

Asenkron Motor Benzetimi için Web Tabanlı Bir Eğitim Aracı

Şevki DEMİRBAŞ, Erdal IRMAK, İlhami ÇOLAK
Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü
06500 Teknikokullar, ANKARA

ÖZET

Mesleki ve teknik bilimlere yönelik uzaktan eğitim uygulamaları için, sistemlerin modellenmesi ve oluşturulan modeller üzerinde web tabanlı benzetimlerin gerçekleştirilmesi oldukça önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Elektrik Makineleri derslerindeki temel konulardan birisi olan asenkron motorlar ele alınmıştır. Bir asenkron motorun matematik modeli ortaya konulmuş ve bu modele web üzerinden erişim sağlanmıştır. Tasarlanan etkileşimli web sayfaları sayesinde, kullanıcılar model üzerinde bulunan parametre değerlerini değiştirebilmekte ve bu değişime karşılık motor tepkisini izleyebilmektedirler. Web sayfalarında konuyla ilgili teorik bilgilere de yer verilmiş ve konu anlatımı uygun canlandırmalarla desteklenmiştir. Böylece, uzaktan eğitim yada geleneksel eğitim içerisinde kullanılabilir, web tabanlı bir eğitim aracı oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Asenkron Motor, Benzetim, Web Tabanlı Eğitim.

A Web Based Educational Tool for Simulation of Induction Motor

ABSTRACT

Modelling and simulation of systems over the web are very important in distance education related to professional and technical sciences. For this purpose, induction motor, which is a basic topic in Electric Machinery courses, has been modelled and simulated in this study. Mathematical model of an induction motor has been revealed and then, accessing of the model has been achieved over the web. Users can modify the parameters of the motor to observe its behavior with respect to these modifications using HTML pages designed. In addition, theoretical information supported with favorable animations about the induction motors have been given in HTML pages. Thus, an educational tool based on the web has been developed which can be used in conventional education or distance education.

Keywords: Induction Motor, Simulation, Web Based Education

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojik gelişmelerin çok hızlı sürdüğü bir zaman diliminde yaşanmaktadır. Özellikle bilgisayar ve ağ sistemleri, buna paralel olarak web teknolojisinde önemli yenilikler ve ilerlemeler sağlanmaktadır. Web'in uzaktan eğitimde kullanılması sonucu, eğitime farklı bir boyut getirilmiştir. Günümüzde uzaktan eğitim uygulamalarının tamamına yakını web teknolojilerinden faydalanmaktadır (1).

Eğitim-öğretim programları genel olarak ele alındığında temel eğitim, mühendislik eğitimi, teknik eğitim, fen eğitimi ve sosyal mesleklere yönelik eğitimler gibi değişik alanlara ayrılmaktadır. Mühendislik eğitimi ve teknik eğitimde, öğrencilere verilecek teorik bilgilerin yanı sıra, uygulama çalışmalarının ve deneylerin kapsam dışında tutulması düşünülemez. Mühendislik eğitimi ve teknik eğitim öğrencileri için pratik deneyim sağlamanın klasik yolu, laboratuvar temelli sistemler kullanmaktır (2). Web tabanlı bir uzaktan eğitim sisteminde ise, deneysel çalışmaların yerini tutabilecek benzetimlerin oluşturulması önemli bir aşamadır. Bunun için, öncelikle üzerinde deneysel çalışma yapılacak olan

sistemin modelinin çıkarılması gerekmektedir. Elektrik makinelerinin geçici veya kararlı durum tepkileri, matematiksel modeller üzerinde yapılacak analizlerden elde edilmekte ve böylece, uygulamada karşılaşılabilecek sorunların önceden tespit edilmesi mümkün olmaktadır.

Endüstride, elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirmek için elektrik motorları kullanılır. Uygulama alanları açısından değerlendirildiğinde, Asenkron Motorlar (ASM) kullanım oranı en yüksek olan elektrik motorlarıdır. Sürekli bakıma ihtiyaç duymamaları, yük altında devir sayısının daha az değişmesi, hız kontrolünün kolaylıkla yapılabilmesi ve ucuz olması gibi nedenler ASM kullanımını etkileyen önemli yararlarıdır. ASM ile ilgili birçok akademik çalışma yapılmış ve bu çalışmalarda hız kontrolü, değişik yükler altında ısınma testi, laboratuvar uygulamaları ile verilen teorinin pekişmesi sağlanır. Web tabanlı bir uzaktan eğitim sistemi için ise, bunu yapabilmeyen iki yöntemi bulunmaktadır:

- ASM'nin matematik modelini çıkararak, web tabanlı bir benzetim oluşturmak ve uygulamayı benzetim üzerinde gerçekleştirmek.
- Gerçek bir laboratuvar ortamında hazırlanan ASM deney setine web üzerinden erişim sağlamak ve bu sayede motor üzerinde değişik amaçlı deneyler gerçekleştirmek.

