

**MATLAB/SİMULİNK'DE ASENKRON MOTORLARIN  
DAYANIKLI SKALER HIZ DENETİMİ****ROBUST SCALAR SPEED CONTROL OF INDUCTION  
MOTORS IN MATLAB/SIMULINK**

The Journal of Global Engineering Studies

Volume:2 Issue:1 (2015)

Özcan Otkun<sup>a\*</sup> Faruk Demir<sup>b</sup><sup>a</sup>Gümüşhane Üniversitesi, MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Gümüşhane, ozcanotkun@gumushane.edu.tr<sup>b</sup>Gümüşhane Üniversitesi, MYO, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Gümüşhane, demirfaruk29@gmail.com**Özet**

Çevremizdeki endüstriyel uygulamalara bakıldığında, düşük maliyetleri, az bakım gereksinimleri, yüksek verimlilikleri gibi üstünlükleri nedeniyle Asenkron Motorların (ASM) tercih edildiğini görmekteyiz. Bu bağlamda kullanımı giderek artan bu motorların hız denetimi de oldukça önem arz etmektedir. Denetim sistemlerinden beklenen, farklı hız ve yük durumlarına, hızlı ve doğru cevap verebilmesidir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde, ASM'lerin denetiminde skaler ve vektörel denetim yöntemlerinin kullanıldığını görmekteyiz. Vektörel denetim yöntemi farklı uygulamalarda beklenen başarıyı gösterirken, skaler denetim yöntemi düşük hızlı uygulamalarda istenen başarıyı gösterememektedir. Bu çalışmada, değişen yük torkuna karşılık düşük ve sabit hızlarda çalışan ASM'nin skaler hız denetim başarımını arttırmak için gerçekleştirilmiştir. Matlab/Simulink programında benzetimi gerçekleştirilen bu sistem için, PI (Oransal, İntegral) denetleyici ile dayanıklı skaler hız denetimi önerilmiştir. Önerilen yöntemde, sabit hız ve değişken yüklere karşılık, ASM'nin dinamik tepkisinin hızlandığı gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Matlab/simulink, ASM, skaler denetim, hız denetim**Abstract**

Looking at the industrial application of our environment, We see that the induction motor is preferred due to advantages such as low costs, low maintenance requirements, high efficiency. In this context, the use of increasingly the speed control of the motors rather it is important. Expected from the control system, different speed and load conditions, ability to fast and accurate answers. The study analyzed until now, We see that the control of IM used scalar and vector control methods. Vector

---

\*Corresponding author

control method shows expected performance in different applications, scalar control method can not show the desired performance in low speed applications. In this study, variable load conditions and IM working in low and fixed speeds the scalar speed control performance was performed to improve. Matlab / Simulink simulation performed for this system, PI (Proportional, Integral) controller with robust scalar speeds control is proposed. In the proposed method, fixed speed and in response to variable loads, faster dynamic response of IM was observed.

**Keywords:** Matlab/simulink, IM, scalar control, speed control

## 1 Giriş

Asenkron Motorlar (ASM) Tesla tarafından 1888 yılında geliştirilmiştir. Basit yapılı, yüksek verimli, düşük maliyetli ve her türlü ortam koşullarında çalışabilmeleri gibi üstünlükleri nedeniyle bu motorlar endüstriyel uygulamalarda tercih edilmektedir [2, 6, 19].

ASM'lerin tasarımı, imalatı ve kullanılması oldukça kolaydır. Ancak bu motorların karmaşık yapıları ve modellenemeyen parametreleri sebebiyle hız ve tork denetimleri oldukça zordur. Bu nedenle günümüze kadar pek çok denetim yöntemi geliştirilmiş ve halen farklı denetim yöntemleri üzerine çalışmaların yapıldığı görülmektedir [13] [12], [10].

