] gibi çeşitli kontrol yöntemleri ile gerçekleştirilmesi, servo motorun pozisyon ve hız kontrolü [15], adım motorunun ileri, geri ve hız kontrolü [16], 3 fazlı asenkron motor denetiminin gerçekleştirilmesi [17], DA motorunun sanal laboratuvar çalışmaları ile gerçek laboratuvar çalışmalarının karşılaştırılması [18], uzaktan web kamera kontrolünün tasarımı ve uygulaması [19], elektronik uygulamalarının yapılması için uzaktan erişimli laboratuvar [20], adım motoru, DA motor ve servo motorun bulunduğu elektrik makinaları laboratuvarı [21] gibi uygulamalar başarıyla sunulmuştur. Daha önce sunulan uzaktan erişimli e-laboratuvar uygulamalarında; sistemde sadece bir adet deney setinin bulunması veya eş zamanlı olarak sadece bir adet deneyin çalışmasına izin verilmesi, deney setlerine bağlanan kullanıcıların deney setinin dolu olması halinde beklemesine neden olmaktadır. Ayrıca sisteme yeni deney düzeneklerinin eklenmesi için harici sunucu bilgisayar veya kontrol elemanına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sorunlara çözüm olması açısından, bu çalışmada eş zamanlı erişim ve aynı kontrol elemanı üzerinden farklı deneylerin aynı anda yapılabilirliğini sağlayan özgün ve yenilikçi bir yöntem sunulmaktadır. Geliştirilen e-laboratuvar platformu sayesinde bir adet sunucu bilgisayar ve bir adet kontrol elemanı üzerinden üç farklı deney aynı anda yapılabilmektedir. Geliştirilen sistem Elektrik Elektronik Mühendisliği alanında önemli bir yeri olan Elektrik Makinaları dersi ve bu derse ait temel bazı deneylerin gerçekleştirilmesiyle test edilmiştir. Örnek uygulamalar olarak DA motoru, adım motoru ve servo motor deneyleri ele alınmıştır. Bu motorların ve ilgili deneylerin seçilmesindeki temel nedenler; hem farklı türdeki elektrik makinalarının çalışma prensibinin öğretilmesi hem de endüstriyel alanlarda en çok kullanılan motorlar üzerinden hız kontrolü, pozisyon kontrolü gibi temel uygulamaların öne çıkarılmasıdır. Geliştirilen sistem farklı şartlar altında laboratuvar ortamında deneysel olarak test edilmiş ve oldukça tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir.

## 2. SİSTEM TASARIMI (SYSTEM DESIGN)

E-laboratuvar uygulamalarının geliştirilmesindeki ilk adım, uzak mesafelerdeki sistemlerin web tabanlı olarak kontrol ve analizinin sağlanmasıdır. Öte yandan veri transfer hızı ile kayıpsız veri transferi de oldukça önemlidir. Bir diğer unsur ise özellikle kullanıcıların sıkılmadan çalışma yürüttükleri sade ve görsel ara yüzlerin kullanımıdır. Çalışmada bütün bu ölçütler göz önünde tutularak Şekil 1'de şematik gösterimi verilen mimari, sistemin temel altyapısı olarak tasarlanmıştır. Şekil 1'den görüldüğü gibi sistem, farklı yazılım ve donanım birimlerinin entegrasyonunu içermektedir. Ana denetleyici eleman olarak FPGA tercih edilmesindeki en önemli etken, FPGA'in aynı ana program içerisinde birbirinden bağımsız ve eş zamanlı çalışabilen alt programları yürütülebilme yeteneğidir [22]. Geleneksel denetleyiciler ve SBC (single board computer) yapısındaki elemanlar komutları sıralı olarak satır satır işlemekte, aynı anda birden fazla kod satırını çalıştırmak gibi işlemlerde ise yetersiz kalmaktadır. Giriş bölümünde gerekçeleri detaylı bir şekilde açıklandığı üzere bu çalışmada birden fazla deneyin eş zamanlı olarak yapılması hedeflenmiş olup bu amacı gerçekleştirmeye yönelik en uygun denetleyicinin FPGA olduğu değerlendirilmiştir. VHDL dili kullanılarak FPGA içerisinde çeşitli donanım yapıları ve donanım davranışları belirlenebilmekte ve bu sayede eş zamanlı çalışan satırlar oluşturulabileceği gibi davranışsal olarak sıralı işlem yapan alt işlem blokları da (process) tasarlanabilmektedir. Alt işlem bloklarının eş zamanlı olarak çalıştırılabilmesi, eş zamanlı deney setlerinin oluşturulmasında büyük avantajlar sağladığı gibi her deney seti için deney prosedürüne uygun özel bir alt işlem bloğu oluşturulması, deneylerin eş zamanlı olarak yapılması sürecindeki olası veri kayıplarını önemli ölçüde ortadan kaldırmıştır.

### *2.1. Yazılım Altyapısı (Software Substructure)*

Çalışmada kullanılacak yazılım ürünleri ve mimarinin tespit edilmesinde öne çıkan en önemli unsur, kullanıcıların web tarayıcı dışında herhangi bir harici yazılıma ihtiyaç duymadan deneyleri gerçekleştirmelerine olanak sağlamak olmuştur. Öte yandan web ara yüzlerinin sadeliği ve anlaşılır




**Şekil 1.** Sistemin genel mimarisi (General architecture of the system)

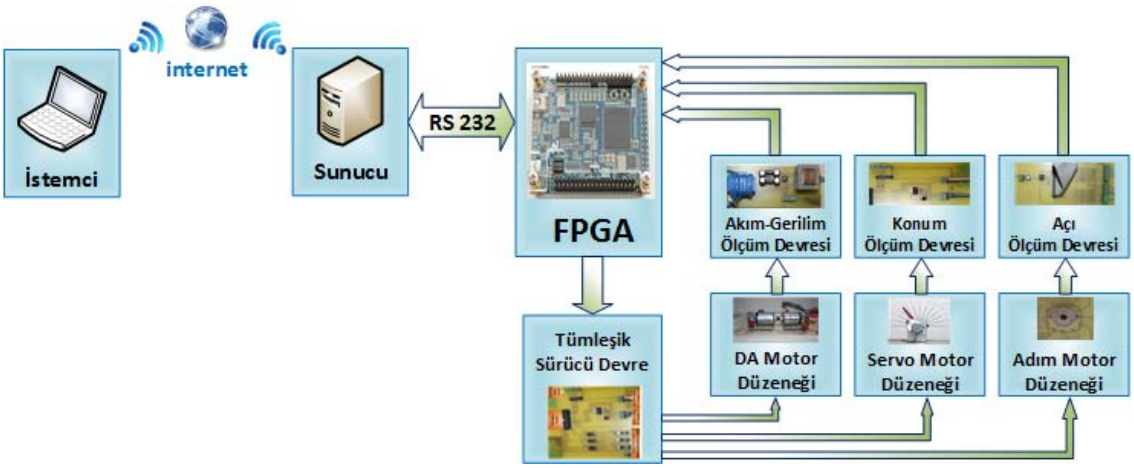
olması ile deney sonuçlarının grafiklerle yansıtılması ve görselliğin zengin olması deneylerin daha anlaşılır sonuçlar vermesini sağlamaktadır. Yukarıda belirtilen ölçütler göz önüne alınarak öncelikle sunucu yazılımı belirlenmiştir. Sunucu bilgisayar, kullanıcıdan alınan bilgiler doğrultusunda deney düzeneklerini yönetmekte ve web sayfalarını barındırmaktadır. Bu bağlamda, sistemde kullanılan sunucu bilgisayarın Internet Information Services (IIS) üzerinden hizmet vermesi sağlanmıştır. IIS sunucu yazılımının .NET desteğine sahip olması ve Windows ile uyumlu çalışması tercih sebebi olmuştur.

