

# Şebeke Bağlantılı Orta Gerilim Asenkron Motorunun Güç Sistemleri Kararlılık Analizinin İncelenmesi

## Investigation of Induction Motors Medium Voltage Grid Connected Power System Stability Analysis

Samet KOYUNCU<sup>1</sup>, Gökhan BAHADIR<sup>2</sup>, Ziya DEMİRKOL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kastamonu Üniversitesi, Tosya Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölümü  
skoyuncu@kastamonu.edu.tr, zdemirkol@kastamonu.edu.tr

<sup>2</sup>Kastamonu Üniversitesi, Tosya Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölümü  
gbahadir@kastamonu.edu.tr

### Özet

Enerji iletim sistemleri enterkonnekte yapıya sahip olduğundan iletim hatlarını ayrı ayrı düşünmek mümkün değildir. Komşu güç üretim sistemleri arasında birçok enterkonnekte bağlantının gerçekleşmesiyle güç sistemleri daha geniş coğrafik alanlara yayılmışlardır. Bu büyük yapıdaki güç üretim sistemlerine ait planlama, işletme ve kontrol işlemlerinde bilgisayara dayalı çözüm tekniklerine gereksinim duyulur. Pratik, teorik ve eğitim amaçlı kullanımlarda güç sistemlerinin sayısal analizinde bilgisayar destekli programlara ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bilgisayar kullanımının yeni yaygınlaştığı dönemlerden itibaren bu amaçla birçok çalışma yapılmıştır. Bilgisayar teknolojisindeki hızlı ilerleme sayesinde ve grafik ortamının daha etkin kullanımı ile tasarlanan programların görsel özellikleri de gelişmiştir.

Güç sistemlerini birçok yönden inceleyebilen ve ihtiyaçlara göre cevap verebilen paket programlar geliştirilmiş olup kişisel bilgisayarlarda kullanıma hazır hale getirilmiştir. Örneğin: Matlab/Simulink, Neplan, Pscad, Etap ve Digsilent gibi programlarla güç sistemlerinin değişik işletme ve çalışma şekillerine göre analizleri yapılabilmektedir. Adı geçen programların hemen hemen hepsinde sonuçlar ya görsel olarak sunulmakta ya da ara işlemler gösterilmeden sadece istenen sayısal sonuçlar kullanıcıya aktarılmaktadır. Elde edilen bu sonuçlar karmaşık yapıdaki güç sistemlerinin analizinin yapılmasında operatörlere, işletme mühendislerine ve çalışan teknik elemanlara sistem hakkında ön bilgiler vermektedir. Kullanılan paket programlar güç sistemleri üzerinde gerçekleştirilecek işlemlerin bilinçli ve kontrollü bir şekilde yapılmasına imkân tanır.

Bu çalışmada şebekeye bağlı Orta Gerilim (O.G.) asenkron motorun kalkış anındaki kararlılık analizi Etap programıyla incelenmiştir. Mühendislik sistem analizlerinden bahsedilerek dinamik ve statik analizlerine göre kalkış anındaki gerilim-zaman, güç-zaman, moment-zaman gibi grafikler oluşturulmuştur. Yapılan analizlerin klasik hesap yöntemleriyle gerçekleştirilmesi imkânsızdır. Bu da güç sistemlerinin analizinde bilgisayar destekli çözüm metodlarının geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Motor Kalkış Analizi, Etap, Sistem Kararlılığı

### Abstract

Because energy transmission systems have an interconnected structure, it is not possible to think transmission lines separately. Power systems spread over a wider geographic area with the realization of interconnected binding between the adjacent power generating systems. Computerized solution techniques are needed in planning, operating, and controlling process of this huge power generating systems. The need for computerized programs in numerical analysis of power systems increase day by day in practical, theoretical and training usage. There are much research for this purpose since the new wider use of computers. Also the visual features of the designed programs develop thanks to the rapid progresses in computer technology.