ASM'lerin hız denetimlerinde, genellikle Skaler Denetim Yöntemi (SDY) ve Vektörel Denetim Yöntemleri (VDY) kullanılır ve bu yöntemler geleneksel denetim yöntemleri olarak adlandırılır [18]. SDY düşük performanslı birçok uygulama için yeterli olurken, yüksek performanslı (farklı hız ve yük durumları) endüstriyel uygulamalarda VDY'ler kullanılmaktadır [5, 15]. Burada skaler denetim maliyetinin düşük olması ve uygulamasının kolay olması bakımından tercih edilmektedir. Ancak bu yöntem düşük hızlarda istenilen başarıyı gösterememektedir [4].

Skaler denetim yöntemi, gerilim/frekans ( $V/f$ ) oranının sabit tutulmasıyla gerçekleştirilmektedir. Burada amaç farklı hızlarda çalıştırılmak istenen motorun torkunu sabit tutmaktır. Ancak ASM'ler düşük hızlarda çalıştırıldığında iç gerilim düşümünün azalması nedeniyle tork üretimi düşmekte ve harici yük koşulları gibi bozucu etkiler nedeniyle motorun dinamik performansı azalmaktadır [1, 3, 7, 8, 9, 11, 14, 17, 16].

Bu çalışma da, skaler denetim yönteminin başarılarını arttırmak ve ASM'ler için dayanıklı bir hız denetim yöntemi gerçekleştirmek amacıyla yapılmıştır. Bu yöntemde, skaler denetim ve PI denetleyici birlikte kullanılmıştır. Önerilen yöntem, Matlab/Simulink programında modellenmiş ve benzetimden elde edilen sonuçlar grafik halinde verilmiştir.

## 2 Materyal ve Metot

Bu çalışmada, öncelikle Matlab/Simulink'de benzetimi gerçekleştirilecek ASM, skaler yöntem ve PI denetim için gerekli matematiksel ifadeler verilmiştir. Skaler denetimin yöntemi ve PI+skaler denetim yönteminin ayrı ayrı incelenmiştir.

## 2.1 Motor Benzetiminde Kullanılan Matematiksel İfadeler

Benzetim kolaylığı bakımından ASM'nin iki eksen takımlı matematiksel ifadeleri kullanılmıştır. Bu ifadeler [1, 12];

1.  $dq$  ekseninde statora ait gerilim denklemleri:

$$\begin{aligned} v_{sd} &= i_{sd}r_s + \frac{d}{dt}\psi_{sd} - w_e\psi_{sq} \\ v_{sq} &= i_{sq}r_s + \frac{d}{dt}\psi_{sq} + w_e\psi_{sd} \end{aligned} \quad (2.1)$$

2.  $dq$  ekseninde rotora ait gerilim denklemleri:

$$\begin{aligned} v_{rd} &= i_{rd}r_r + \frac{d}{dt}\psi_{rd} - (w_e - w_r)\psi_{rq} \\ v_{rq} &= i_{rq}r_r + \frac{d}{dt}\psi_{rq} + (w_e - w_r)\psi_{rd} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Burada sincap kafesli ASM için  $v_{rd} = v_{rq} = 0$ 'dır [18].

3. Bu denklemlerde verilen stator ve rotor akı denklemleri (Matrisel ifade):

$$\begin{bmatrix} \psi_{sq} \\ \psi_{sd} \\ \psi_{rq} \\ \psi_{rd} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & 0 & L_m & 0 \\ 0 & L_s & 0 & L_m \\ L_m & 0 & L_r & 0 \\ 0 & L_m & 0 & L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sq} \\ i_{sd} \\ i_{rq} \\ i_{rd} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

4. Hava aralığındaki akı denklemleri:

$$\begin{aligned} \psi_{mq} &= L_m(i_{sq} - i_{rq}) \\ \psi_{md} &= L_m(i_{sd} - i_{rd}) \end{aligned} \quad (2.4)$$

5. Motorun ürettiği tork denklemi:

$$T_m = \frac{3P}{2} L_m (i_{rd}i_{sq} - i_{rq}i_{sd}) \quad (2.5)$$

6. Motorun ürettiği elektriksel tork denklemi:

$$T_e = T_L + J \frac{2}{P} \frac{d}{dt} w_r + \frac{2}{P} B w_r \quad (2.6)$$

Burada;  $i_{sd}$ ,  $i_{sq}$   $dq$  akımlarını,  $L_s$  stator indüktansını,  $\psi_{sd}$ ,  $\psi_{sq}$   $dq$  akılarını,  $L_r$  rotor indüktansı,  $r_s$  Stator direncini,  $L_m$  ortak indüktansı,  $w_e$  elektriksel açısal hızı,  $T_L$  yük torkunu,  $J$  eylemsizlik sabitini,  $B$  sürtünme katsayısını,  $w_r$  rotorun açısal hızını,  $P$  kutup sayısını göstermektedir.