Literatürde, yukarıda bahsedilen her iki yöntem ile ilgili oldukça yoğun çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, belirtilen programlar ile değişik ara yüzler üzerinden motorun modeline erişim sağlanmıştır. Kullanıcılar, arayüz üzerinden modelde bulunan parametreleri değiştirebilmekte ve motor tepkisini gözleyebilmektedirler. Benzetim çalışmaları için JAVA, Flash ve ActiveX gibi farklı canlandırma yazılımları veya web bileşeni bulunan VisSim, Visual C++ ve LabVIEW gibi paket programlar kullanılmaktadır (9–12). Bu çalışmada ise, literatürde yer alan benzetim çalışmalarına bir farklılık ve yenilik getirmesi açısından MATLAB yazılımı kullanılmıştır. Bu programın 6.5 sürümünden itibaren geliştirilen WebServer bileşeni kullanılarak, benzetim için hazırlanan m-dosyalarının doğrudan web üzerinden çalıştırılabilmesi sağlanmıştır. HTML giriş sayfalarından ayarlanabilen değişik parametre değerleri altında üretilen grafikler, aynı bileşen sayesinde web ortamına aktarılmıştır.

Web üzerinden uzaktan erişimli laboratuvar deneylerinin geliştirilmesi, benzetim modellerine bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Özellikle son yıllarda geliştirilen çok işlevli donanım birimleri, web tabanlı olarak veri alışverişi yapabilmektedir. Bu donanımların uygun yazılımla bütünleştirilmesi sonucu, özellikle mesleki ve teknik eğitime hizmet edebilecek web tabanlı uzaktan eğitim sistemleri oluşturulmuştur (13–17).

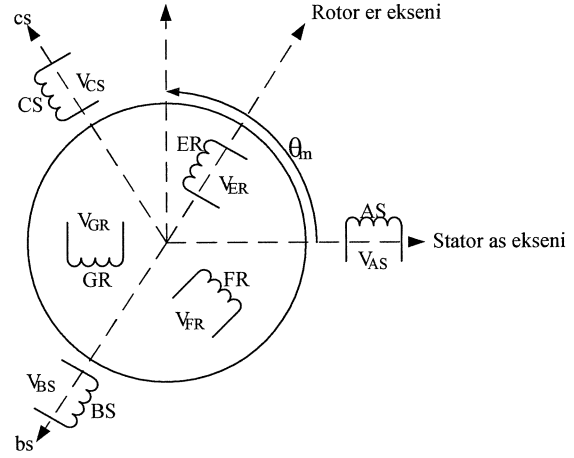
Bu çalışmada, mesleki ve teknik bilimlere yönelik uzaktan eğitim uygulamalarında veya geleneksel eğitimde kullanılacak, web tabanlı bir ASM benzetimi oluşturulmuştur. Bunun için, öncelikle matematik model ortaya konulmuş ve bu modele web üzerinden erişim sağlanmıştır. Çalışmada, sunucu/istemci mimarisi üzerine kurulu genel bir etkileşim modeli kullanılmıştır.

2. ASM MODELİ

Tasarım ve analizde ilk aşamada, ele alınan fiziksel sistemin aslına olabildiğince yakın, incelenecek sistem büyüklüklerinin duyarlı ve pratik olarak elde edilebileceği bir matematiksel model oluşturmak gerekmektedir. Özellikle bilgisayar destekli tasarım ve analiz son derece yaygın olarak kullanıldığı günümüzde, kurulacak ya da seçilecek matematiksel modelin incelenen problemlere uyumu, değişik incelemelere uygulanabilirliği analizin başarısı açısından çok önemlidir.

ASM benzetimi için genel olarak 2 çeşit modelleme yapısı kullanılmaktadır. Bunlar simetrik üç faz benzetim modeli ve iki eksene indirgenmiş benzetim modelidir. Bu çalışmada oluşturulan model, simetrik üç faz benzetim yapısına göre 3 fazlı ASM için, stator

ve rotorun manyetik eksen düzlemindeki yerleşimi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Üç faz simetrik asenkron makinenin manyetik ekseninde gösterimi

Üç fazlı simetrik asenkron motorda gerilim denklemleri matris formunda aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\left. \begin{aligned} V_{abcs} &= r_{abcs} i_{abcs} + p\lambda_{abcs} \\ V_{abcr} &= r_{abcr} i_{abcr} + p\lambda_{abcr} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Burada s ve r indisleri stator ve rotor değişkenleri ile parametrelerini ifade etmektedir. r_s ve r_r diogonal matrislerdir. Yazılan bu stator ve rotor dirençlerine ait matrisler Eş. 2'de verilmiştir.

$$\left. \begin{aligned} r_{abcs} &= \begin{bmatrix} r_s & 0 & 0 \\ 0 & r_s & 0 \\ 0 & 0 & r_s \end{bmatrix} \\ r_{abcr} &= \begin{bmatrix} r_r & 0 & 0 \\ 0 & r_r & 0 \\ 0 & 0 & r_r \end{bmatrix} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Stator devresi gerilim denklemleri ise Eş. 3 ile ifade edilir.