Package software that can view power systems from many aspects and meet the needs are developed and made ready for personal use. For example, the analysis of power systems according to their different operating and working types can be made by such programs like Matlab/Simulink, Neplan, Pscad, Etap, and Digsilent. Nearly all of these programs, results are either shown visually or just numeric results are delivered to users without showing the process. These results provide preliminary information about the system in analyzing the complex power systems to operators, operating engineers, and working crafts.

In this research, stability analysis of medium voltage, on grid, induction motor at the takeoff time is viewed with Etap program. Some charts are created such as voltage-time, power-time, moment-time according to dynamic and static analysis mentioned the engineering system analysis. It is impossible to make these analyses with classic calculation methods. And that makes developing computer based solution methods necessary in analyzing power systems

**Keywords:** Motor Starting Analysis, Etap, System Stability

## 1. Giriş

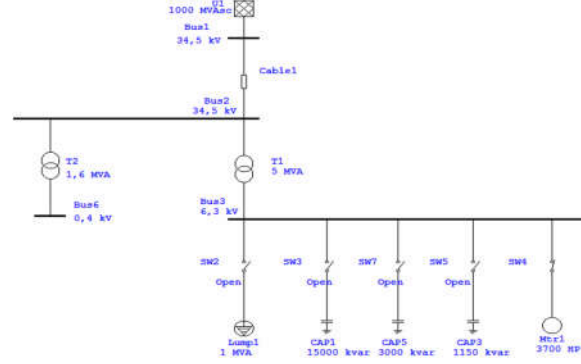
Güç sistemlerinin gerek işletmeye alınmadan önce, gerekse mevcut yapılarındaki genişleme durumlarında uygun dizayn edilip edilmediğinin kontrolü, kontrol sonucu olası uygunsuzlukların tespiti ve bu anlamda sunulan çözümleri kapsayan mühendislik analizleri, sistemin sürekli, kararlı ve güvenilir çalışması için ciddi öneme sahiptir. Ayrıca bu analizler ile sistem verimliliği de ciddi şekilde arttırılabilmektedir. Şebekede oluşan arızalardan sonraki toparlanma sürecinde şebekenin dinamik tepkisi oldukça önemlidir. Frekans ve gerilim elektrik sisteminin en önemli parametreleridir ve bu dinamik süreçte bu değişkenlerin kararlı kalması gerekmektedir. Frekans ve gerilim kararlı kalmadığında sistem çökecektir. Bu nedenle sistemde oluşabilecek kararlılık problemlerinin doğru analiz edilmesi, düzeltici ve önleyici yapıların belirlenmesi gerekmektedir. Gerek iletim/dağıtım şebekelerinde, gerek endüstriyel tesislerde yaşanacak arıza durumları sonrası gerilim ve frekans toparlanabilmeli, generatörler senkronizmalarını kaybetmemelidir [1].

Kısa devre arızaları günümüzde en çok karşımıza çıkan arıza türüdür. Bu arıza insan sağlığı ve kullanılan malzemeler için çok büyük sorun teşkil etmektedir. Ayrıca sistemin sürekliliğini etkileyen en önemli arıza türüdür. Bilgisayar programları sayesinde kısa devre analizi yaparak, arıza oluşmadan önce ne kadar akım çekeceği, çektiği akıma göre hangi ekipmanlar seçilmeli vb. sorularına cevap bulabiliriz. Ayrıca yük akış analizi sayesinde sistemin istenilen tüm noktalarında gerilim düşümü değerleri, sistem baralarının yüklenme yüzdeleri bulunabilir. Bununla birlikte sistem parametreleri değiştirilerek yeni oluşacak durumun, gerilim düşümü değerlerini ve yüklenme yüzdelerini görebiliriz. Sistemi bilgisayar ortamında kurup, optimum değerlere nasıl ulaşılabileceği araştırılmalıdır. Bu da beraberinde, gerçekte kurulacak sistemi önceden bilip doğru bir şekilde müdahale etmemizi sağlayacaktır.