Oluşturulan web tabanlı laboratuvarların kapsamı kadar kullanıcı dostu web ara yüzlerine sahip olması da büyük önem taşımaktadır. Kullanıcı herhangi bir yardıma ihtiyaç duymadan deneyi gerçekleştirebilmeli ve hedeflenen yeterliğin deney sonunda kullanıcıya kazandırılmış olması gerekmektedir. Bu nedenle ASP.Net programı kullanılarak anlaşılması kolay, görselliği zengin ve grafikler ile desteklenmiş web ara yüzleri oluşturulmuştur. ASP.Net'in dinamik web sayfalarını desteklemesi büyük kolaylıklar sağlamıştır. Ayrıca veri tabanları ile etkileşimli çalışabilmesi ve Windows form uygulamalarını web tabanlı da kullanmaya izin vermesi daha fonksiyonel ve hızlı tasarım gerçekleştirilmesine imkân sağlamıştır. ASP.Net ile hazırlanan web sayfaları ile kullanıcılar, sunucu bilgisayar üzerinde deneysel parametreleri ayarlayabilmektedir. Fakat girilen bilgilerin seri port aracılığıyla doğrudan web sayfası üzerinden FPGA'ye gönderilmesi veya FPGA'den gelen bilgilerin doğrudan web sayfasına aktarılması durumunda sistemin cevap süresinin düştüğü ve bilgi kayıplarının oluşabildiği deneysel testler esnasında gözlenmiştir. Bu yüzden web sayfaları ile FPGA arasında veri alışverişini sağlamak için verilerin doğrudan ASP.Net üzerinden seri porta gönderilmesi yerine C# programlama dili kullanılarak Windows Form uygulamaları hazırlanmış ve veriler ASP.Net'e göre daha hızlı haberleşen C# temelli Windows formları üzerinden seri porta aktarılmıştır. Böylece, kullanıcılar tarafından web sayfası üzerinden girilen parametreler bir veri tabanına kaydedilmekte ve bu bilgiler Windows Form uygulaması tarafından okunarak seri port üzerinden FPGA'ye gönderilmektedir. Benzer şekilde, deney düzeneklerinden FPGA tarafından okunan gerçek zamanlı sonuç verileri, seri port üzerinden sunucu bilgisayara gönderilmekte ve burada Windows form uygulaması tarafından veri tabanına yazılmaktadır. Yazılım altyapısında yer alan önemli bileşenlerden biri de veri tabanıdır. Çalışmada oluşturulan veri tabanının iki temel görevi vardır. Bunlardan ilki yukarıda bahsedildiği gibi ASP.Net kullanılarak hazırlanan web sayfası ile Windows form uygulaması arasında köprü görevi görmesidir. Veri tabanının diğer kullanım amacı ise gerçekleşen deneylere sonuçların ve sisteme kayıtlı kullanıcıların kişisel bilgilerinin saklanmasıdır. Sunulan çalışmada veri tabanı olarak Access tercih edilmiştir. Access'in tercih edilmesinde en önemli sebep özellikle çalışmada kullanılan diğer yazılım birimleri ile daha uyumlu çalışması olsa da grafiksel kullanıcı arabirimi sayesinde tablolar arasındaki bağlantıların daha kolay kurulması, hem masaüstü uygulamalarında hem de web uygulamalarında kullanılabilen tablolardaki sayısal sonuçların Excel gibi uygulamalara kayıt edilebilmesi gibi özellikler de göz önünde bulundurulmuştur.

### *2.2. Donanım Yapısı (Hardware Structure)*

Önceki bölümlerde belirtildiği üzere çalışmada bazı elektrik makinalarına ilişkin deneyler ele alınmıştır. Deney düzeneklerinin kontrolünü sağlamak için kontrol elemanı olarak FPGA kullanılmıştır. Ayrıca motorların sürülmesi için sürücü kartı ve ölçüm işlemlerinin gerçekleştirilmesi için ölçüm kartları tasarlanmıştır. Motorlardan ölçülen geribildirim verileri FPGA aracılığı ile bilgisayara gönderilmekte ve hazırlanan web ara yüzünde kullanıcıya deneysel sonuç bilgisi olarak raporlanmaktadır.

Şekil 2'de tasarımı yapılan donanım birimleri ve bunların FPGA ile bağlantısını gösteren bir blok diyagramı gösterilmiştir. Şekilde görülen donanım birimlerinin detayları ise ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak verilmiştir.



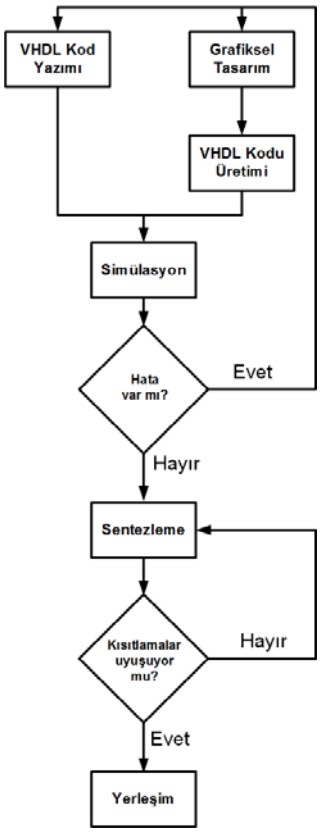

**Şekil 2.** Sistemin donanım altyapısı (Hardware substructure of the system)

*2.2.1. Denetleyici (Controller)*

Geleneksel mikroişlemciler veya PLC gibi otomasyona yönelik ürünler paralel işlem yapabilme kapasitesine sahip olmadıkları için aynı anda farklı iki komutu gerçekleştirememektedir. Bu ürünlerin tercih edilmesi halinde, birden fazla kullanıcı ile deneylerin eş zamanlı gerçekleştirilmesi için her deney setini yöneten ayrı bir denetleyici kullanılması gerekmektedir. Bu durum ise deney setlerini büyütmekte, kontrolü zorlaştırmakta ve aynı zamanda maliyeti de artırmaktadır. Bu çalışmada ise paralel işlem yapabilme yeteneğine sahip FPGA kullanılarak yukarıda bahsedilen olumsuz durumların önüne geçilmiş ve sistemde bulunan tüm deneylerin tek denetleyici üzerinden yapılması sağlanmıştır. FPGA programlanabilen bir entegredir. İçerisinde bulunan mantık blokları ve bu bloklar arasındaki ara bağlantılar yazılım üzerinden değiştirilebilmektedir.

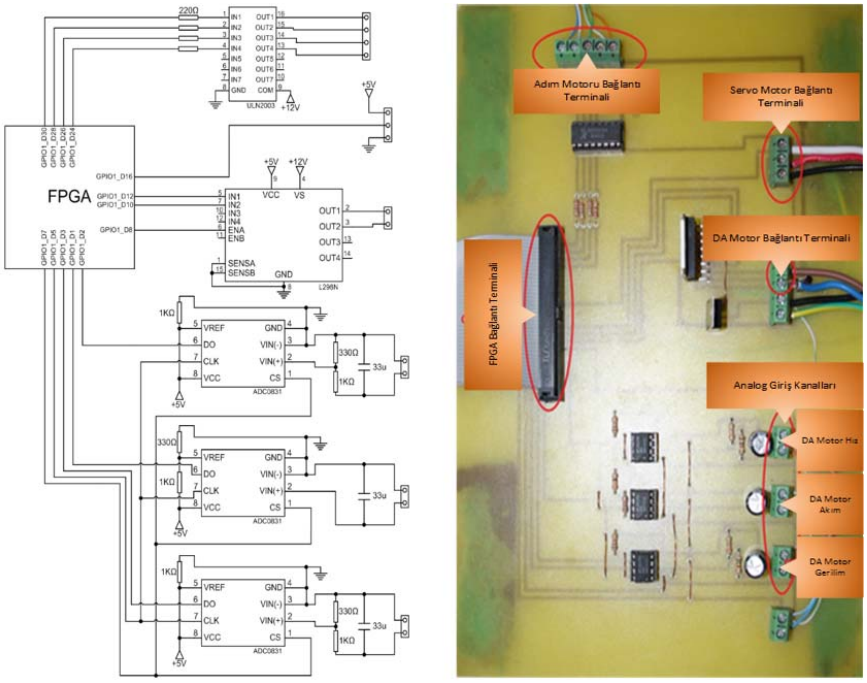
FPGA'lerin giriş/çıkış kanalları ihtiyaca göre kolaylıkla yönetilebilmektedir. Örneğin herhangi bir giriş/çıkış kanalını, darbe genlik sinyali üretme ve seri haberleşme gibi yüksek frekans gerektiren işlemler için kullanmak mümkündür. Öte yandan, FPGA'lerin doğrudan analog veri giriş kanalına sahip olmayışı nedeniyle deney setlerinin artırılması durumunda, eğer yeni eklenen deney seti analog veri işlemi gerektiriyorsa haricen kullanılacak yeni analog/sayısal çeviricilerin de tasarlanması gerekecektir.