$$\begin{bmatrix} V_{as} \\ V_{bs} \\ V_{cs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{as} & 0 & 0 \\ 0 & r_{bs} & 0 \\ 0 & 0 & r_{cs} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \lambda_{as} & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_{bs} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_{cs} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Rotor devresi gerilim denklemleri ise Eş. 4'de verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} V_{ar} \\ V_{br} \\ V_{cr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{ar} & 0 & 0 \\ 0 & r_{br} & 0 \\ 0 & 0 & r_{cr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ar} \\ i_{br} \\ i_{cr} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \lambda_{ar} & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_{br} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_{cr} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Burada;

$$V_{a,b,cs} = \text{Stator faz gerilimleri (V)}$$

- $V_{a,b,cr}$ = Rotor faz gerilimleri (V)
 $r_{a,b,cs}$ = Stator faz sargıları etkin direnci (Ω)
 $r_{a,b,cr}$ = Rotor faz sargıları etkin direnci (Ω)
 $\lambda_{a,b,cs}$ = Stator sargıları toplam akısı (Weber)
 $\lambda_{a,b,cr}$ = Rotor sargıları toplam akısı (Weber)

Elektromagnetik sistemlerde akımlar ile akılar arasında, Eş. 5'de verilen bağıntı vardır.

$$(\lambda) = L \cdot i \quad (5)$$

Bu bağıntının asenkron motor modelinde kullanılması ile stator ve rotor manyetik eksenlerine ait akılar Eş. 6'daki gibi verilir.

$$\begin{bmatrix} \lambda_{abcs} \\ \lambda_{abcr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{ss} & L_{sr} \\ L_{sr}^T & L_{rr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{abcs} \\ i_{abcr} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Matris formundaki sargı endüktansları ise Eşitlikler 7, 8 ve 9'daki gibi yazılır.

$$L_{ss} = \begin{bmatrix} L_{ss} & -\frac{1}{2}L_{sm} & -\frac{1}{2}L_{sm} \\ -\frac{1}{2}L_{sm} & L_{ss} & -\frac{1}{2}L_{sm} \\ -\frac{1}{2}L_{sm} & -\frac{1}{2}L_{sm} & L_{ss} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$L_{rr} = \begin{bmatrix} L_{rr} & -\frac{1}{2}L_{rm} & -\frac{1}{2}L_{rm} \\ -\frac{1}{2}L_{rm} & L_{rr} & -\frac{1}{2}L_{rm} \\ -\frac{1}{2}L_{rm} & -\frac{1}{2}L_{rm} & L_{rr} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$L_{sr}(\theta) = M_{sr} \cdot \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (9)$$

Burada;

- $L_{sm} = L_{rm} = M_{sr}$; $L_{ss} = L_{s1} + L_{sm}$; $L_{rr} = L_{r1} + L_{rm}$
 L_{sm} = Stator mıknatıslanma endüktansı (H)
 L_{rm} = Rotor mıknatıslanma endüktansı (H)
 M_{sr} = Stator faz sargısıyla rotor faz sargısı maksimum arası ortak endüktans (H)
 L_{sr} = Stator ve rotor arası ortak endüktans (H)
 L_{ss} = Her bir stator sargısının öz endüktansı (H)
 L_{rr} = Her bir rotor sargısının öz endüktansı (H)
 θ = Rotor pozisyonu

Bu durumda endüktansın rotor pozisyonuyla değişim matrisi Eş. 10'da verilen bağıntıyla bulunur.

$$L(\theta) = \begin{bmatrix} L_{ss} & L_{sr}(\theta) \\ L_{sr}(\theta)^T & L_{rr} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Buna göre toplam akı Eş. 11'den bulunur.

$$\frac{d\lambda}{dt} = V - R \cdot L^{-1}\lambda \quad (11)$$

Burada;

- λ = Toplam akı matrisi (Weber)
 V = Rotor ve stator gerilimleri matrisi (V)
 R = Rotor ve stator etkin dirençleri matrisi (Ω)
 L^{-1} = Endüktans değişimi matrisinin tersi (1/H)

Rotor ve stator akımları Eş. 12'den bulunur.

$$\frac{di}{dt} = L^{-1} (V - R \cdot i - \omega_r \frac{dL}{d\theta} i) \quad (12)$$

Burada ;

- i = Rotor ve stator akımları matrisi (A)
 L = Endüktans değişimi matrisi (H)
 ω_r = Rotor hızı (rad/s)
 θ = Rotor ve stator arasındaki açı

Rotor hızı Eş. 13'den bulunur.

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{P}{2j} ((T_e - T_L) - F \frac{d\theta}{dt}) \quad (13)$$

Burada ;

- P = Kutup sayısı
 J = Rotor ataleti ($kg \cdot m^2$)
 T_e = Elektromagnetik moment (Nm)
 T_L = Yük momenti (Nm)
 F = Sürtünme kuvveti ($kg \cdot m$)

Elektromagnetik moment ise Eş. 14'den bulunur (18).

$$T_e = \frac{p}{4} i^T \frac{dL}{d\theta} i \quad (14)$$

3. BENZETİM MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Asenkron motorun web tabanlı benzetim modelinin oluşturulmasında, temel olarak MATLAB programından yararlanılmıştır. MATLAB, mühendislik uygulamalarının, hesaplamalarının ve benzetimlerinin gerçekleştirilebildiği, matris ve matematik tabanlı bir programdır. Elde edilen bütün sonuçların 2-boyutlu veya 3-boyutlu grafiklere rahatça dönüştürülebilmesi, matris tabanlı işlem yapması sonucu hızlı olması gibi nedenlerle, özellikle elektrik-elektronik başta olmak üzere birçok alanda sıkça kullanılmaktadır.

