

DENGESİZ GÜÇ AKIŞI ANALİZLERİ İÇİN SABİT HIZLI ASENKRON GENERATÖRLÜ RÜZGAR TÜRBİNİ MODELİ BÖLÜM 1: GENERATÖR MODELİ

Ahmet
KÖKSOY¹

Onur
ÖZTÜRK¹

M.Erhan
BALCI²

M. Hakan
HOCAOĞLU¹

Bahtiyar
DURSUN³

¹Gebze Teknik Üniversitesi
Elektronik Müh. Böl.
41400 Gebze KOCAELİ
{akoksoy, onurozturk,
hocaoglu}@gyte.edu.tr

²Balıkesir Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Müh. Böl.
Çağış Yerleşkesi 10145
BALIKESİR
mbalci@balikesir.edu.tr

³Kırklareli Üniversitesi
Enerji Sistemleri Müh. Böl.
Kırklareli
bahtiyar.dursun@kirkklareli.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, dengeli veya dengesiz dağıtım sistemine doğrudan bağlı sabit hızlı rüzgar türbini üretim sistemi için güç akışı analizi modeli önerilmiştir. Önerilen model, dağıtım sistemi güç akışı analizlerinde düğüm gerilimlerinin hesaplanmasında sıklıkla kullanılan bi-kuadratik denklem temelli ifadelerle sahiptir. Önerilen model kayma bilgisine ihtiyaç duymadığı için literatürde daha önce önerilmiş kayma hesabına dayanan fazör tanım bölgesi generatör modeline göre hesap verimlidir. Bu çalışmada, önerilen modelin geçerliliğini test etmek amacıyla çeşitli gerilim dengesizliği ve rüzgar hızı durumlarında, önerilen model, kayma hesabına dayanan fazör tanım bölgesi modeli, zaman tanım bölgesi d-q modeli ve basitleştirilmiş generatör modelleri (sabit P,Q(V+) modeli ve Sabit P,Q modeli) karşılaştırılmalı olarak analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar Enerjisi, Dağıtım Sistemi, Dengesiz Gerilim, Dengesiz Akım, Asenkron Generatörü

1. GİRİŞ

Senkron generatörlere kıyasla daha küçük boyutlarda olmaları ve işletme maliyetlerinin daha düşük olmasından dolayı Rüzgar Elektrik Santrallerinde (RES) asenkron generatörler yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. RES'ler geleneksel sabit hızlı ve değişken hızlı olmak üzere iki ana başlık altında sınıflandırılabilirler [2]. Değişken hızlı RES'ler kullanılan gelişmiş güç elektroniği sistemleri ve kontrol cihazları sebebiyle yüksek maliyetlidirler. Bu durumun sonucu olarak, küçük güçlü RES uygulamalarında şebekeye doğrudan bağlı sabit hızlı asenkron generatörler (SHAG) yaygın olarak kullanılmaktadır.

Pratikte bir üç fazlı dağıtım sisteminde, dengesiz dağıtılmış tek faz yükler, simetrik olmayan hat empedansları, arızalar ve benzeri sebeplerle şebeke gerilimleri ve hat akımları genellikle dengesizdir [3]. Literatürde dengeli güç akışı analizleri için önerilmiş şebekeye doğrudan bağlı SHAG'lı RES modellerinin [4, 5], dengesiz dağıtım sistemlerinde güç akışı analizleri için kullanımı hatalı sonuçlara yol açmaktadır [6]. Bundan dolayı, [6] ve [7] 'de pozitif-negatif sıra eşdeğer devreleri temelli asenkron generatör modelleri önerilmiştir. Fakat, bu modeller asenkron generatörün kayma parametresinin

iteratif olarak bulunduğu ve ayrıca kompleks fazör akımlar/gerilimler içeren denklemlerin çözümüne dayanan modeller olduğu için güç akışı analizlerinde ekstra hesap yükü getirmektedirler. Bundan dolayı, literatürde sunulan dengesiz güç akışı analizlerinin birçoğunda dengesizliğin etkisi ihmal edilerek asenkron generatörler dengeli ve sabit aktif güç (P)-reaktif güç (Q) kaynakları olarak modellenmiştir (sabit P-Q modeli) [8]. Bazı çalışmalarda ise; bu basitleştirilmiş model revize edilerek, makinenin şebekeden çektiği reaktif güç pozitif sıra gerilimi ile makine empedans parametrelerinin bir fonksiyonu haline getirilip yük akışı analizine uygulanmıştır (sabit P, Q(V⁺) modeli) [8].

