

DENGESİZ GERİLİMLER ALTINDA ASENKRON MOTORLAR

KISIM 2: DERATASYON

¹Merve ŞEN

¹merve.sen@amasya.edu.tr

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Amasya Üniversitesi

²M. Erhan BALCI

²mbalci@balikesir.edu.tr

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Balıkesir Üniversitesi

ÖZET

[1]'de sunulan çalışma dengesiz gerilimlerin asenkron motor performansına olumsuz etkilerinin olduğunu simülasyon temelli parametrik analizlerle göstermiştir. Bu olumsuz etkilerden en önemlisi dengesiz gerilimler altında anma değerinde yüklenen bir asenkron motorun sargı kayıplarının anma değerinin üzerine çıkması dolayısıyla sargılarının aşırı ısınmasıdır. Bu durumu önlemek amacıyla literatürde Azami Akım (AA), Ortalama Akım (OA), Toplam Kayıp (TK) ve NEMA yaklaşımlarına göre asenkron motorun dengesizlik altında yüklenme miktarı azaltılmış bir başka ifadeyle deratasyon yapılmıştır. Bu çalışmada ilk olarak deratasyonun asenkron motor performansına (verim, güç faktörü, üretilen ani momentin salınımı gibi parametrelere) etkisi analiz edilmiştir. Daha sonra AA metodu dikkate alınarak; çeşitli gerilim seviyeleri ile çeşitli dengesizlik miktarları için deratasyon eğrilerinin değişimi incelenmiştir. Son olarak; deratasyon bakımından en kötü dengesiz gerilimler için AA, OA, TK ve NEMA yaklaşımlarına göre elde edilen deratasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gerilim dengesizliği, asenkron motor, deratasyon, verim, güç faktörü, moment.

1. Giriş

Çalışma [1]'den görüldüğü gibi dengesiz gerilimlerin asenkron motorlar üzerindeki en önemli olumsuz etkisi; dengesiz gerilimler altında anma yükünde çalışan bir asenkron motorun sargı kayıplarının anma değerinin üzerine çıkması dolayısıyla sargılarının aşırı ısınmasıdır.

Literatürde sunulan çalışmalarda [2-12] bu olumsuz durumu önlemek için dengesiz gerilimler altında çalışan asenkron motorların yüklenme miktarı azaltılmıştır. Aynı çalışmalarda bu işlem deratasyon olarak isimlendirilmiş ve yapılan deratasyon miktarı asenkron motorun yüklendiği gücün, anma gücüne oranı olarak tanımlanan deratasyon faktörü (DF) ile ölçülmüştür. Bununla birlikte besleme geriliminin çeşitli dengesizlik seviyelerinde DF'yi belirlerken aşağıda sıralanmış olan metotlar dikkate alınmıştır [5]:

- Motorun dengesiz gerilimler altında çektiği en büyük stator faz akımının anma akım değerine indirgenmesi (AA metodu),
- Motorun dengesiz gerilimler altında çektiği stator faz akımlarının ortalamasının anma akım değerine indirgenmesi (OA metodu),

- Motorun dengesiz gerilimler altında ölçülen toplam kaybının anma kayıp değerine indirgenmesi (TK metodu),
- NEMA standart MG1 [13] deratasyon eğrisi (Ek-1'de verilmiştir).

Yukarıda sıralanan deratasyon yaklaşımlarında gerilim dengesizliğinin seviyesini ölçmek amacıyla çeşitli indisler kullanılmıştır. Bu indislerden yaygın olarak bilinenleri; NEMA standart MG1'de tanımlı hat gerilimi dengesizlik oranı (LVUR), IEEE standart 112[14]'de tanımlı faz gerilimi dengesizlik oranı (PVUR) ve IEC standart 60034-26 [15]'da tanımlı gerilim dengesizlik faktörü (VUF) ile [8]'de önerilmiş olan kompleks gerilim dengesizlik faktörü (CVUF) indisleridir. LVUR, PVUR, VUF ve CVUF indislerinin en büyük dezavantajı; teklilik özelliklerinin olmayışıdır [9, 10, 16]. Bir başka ifadeyle bu indisler asenkron motorlarda farklı değerlerde kayıplara sebep olan dengesiz gerilimler için aynı değerde olabilir. Bu durum bahsedilen indisler cinsinden ölçülen gerilim dengesizliği miktarına bağlı DF eğrilerinin güvenilir olmadığını işaret etmektedir. Bu eksikliği gidermek amacıyla; [9]'da ortalama gerilim değeri ile CVUF indisi, [10]'de ise ortalama gerilim değeri ve pozitif sıra gerilimi cinsinden hesap edilen bir katsayı ile CVUF indisi deratasyon eğrilerinin belirlenmesinde dikkate alınmıştır.