Çalışmada FPGA tarafından yürütülen işlemlerin eş zamanlı olarak gerçekleştirilmesi amacıyla VHDL kullanılarak özel bir program betiği tasarlanmıştır. VHDL, sayısal devrelerin tasarlanması ve denenmesi amacıyla yaygın olarak kullanılan bir donanım tanımlama dilidir. Şekil 3'te görüldüğü gibi VHDL dili ile tasarım oluşturulurken; kodlama (programın yazılma aşaması), simülasyon (programın doğru çalışıp çalışmadığının test edilme aşaması) ve sentezleme (VHDL kodunun donanım diline çevrilerek FPGA'e yüklenme aşaması) gibi üç temel adım izlenir.




**Şekil 3.** VHDL ile yazılım geliştirme
(Software development with VHDL)

VHDL kullanılarak özel bir betik tasarımına gidilmesinin nedeni, VHDL ile kod içerisindeki birden fazla temel işlem biriminin (process) aynı anda çalıştırılabilmesidir. Böylece aynı ana program içerisinde birbirinden bağımsız ve eş zamanlı çalışabilen alt programlar yazılabilmektedir. Bu çalışmada da örnek olarak ele alınan üç temel deney setinin her biri için ayrı birer temel işlem birimi (process) oluşturulmuştur. Bu sayede her bir deneyin işlemleri diğerleri ile aynı anda yürütülebilmektedir.

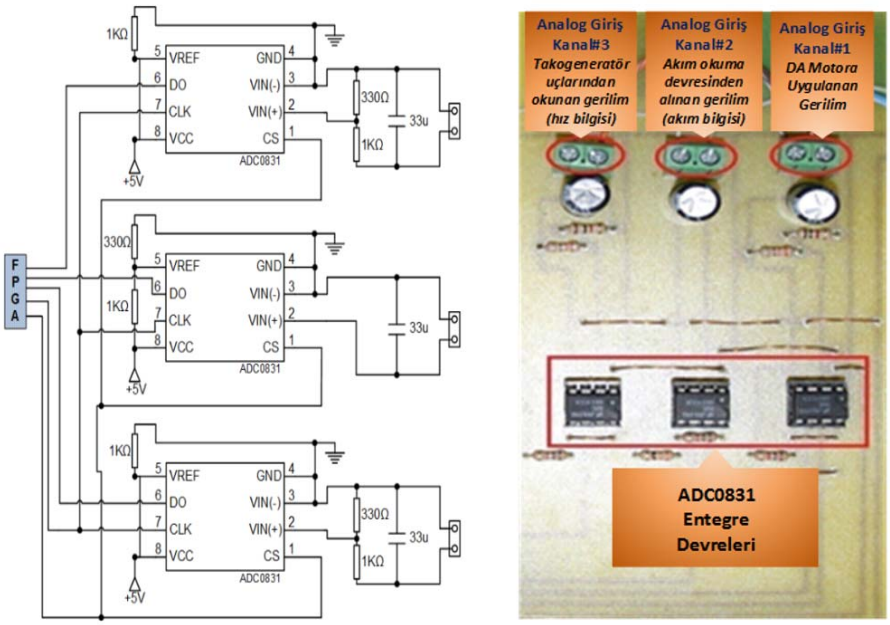



(a) (b)

**Şekil 4.** a) Tümleşik sürücü devrenin şeması b) Tasarlanan sürücü devrenin görünümü
( a) Circuit diagram of integrated driver b) A view of the designed driver circuit)

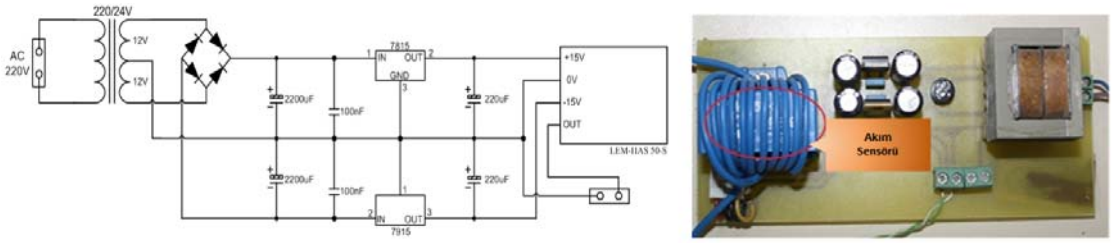
*2.2.2. Sürücü devre (Driver circuit)*

FPGA çıkışları ile motorları doğrudan kontrol etmek mümkün olmadığından, motor sürücü devreleri kullanılmıştır. Şekil 4'ten görüleceği üzere her üç motor için kullanılan sürme devreleri tek bir kart üzerinde toplanarak tümleşik bir sürücü oluşturulmuştur. Öte yandan deney setleri üzerinden alınan gerçek zamanlı verilerin analiz edilmesi, çalışmanın başarısı açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada gerçekleştirilen deneylerde; DA motor deney seti için gerilim, akım ve hız bilgileri, servo motor deneyi için açı bilgisi ve adım motoru deneyi için ise pozisyon bilgisi ölçülmektedir. Bu amaçlara uygun çeşitli ölçüm devreleri çalışmada ayrıca geliştirilmiştir. Sistemde ilk deney olan DA motorun PI denetlemeli hız kontrolünde, motorun elektriksel parametrelerine uygun olarak, içerisinde iki adet bağımsız H köprüsü olan L298 entegresi kullanılmıştır. H-köprüsü yarı iletken anahtarlama elemanlarından oluşmaktadır ve motora uygulanan gerilim değeri yarı iletken malzemelerin iletim/kesim süreleri değiştirilerek kontrol edilmektedir. Darbe genlik modülasyon (DGM) sinyalinin doluluk oranı artıkça motorun hızı artmakta, azaldıkça motorun hızı da azalmaktadır. DGM sinyallerinin doluluk oranı ise FPGA tarafından kontrol edilmekte ve böylece motora uygulanan gerilimin değişmesi ile motorun hız kontrolü gerçekleştirilmektedir. DA motor deneyinde, gerçek zamanlı hız bilgisi motor miline bağlanan tako generatör üzerinden alınmaktadır. Motor döndükçe generatör uçlarında bir gerilim üretilmekte ve bu gerilim değeri ölçülerek motorun hızı hesaplanabilmektedir. Bununla birlikte, hem motora uygulanan gerilim ve motorun çektiği akım hem de takogeneratörden alınan gerilimin ölçülmesi için analog veri okuma işlemi gerekmektedir. Bu amaçla, Şekil 5'te görülen analog/sayısal dönüştürme devresi tasarlanmıştır. Bu devre üzerinde üç adet veri okuma kanalı bulunmakta olup bunlardan ilki DA motora uygulanan gerilimi, ikinci kanal hız bilgisi amacıyla takogeneratörden alınan gerilimi okumaktadır. Üçüncü ve son kanal ise motor akımını ölçmekte olup bu amaçla Şekil 6'da gösterildiği gibi LEM-HAS 50-S akım sensörünün kullanıldığı bir akım ölçme devresi oluşturulmuştur. Analog/sayısal dönüştürme devresi tarafından okunan analog değerler ADC0831 entegreleri ile 8 bit'lik sayısal sinyale dönüştürülerek FPGA'ye yollanmaktadır. DA motorlarda olduğu gibi, FPGA yeterli büyüklükte çıkış sinyali üretemediğinden adım motorlarının çalışması için de sürücü devrelere ihtiyaç vardır. Bu nedenle FPGA kontrol sinyalleri ULN2003 entegresi ile yükseltilerek adım motorunun kontrolü sağlanmıştır. Geri bildirim amacıyla motorun gerçek konumunu belirlemek için ise 12 adet manyetik anahtar ve FPGA'in 12 adet sayısal giriş ucu kullanılmıştır. Manyetik anahtarlar 30'ar derecelik sabit aralıklar ile yerleştirilmiştir. Manyetik anahtarların durumu, motor miline yerleştirilen ve mıknatıs özelliği olan bir ibre ile değişmektedir. İbre hangi manyetik anahtara giderse o anahtardan FPGA devresine bir sayısal sinyal gönderilmektedir. Böylece FPGA'e gelen manyetik anahtarlardaki 0/1 bilgisi ile adım motorun konumu kontrol edilebilmektedir. Şekil 7 (a) ve (b)'de adım motorunu sürmek ve konum kontrolü için geliştirilen sürücü devreler, Şekil 8 (a) ve (b)'de ise tasarımı gerçekleştirilen adım motoru deney düzeneğinin görünümleri verilmiştir.