Endüstride motor yükü, motorun doğru çalışması, sistemin sürekliliği ve motorun verimi için çok önemli bir öğedir. Motor, ilk kalkış anında çok fazla akım çeker dolayısıyla büyük oranda gerilim düşümlerine sebep olur. Bu gerilim düşümü aynı baradan bağlanan diğer motorlara olumsuz yönde etki edecektir. Ayrıca transformatör ve kablo için zorlayıcı etkisi olacaktır. Orta gerilim motor kalkış analizini gerçekleştirmek için bir model belirlendi ve bu model Etap programına işlenerek sistem analiz edildi. ETAP programı, yük akışı, kısa devre, geçici kararlılık, röle koordinasyonu, kablo akım şiddeti, optimal güç akışı ve daha fazlası dahil olmak üzere tam entegre Elektrik Mühendisliği yazılım çözümlerini içerir. Küçük ve büyük güç sistemlerinde kullanılabilir. Load Flow yazılımı doğru ve güvenilir sonuçları ile güç akışı analizi ve gerilim düşümü hesaplamaları yapar [2].

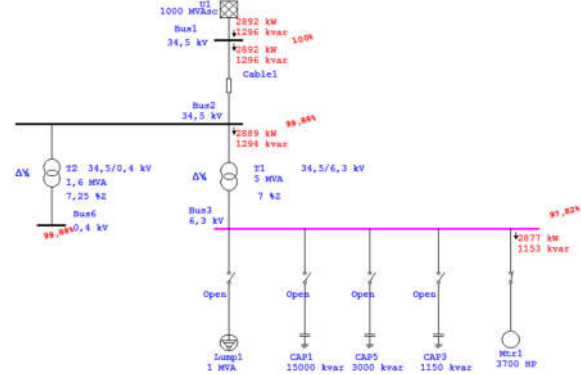
## 2. Örnek Şebeke Modelinin Tasarımı ve Analizinin Gerçekleştirilmesi

Şekil 1'de analizi gerçekleştirilen sistem gösterilmektedir.



Şekil 1. Analizi gerçekleştirilecek örnek bir tasarım

Analizleri yapılacak sistem; 34,5 kV, 1000 MVA kısa devre gücünde bir şebekeye, 120mm² XLPE değişken uzunluklu kablo ile değişken güçlü ve değişken %Uk'lı transformatöre bağlıdır. Motor 6 kV nominal gerilimde 3700 Hp (2759,09 kW) gücünde bir asenkron motordur. Motor bağlı olduğu bara üzerinden 1150 kVAr'lık bir kondansatör ile sürekli kompanze edilmektedir. Diğer 2 kapasite grubu motor dinamik analizinde kullanılacaktır. Bu gruplar değişken olarak devreye alınarak etkisi gözlemlenecektir. İlk aşamada kablo uzunluğu 2 km, transformatör gücü 5 MVA ve %Uk = 7 olarak belirlenmiştir. Bu durumda yük akış analizi sonuçları şöyledir.



Şekil 2. Güç analizi yapılacak sistemin sürekli haldeki kararlılığı

İncelenecek sistemin yük akış analizinde kapasite grupları devreye alınmamıştır. Alınan sonuçlara göre yük akışında hiçbir problem yoktur ve çalışır durumdadır. Şebeke bağlantı noktası olan Bus 1'de gerilim %100 iken, yüklerin bağlı olduğu barada gerilim %97,82 olarak ölçülmüştür. Bu duruma motorun çektiği akım yolunda bulunan kablunun ve transformatörün empedansdır.