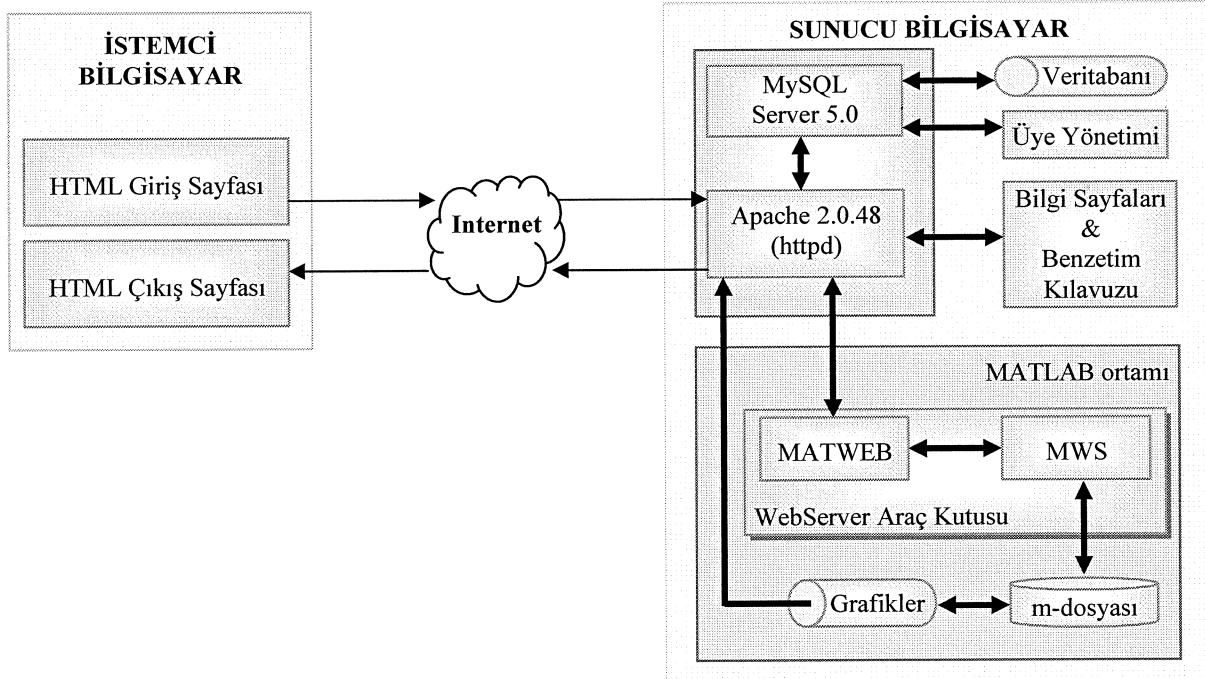
Bu çalışmada, önceki bölümde verilen ASM modelindeki eşitliklerin çözdürülmesi işlemi, MATLAB ortamında hazırlanan bir m-dosyasında yapılmıştır. Elde edilen değerlerin kullanılarak uygun grafiklerin çizdirilmesi de yine aynı m-dosyası ile sağlanmıştır. Değerlerin ve grafiklerin sonucu bilgisayara ve daha sonra bu yol ile istemci bilgisayara gönderilmesi işlemleri ise, MATLAB WebServer (MWS) araç kutusu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MWS, MATLAB programında işlemek üzere web üzerinden veri alabilen ve bu verileri işledikten sonra elde edilen sonuçları yine bir web tara-

yıcısında gösterebilen uygulamalar geliştirmeyi sağlamaktadır. İstemci sistem ile MATLAB arasındaki veri alışverişi TCP/IP protokolüne uygun olarak gerçekleştirilmektedir (19).

İstemci bilgisayar ekranında görüntülenen benzetim giriş sayfaları ve sonuç sayfaları, teorik bilgilerin aktarıldığı kaynak sayfalar ve diğer ara yüz bileşenleri temel HTML komutları ve PHP betikleri (script) kullanılarak hazırlanmıştır. Bunlara ilave olarak, hazırlanan site yapısı üzerinde, çok amaçlı bir üye yönetim sisteminin bulunmasına da dikkat edilmiştir. Üye yönetim sisteminde bilgiler, hazırlanan bir MySQL veri tabanında tutulmakta, bu sayede siteye sadece üyelerin girişi sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, sunucu bilgisayar hem web sunucusu, hem de uygulama sunucusu olarak görev yapmaktadır. Bir taraftan web üzerinden gelecek istemcilerle ait istekleri karşılarken, diğer taraftan da benzetim programını çalıştırmakta ve uygulamanın gerçekleştirilebilmesini sağlamaktadır. Uygulama benzetim tabanlı olduğu için, aynı anda birden fazla kullanıcının aynı benzetim modelini kullanması mümkündür. Bu özellikler göz önünde tutularak, sunucu bilgisayarın donanımına dikkat edilmiş, gerek işlemci hızı (P4 2.4 GHz) gerekse de sabit ve geçici bellek kapasitesi (1024 MB) yüksek bir bilgisayar sunucusu olarak seçilmiştir. Ayrıca, veri alışverişinin oldukça hızlı ve güvenli bir ortamda gerçekleştirilebildiği, işletim sistemi bağımsızlığı ve açık kaynak kodlu olması nedeniyle dünyada yaygın olarak kullanıldığı için Apache 2.0.48 sunucu yazılımı tercih edilmiştir.