Diğer taraftan, incelenen çalışmalardan [2-12] deratasyon analizlerinin genellikle AA metodu dikkate alınarak yapıldığı görülmüş ve ulaşılabilen literatürde metotlar arası karşılaştırmalı analizler üzerine sadece bir çalışmaya [5] rastlanmıştır. Ayrıca deratasyon işleminin verim, güç faktörü ve üretilen ani momentin salınımı gibi asenkron motor performans parametrelerine etkisinin analiz edilmesi yine literatürde eksik kalmış bir çalışma konusudur.

Bu çalışmada ilk olarak deratasyon işleminin asenkron motorun verim, güç faktörü ve üretilen ani momentin salınım miktarına etkisi analiz edilmiştir. Daha sonra AA metodu dikkate alınarak; çeşitli gerilim seviyeleri ile çeşitli dengesizlik miktarları için hesaplanan DF değerleri incelenmiştir. Son olarak deratasyon bakımından en kötü dengesiz gerilimler için AA, OA, TK ve NEMA yaklaşımlarına göre elde edilen deratasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Analizlerde gerilim seviyesi ve dengesizlik miktarı; [1]'de ifadeleri verilmiş olan eşdeğer gerilim etkin değeri (V_e) ve CVUF cinsinden ölçülmüştür.

2. Analiz

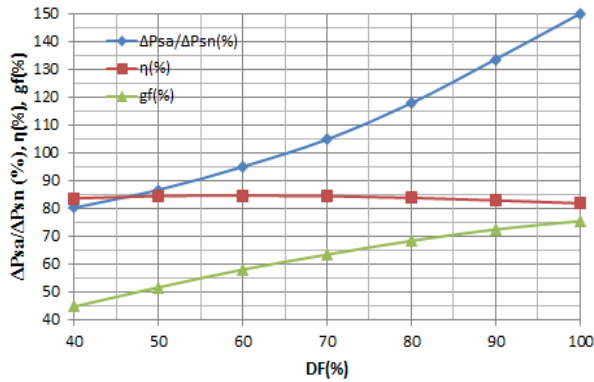
Bu çalışmada yapılan analizler üç parça halinde sunulacaktır. Bunlar sırasıyla;

- Analiz 1: Deratasyonun asenkron motor verimi, güç faktörü ve çıkış momenti salınımı parametrelerine etkisinin incelenmesi,
- Analiz 2: V_e cinsinden ölçülen çeşitli seviyelerde ve CVUF cinsinden ölçülen çeşitli dengesizlik miktarlarında besleme gerilimleri için AA metoduna göre hesaplanan DF değerlerinin incelenmesi,
- Analiz 3: Çeşitli V_e değerlerinde gözlenen deratasyon bakımından en kötü dengesiz gerilimler için AA, OA, TK ve NEMA yaklaşımlarına göre elde edilen deratasyon sonuçlarının karşılaştırılmasıdır.

Analiz sonuçları elde edilirken, [1]'deki asenkron motor dinamik modeli ile yine [1]'de sunulan bu modele ait MATLAB/SIMULINK analiz dosyası ve motor büyüklüklerinin hesabına ilişkin ifadeler dikkate alınmıştır.