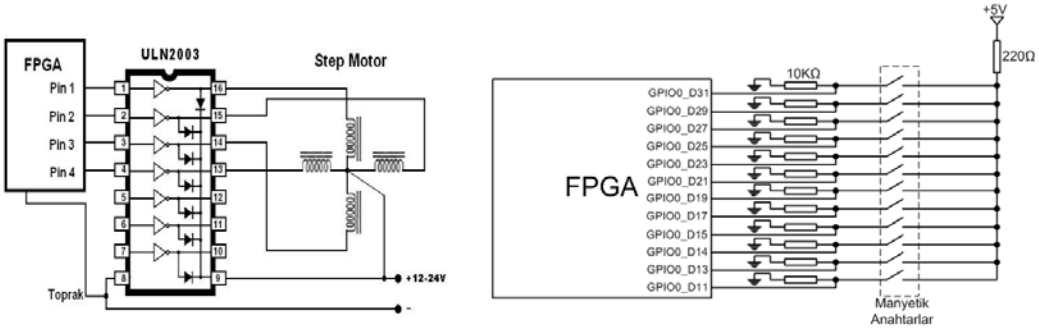

(a) (b)

**Şekil 5.** a) Analog/sayısal dönüştürme devresi b) Devrenin tasarlanmış görünümü
( a) Analog/digital converter circuit b) A view of the circuit designed)



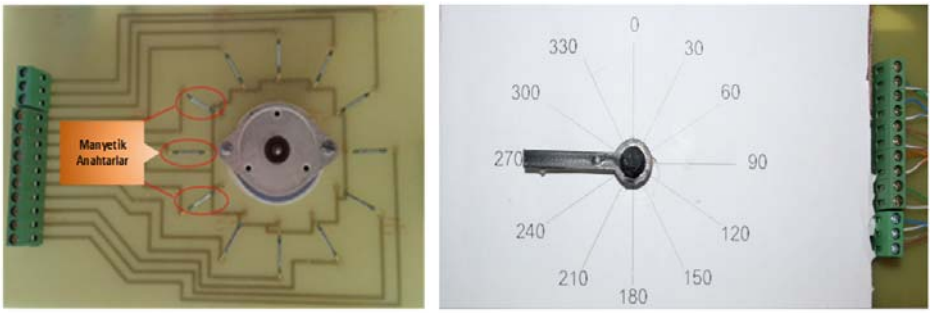

(a) (b)

**Şekil 6.** a) Akım ölçüm devresi b) Tasarlanan akım ölçüm kartı
( a) Current measurement circuit b) Designed current measurement card)



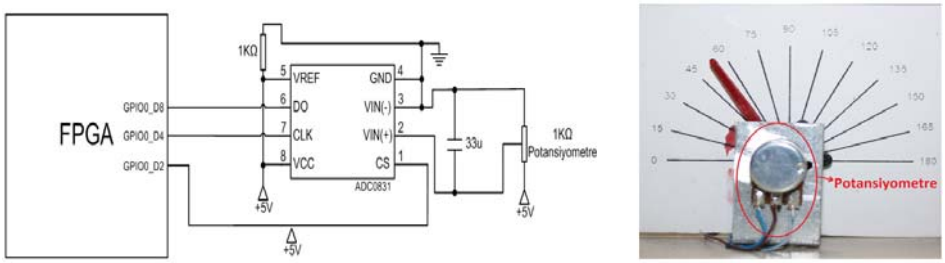

(a) (b)

**Şekil 7.** a) Adım motoru sürücü devresi b) Adım motoru konum kontrol devresi
( a) Driver circuit for stepper motor b) Position control circuit for stepper motor)




(a) (b)

**Şekil 8.** a) Adım motoru deney düzeneği b) Adım motoru konum göstergesi
( a) Experimental setup of stepper motor b) Position scale of stepper motor)



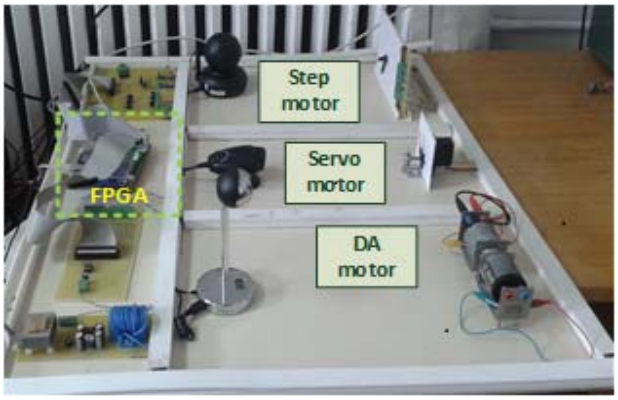

(a) (b)

**Şekil 9.** a) Servo motor konum kontrol devresi b) Servo motoru deney düzeneği
( a) Position control circuit of servo motor b) Experimental setup of servo motor)

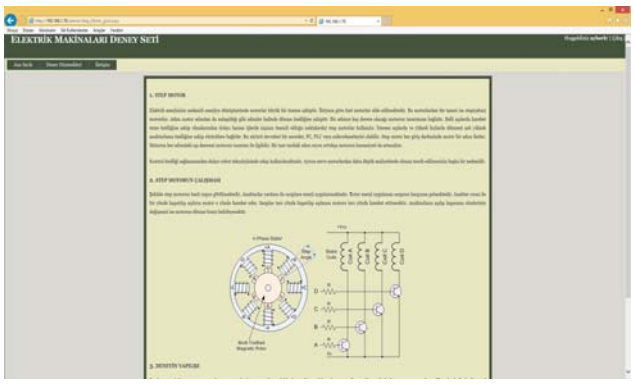
Sunulan çalışmada üçüncü deney, servo motor pozisyon kontrolü deneyidir. Motorun istenen konuma gitmesi için gerekli kontrol sinyali FPGA tarafından üretildikten sonra sürücü kartı üzerinden doğrudan servo motora uygulanmaktadır. Motorun gerçek pozisyonunun geri bildirim olarak alınması için ise Şekil 9'da görüldüğü gibi mile bağlı hassas bir potansiyometre kullanılmıştır. Motorun açı değişimi ile potansiyometre üstünde düşen gerilim değeri değişmektedir. Bu gerilim değişimi analog-sayısal dönüştürücü devresi ile ölçülerek servo motorun pozisyon geri bildirimi alınmaktadır. Alınan bu geri bildirim, FPGA tarafından yorumlanarak servo motorun bulunduğu açı değeri hesaplanmaktadır.

## 3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Tasarımı gerçekleştirilen sistemin test edilmesi için Şekil 10'da gösterilen deney platformu oluşturulmuştur. Platform, üç farklı deneye ait donanım birimlerini tek bir düzenek üzerinde birleştirmektedir. Platform ile sunucu bilgisayar arasındaki veri alışverişini yöneten FPGA'de bu düzenek üzerinde bulunmaktadır. Platform üzerinde ayrıca deneylerin uzaktan gerçekleştirilmesi sürecinde kullanıcının gerçek deney düzeneğini görüntülemesi amacıyla kameralar yerleştirilmiştir. Deney platformu donanımsal olarak geliştirildikten sonra bu platforma web tabanlı erişimi sağlayan ve deneylerin uzaktan yürütülmesinde ara yüz görevi gören web sayfaları oluşturulmuştur. Tasarlanan web sayfaları içerisinde deneylere ilişkin teorik konu anlatımlarını ve deney gerçekleştirme prosedürlerini içeren teorik sayfalar da bulunmaktadır. Şekil 11'de örnek bir teorik sayfa içeriği verilmiştir.