Şekil 2'de ASM'nin web üzerinden benzetiminin gerçekleştirilebilmesini sağlayan modelin blok görünümü verilmiştir.



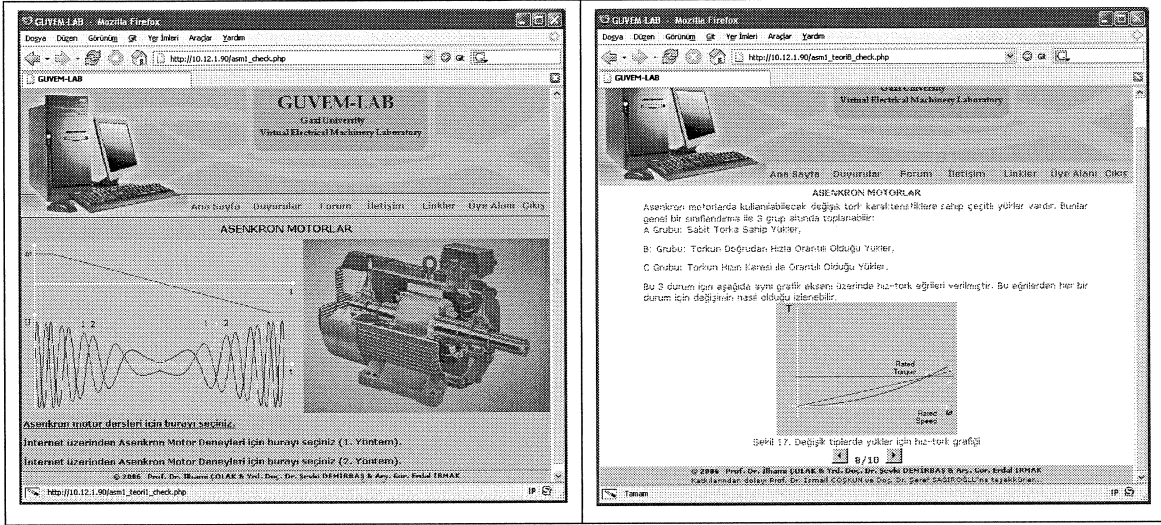
Şekil 2. Geliştirilen sisteme ait blok görünümü

Sisteme ait blok görünümünden de anlaşılacağı üzere, geliştirilen web tabanlı benzetim modelinde, istemci tarafta herhangi bir özel yazılım ya da donanım birimine ihtiyaç duyulmamaktadır. MATLAB programı, özellikle elektrik ve elektronik uygulamalarının benzetiminin gerçekleştirilmesi için son derece uygundur. Ancak, fiyatının yüksek oluşu, iyi donanıma sahip bir bilgisayar gerektirmesi gibi özellikleri nedeniyle çoğu zaman öğrenciler tarafından temin edilememektedir. Bu uygulamada, benzetimin MATLAB üzerinde gerçekleştirilmiş olmasına rağmen, istemci tarafında bu programa gerek duyulmayışı önemli bir özelliktir. Diğer bir ifade ile MATLAB dosyalarının web üzerinden çalıştırılması, çalışmanın öne çıkan bir avantajıdır.

4. BENZETİMİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Geliştirilen web tabanlı benzetime erişim, Gazi Üniversitesi yerel ağı üzerinde bulunan herhangi bir bilgisayar üzerinden mümkündür. Sunucu bilgisayar, Gazi Üniversitesi Elektrik Makineleri ve Enerji Kontrol Grubu (GEMEC) laboratuvarında konumlandırılmıştır. Üniversitenin uyguladığı güvenlik duvarı uygulaması nedeniyle, yerel ağ dışından erişim şu anda mümkün olmamaktadır.

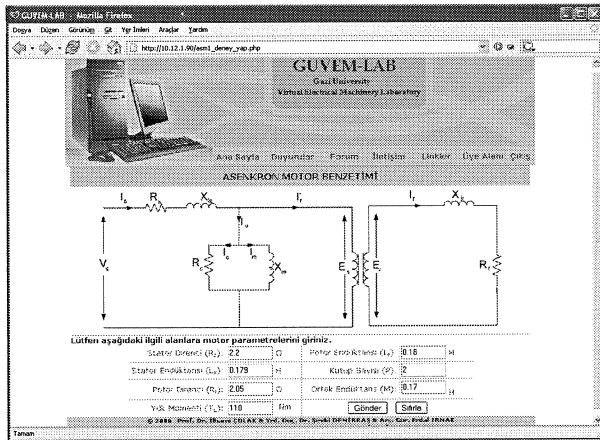
Benzetime ait giriş sayfasından, doğrudan benzetim modeline erişmek mümkün olduğu gibi, konuyla ilgili teorik bilgi sayfalarına da geçilebilmektedir. Teorik bilgi sayfalarında, ASM ile ilgili genel bilgiler, benzetimde dikkat edilmesi gereken hususlar ve sonuçların incelenmesinde faydalı olacak bilgiler verilmiştir. Bu sayfalarda anlatımlar, uygun canlandırmalarla desteklenmiştir. Şekil 3'de sistemin web sayfasından örnekler verilmiştir