2.1. Analiz 1 için Elde Edilen Sonuçlar

Deratasyonun asenkron motorun performansına (verim, güç faktörü ve çıkış momentindeki salınım) etkisini analiz etmek amacıyla; kaynak [1]'deki Tablo 2'nin son satırında yer alan $V_e=220V$ ve $VUF= \%5$ değerlerine sahip dengesiz gerilimler için $DF= \%40$ ile $\%100$ arasında değiştirilmiştir. DF 'nin bu değişim aralığı için; en büyük akımın çekildiği fazın (a fazı) sargı kaybının, verimin (η (%)) ve güç faktörünün (gf (%)) değişimi Şekil 1'de sunulmuştur. Bu şekilde a fazı sargı kaybı anma sargı kaybının yüzdesi cinsinden ($\Delta P_{sa}/\Delta P_{sn}$ (%)) çizdirilmiştir.

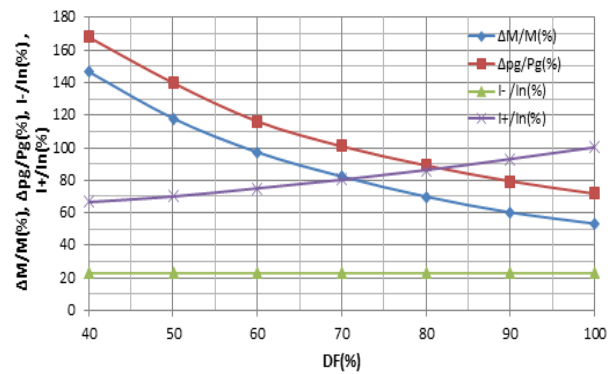


Şekil 1: $DF= \%40- \%100$ aralığı için $\Delta P_{sa}/\Delta P_{sn}$ (%), η (%), gf (%)'nin değişimi.

Şekil 1'den DF (%)'nin azalmasıyla (deratasyon miktarının artışıyla) $\Delta P_{sa}/\Delta P_{sn}$ (%)'nin azaldığı görülmektedir. Diğer taraftan η (%)'nin değişim eğrisi DF 'nin $\%60$ civarında olduğu durumda en büyük değerine ulaşan bir parabol biçimindedir. Bu değişim dengeli şartlardaki asenkron motorun yüklenme miktarı- verim eğrisiyle aynı karakteristiğe sahiptir.

Ayrıca DF (%)'nin azalmasıyla gf (%) azalan bir değişim göstermiştir.

Üretilen ani momentin salınım miktarının ($\Delta M = M(t)_{maks} - M(t)_{min}$), üretilen ortalama momentin (M) yüzdesi cinsinden değeri olan; $\Delta M/M$ (%) 'nin DF 'ye bağlı değişim eğrisi ise Şekil 2'de sunulmuştur. Bu eğriden DF 'nin azalmasıyla $\Delta M/M$ (%) 'nin arttığı görülmektedir. Aynı DF (%) aralığı için motor terminalinde ölçülen ani gücün salınım miktarının ($\Delta p_g = \Delta p_g(t)_{maks} - \Delta p_g(t)_{min}$), motor terminalinde ölçülen ortalama gücün (P_g) yüzdesi cinsinden değeri olan $\Delta P_g/P_g$ (%) 'ye ait değişim eğrisi ile stator akımlarının negatif ve pozitif sıra bileşenlerinin anma akımının yüzdesi cinsinden değerlerine (I_-/I_n (%) ve I_+/I_n (%)) ait değişim eğrileri aynı şekilde sunulmuştur. Bu eğrilerden DF 'nin azalmasıyla yani motor daha az yüklendikçe; I_+/I_n (%) 'nin azaldığı buna karşılık I_-/I_n (%) 'nin yaklaşık olarak sabit kaldığı görülmektedir. Bu olgu ekler kısmında verilmiş olan asenkron motora ait pozitif/ negatif sıra eşdeğer devreleri [8] göz önüne alınarak şöyle izah edilebilir: Motor daha az yüklendikçe kayma (s) küçülür ve neticesinde motorun pozitif eşdeğer devresindeki R'_r/s direnci dikkate değer miktar büyür (akımın pozitif sıra bileşeni küçülür) fakat $s \ll 2$ olmasından dolayı negatif sıra eşdeğer devredeki $R'_r/(2-s)$ direnci (dolayısıyla akımın negatif sıra bileşeni) yaklaşık olarak sabit kalır. Motorun çektiği akımın negatif ve pozitif sıra bileşenlerine ait bu değişim karakteristikleri ise $\Delta M/M$ (%) ve $\Delta P_g/P_g$ (%) 'nin artışına sebep olmuştur.