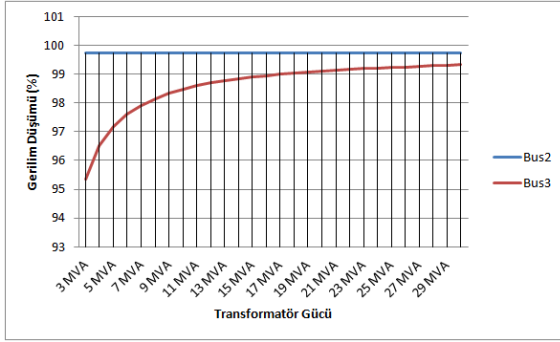
Yüksek verimde gücün aktarılması, kaynak/enerji sisteminin empedansı ile yük empedansı arasındaki ilişkiye bağlıdır [3].

### 2.1. Motor Kalkış Analizi Yapılacak Sistemin Kararlılığı

İncelenecek sistem için gerilim düşümünü (G.D.) değiştirecek koşullar, transformatör gücü, transformatör %Uk'sı, kablo

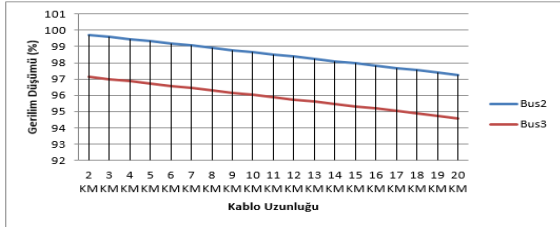
uzunluğundan dolayı ortaya çıkan empedanstır. Sistemde bulunan kondansatör gruplarının devrede ve devreden çıkarıldığı durumlardaki sonuçlar irdelenmiştir. Enerji sistemindeki indüktif ve kapasitif yüklerin dengelenmesi ile reaktif gücün tekrar kaynağa iade edilmesi için gereken ve yapılan sistemler ya da şebekenin ve yükün ihtiyacı olan reaktif gücün belli teknikler kullanılarak karşılanması işlemi Reaktif Güç Kompanzasyonu olarak adlandırılır [4]. Aşağıda kısa devre hesaplamalarında kullanılan %U<sub>k</sub> ya ait empedans formülü verilmiştir.

$$Z_{tr} = \frac{\%U_k \times U_{n^2}}{100 \times S_n} \quad (1)$$



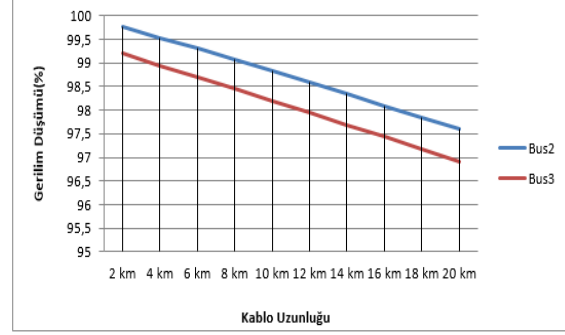
Şekil 3. Transformatör gücü değişken, sürekli kapasite grubu devrede değilk %G.D.

Şekil 3 incelendiğinde, transformatör gücünün empedansına olan etkisinden dolayı güç arttıkça empedans azalmış (ters orantı) ve bu etkiyle gerilim %99'un üzerine çıkmıştır.



Şekil 4. Kablo uzunluğu değişken, sürekli kapasite grubu devrede değilk %G.D.

Kablo uzunluğu değişken, sürekli kapasite grubu devrede değilk gerilim düşümü (Şekil 4) incelendiğinde Bus2 ve Bus3 üzerinde paralel etki göstermiştir. Bunun sebebi kablonun Bus2 ve Bus3'ten önce şebekeye seri empedans oluşturmasıdır. Mesafenin artması empedansı da artırmış dolayısıyla gerilim düşümü artmıştır.