Bu çalışmada bünyesinde SHAG'lı RES'leri bulduran dengesiz dağıtım sisteminde yapılacak güç akışı analizleri için asenkron makinenin pozitif-negatif sıra eşdeğer devreleri temelli fazör tanım bölgesi modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde, pozitif sıra gerilimi, akımı ve gücü, dağıtım sistemi yük akışı analizlerinde şebeke gerilimlerinin hesaplanmasında sıklıkla kullanılan bi-kuadratik denklemin uygulanmasıyla hesap edilmiştir. Önerilen modelde, pozitif ve negatif sıra eşdeğer devreleri iteratif çözüm algoritması ile birbirine bağlanmıştır.

Önerilen modelin çözüm algoritmasında kayma bilgisine ve sıra gerilimlerinin/akımlarının açılış değerlerine ihtiyaç duyulmayışından dolayı, önerilen model kayma hesabı temelli fazör tanım bölgesi modellere göre [6, 7] daha az işlem sayısı ile uygulanmaktadır.

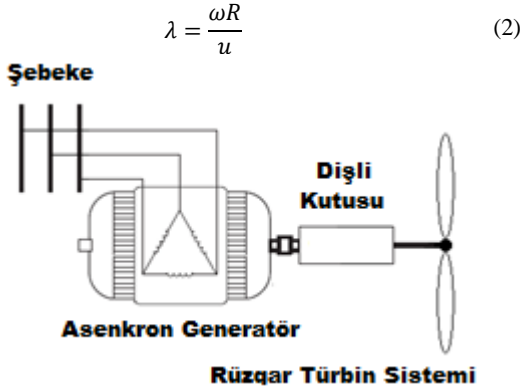
Bu çalışmanın ikinci bölümünde önerilen model detaylı olarak tanıtılmıştır. Önerilen modelin, [6]'da sunulan kayma hesaplama temelli fazör tanım bölgesi modeli, simulink programında yer alan asenkron makine d-q modeli [9], sabit P,Q(V⁺) modeli [8] ve sabit P,Q modeli [8] ile hassasiyet bakımından karşılaştırılmalı analizi ise üçüncü bölümde sunulmuştur. Dördüncü kısımda elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

2. ÖNERİLEN MODEL

Literatürden bilindiği üzere, rüzgar türbininin mekanik giriş gücü, hava yoğunluğu (ρ), rotor tarafından taranan bölge (A), güç katsayısı (C_p) ve rüzgar hızı (u) cinsinden (1)'de sunulan biçimde ifade edilebilir [6]:

$$P_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot u^3 C_p(\lambda) \quad (1)$$

Bu ifadede yer C_p terimi uç hız oranına (λ) bağlıdır. Uç hız oranı ise (2)'de verildiği gibi u , açısal hız (ω) ve türbin rotor yarıçapının (R) bir fonksiyonudur.



Şekil 1: Asenkron generatörlü rüzgar türbini

Şekil 1'de sunulan asenkron generatöre ait stator tarafına indirgenmiş pozitif ve negatif sıra eşdeğer devreleri Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2 'de yer alan V_{sp} , V_{sn} , V_{rp} ve V_{rn} pozitif ve negatif sıra stator/rotor gerilimlerini ifade etmektedir. Bu eşdeğer devrelerde R_{sc} ve X_{sc} , kısa devre eşdeğer rezistansı ve reaktansı, R_m ve X_m ise mıknatıslanma rezistansı ve reaktansı göstermektedir. Ayrıca, P_{sp} ve P_{sn} , şebekeye stator tarafından aktarılan pozitif ve negatif sıra aktif güçlerini ifade etmektedir.