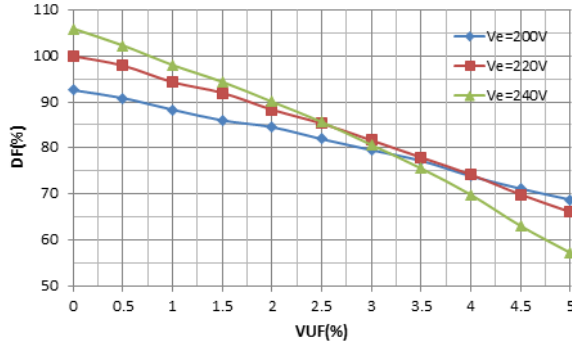
Şekil 2: $DF= \%40- \%100$ aralığı için $\Delta M/M$ (%), $\Delta P_g/P_g$ (%), I_-/I_n (%) ve I_+/I_n (%) 'nin değişimi.

2.2. Analiz 2 için Elde Edilen Sonuçlar

Burada gerilim seviyesi ile dengesizliğin birlikte deratasyon faktörüne etkisinin incelenmesi planlanmıştır. Bu inceleme sırasında ilgili gerilim seviyesi ve dengesizlik durumu için DF değeri belirlenirken AA metodu dikkate alınmıştır. AA

metodunun dikkate alınmasının sebebi daha önce de belirtildiği gibi bu metodun literatürde en yaygın kullanılan deratasyon metodu olmasıdır.

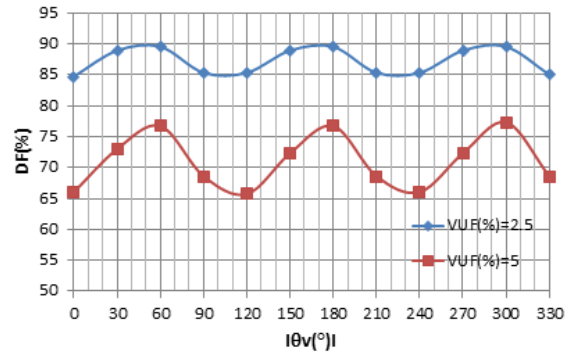
AA metodu dikkate alınarak üç farklı gerilim seviyesi ($V_e = 200V, 220V, 240V$) ile çeşitli VUF değerlerine (%0-%5) sahip test gerilimleri için Şekil 3’de verilen VUF- DF eğrileri elde edilmiştir. Bu eğrilerin çıkarılmasında dikkate alınan test gerilimleri; [1]’de sunulan tablolardaki (Tablo 1-3) dengesiz gerilimlerdir.



Şekil 3: VUF- DF eğrileri.

Şekil 3’den dengeli gerilim altında (VUF=%0) asenkron motorun sabit ortalama moment çalışma durumunda; $V_e = 240V$ gerilim seviyesi için anma gücünden daha fazla yüklenebildiği (DF=% 106), $V_e = 220V$ gerilim seviyesi için anma gücünde yüklenebildiği (DF=%100) ve $V_e = 200V$ gerilim seviyesi için anma gücünden daha az yüklenebildiği (DF=%92.6) görülmektedir ($DF_{200} < DF_{220} < DF_{240}$). Aynı şekil bütün gerilim seviyeleri için VUF değerinin artışıyla DF’nin azaldığını göstermektedir. Bununla birlikte VUF-DF eğrilerinin eğimlerinin gerilim seviyesinin artışıyla daha büyüdüğü görülmektedir. Böylece VUF=% 3’den sonraki gerilim seviyeleri için DF’ler arasındaki sıralama $DF_{240} < DF_{220} < DF_{200}$ biçiminde değişmiştir. Ayrıca test edilen en yüksek gerilim dengesizlik durumunda (VUF=% 5) DF değerlerinin büyükten küçüğe sırasıyla $V_e = 200V$ için % 68.7, $V_e = 220V$ için % 66.1 ve $V_e = 240V$ için % 57.2 olduğu görülmektedir.