Şekil 3. Sistemin web sayfasından örnekler

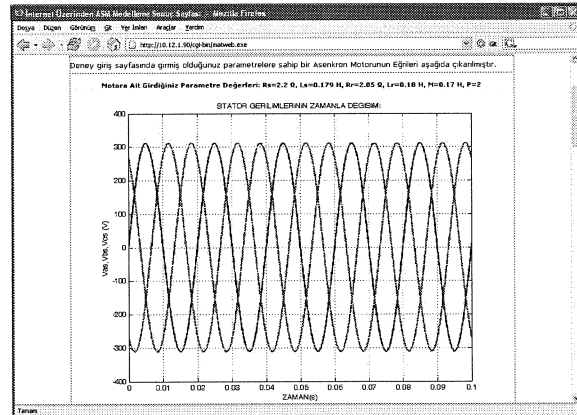
Benzetimin gerçekleştirilmesi sürecinde, istemci bilgisayar ekranından sadece arzu edilen parametrelerin girilmesi yeterlidir. Bunlar, Bölüm 2'de verilen ASM modeline ilişkin parametrelerdir. Bu işlemin yapılabilmesi için, benzetim ara yüzünde bir adet form oluşturulmuştur. Değerler bu form üzerindeki ilgili alanlara girilmektedir. Daha sonra, sayfa üzerinde bulunan "Gönder" butonuna basılması yeterlidir. Bundan sonraki bütün işlemler sonucu bilgisayar tarafından gerçekleştirilmekte ve elde edilen sonuçlar tekrar istemciye gönderilmektedir.

Şekil 4'te, örnek bir benzetim uygulaması için parametre giriş ekranı verilmiştir. Bu ekranda görülen değerler altında benzetimin gerçekleştirilmesi sonucu elde edilen sonuçlar, grafiksel olarak Şekil 5, 6, 7, 8 ve 9'da verilmiştir. Bu şekillerden de görüleceği gibi, sonuç sayfalarında 5 ayrı grafik üretilmektedir. Bunlar, modellenen ASM için stator gerilimlerinin, stator akımlarının, rotor akımlarının, rotor hızının ve momentin zamanla değişimi grafikleridir.

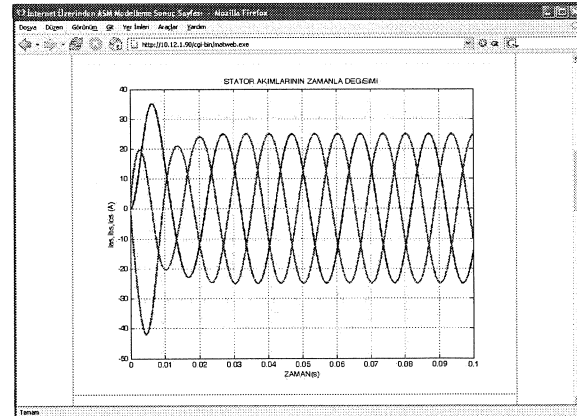


Şekil 4. Benzetim uygulaması için hazırlanan etkileşimli giriş sayfası

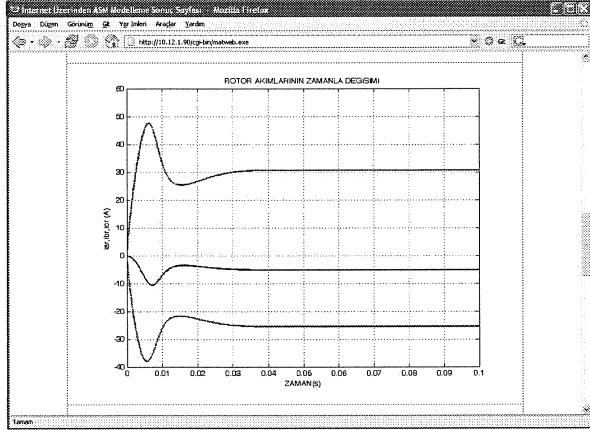
Hazırlanan web sayfalarında ayrıca, elde edilen sonuçların ve grafiklerin ASM için önemi, grafiklerin yorumlanması gibi gerekli bilgiler de öğrencilere sunulmuştur. Böylece, öğrenciler girmiş oldukları parametreler ile elde edilen sonuçlar arasında bağlantı kurabilmektedirler.