Eşdeğer devrelerde, pozitif ve negatif sıra rotor aktif güçlerinin (P_{rp} ve P_{rn}) toplamı rüzgar türbini mekanik giriş gücüne (P_T) eşittir:

$$P_T = 3 \cdot (P_{rp} + P_{rn}) \quad (3)$$

Buna ek olarak Q_{sp} ve Q_{sn} asenkron generatörün pozitif ve negatif sıra reaktif güç talebini göstermektedir. Rotor barası pozitif ve negatif sıra reaktif güçleri ise sıfırdır ($Q_{rp}=Q_{rn}=0$).

Stator tarafından görülen rotor barası (r) pozitif sıra gerilimin genliği dengeli gerilim ve akım altında asenkron generatör modellemesinde [3] olduğu gibi bi-küadratik eşitlikle ifade edilebilir:

$$Z_{sc} = \sqrt{R_{sc}^2 + X_{sc}^2} \quad (4)$$

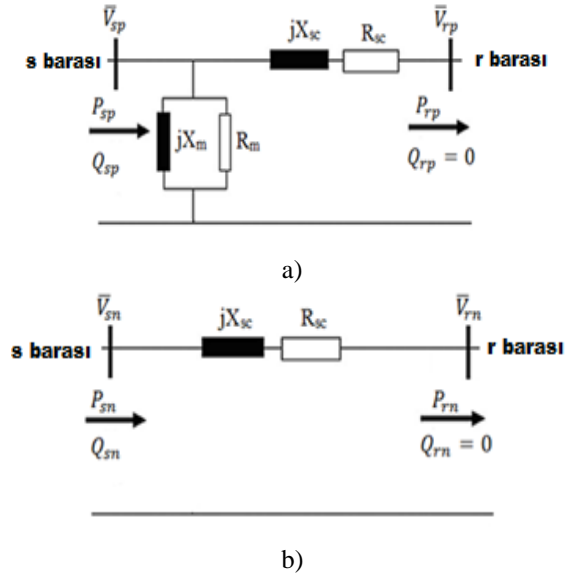
$$V_{rp} =$$

$$\sqrt{\frac{|V_{sp}|^2 - 2R_{sc}P_{rp} + \sqrt{(|V_{sp}|^2 - 2R_{sc}P_{rp})^2 - 4Z_{sc}^2P_{rp}^2}}{2}} \quad (5)$$

Şekil 2 (b)'de verilen negatif sıra devresi dikkate alındığında, rotor (r) barasından stator (s) barasına doğru akan negatif sıra akımının genliği (I_m) ve r barası negatif sıra aktif gücü (P_{rn}) (6) ve (7)'den hesap edilebilir:

$$I_m = \frac{V_{sn}}{R_s + R_r + R_r \left(\frac{-V_{rp}^2}{2V_{rp}^2 + P_{rp}R_r} \right) + j(X_s + X_r)} \quad (6)$$

$$P_{rn} = |I_m|^2 R_r \left(\frac{-V_{rp}^2}{2V_{rp}^2 + P_{rp}R_r} \right) \quad (7)$$



Şekil 2: Bir asenkron generatörün stator tarafına aktarılmış (a) pozitif ve (b) negatif sıra eşdeğer devreleri