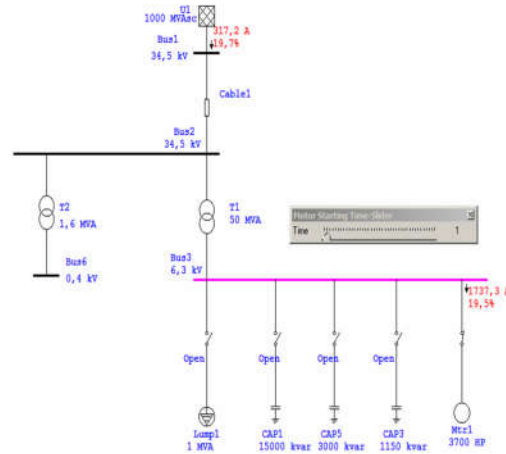


Şekil 5. Kablo uzunluğu değişken, sürekli kapasite grubu devrede değilk %G.D.

Kablo uzunluğu değişken, sürekli kapasite grubu devrede değilk bir önceki grafikteki gibi paralel sonuçlar vermiştir ancak sürekli kapasite grubunun etkisiyle kompanze olan sistemde gerilim düşümünde beklendiği gibi azalma olmuştur. Bus2 ve Bus3 arasındaki gerilim düşümü farkı transformatörün empedansından kaynaklanmaktadır.

## 2.2. Sistemin Motor Kalkış Analizi

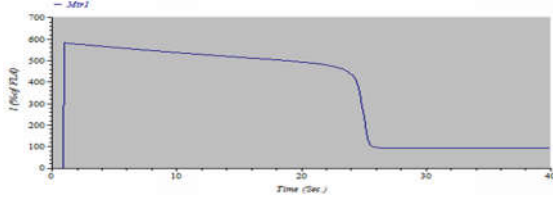
AC motorlar kendi yapısından dolayı devreye alınmaları sırasında nominal çalışma akımlarının 4-8 katı kadar akım çekerler. Bu durum zayıf şebekelerde ortak bağlantı noktasında gerilim düşümlerine ve baraya bağlı diğer yüklerde kesintilere yol açabilmektedir. Ayrıca yol alma sırasındaki bu aşırı akımlar motorlarda mekanik zorlanmalara ve sargılarda zararlara yol açabilmektedir [5]



Şekil 6. Motorun kalkış anında, kapasite grupları devrede değilk direk yol alma akımı

Motor kalkış analizi yapılacak motoru daha iyi irdelenebilmek için motorun geçici haldeki rejimini bize verecek şekilde sistemimizdeki transformatörümüzü 5 MVA yerine 50 MVA olarak değiştirdik ve aşağıdaki sonuçları elde ettik. Şekil 6'da görüldüğü gibi motor şebekeye doğrudan bağlı iken yol alma akımı 1737,3 A olarak elde edilmiştir. Bu akım

motorun nominal akımının yaklaşık 6 katıdır. Ve yine aynı şekilde görüldüğü üzere motorun yol alma anındaki güç faktörü 0,195'tir. Bu iki sonuç bize bu motorun yol alma anında çok büyük bir reaktif güç talebi olduğunu gösterir. Bu sebeple bu reaktif güç talebini şebekeye yansıtılmak için kondansatör grupları motorun reaktif güç talebine göre kademeli olarak devreye girecek şekilde motor barasına (Bus3) bağlanmıştır.

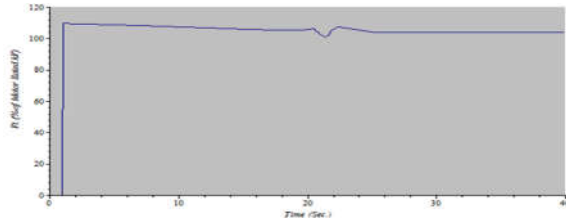


Şekil 7. Motorun kalkış anında, kapasite grupları devrede değilken zamana bağlı direk yol alma akımı

Motorun ilk kalkış anında çektiği yüksek akım, şekil 7'de görüldüğü gibi yüke bağlı olarak değişen süre zarfında azalarak kararlı hale gelmiştir.