CVUF indisinin açısının (θ_v) deratasyon faktörüne etkisinin incelenmesi amacıyla; [1]’de sunulan tablolardaki (Tablo 4-5) dengesiz test gerilimleri altında asenkron motorun DF değerleri hesaplanmıştır. Böylece $V_e=220V$ gerilim seviyesinde VUF= % 2.5 ve % 5 değerleri için elde edilen $|\theta_v|$ - DF eğrileri Şekil 4’de sunulmuştur. Bu şekil VUF= % 2.5 için $|\theta_v|$ ’nin değişimiyle DF(%)’nin % 85 ile % 90 arasında salındığını göstermektedir. Bununla birlikte DF eğrisi VUF= % 5 için % 65 ile % 78 arasında salınmaktadır. Her iki VUF seviyesi için DF’nin değişim eğrileri; $|\theta_v| = 60^\circ, 100^\circ, 180^\circ$ ’de maksimum değerine ve $|\theta_v| = 0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$ ’de minimum değerine ulaşmaktadır.

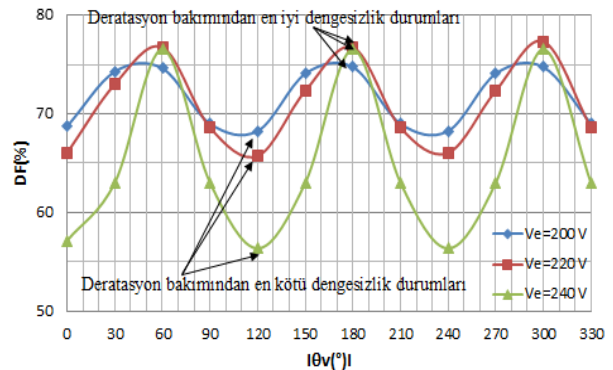


Şekil 4: $|\theta_v|$ - DF eğrileri.

2.3. Analiz 3 için Elde Edilen Sonuçlar

Bu kısımda öncelikle AA metodu referans alınarak üç farklı gerilim seviyesinde ($V_e = 200, 220, 240 V$) deratasyon bakımından en kötü dengesizlik şartları yani DF’nin en küçük olduğu dengesiz gerilimler tespit edilmiştir. Daha sonra deratasyon bakımından en kötü dengesiz gerilimler için AA, OA, TK ve NEMA metotlarına göre elde edilen deratasyon sonuçları karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Deratasyon bakımından en kötü dengesizlik şartları tespit edilirken; $|CVUF| = VUF$ değeri % 5 seçilmiştir. Bununla birlikte gerilim seviyesi (V_e) ve CVUF’un açısının (θ_v) deratasyona etkisinin görülmesi VUF= % 5 için deratasyon bakımından en kötü dengesiz gerilimlerin belirlenmesi için gereklidir. Analiz 2’de AA metodu dikkate alınarak, $V_e=220 V$ seviyesinde VUF= % 5 için $|\theta_v|$ ’nin $0^\circ-330^\circ$ aralığında deratasyon sonuçları elde edilmişti (Şekil 4). Buna sonuçlara ilaveten ekler kısmında verilen Tablo 1 ve 2’deki gerilim durumları için testler yapılarak; $V_e=200 V$ ve $V_e = 240 V$ ’da, VUF= % 5 ve $|\theta_v| = 0^\circ - 330^\circ$ aralığı için DF değerleri hesap edilmiştir. Böylece elde edilen bütün sonuçlar mukayese için hep birlikte Şekil 5’te sunulmuştur. Bu noktada Şekil 5’te sunulan DF değerlerinin AA metodu dikkate alınarak belirlendiğinin altı çizilmelidir.

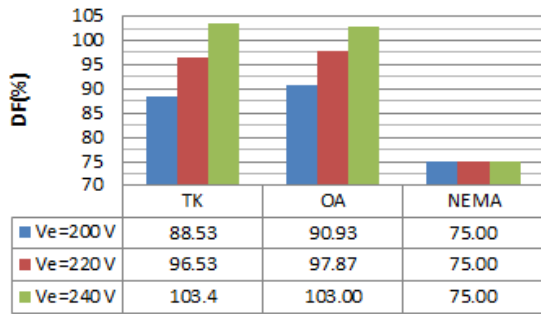


Şekil 5: VUF= % 5 dengesizlik değeri ve $V_e=200, 220, 240V$ için elde edilen $|\theta_v|$ - DF eğrileri.