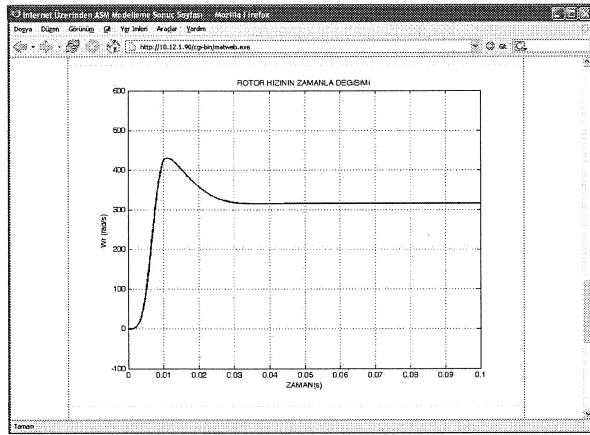
Şekil 5. Benzetim sonuç sayfası: Stator gerilimlerinin zamanla değişimi grafiği



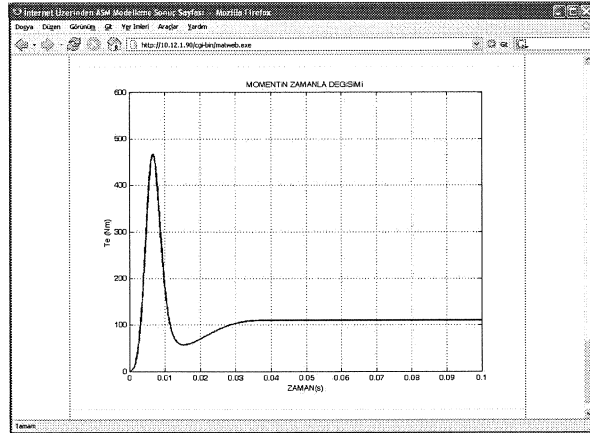
Şekil 6. Benzetim sonuç sayfası: Stator akımlarının zamanla değişimi grafiği



Şekil 7. Benzetim sonuç sayfası: Rotor akımlarının zamanla değişimi grafiği



Şekil 8. Benzetim sonuç sayfası: Rotor hızının zamanla değişimi grafiği



Şekil 9. Benzetim sonuç sayfası: Momentin zamanla değişimi grafiği

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, özellikle elektrik ve elektronik alanlarında sıkça kullanılan MATLAB uygulamalarının web üzerinden gerçekleştirilebilmesi sağlanmıştır. Böylece, hassas hesaplamalar yapabilmek, çok boyutlu diziler üzerinde hızlı işlem yürütmek ve elde edilen sonuçları oldukça gelişmiş yapıya sahip grafiklerle sunabilmek gibi yararlar sağlanmıştır. Literatürde benzer

çalışmalar için sıkça kullanılan Flash tabanlı canlandırmalar, Java Applet'leri ya da ActiveX denetimleri gibi benzetim programlarında, çoğu zaman istemci bilgisayara da bazı uygulamaların yüklenmesi gerekmektedir. Buna ilave olarak, bu uygulamaların hızlı ve sağlıklı bir şekilde yürütmeye açısından istemci bilgisayar donanımının da iyi olması gerekmektedir. Ayrıca belirtilen bu tip benzetim programlarının bir çoğu, çok boyutlu diziler üzerinde matematiksel işlemler yürütmek, sonuçları 2 veya 3-boyutlu grafiklerle sunabilmek konusunda, MATLAB kadar hızlı ve başarılı çözümler sunmamaktadır. Bununla birlikte, geliştirilen benzetim modeli, bir bütün olarak eğitim portalı olacak şekilde tasarlanmıştır. ASM'nin modellenmesinde MATLAB programından faydalanılırken, teorik anlatım sayfalarında Flash canlandırmalarına da yer verilmiştir. Böylece, anlatım, canlandırma, modelleme ve benzetim bileşenlerinin bir arada bulunduğu, mesleki ve teknik bilimlere hizmet eden uzaktan eğitim uygulamaları içerisinde kullanılabilecek bir web tabanlı benzetim modeli oluşturulmuştur.

Gerçekleştirilen internet tabanlı benzetim çalışmasının kullanılması ile aşağıdaki kazanımların sağlanmasını mümkündür:

- Zamandan ve mekandan bağımsız bir eğitim ortamı sağlanmaktadır.
- Öğrencilerin kişisel algılama ve yorumlama becerilerine göre öğrenim görmeleri sağlanmaktadır. Öğrenciler diledikleri kadar tekrar şansına sahiptir.
- Başlangıçta öğrencilerin temel ve basit seviyeli canlandırmalarla konuyu kavramaları, ilerleyen aşamalarda matematiksel model üzerinde benzetim gerçekleştirerek, elde edilen sonuçları yorumlayabilmeleri sağlanmaktadır.
- Öğrenciler, zihinlerinde oluşan bütün parametre değerlerini benzetim modeline aktararak daha kapsamlı bir deneyime sahip olabilmektedir.
- Geleneksel laboratuvarlardaki donanım yetersizlikleri yüzünden çoğu zaman sistemlere ait geçici durum tepkileri gözlenmemektedir. Bu çalışmada oluşturulan benzetim yapısı çerçevesinde, motora ait geçici ve sürekli durum tepkileri başarılı bir şekilde yakalanabilmektedir.
- Modelin kullanılması ile eğitimde genel bir fırsat eşitliği sağlanmaktadır. Bütün öğrenciler tek bir yapıdan, aynı şartlar altında öğrenme olanaklarına sahiptir.
- Öğrenciler, gerek duyduğu anda ders notları yada konuyla ilgili diğer kaynaklara anında ulaşabilmektedir.
- Öğrenciye verilen eğitimin değerlendirilmesi ve gözlenmesi bilgisayar ortamında ve merkezi olarak daha kolay ve kısa sürede yapılabilmektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarla konunun daha da geliştirilmesi mümkündür. Oluşturulan web tabanlı benzetim modelinin, tartışma forumları, öğrenci-öğrenci ve öğrenci-öğretmen görüşmelerinin yapılabileceği sanal sohbet oturumları gibi bazı web bileşenleriyle desteklenebilir. Ayrıca, internet üzerinden gerçek zamanlı olarak bir ASM deney setine erişerek, motor üzerinde değişik deneysel çalışmaları uzaktan yapabilmeleri, set üzerinde çeşitli ölçümleri yaparak grafiksel sonuçlar üretebilmeleri, bu işlemleri aynı zamanda bir ağ kamerasından da gerçek zamanlı olarak izleyebilmeleri sağlanabilir. Böylece, oluşturulan web tabanlı uygulama teorik anlatım, canlandırma, modelleme ve benzetim, gerçek zamanlı uygulama bileşenlerini içeren oldukça etkin bir yapıya kavuşturulmuş olacaktır.