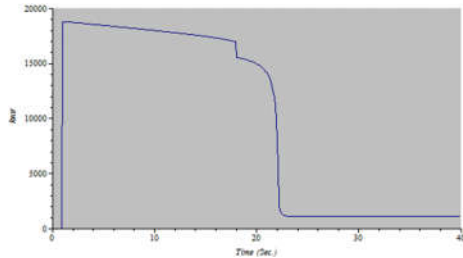
### 2.2.1. Dinamik Motor Kalkış Analizi

Analizin bu kısmı, motorun geçici hal durumundaki gerilim, akım, tork, aktif ve reaktif güç değişimlerini incelememizi sağlar. Bu çalışmanın amacı; en kötü ve en riskli değerlerin tespit edilmesi ile elektriksel sistemin doğru boyutlandırılması ve işletilmesidir. Alınacak motor tercih edilmeden önce, mevcut kullanılacağı tesiste kalkış işlemini gerçekleştireceğinden emin olunmalıdır.

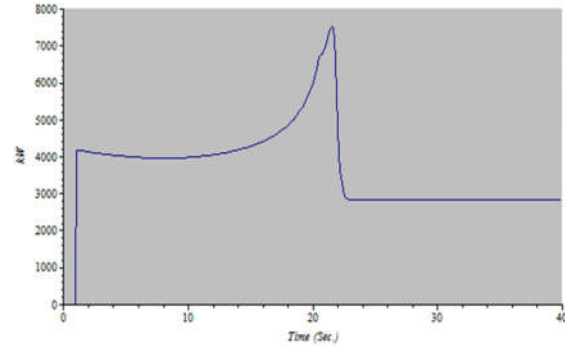


Şekil 8. Dinamik analizde oluşan bara (Bus3) gerilimi

Kapasite gruplarının kademeli olarak devreye alınmasıyla bara gerilimi, geçici hâl sırasında aşırı bir gerilim düşümüne uğramamış ve kararlılığını korumuştur. Elektrik piyasasında dağıtım sisteminde sunulan elektrik enerjisinin tedarik sürekliliği, ticari ve teknik kalitesi hakkında Yönetmeliği'ne göre gerilim değişimi için verilen bir değer vardır. Bu değer gerçek geriliminin  $\pm\%10$ u kadardır [6].



Şekil 9. Sistemin reaktif güç-zaman grafiği



Şekil 10. Sistemin aktif güç-zaman grafiği

Geleneksel olarak, aktif güç ile reaktif gücün fazorel toplamından elde edilen görünür güç ifadesi ( $S_2 = P_2 + Q_2$ ) sistem veriminin veya güç faktörü ( $gf = P/S$ )'nün hesabı, sistem veriminin iyileştirilmesi ve sistem elemanlarının boyutlandırılmasında araç olarak kullanılmıştır [7].

Reaktif güç grafiğinde, kalkış sırasında motorun güç faktörü yaklaşık 0,2 olduğundan 19000 kVAr'a yakın bir reaktif güç çekme isteği bulunur. Bu isteği şebekeyi etkilemeden kapasite gruplarıyla karşılanmıştır. Aktif güç, kalkış sırasında nominal aktif gücünün biraz üzerinde bir güç çekmiş ve çok kısa bir zaman içerisinde kararlı hale gelerek nominal güçte çalışmıştır. Teorik olarak yorumlarsak;

Bara gerilimi kapasite gruplarından dolayı %10 aralığı içerisinde artış göstermiştir. Bu yüzden 6,3 olan bara gerilimi %10 artarak 6,93 kV (6,3+0,63) olarak düşünülebilir.

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{3} \cdot 6,93 \cdot 1737 \cong 20759 \text{ kVA}$$

(2)

Güç faktörü yol alma anında 0,195'tir.