**Şekil 10.** Geliştirilen deney platformu
(Developed experimental platform )




**Şekil 11.** Teorik anlatım sayfası örneği
(An sample view of theoretic instructional page)

Sistemin uzaktan erişimli deney sayfalarına geçiş yapan kullanıcılar için ilk ara yüz, Şekil 12'de görüntüsü verilen ana sayfa ekranıdır. Kullanıcılar bu ara yüz üzerinden aktif deneyleri görebilmekte ve hemen deney isminin altında ilgili deneyin o anda başka bir kullanıcı tarafından yapılıp yapılmadığını kontrol edebilmektedir. Eğer herhangi bir deney düzeneği meşgul ise o an boş olan başka bir deneye bağlanabilmektedir. Geliştirilen sistem, platform üzerinde var olan tüm deney setlerine eş zamanlı erişime olanak sağlamaktadır. Örneğin, geliştirilen deney platformunun bu sürümünde üç adet deney yer almakta olup aynı anda üç farklı kullanıcı üç farklı deney seti üzerinde eş zamanlı olarak çalışabilir. Bununla birlikte, sistemde kullanılan FPGA entegresinin 346 giriş/çıkış kanalı vardır ve bu sayede deney sayısı veya aynı deneye ait düzenek sayısı kolayca artırılabilir.

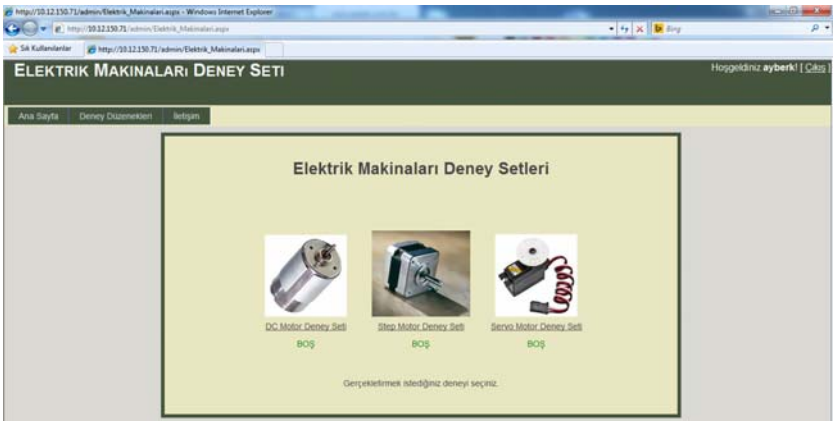
### *3.1. DA Motor için Deneysel Çalışma*
*(Experimental Study for DC Motor)*

DA motorunda hız kontrolünün amacı, motor hızını ($W_g$) istenen değerde sabitlemektir. Bu amaçla, sistem modelinin doğru olarak elde edilebildiği ve gürültü, sıcaklık, doyum gibi faktörlerin denetleyici performansına etkisinin önemli olmayacağı, hassas kontrol gerektirmeyen uygulamalarda PI ve PID gibi geleneksel denetleyicilerin kullanımı oldukça yaygındır [23]. Bu çalışmada da hassas kontrol işlemlerinden ziyade eğitim amaçlı bir deney geliştirildiği için PI denetleyici kullanılmıştır. Sistemde, DA motorun miline bağlanan tako generatör yardımı ile motorun hızı sürekli okunmaktadır. Şekil 13'te görüldüğü gibi, ölçülen gerçek hız, referans hız ($W_r$) ile karşılaştırılarak bir hata sinyali üretilmektedir. Hata sinyali PI denetleyiciye girildiğinde oransal kazanç ($K_p$) ve hata sinyalinin integrali alınarak integral etki kazancı ($K_i$) ile çarpılmaktadır. Böylece PI denetleyici çıkışı Eş. 1'deki gibi ifade edilmektedir. Burada; *u(t)* PI denetleyici çıkışını, $K_p$ oransal etki kazancını, *e(t)* hatayı, $K_i$ ise integral etki kazancını ifade etmektedir.

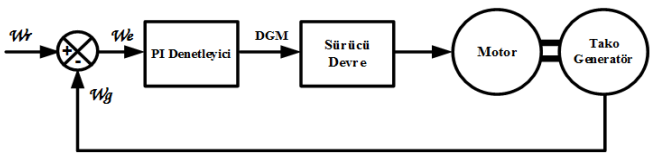
$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) \quad (1)$$

DA motor deneyinin internet üzerinden gerçek zamanlı gerçekleştirilmesi için, Şekil 14'de verilen web ara yüzü tasarlanmıştır. Kullanıcılar teorik bilgi ve deney prosedürünü inceledikten sonra bu ara yüz üzerinden hız kontrol deneyini yapabilmektedir. Ayrıca, deneyi farklı parametreler altında tekrar ederek her bir parametre değişimine karşı motorun dinamik tepkisini deneysel olarak inceleyebilmekte ve öğrenme sürecini pekiştirebilmektedirler. Doğru akım motoru deneyi için kullanıcıların değiştirebileceği parametreler; oransal kazanç değeri ($K_p$), integral kazanç değeri ($K_i$), referans hız değeri ve deneyin çalışma süresidir.

Şekil 14'ün sol alt köşesinde görüleceği üzere deneyin yürütülme sürecinde deney seti ve motorun çalışması kamera ile web sayfası üzerinden gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir. Öte yandan deney sonuçları gerçek zamanlı olarak kullanıcı ekranına da yansıtılmaktadır. Bu deney için ölçülen deney verileri; motora uygulanan gerilim, motorun çektiği akım ve motor hız bilgileridir. Bu değerler analog veri şeklinde deney seti üzerinden alındıktan sonra 8 bit çözünürlükte analog/sayısal çeviriciler üzerinden sayısal veriye dönüştürülmekte ve FPGA tarafından bu şekilde okunmaktadır. FPGA, her üç parametre değerini de saniyede yaklaşık 400 veri ölçüm sıklığında almakta ve seri port üzerinden sunucuya göndermektedir. Veriler sunucu bilgisayar üzerinde bir veri tabanına kaydedilmektir. Kullanıcı kaydedilen bu verileri web sayfası üzerinden



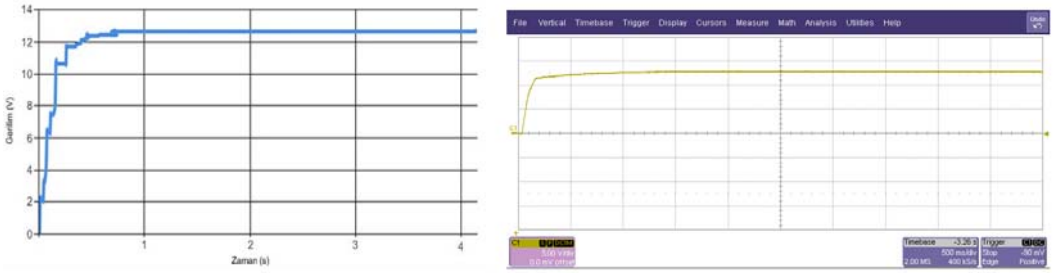

**Şekil 12.** Ana sayfa görüntüsü (Home page screenshot of the web interface)




**Şekil 13.** DA Motor hız kontrol şeması (Diagram of the DC motor speed control)



**Şekil 14.** DA motor deneyi web ara yüzü (Web interface of the DC motor experiment)




**Şekil 15.** a) Ara yüzde oluşturulan gerilim grafiği b) Osiloskop ekranından alınan gerilim grafiği
( a) Voltage graphic on interface b) Voltage graphic on the scope)

grafiksel ortamda inceleyebilmektedir. Gerçekleştirilen deneyin doğrulanması amacıyla; aynı çalışma parametreleri altında deney yürütülürken deney seti üzerinden bir osiloskop ile de ölçüm yapılmış ve osiloskopta elde edilen grafik ile web sayfasında sistemin oluşturduğu grafik karşılaştırılmıştır. Şekil 15 (a) ve (b)'de, deneysel bir çalışma esnasında eş zamanlı olarak web sayfasından ve osiloskoptan elde edilen motor uç gerilimi grafikleri verilmiştir.