Böylece, asenkron generatör tarafından s barasına (şebekeye) aktarılan pozitif ve negatif sıra aktif güçleri (8) ve (9) da verilen eşitlikler kullanılarak bulunur:

$$P_{sp} = P_{rp} + \left(\frac{P_{rp}}{V_{rp}} \right)^2 R_{sc} + \frac{|V_{sp}|^2}{R_m} \quad (8)$$

$$P_{sn} = P_{rn} + |I_m|^2 R_{sc} \quad (9)$$

s barasına aktarılan toplam aktif güç;

$$P_s = 3(P_{sp} + P_{sn}) \quad (10)$$

Ayrıca; s barasından çekilen pozitif ve negatif sıra reaktif güçleri ise aşağıda verilen ifadelerle bulunabilir:

$$Q_{sp} = \left(\frac{P_{rp}}{V_{rp}} \right)^2 X_{sc} + \frac{V_{sp}^2}{X_m} \quad (11)$$

$$Q_{sn} = I_m^2 X_{sc} \quad (12)$$

Böylece, asenkron generatör tarafından şebekeden (s barasından) talep edilen toplam reaktif güç, (13)'den hesap edilir:

$$Q_s = 3(Q_{sp} + Q_{sn}) \quad (13)$$

P_{rp} ve P_{rn} 'nin kesin değerlerinin bilinmemeleri sebebiyle model ardışıl (iteratif) çözüm gerektirmektedir. Önerilen modele ait ardışıl çözüm algoritması adımları aşağıda sıralanmıştır:

Adım 1: Tüm mekanik giriş gücünün (P_T) pozitif sıra devresine aktarıldığı kabul edilerek (3)'ten P_{rp} 'nin başlangıç değerini hesapla.

Adım 2: (5)'i kullanarak V_{rp} değerini hesapla.

Adım 3: Bir önceki adımda hesaplanan V_{rp} değerini ve (3)'ten elde edilen P_{rp} değerini (6) ve (7)'de yerine koyarak I_m ve P_{rn} değerlerini hesapla.

Adım 4: (8) - (13) aralığındaki eşitlikleri kullanarak P_s ve Q_s değerlerini hesapla.

Adım 5: P_s ve Q_s değerlerinin son iki ardışıl çözüm sonuçları (i+1. ve i. ardışıl çözümleri) arasındaki fark, tolerans değeriyle (ε) karşılaştır. (14) ve (15) eşitsizliklerinin sağlanmadığı durumda en son hesaplanan P_{sp} değerini kullanarak (3) denkleminde göre P_m 'yi güncelle ve Adım 2'ye geri dön.

$$\varepsilon > \left| \frac{P_{Si+1} - P_{Si}}{P_{Si}} \right| \quad (14)$$

$$\varepsilon > \left| \frac{Q_{Si+1} - Q_{Si}}{Q_{Si}} \right| \quad (15)$$

Unutulmamalıdır ki s barasında sıra gerilimleri genlikleri (V_{sp} , V_{sn}) ve açıları (φ_{sp} , φ_{sn}) bilinen büyüklüklerdir. Sıra aktif güçleri (P_{sp} , P_{sn}), sıra reaktif güçleri (Q_{sp} , Q_{sn}) ve sıra akımları (I_{sp} , I_{sn}) genlikleri yukarıda detaylı anlatılan ardışıl çözüm sonucunda elde edilir. s barası pozitif ve negatif sıra akımlarına ait açı değerlerini ifade eden β_{sp} ve β_{sn} ise çözüm algoritması tamamlandıktan sonra (16) ve (17)'den bulunur:

$$\beta_{sp} = \varphi_{sp} - \cos^{-1} \left(\frac{P_{sp}}{V_{sp} I_{sp}} \right) \quad (16)$$

$$\beta_{sn} = \varphi_{sn} - \cos^{-1} \left(\frac{P_{sn}}{V_{sn} I_{sn}} \right) \quad (17)$$

Böylece m=a,b,c fazlarını göstermek üzere, faz aktif ve reaktif güçleri (18) ve (19)'da verilen ifadeler kullanılarak hesap edilir:

$$P_m = V_m I_m \cos \theta_m \quad (18)$$

$$Q_m = V_m I_m \sin \theta_m \quad (19)$$

(18) ve (19) da verilen ifadelerdeki θ_m terimi m fazına ait gerilim ve akım arasındaki faz farkını ifade etmektedir. Faz aktif ve reaktif güçleri eksi (-) işaretli ise; generatörden şebekeye verildikleri, artı (+) işaretli ise şebekeden generatöre verildikleri manasına gelmektedir.