6. KAYNAKLAR

1. Çolak İ., Irmak E., Bayındır R., Demirbaş Ş., Sefa İ., "Açık veya Kapalı Döngü Denetim Sistemlerinin Web Tabanlı Benzetimi", Proceedings of the 6th International Educational Technology Conference, Vol. 1, pp. 446-451, 19-21 April 2006, Famagusta, North Cyprus.
2. Çolak İ., Irmak E., Demirbaş Ş., Bayındır R., "Teknik Eğitimde İnternet Teknolojisinin Kullanımı", 1. Uluslararası Mesleki ve Teknik Eğitim Teknolojileri Kongresi, B(79), 5-7 Eylül 2005, İstanbul.
3. Garvey S., Çolak İ., Wright M.T., "Variable inertia test for full-load temperature rise testing of induction machines", IEE Proc.-Electr. Power Appl., 142(3): 222-224, May 1995.
4. Çolak İ., Garvey S., Wright M.T., "Simulation of induction machines using phase variables and the explicit inverse of the inductance matrix", IJEEE International Journal of Electrical Engineering Education, 32(4): 354-365, October 1995.
5. Çolak İ., et al., "On Line Protection System for Induction Motors", Energy Conversion and Management, 46(17): 2773-2786, October 2005.
6. Çolak İ., Bal G., Elmas Ç., "Review of the testing methods for full-load temperature rise testing of induction machines", EPE Journal, European Power Electronics and Drives, 6(1): 37-43, May 1996.
7. Çolak İ., Garvey S., Wright M.T., "Mixed-frequency testing of induction machines using inverters", EPE'93, 5th European Conference on Power Electronics and Applications, vol. 5, pp. 317-322, 14-17 September 1993, UK.
8. Bal G., Öztürk N., "Alan Yönlendirmeli Asenkron Motora Bulanık Kontrolün Uygulanması", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 15(1): 57-70, Ocak 2002.
9. Keyhani A. et al., "An Integrated Virtual Learning System for the Development of Motor Drive Systems", IEEE Transactions on Power Systems, 17(1): 1-6, February 2002.
10. Benetazzo L. et al., "A Web Based Distributed Virtual Educational Laboratory", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 49(2): 349-356, April 2000.
11. Ferrero A. et al., "ReMLab; A Java Based Remote, Didactic Measurement Laboratory", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 52(3): 710-715, June 2003.
12. Sepe R.B., Chamberland M., Short N., "Web-based virtual engineering laboratory (VE-LAB) for a hybrid electric vehicle starter/alternator", Industry Applications Conference, Vol. 4, pp. 2642 – 2648, 3-7 Oct. 1999.
13. Lin P. I., Broberg H., Mon A., "A Web-based Lab for Distance Learning", Proceedings of the American Society for Engineering Education Annual Conference, Session: 1758, 2002.
14. Chang T., Hung D., "Web-Based Distance Experiments Design and Implementation" International Conference on Engineering Education, pp: 1-5, 2000, Taiwan.
15. Chen S.H., et al., "Development of Remote Laboratory Experimentation through Internet", Proceedings of the 1999 IEEE Hong Kong Symposium on Robotics and Control, Vol.: II, pp:756-760, July 1999, Hong Kong.
16. Harkin J., et al., "An Internet Based Remote Access Experimental Laboratory for Embedded Systems", Engineering Education 2002: Professional Engineering Scenarios, IEE, Vol.: 1, pp: 1-6, 3-4 Jan. 2002.
17. Gustavsson I., "Remote Laboratory Experiments in Electrical Engineering Education", Proceedings of the 4th. IEEE International Caracas Conference on Devices, Circuits and Systems, pp: (I025-1)-(I025-5), April 17-19 2002, Aruba.
18. Bayraktar U., "V/F Kontrollü Üç Fazlı Asenkron Motor Deneylerinin Eğitim Amaçlı Benzetimi", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, 29-33, (2005).
19. MATLAB Web Server User's Guide, The Mathworks Inc., 2001