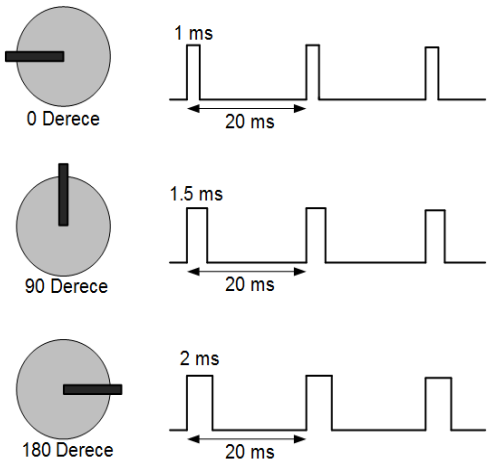
Şekil 15 (b)'de verilen osiloskop ekranından görüldüğü üzere motor yaklaşık 1 saniyelik bir zaman dilimi içerisinde geçici durum tepkisini aşarak kararlı hale gelmektedir. Bu süre öğrenci tarafından deneysel parametreler değiştirildiğinde daha kısa veya uzun da olabilir. Böylece her bir parametre değişimine karşın motorun tepkisinin ne olacağı deneysel bir yaklaşımla analiz edilebilmektedir. Öte yandan web ara yüzünde aynı çalışma parametreleri altında çizdirilen grafiğin de osiloskoptaki grafiğe oldukça yakın bir şekilde oluşturulduğu Şekil 15 (a)'da görülmektedir.

Önceki bölümlerde de belirtildiği üzere verilerin seri port üzerinden bilgisayara aktarılması ve seri portun osiloskop kadar yüksek çözünürlükte veri transferine izin vermeyişi ve ayrıca FPGA'in analog veri giriş kanalı olmamasından dolayı motor uç geriliminin 8 bit ADC ile haricen analogdan sayısala dönüştürüldükten sonra FPGA'e girilmesi nedenleriyle web ara yüzündeki grafikte osiloskoptakine göre ufak derecede sapmalar (özellikle geçici durumda) tespit edilmiştir. Ancak eğrinin temel karakteristiğinin değişmediği göz önüne alınarak ve ayrıca geliştirilen sistemin hassas kontrol işlemleri amacından daha ziyade eğitim ve öğrenme amaçlı bir çalışmaya odaklanmış olması nedeniyle söz konusu minimal işaret farklılıkları ihmal edilebilir düzeyde bulunmuştur.

Daha yüksek çözünürlükte veri transferi elde edecek bir yapı da geliştirilmesi mümkündür ancak çalışmanın web üzerinden gerçek zamanlı veri alışverişi yapıyor olması nedeniyle yoğun veri trafiğinin sunucu-istemci arasında kurulan ağ bağlantısında gecikmelere neden olabileceği de düşünüldüğünde temel eğri karakteristiğinin değişmediği bu yapı, pedagojik açıdan kullanılabilir bulunmuştur.

### *3.2. Servo Motor için Deneysel Çalışma*
*(Experimental Study for Servo Motor)*

Servo motorlar hassas konum kontrolü gerektiren birçok uygulamada tercih edilmektedir. Bu nedenle çalışmada ikinci örnek deney olarak servo motor konum kontrolü deneyi seçilmiştir. Çalışmada kullanılan servo motorun konumu, FPGA tarafından uygulanan DGM sinyali ile belirlenmektedir. Motorun kontrol ucuna, her 20 ms'de bir, doluluk oranı 1 ile 2 ms arasında değişen bir DGM sinyali gönderilmektedir. Şekil 16'da motora uygulanan kontrol sinyali ile motorun pozisyonu arasındaki ilişki görsel olarak ifade edilmiştir.




**Şekil 16.** Servo motor kontrol sinyali
(Control signal for servo motor)

Servo motor deneyinin gerçekleştirilmesi için tasarlanan web ara yüzü ekranı Şekil 17'de verilmiştir. Bu ekranda kullanıcı 0-180 derece arası açı değeri girerek, motoru istediği konuma getirebilmektedir. FPGA, açı değerine uygun olan DGM sinyalini üreterek motora uygulamakta ve böylece motor istenen açı değerinde sabitlenmektedir. Motorun referans açıya sabitlenme bilgisi, motor miline akuple bağlanan hassas bir potansiyometre ile ölçülmektedir. Potansiyometreden gelen gerçek zamanlı veri ile motorun istenen açı değerine gelip gelmediği, ara yüz ekranında bulunan ibre üzerinden takip edilmektedir. Bu sayede kullanıcı geri bildirimli bir şekilde deneyi gerçekleştirmiş olmaktadır. Ayrıca deney setine bağlı olan kamera vasıtasıyla motorun çalışması gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir. Şekil 17'de görüldüğü gibi motora gönderilen DGM sinyali de web sayfası üzerinden gösterilmekte ve kullanıcıların kontrol sinyalinin doluluk oranı ile motorun dönüş açısı arasındaki ilişkiyi deneysel olarak inceleme şansı olmaktadır. Servo motor deneyinde elde edilen sonuçların doğrulanması için aynı şartlar altında eş zamanlı olarak web sayfasında üretilen kontrol sinyali ile gerçek deney seti üzerinden osiloskop ile ölçülen kontrol sinyali karşılaştırılmış ve elde edilen sonuç Şekil 18 (a) ve (b)'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere her iki kontrol sinyali de aynıdır ve böylece web tabanlı sistemin ölçüm hatası olmadan çalıştığı ve deneysel sonuçları doğru oluşturduğu anlaşılmıştır.

### *3.3. Adım Motoru için Deneysel Çalışma*
*(Experimental Study for Stepper Motor)*

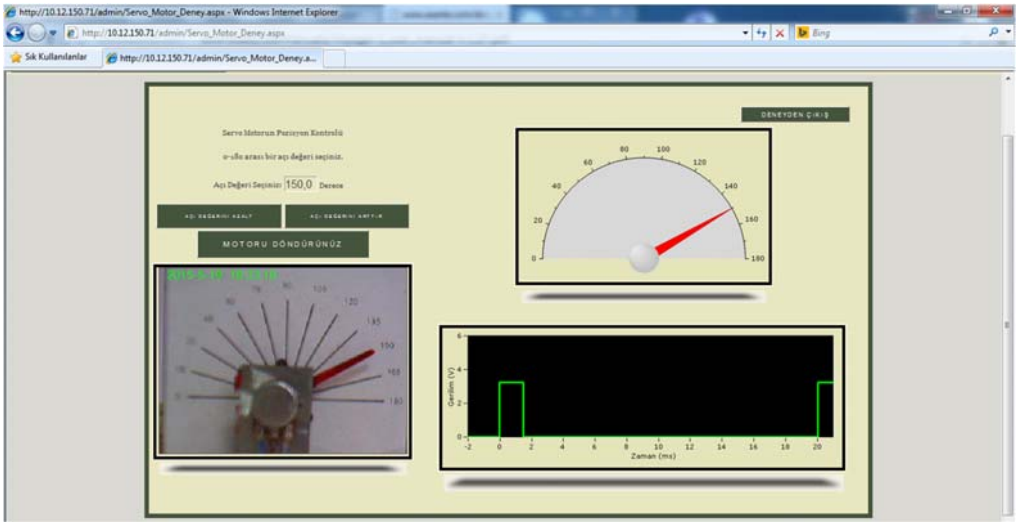
Adım motorları, sargılarına uygulanan sıralı kontrol sinyallerine göre hareket etmesinden dolayı hızı, dönüş yönü ve konumu kontrol edilebilen özel elektrik makinalarıdır. Motorun hızı uygulanan sinyallerin frekansı değiştirilerek ayarlanabilmekte, dönüş yönü ise sinyallerin sırası değiştirilerek kontrol edilmektedir. Servo motorlar gibi adım motorları da özellikle hassas konum kontrolü istenen yerlerde sıkça kullanıldığı için çalışmada üçüncü deney olarak tercih edilmiştir. Yukarıda verilen temel bilgiler altında, adım motoru deneyinin web tabanlı gerçekleştirilmesi için Şekil 19'da görüntüsü verilen ara yüz tasarlanmıştır. Kullanıcılar referans açı değerini ve dönüş yönünü seçtikten sonra deneyi gerçekleştirebilmektedir. Ara yüz üzerinden girilen yön ve açı parametreleri FPGA'e yollanmaktadır. FPGA tarafından üretilen kontrol sinyalleri web sayfası üzerindeki grafikte gözlenebilmektedir. Sinyalden görüleceği üzere her bir sargı için üretilen sürme sinyalleri farklı renkler ile verilmektedir. Motorun ibresinin arkasına yerleştirilen manyetik anahtarlarla motorun açı bilgisi, geri bildirim şeklinde alınmaktadır. Böylece motorun bulunduğu konum, web sayfası üzerinde gerçek zamanlı olarak gösterilmektedir. Ayrıca, platform üzerinde bulunan kamera vasıtasıyla sistemin çalışması da gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir.