Şekil 5’ten VUF=% 5 değerinde üç farklı gerilim seviyesi ($V_e=200, 220, 240 V$) için DF’nin en yüksek

olduğu (deratasyon bakımından en iyi olan) durumların $|\theta_v|$ 'nin 60° - 180° - 300° değerlerinde gerçekleştiği, DF'nin en düşük olduğu (deratasyon bakımından en kötü olan) durumların ise $|\theta_v|$ 'nin 0° - 120° - 240° değerlerinde gerçekleştiği görülmektedir. Bununla birlikte üç farklı gerilim seviyesi için deratasyon bakımından en iyi olan durumlarda hesaplanan deratasyon faktörleri $DF_{200V}=\% 74.73$, $DF_{220V}=\%76.7$ ve $DF_{240V}=\% 76.53$ olup deratasyon bakımından en kötü olan durumlarda hesaplanan deratasyon faktörleri ise $DF_{200V}=\% 68.73$, $DF_{220V}=\%65.7$ ve $DF_{240V}=\% 57.2$ 'dir.

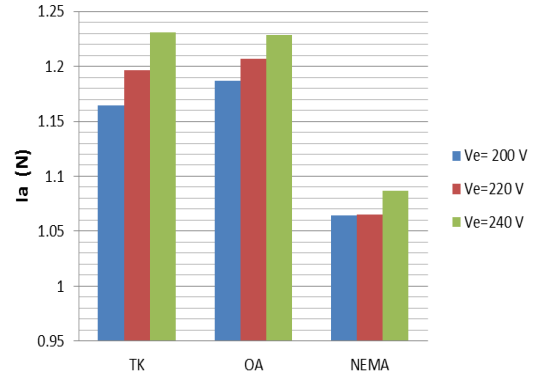
Deratasyon bakımından en kötü dengesiz gerilim şartlarında TK, OA ve NEMA metotlarına göre hesaplanan DF(%) değerleri Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 6: Deratasyon bakımından en kötü dengesiz gerilim şartlarında TK, OA ve NEMA metotlarına göre hesaplanan DF(%) değerleri.

Bu şekilden deratasyon bakımından en kötü dengesiz gerilim şartları için TK metoduna göre $DF_{200V}=\% 88.53$, $DF_{220V}=\% 96.53$ ve $DF_{240V}=\% 103.4$, OA metoduna göre $DF_{200V}=\% 90.93$, $DF_{220V}=\% 97.87$ ve $DF_{240V}=\% 103$, NEMA eğrisine göre $DF_{200V}=\% 75$, $DF_{220V}=\% 75$ ve $DF_{240V}=\% 75$ değerlerinin hesap edildiği görülmektedir. Buraya kadar sunulan sonuçlar, deratasyon bakımından en kötü dengesiz gerilim şartları için TK ve OA metotlarına göre belirlenen DF değerleri ile AA metoduna göre belirlenen DF değerleri arasında çok büyük farklar olduğunu göstermektedir.

Deratasyon bakımından en kötü dengesiz gerilim şartlarında TK, OA ve NEMA metotlarına göre yapılan deratasyon işlemi sonrasında çekilen en büyük faz akımı değerleri normalize edilerek Şekil 7'de sunulmuştur. Normalizasyonda motorun anma akım değeri dikkate alınmıştır. Şekil 7'den analizde dikkate alınan en kötü dengesiz gerilim şartları için TK, OA ve NEMA metotlarına göre yapılan deratasyonlardan sonra ölçülen en büyük faz akımı değerlerinin anma akım değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Bu durum ilgili faz sargılarında aşırı ısınma meydana getirecek dolayısıyla motorun beklenen ömründe kısılmalara sebep olacaktır.



Şekil 7: Deratasyon bakımından en kötü dengesiz gerilim şartlarında TK, OA ve NEMA metotlarına göre yapılan deratasyon sonrasında çekilen en büyük faz akımı değerleri.