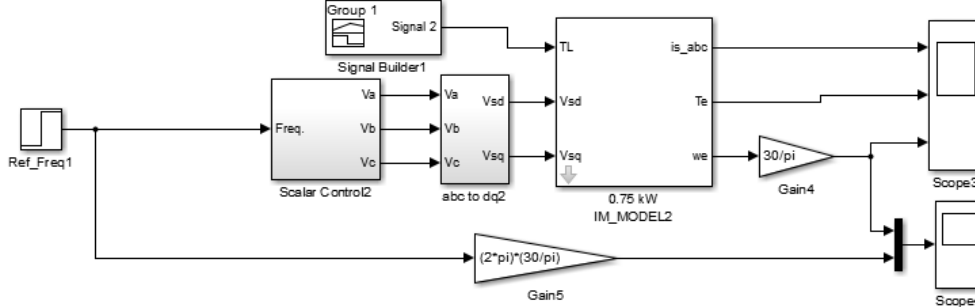
## 2.2 Skaler Denetim Benzetiminde Kullanılan Matematiksel İfadeler

Skaler denetim benzetimi, sisteme girilen referans frekanstan hesaplanarak elde edilen açı ve genlik oranı ile gerçekleştirilmiştir. Aşağıda üç faz için referans alınan gerilim denklemleri verilmiştir [12].

$$\begin{aligned} V_a &= V_m \sin(\theta) \\ V_b &= V_m \sin(\theta - 2\pi/3) \\ V_c &= V_m \sin(\theta + 2\pi/3) \end{aligned} \quad (2.7)$$

### 2.3 ASM'nin Skaler Hız Denetimi

Şekil 2.1'de ASM'nin skaler denetimin açık çevrim blok devre şeması gösterilmiştir. ASM 0.75 kw güçtedir ve eşdeğer devre parametreleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

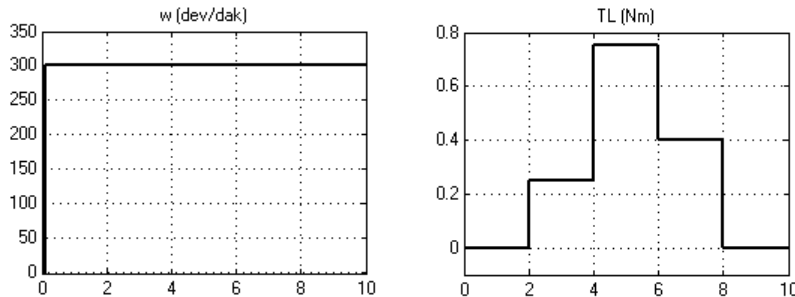


Şekil 2.1: ASM'nin açık çevrim skaler denetimi blok devre şeması

Tablo 2.1: ASM'nin eşdeğer devre parametreleri

Parametreler	Değer ve Birimi
Stator direnci ( $r_s$ )	10.1 $\Omega$
Stator indüktansı ( $L_s$ )	0.833 H
Rotor direnci ( $r_r$ )	9.85 $\Omega$
Rotor indüktansı ( $L_r$ )	0.833 H
Ortak indüktans ( $L_m$ )	0.783 H
Rotor ataleti (Eylemsizlik $J$ )	0.008 $kg\ m^2$
Kutup sayısı	4