## 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR
**(RESULTS AND DISCUSSIONS)**

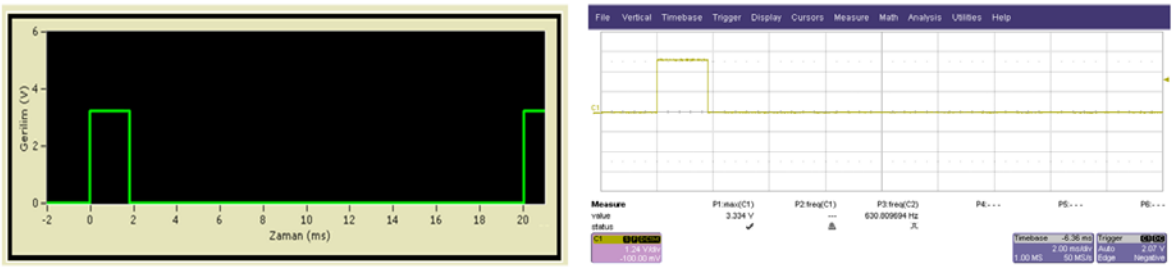
Literatürde sunulan uzaktan erişimli deney seti içeren web tabanlı laboratuvarların önemli bir kısmını, sadece bir adet deney düzeneğine erişimin sağlandığı çalışmalar oluşturmaktadır. Birden fazla deney düzeneğine sahip olanlar ise aynı anda tek bir deneyin gerçekleştirilmesine yani sistemi aynı anda sadece bir kişinin kullanmasına izin vermektedirler. Deney düzeneklerinin çoğaltılması istendiğinde ise yeni bir sunucu veya kontrol elemanı ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu durum web tabanlı laboratuvarların yaygınlaşmasını ve kullanışlılığını engellediği gibi maliyeti de artırmaktadır.

Bu çalışmada ise, sadece bir adet sunucu ve bir adet kontrol elemanı üzerinden üç farklı deney setine eş zamanlı erişimin sağlanabildiği bir web tabanlı laboratuvar uygulaması geliştirilmiştir. Sistemi test etmek için örnek uygulama olarak, endüstriyel uygulamalarda en çok kullanılan makine türlerinden olan doğru akım motoru, adım motoru ve servo motor deneyleri ele alınmış ve buna uygun web tabanlı laboratuvar deney düzenekleri kurulmuştur. Platformun çoklu kullanıcı için çoklu deney özelliğini göstermek amacıyla üç adet deney seçilmiş olsa da bu sayının artırılması mümkündür.

Çalışmada gerçekleştirilen sistem ile aynı sunucu ve aynı kontrol elemanı üzerinden üç farklı deneyin eş zamanlı olarak yürütülmesi başarılı bir şekilde sağlanmıştır. Kullanıcıların deney düzeneklerine bağlanması için harici bir program yüklemelerine veya donanım temin etmelerine gerek olmayışı, sistemin işlevselliğini ve kullanışlılığını artırmıştır. Kullanıcılar deneyin sunucu tarafından gerçekleştirilme sürecini, platform üzerinde her bir deney seti için ayrı ayrı yerleştirilen kameralar sayesinde izleyebilmektedirler. Ayrıca deneysel çalışma sayfaları haricinde teorik bilgi ve etkileşimli öğrenim materyalleri ile deneyin yapılış prosedürünü anlatan sayfalar da tasarlanmıştır. Gerek teorik sayfalar gerekse de deney sayfalarının basit, anlaşılır ve görsel olması deneysel tecrübelerin daha akılda kalıcı olmasını sağlamaktadır.

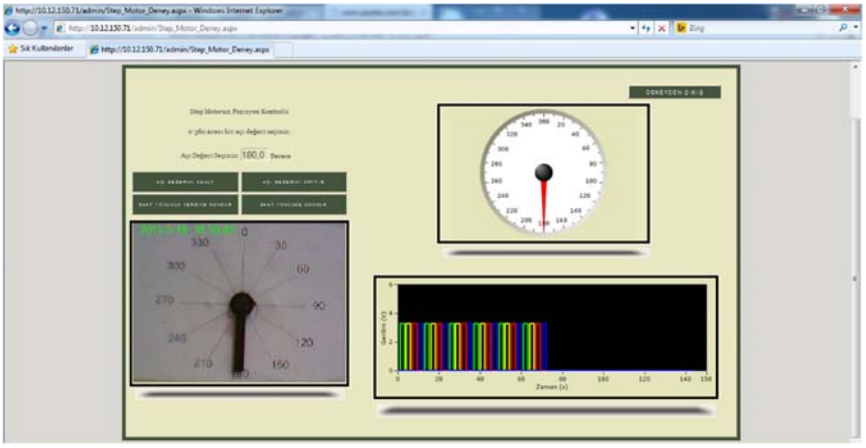



**Şekil 17.** Servo motor deneyi ara yüzü (Web interface of the servo motor experiment)




(a) (b)

**Şekil 18.** a) Ara yüzde oluşturulan kontrol sinyali b) Osiloskop ekranından alınan kontrol sinyali
( a) Control signal on the web interface b) Control signal on the scope)



**Şekil 19.** Adım motoru deneyi ara yüzü (Interface of the stepper motor experiment)

Deney düzeneği üzerinde ana kontrol elemanı olarak FPGA tercih edilmiştir. FPGA'nin paralel işlem yapabilme özelliği çalışmanın başarılı olmasına önemli katkı sağlamıştır. Ayrıca diğer geleneksel mikroişlemci ve kontrol elemanlarına göre FPGA'nin veri kanallarının sabit karakteristikte olmayışı, herhangi bir kanalın isteğe göre sayısal giriş/çıkış, darbe genlik sinyali veya seri haberleşme amacıyla kullanılabiliyor olması yeni deney düzeneklerinin sisteme eklenmesini daha kolay kılmaktadır. Bu amaçla eklenecek her bir yeni deney düzeneği için VHDL ortamında tasarlanan yazılımda yeni bir alt işlem bloğu (process) oluşturulması yeterli olacaktır. Öte yandan, FPGA'nin giriş kanallarının tamamen sayısal olması nedeniyle eklenecek yeni deneylerde analog veri okunmasını gerektiren durumlarda yeni analog/sayısal çeviriciler de sisteme eklenmelidir. Geliştirilen eş zamanlı deney platformu, farklı

şartlar altında test edilmiş ve sistemin başarıyla çalıştığı tespit edilmiştir. Özellikle uzaktan deney yapan kullanıcıların ekranlarında oluşturulan sonuç grafiklerinde hata olup olmadığını test etmek amacıyla tüm deney çalışmaları için ölçümler, deney düzeneğine doğrudan bağlı osiloskop ile de alınmış ve böylece sistemin gerçek zamanlı çalışma şartları altında doğrulaması yapılmıştır.