3. Sonuç

Bu çalışmada asenkron motorların dengesiz gerilimler altında deratasyonu üzerine çeşitli parametrik analizler yapılmıştır.

Bu analizlerde ilk olarak deratasyonun asenkron motor performansına etkileri incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Verimin DF'ye bağlı değişimi parabolik bir eğridir,
- DF ile güç faktörü arasında doğru orantılı bir ilişki ve DF ile üretilen ani momentin salınımı arasında ters orantılı bir ilişki vardır.

İkinci olarak; eşdeğer gerilim etkin değeri (V_e) cinsinden ölçülen çeşitli seviyelerde ve kompleks gerilim dengesizlik faktörü (CVUF) cinsinden ölçülen çeşitli dengesizlik miktarlarında besleme gerilimleri için AA metoduna göre hesaplanan DF değerleri analiz edilmiştir. Böylece şu sonuçlar elde edilmiştir:

- Aynı gerilim seviyesi (V_e) ve aynı CVUF açısı (θ_v) için VUF indisi (CVUF indisinin mutlak değeri) ile deratasyon faktörü (DF) arasında ters orantılı bir ilişki vardır,
- Aynı V_e ve aynı VUF için θ_v 'nin değişimine bağlı olarak DF iki değer arasında salınmıştır. Bundan dolayı, aynı VUF ve V_e değerleri için DF'nin bir en büyük bir de en küçük değeri vardır,

Yukarıda bahsedilen sonuçlara ek olarak; literatürde yer alan deratasyon metotlarının karşılaştırmalı analizinden,

- AA metodunun deratasyonda diğer metotlara göre daha güvenilir olduğu,
- TK ve OA metotlarına göre yapılan deratasyonlarla AA metoduna göre yapılan deratasyon arasında çok büyük farklar olduğu,
- NEMA metodunun hassas bir deratasyon için yeterli olmadığı,

görülmüştür.

5. Kaynakça

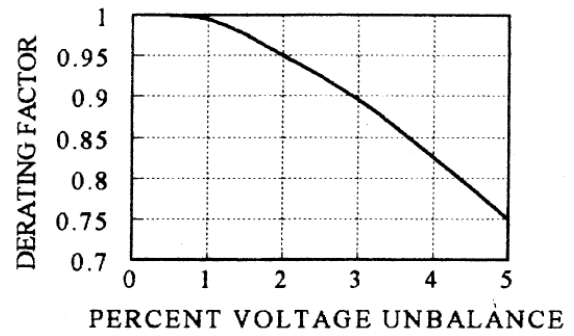
- [1] M. Şen, M. E. Balcı, “Dengesiz gerilimler altında asenkron motorlar. Kısım 1: performans analizi”, EVK 2013, Kocaeli, Türkiye, 2013.
- [2] M.M.Berndt, N. L. Schmitz, “Derating of polyphase induction motors operated with unbalanced line voltages,” Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, Power Apparatus and Systems Part III, vol.81, no.3, pp.680-683, April 1962.
- [3] W. H. Kersting, W. H. Phillips, “Phase frame analysis of the effects of voltage unbalance on induction machines,” IEEE Trans. on Industr. Appl., vol.33, no.2, pp.415-420, Mar/Apr 1997.
- [4] C. A. Reineri, J. C. Gómez, E. B. Balaguer and M.M.Morcos Prof., “Experimental study of induction motor performance with unbalanced supply,” Electric Power Components and Systems, Volume 34, No. 7, pp. 817-829, October 2005.
- [5] A. Jalilean and R. Roshanfeker, “Analysis of three-phase induction motor performance under different voltage unbalance conditions using simulation and experimental results,” Electric Power Components and Systems, Volume 37, pp. 300-319, 2009.
- [6] Ching-Yin Lee, “Effects of unbalanced voltage on the operation performance of a three phase induction motor,” IEEE Trans. Energy Convers., vol. 14, no. 2, pp. 202–208, Jun. 1999.
- [7] P. Donolo, G. Bossio, C. De Angelo, “Analysis of Voltage Unbalance Effects on Induction Motors with Open and Closed slots”, Energy Conversion and Management, Vol. 52, No. 5, p.p. 2024-2030, May 2011.
- [8] Y. J. Wang, “Analysis of effects of three-phase voltage unbalance on induction motors with emphasis on the angle of the complex voltage unbalance factor,” IEEE Trans. Energy Convers., vol. 16, no. 3, pp. 270–275, Sep. 2001.
- [9] J. Faiz, H. Ebrahimpour, “Precise derating of three phase induction motors with unbalanced voltages”, Industry Applications Conference, vol. 1, no. 1, p.p. 485-491, Oct. 2005.
- [10] M. Anwari, A. Hiendro, “New Unbalance Factor for Estimating Performance of a Three-Phase Induction Motor With Under- and Overvoltage Unbalance”, IEEE Trans. Energy Conversion, vol. 25, no. 3, pp. 619-625, Sept. 2010.
- [11] J. M. Apsley, “Derating of Multiphase Induction Machines Due to Supply Imbalance,” Industry Applications, IEEE Transactions on , vol.46, no.2, pp.798-805, March-april 2010.
- [12] P. Gnacinski, “Derating of an induction machine under voltage unbalance combined with over or undervoltages”, Energy Conversion and Management, vol. 50, no. 4, pp. 1101-1107, Apr. 2009.
- [13] Motor and Generators, Part 14.36: Effects of Unbalanced Voltages on the Performance of Polyphase InductionMotors, NEMA Standard MG1-1998 (Revision 3, 2002), 2002.
- [14] IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators, IEEE Standard 112, 1991.
- [15] IEC Standard 60034-26, Rotating Electrical Machines, Part 26: Effects of Unbalanced Voltages on the Performance of Three-Phase Induction Motors, 2002.
- [16] Ching-Yin Lee, Bin-Kwie Chen, Wei-Jen Lee, Yen-Feng Hsu, “Effects of various unbalanced voltages on the operation performance of an induction motor under