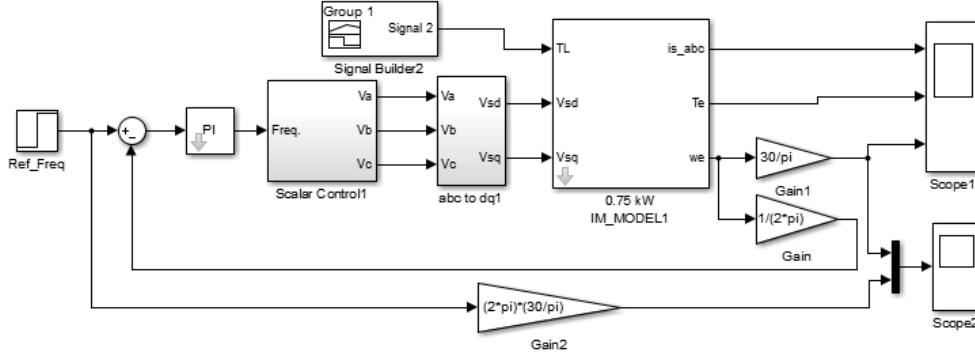
Şekil 2.2'de verilen sabit hız ve değişken yük sinyalleri kullanılarak benzetimi sonuçları alınmıştır. Karşılaştırma kolaylığı bakımından hem skaler yöntemi için hem de önerilen yöntem için aynı referans sinyalleri kullanılmıştır. Hız 300 dev/dk'da sabit tutularak yük farklı zamanlarda değiştirilmektedir. 1. Bölge: 0-2 sn aralığında 0 Nm, 2. Bölge: 2-4 sn aralığında 0.25 Nm, 3. Bölge: 4-6 sn aralığında 0.75 Nm, 4. Bölge: 6-8 sn aralığında 0.4 Nm ve 5. Bölge: 8-10 sn aralığında 0 Nm'dir.



Şekil 2.2: Sabit hız ve değişken yük sinyalleri

## 2.4 Önerilen Dayanıklı Skaler Hız Denetimi

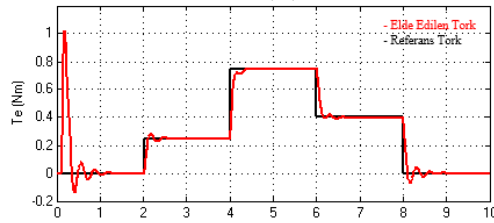
Önerilen yöntemde PI ve skaler denetim birlikte kullanılmıştır. Şekil 2.3'de önerilen yönteme ait benzetimin blok modeli gösterilmiştir.



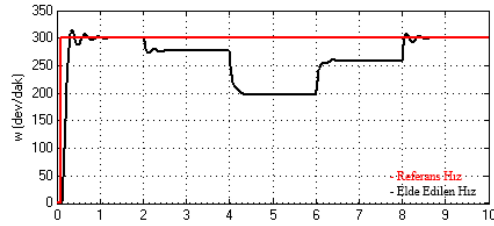
Şekil 2.3: Sabit hız ve değişken yük sinyalleri

## 3 Benzetim Sonuçları

Şekil 3.1'de ASM'nin skaler denetimden elde edilen tork ve hız grafikleri verilmiştir. Şekil 3.1 a'daki grafik motorun yük torku grafiğini göstermekte ve 1., 2., 3., 4. ve 5. bölgelerde motorun referans grafiği küçük hatalarla yakaladığı görülmektedir. Ancak Şekil 3.1 b'deki hız grafiğinde motor denetiminden beklenen sonuçların elde edilmediği görülmektedir. Burada 1. ve 5. bölgelerde yük 0 Nm iken motorun referans hız olan 300 dev/dk'ya ulaştığı görülmektedir. Diğer bölgelerde ise referans yük torku değerine göre motorun beklenen hıza ulaşmadığı ve yük arttıkça da motorun hız kaybettiği görülmektedir. Örneğin 2. bölgede yük 0.25 Nm iken elde edilen hızın yaklaşık 275 dev/dk olduğu, 3. bölgede yük 0.75 Nm iken elde edilen hızın yaklaşık dk'da 200 devire kadar düştüğü görülmektedir.