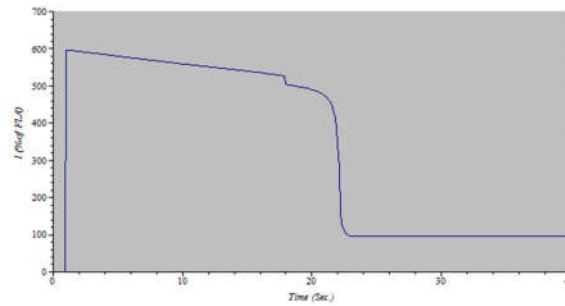
$$P = S \cdot \cos\phi \cong 4048 \text{ kW}$$

(3)

$$Q = S \cdot \sin\phi \cong 19825 \text{ kVAr}$$

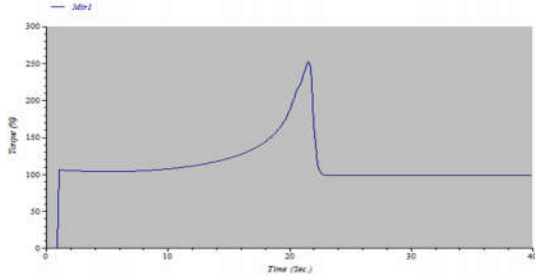
(4)

Teorik hesaplarla çıkan grafikler uyum göstermiştir.



Şekil 11. Dinamik analizde oluşan akım-zaman grafiği

Motorun ilk kalkış anında çektiği yüksek akım, şekil 13'de görüldüğü gibi yüke bağlı olarak değişen süre zarfında azalarak kararlı hale gelmiştir. Yaklaşık 18. sn de görülen kırılmanın nedeni bara geriliminin değerinin ve reaktif güç isteğinin o bölgede azalmış olmasından dolayıdır. Yani akımdaki kırılma bara geriliminin azalmasıyla çekilen akımın da azalmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 12. Dinamik analizde oluşan moment-zaman grafiği

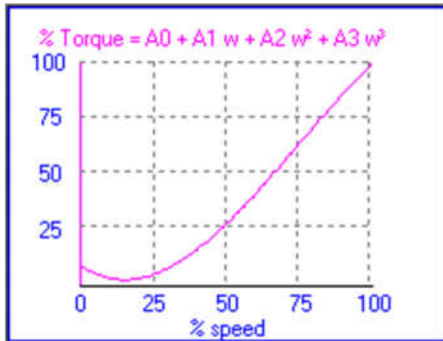
Moment-zaman grafiği (Şekil 12) ile aktif güç-zaman grafiklerinin (Şekil 10) benzer olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi teorik olarak açıklanırsa;

$$M = \frac{m_1 \cdot P}{2\pi f_1} \cdot \frac{R_1'}{s} \cdot (I_2')^2 \quad (5)$$

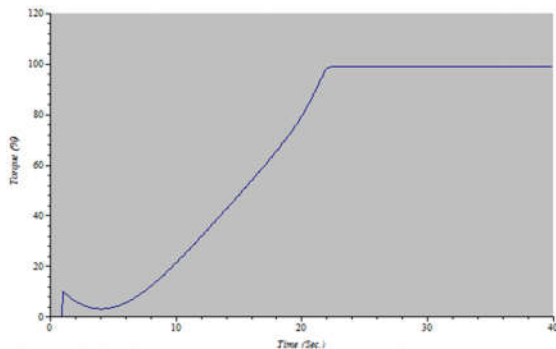
$$P = 3 \cdot I_2'^2 \cdot R \quad (6)$$

$$I_2' = \frac{V_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (7)$$

$I_1 \cong I_2'$  olduğundan moment ile aktif güç arasındaki benzerlik ifade edilmiş olur.



Şekil 13. Motordaki yükün istenilen moment-zaman grafiği



Şekil 14. Motordaki yükün elde edilen moment-zaman grafiği

Motor barasına bağlanan kapasite grupları motor momentini (Şekil 12) bozmamış ve motora bağlı yükün doğal karakteristiğine etkisi olmamıştır.