the same voltage unbalance factor condition”, Electric Power Systems Research, vol. 47, no. 3, pp. 153-163, Nov. 1998.

- [17] IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities under Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions, IEEE Std. 1459 – 2010.

6. Ekler

Ek-1: NEMA standart MG1’e ait LVUR cinsinden ölçülen dengesizliğe bağlı DF eğrisi Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 8: NEMA deratasyon eğrisi [13].

Ek- 2: Test gerilimleri

Tablo 1: $V_e=200V$ ve $VUF=5\%$ değerleri için çeşitli CVUF açılarında test gerilimleri.

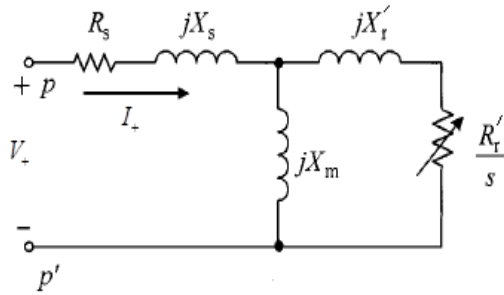
VUF	$V_+(V)$	$V_-(V)$	$\theta_{V+} (^\circ)$	$\theta_{V-} (^\circ)$
5	199.751	9.988	0	0
			0	-30
			0	-60
			0	-90
			0	-120
			0	-150
			0	-180
			0	-210
			0	-240
			0	-270
			0	-300
			0	-330

Tablo 2: $V_e=240V$ ve $VUF= 5\%$ değerleri için çeşitli CVUF açılarında test gerilimleri.

VUF	$V_+(V)$	$V_-(V)$	$\theta_{V_+} (^\circ)$	$\theta_{V_-} (^\circ)$
5	239.701	11.985	0	0
			0	-30
			0	-60
			0	-90
			0	-120
			0	-150
			0	-180
			0	-210
			0	-240
			0	-270
			0	-300
			0	-330

Ek-3: Asenkron motorun pozitif ve negatif sıra eşdeğer devreleri [8] aşağıda sunulmuştur:

(a) Pozitif sıra eşdeğer devre;



(b) Negatif sıra eşdeğer devre;