(a)

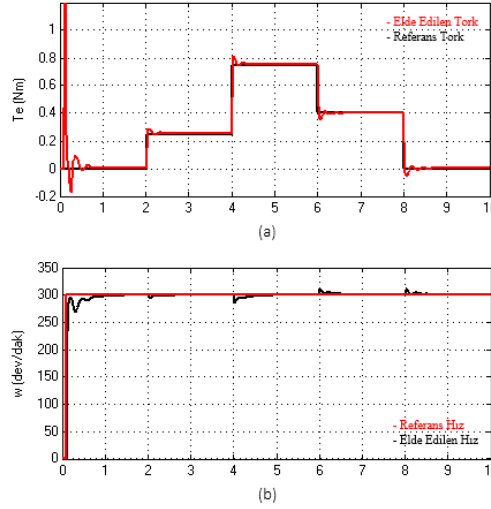


(b)

Şekil 3.1: Skaler denetim sonucunda elde edilen grafikler

### 3.1 Önerilen Dayanıklı Skaler Denetim Sonuçları

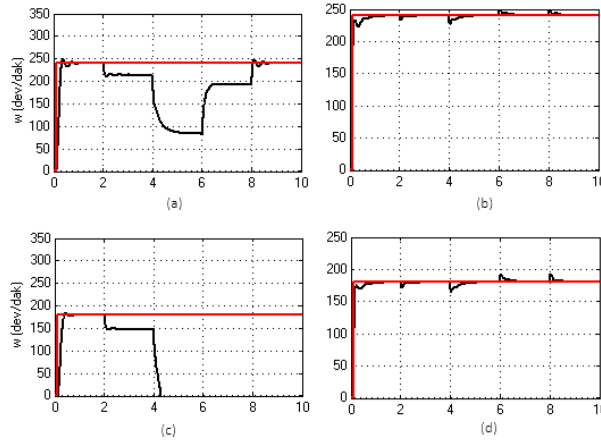
Şekil 3.2'de ASM'nin önerilen dayanıklı skaler denetimden elde edilen tork ve hız grafikleri verilmiştir. Şekil 3.2 a'daki grafik motorun yük torku grafiğini göstermekte ve 1., 2., 3., 4. ve 5. bölgelerde motorun referans grafiği çok küçük hatalarla yakaladığı görülmektedir. Şekil 3.2 b'deki hız grafiğinde motor, beklenen hızlara yük torkuna rağmen ulaştığı görülmektedir.

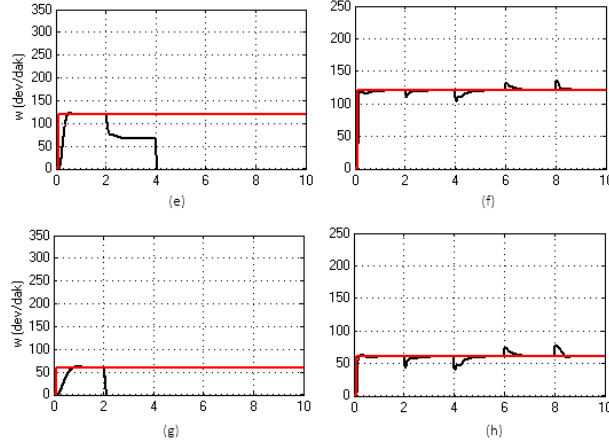


Şekil 3.2: Önerilen dayanıklı skaler denetim sonucunda elde edilen grafikler

### 3.2 Daha Düşük Hızlarda Elde Edilen Sonuçlar

Şekil 3.3'da düşük hızlarda her iki yöntemden elde edilen hız grafikleri verilmiştir. Burada sol sütun skaler yöntem, sağ sütun PI+skaler yöntemden elde edilen sonuçları göstermektedir. Şekil 3.3 c, e ve g'de görüldüğü gibi motor hızı 200 dev/dk'nın altına düştüğünde skaler hız denetiminin başarımını kaybettiği anlaşılmaktadır. Önerilen yöntemde hız 200 dev/dk'nın altına düşse bile, motorun dinamik performansını koruduğu görülmektedir.