### 3. Sonuçlar

Elektrik piyasaları üretim, iletim ve dağıtım kademelerinden oluşan bir yapıdadır [8]. Bu kademelerin tümüne güç sistemi adı verilmektedir. Sistemin her aşamasının çok iyi bir şekilde analiz edilmesi, teknik açıdan olduğu kadar, üreticiler, maliyet ve tüketiciler açısından da hayati önem arz etmektedir. Enerjinin kalitesi, güvenilirliği, devamlılığı, tasarım ve işletme esnasında yapılan analizlerin doğruluğuna bağlıdır. Çevresel ve ekonomik faktörlerden dolayı yeni iletim sistemlerinin inşa edilmesindeki kısıtlamalar, mevcut güç sisteminin daha yüklü ve ağır koşullar altında çalışmasına neden olmaktadır [9]. Elektrik enerjisi ihtiyacında gözlenen artışa paralel olarak, güç sistemlerinin yapıları giderek daha karmaşık hale gelmektedir. Ülkemizi ele alacak olursak, tüm üretim, iletim ve dağıtım sistemleri enterektör bir yapı ile birbirleriyle irtibatlıdır. Böylesine karmaşık bir sistemin, tüketicilerine güvenilir ve kaliteli bir enerji sağlayabilmesi, gerek tasarım aşamasında, gerekse işletme periyodunda karşılaşılan problemlerin, hızlı, doğru ve hassas bir şekilde çözülmesi ile mümkün olabilir. Bu analizin klasik hesap yöntemleriyle gerçekleştirilmesi imkânsızdır. Bu da güç sistemlerinin analizinde bilgisayar destekli çözüm metodlarının geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Kalkış anındaki motorun dinamik analizi incelenmiştir. Bu analiz verilerine göre orta gerilim asenkron motorun kararlılık süresince çektiği akım, güç, moment gibi parametreler grafiğe dökülmüştür. Aynı zamanda şebeke için kompanzasyonun önemi de bir kez daha irdelendi.

### 4. Kaynaklar

- [1] TÜRKER, T. Güç Sistem analizlerinin Enerji Verimliliğe Etkileri. 6. Enerji Verimliliği, Kalitesi Sempozyumu. Kocaeli: EMO. (2015).
- [2] <http://etap.com/Documents/Download%20PDF/etapGrid-2016-HQ.pdf> adresinden alındı
- [3] YILDIZ, A. B. Maksimum Güç Transferi için L Tipi Empedans. 4. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu (s. 97). Kocaeli: EMO (2011).
- [4] GELEN, A., & YALÇINÖZ, T.. Tristör Anahtarlama Kapasitör (TSC) ve Tristör Anahtarlama Reaktör-Tabanlı Statik VAR Kompanzator'un PI ile Kontrolü. Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der., 237-244 (2009).
- [5] TEKE, A., & TÜMAY, M. Endüksiyon Motorlara Yol Verme Yöntemi. Elektrik Mühendisliği 437.sayı, 69-77. (2009).
- [6] ResmiGazete:  
<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2006/09/20060912-4.htm> adresinden alındı (2016, Ağustos).
- [7] LINCOLN, P. Polyphase Power Factor, Trans. AIEE. 39, 1477-1520. (1920).
- [8] ÇETİNTAŞ, H., & BİCİL, İ. M. Elektrik Piyasalarında Yeniden Yapılanma ve Türkiye



Elektrik Piyasasında Yapısal Dönüşüm. Optimum  
Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi, Cilt 2, Sayı  
2, 1-15. (2015).

- [9] BAYSAL, M., UZUNOĞLU, M., & KOCATEPE, C.  
Güç Sistem Gerilim Kararlılığında Yük  
Modellemelerinin Önemi. 12. Elektrik Elektronik-  
Bilgisayar Mühendisliği Ulusal Kongresi (s. 321-  
325). EMO. (2007).