Gerçekleştirilen çalışma, Elektrik Elektronik Mühendisliği 4. sınıf öğrencilerinden oluşan ve Elektrik Makinaları ile Kontrol Sistemleri derslerini daha önce almış 24 kişilik bir grupla bilgisayar laboratuvarı ortamında test edilmiştir. Elde edilen dönütler değerlendirildiğinde; öğrencilerin %91,6'sı (22 kişi) özellikle deneysel çalışma sürecinde diledikleri kadar parametre değiştirerek deney tekrarı yapmanın oldukça öğretici olduğunu ve her bir parametre değişiminin sistem üzerindeki etkisini kavramada çok faydalı olduğunu belirtmiştir. Öte yandan öğrencilerin %83,33'ü (20 kişi) web üzerinden işlem yaparken genel olarak beklemenin kendilerini sıktığını, bu bekleme esnasında başka şeylerle meşgul olma eğilimine girdiklerini ve bunun doğal bir sonucu olarak motivasyon düşüklüğü oluştuğunu, sunulan bu sistemde ise alternatif deney setlerinin bulunması nedeniyle beklemek yerine boşta olan diğer deney setine bağlanmayı denemenin kendilerini sistem üzerinde kalmaya teşvik ettiğini belirterek oldukça pozitif bildirimde bulunmuştur. En çarpıcı sonuç ise, öğrencilerin tamamı da sistemde bulunan deney seti sayısının artırılmasını talep etmiş ve pilot olarak üç deneyle sunulan bu sistemin müfredattaki tüm deneyleri kapsayacak şekilde genişletilerek sadece belirli eğitim-öğretim dönemlerinde değil yılın her günü hizmette olmasını istemişlerdir. Öte yandan sunulan bu çalışmada, gerçekleştirilen sistemin yazılım ve donanım altyapısı ile teknik boyutları daha ağırlıklı olarak ele alınmış olup sistemin pedagojik etkisinin ölçümü için ileride daha kapsamlı bir çalışmanın ayrıca sunulması planlanmaktadır.

Genel bir değerlendirme sonucu olarak; sunulan bu web tabanlı laboratuvar uygulaması ile uzaktan eğitim modellerinde ihtiyaç duyulan pratik deneyim gereksinimleri karşılanabilecektir. Ayrıca örgün eğitim veren okullarda da çeşitli sebeplerden dolayı gerçekleştirilemeyen deney eksikliklerinin giderilmesi amacıyla yardımcı eğitim aracı olarak kullanılabilir. Öte yandan konunun önemli bir diğer boyutu ise çeşitli sağlık sorunlarından dolayı diledikleri eğitimi alamayan engelli bireylerdir. Mühendislik eğitimi almaya istekli bir engelli bireyde, laboratuvar koşulları gerektiriyor olmasından dolayı bu eğitimi uzaktan öğretim teknikleriyle yürütemeyeceği düşüncesi doğmakta ve bu düşüncenin sonucunda bireyin tercihini değiştirmek zorunda kaldığı durumlar olabilmektedir. Sunulan bu çalışmanın, engelli bireyler için geliştirilecek web tabanlı mühendislik eğitimi modellerine önemli bir katkı sağlayacağı ve sosyal sorumluluk anlamında faydalı olacağı düşünülmektedir.

Sunulan çalışmada, geliştirilen sistemin öğrenim sürecine etkisinin ölçümünden ziyade teknik altyapısı üzerinde daha fazla odaklanılmıştır. Yazarlar, geliştirilen sistemin pedagojik boyutunun değerlendirilmesi için web 3.0'ın sunduğu bazı teknolojilerden de faydalanarak (çerez yönetimi, ekran hareketlerini takip eden akıllı ajan yazılımları vb.) sistemi kullanan öğrencinin takibi ve zorlandığı/çabuk ilerlediği sayfaların tespiti, hangi parametre ile ne kadar oynadığı ve en çok hangi parametreyi değiştirerek deney tekrarı yaptığı gibi birçok kategoride ölçüm yapabilen bir sistem tasarlamaya yönelik çalışmalarını sürdürmektedirler.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)


1. Büyüközkan G., Güleryüz S., Multi criteria evaluation of logistics firms' web site performance, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 31 (4), 889-902, 2016.
2. Tekerek A., Gemci C., Bay Ö.F., Design and implementation of a web-based intrusion prevention system: a new hybrid model, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 31 (3), 645-653, 2016.
3. Colak I., Irmak E., Kabalci E., Issi F., Design and implementation of a remote laboratory platform using Matlab Builder for NE., Computer Application in Engineering Education, 22 (4), 617–629, 2014.
4. Kubat C., Kiraz A., The modeling of tensile test in virtual laboratory design using artificial intelligence, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 27 (1), 205-209, 2012.
5. Suul J.A., Salvatore D., Giuseppe G., Virtual synchronous machine-based control of a single-phase bi-directional battery charger for providing vehicle-to-grid services, IEEE Transactions on Industry Applications, 52 (4), 3234-3244, 2016.
6. Irmak E., Usage of Matlab Web Server for e-learning platforms, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 23 (2), 495-506, 2008.
7. Yalcin N.A., Vatansever F., Web-based virtual power electronics laboratory, Computer Application in Engineering Education, 24 (1), 71–78, 2016.
8. Bekiroğlu E., Bayrak A., Virtual electrical machinery laboratory: experiments of synchronous generator, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 25 (2), 405-413, 2010.
9. Veiga E., Oliveira J., Nied A., Oliveira J., Web-Based Learning of Electrical Machines Simulation Tool-iMotor, 6th IEEE International Conference on e-Learning in Industrial Electronics, Montreal, Canada, 74-79, 25-28 Oct. 2012.
10. Kaçar S., Çankaya İ., Analysis of nonlinear systems using Matlab and Asp.Net based web interface, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 27 (4), 795-806, 2012.
11. Bayrak A., Dogan F., Tatlicioglu E., Ozdemirel B., Design of an experimental twin-rotor multi-input multi-output system, Computer Application in Engineering Education, 23 (4), 578–586, 2015.
12. Ramirez E.G., Garcia I., Guerrero E., Pacheco C., An educational tool for designing dc motor control systems through FPGA-based experimentation, International

Journal of Electrical Engineering Education, 52 (1), 22-38, 2015.

**13.** Demirbaş Ş., An internet based PI controlled direct current motor experimental set, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 22 (2), 401-410, 2007.

**14.** Choudhary A., Singh S.A., Malik M.F., Kumar A., Pathak M.K., Kumar V., Virtual Lab: Remote Access and Speed Control of DC Motor Using Ward-Leonard System, IEEE International Conference on Technology Enhanced Education, Amritapuri, India, 1-7, 3-5 Jan. 2012.

**15.** Brindha A., Balamurugan S., Venkatesh P., Real Time Experiment to Determine Transfer Function of Quanser Servo Plant, International Conference on Recent Advancements in Electrical, Electronics and Control Engineering, Sivakasi, India, 253-257, 15-17 Dec. 2011.

**16.** Irmak E., Colak I., Kabalci E., Kose A., Implementation of an Interactive Remote Laboratory Platform for Stepper Motor Experiments, 15th International Power Electronics and Motion Control Conference, Novisad, Serbia, 1-5, 4-6 Sept. 2012.

**17.** Irmak E., Design of a remotely accessible e-laboratory platform", Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 24 (2), 311-322, 2009.

**18.** Chandra A.P.J., Venugopal C.R., Novel design solutions for remote access, acquire and control of laboratory experiments on dc machines, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 61 (2), 349-357, 2012.

**19.** Topaloğlu N., Design and implementation of the remote web camera control via the internet, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 27 (2), 229-235, 2012.

**20.** Tawfik M., Monteso S., Garcia L.F., Sancristobal E., Ruiz E., Díaz G., Colmenar S.A., Peire J., Castro M., Novel design and development of advanced remote electronics experiments, Computer Application in Engineering Education, 23 (3), 327–336, 2015.

**21.** Apse A.P., Avotins A., Krievs O., Ribickis L., Practically Oriented E-Learning Workshop for Knowledge Improvement in Engineering Education Computer Control of Electrical Technology, IEEE Global Engineering Education Conference, Marrakesh, Morocco, 1-5, 17-20 April 2012.

**22.** Karci H., Tangel A., Design and prototype implementation of a 5-dof mobile robot arm based on FPGA, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 31 (2), 295-302, 2016.

**23.** Tuncer S., High-performance vector control strategy for multilevel inverter fed induction motor, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 30 (1), 119-130, 2015.