Şekil 3.3: Daha düşük hızlarda elde edilen sonuç grafikleri

## 4 Değerlendirme

Bu çalışma, değişken yük torkuna karşılık düşük ve sabit hızlarda çalışan ASM'nin skaler hız denetim başarımını arttırmak için gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntem, düşük hızlarda ve farklı yük koşullarında test edilmiştir. SDY sonuçları yüksüz testlerde başarılı olurken, yüklü testlerde motorda hız kaybının olduğu görülmektedir. SDY ve PI denetim birlikte kullanıldığında, sabit hız ve değişken yüklere karşılık, ASM'nin dinamik tepkisinin hızlandığı, skaler denetim performansının arttığı elde edilen sonuçlardan anlaşılmaktadır. Bu çalışmaya ek olarak değişken hız ve sabit yük koşulları için de ayrıca bir çalışma yapılabilir.

## Kaynaklar

- [1] C. Adiuku A.Beig, , S. Kanukollu, *Sensorless closed loop V/f control of medium-voltage high-power induction motor with synchronized space vector PWM*, GCC Conference and Exhibition (GCCCE), 2015 IEEE 8th, 1-6.
- [2] A. Ahmed, *Control of PWM AC motor-drive systems under faulty conditions*, Wisconsin: Doktora tezi, Marquette University.
- [3] B. K. Bose, *Adjustable speed ac drive-A technology status review*, 70(2) (1982), 116–135.
- [4] B. K. Bose, *Modern power electronics and AC drives*, Upper Saddle River, USA: Prentice Hall.
- [5] G. O. Garcia, R. M. Stephan and E. H. Watanabe, *Comparing the indirect field-oriented control with a scalar method*, IEEE Trans. Ind. Appl., 41(2) (1994), 201-207.
- [6] S. Haq, *A study on insulation problems in drive fed medium voltage induction-motors*, Canada: Doktora tezi, University of Waterloo.

- [7] G. S. Ilango and N. Rajasekar, *An improved energy saving v/f control technique for solar powered single-phase induction motor*, Energy Conversion and Management, 50(12) (2009), 2913–2918.
- [8] L. Jisha and A. Thomas, *A comparative study on scalar and vector control of Induction motor drives*, Circuits, Controls and Communications (CCUBE), 2013 International conference on (s. 1-5). Bengaluru, India: IEEE Conference Publications.
- [9] Y. Liu and B. Piepenbreier, *Comparison of Stabilization Methods for V/f controlled Induction Motor Drive System*, PCIM Europe 2014; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management; Proceedings of, 1-8.
- [10] Ö. Otkun, *Çift yanlı doğrusal hareketli sürekli mıknatıslı senkron motorun tasarımı, üretimi ve yapay sinir ağı tabanlı skaler hız denetimi*, Trabzon: Dotorazi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- [11] P. Sala-Perez and S. Galceran-Arellano, *A sensorless stable V/f control method for a five-phase PMSM*, Power Electronics and Applications (EPE), 15<sup>th</sup> European Conference on.
- [12] M. Sarioğlu M. Gökaşan and S. Boğasyan, *Asenkron Makineler ve Kontrolü*.
- [13] H. Semizoğlu, *Asenkron motorların frekans çeviricileri ile kontrolü*, Kocaeli: Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü.
- [14] P. C. Sen, *Electric Motor Drives and Control Past Present, and Future*, IEEE Transactions on Industrial Electronics , 37(6) (1990), 562–575.
- [15] D. Telford, M. Dunnigan, B. Williams, *A Comparison of vector control and direct torque control of an induction machine*, Power Electronics Spec. Conf., (s. 421-426).
- [16] S. V. Ustun and M. Demirtas, *Modeling and control of V/f controlled induction motor using genetic-ANFIS algorithm*, Energy Conversion and Management, 50(3) (2009), 786–791.
- [17] F. Verluise, V. Laude, Z. Cheng, C. Spielmann, and P. Tournois, *Amplitude and phase control of ultrashort pulses by use of an acousto-optic programmable dispersive filter: pulse compression and shaping*, Optics letters, 25(8) (2000), 575–577.
- [18] K. Şahin, *Asenkron Motorların Dinamik Yapay Sinir Ağları İle Hız Kontrolü*, Elazığ: Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [19] T. Wildi, *Electrical machines, drives and power systems* - 5th ed. New Jersey: Prentice Hall, 0-13-093083-0.