3. SAYISAL SONUÇLAR

Bu bölümde, önerilen model, kayma hesabı temelli fazör tanım bölgesi model, d-q model, sabit P,Q(V+) model ve sabit P,Q model çeşitli dengesiz gerilimler altında hassasiyet bakımından karşılaştırmalı olarak analiz edilecektir.

Gerilim eşdeğer etkin değer (V_e) [10] ve gerilim dengesizlik faktörü (VUF) [11, 12] tanımları, analizlerde üç faz gerilimlerinin büyüklüğünün ve dengesizlik miktarının ölçülmesinde dikkate alınmıştır. V_e ve VUF ifadeleri (20) ve (21)'de verilmiştir:

$$V_e = \sqrt{\frac{V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2}{9}} = \sqrt{V_{sp}^2 + V_{sn}^2} \quad (20)$$

$$VUF(\%) = \frac{V_{sn}}{V_{sp}} \cdot 100 \quad (21)$$

Bu ifadelerde, V_{ab} , V_{bc} and V_{ca} faz-faz arası gerilimlerin rms değerleridir.

Bu iki tanıma göre, iki farklı parametrik analiz yapılmıştır. Analiz sonuçları aşağıda sırasıyla

sunulmuştur. Yapılan analizlerde 160 kW gücündeki asenkron generatör tercih edilmiştir. Kullanılan asenkron generatöre ait parametreler ekler kısmında verilmiştir.

A. Durum 1: Değişken VUF-Sabit V_e 'ye Sahip Gerilimler Altında Test

Bu test senaryosu için şebeke gerilim seviyesi $V_e = 1.0$ pu değerinde sabit iken test gerilimi VUF değerleri %0 değerinden %1 adımlarla %5 değerine kadar arttırılmıştır. Bu test gerilimleri altında çalışan asenkron generatörün P_T değeri etiket gücünde (160 kW) sabit tutulmuştur. Önerilen model, kayma hesabı temelli fazör tanım bölgesi model, d-q model, sabit P,Q(V+) model ve sabit P,Q model ile hesaplanan her bir faza ait aktif ve reaktif güç eğrileri Şekil 3'te verilmiştir.

Şekil 3'ten görüldüğü üzere ilk üç modelle yapılan hesaplamalara göre; VUF değeri %1 olan dengesiz gerilim altında generatör a, b ve c fazlarından şebekeye yaklaşık olarak 0.324 pu, 0.357 pu ve 0.297 pu seviyelerinde aktif güçler verilmektedir. Ayrıca, aynı modellere göre, VUF=%1 için asenkron generatörün a, b ve c fazlarından yaklaşık olarak 0.205 pu, 0.159 pu ve 0.145 pu seviyelerinde reaktif güçlerin çekildiği görülmektedir.

Diğer taraftan, VUF=%5 değerine sahip dengesiz gerilim senaryosu için asenkron generatör tarafından şebekeye verilen a, b, c fazları aktif güçlerinin, önerilen model, kayma hesabı temelli fazör tanım bölgesi model ve d-q model ile yaklaşık 0.311 pu, 0.470 pu ve 0.192 pu değerlerinde hesaplandığı görülmektedir. Aynı modellere göre, VUF=%5 için asenkron generatör tarafından şebekeden talep edilen reaktif güçler a, b, c fazları için yaklaşık olarak 0.357 pu, 0.129 pu ve 0.049 pu değerlerindedir.

Önerilen model, kayma hesabı temelli fazör tanım bölgesi model ve d-q modelle elde edilen analiz sonuçlarından, VUF artışı ile P_{sa} , P_{sc} , Q_{sb} ve Q_{sc} 'nin azaldığı görülmektedir. Fakat, P_{sb} ve Q_{sa} 'nın VUF değerinin artmasıyla artış gösterdiği görülmektedir.

Son olarak, sabit P,Q ve sabit P,Q(V+) modellerinin sonuçları ile diğer üç modelin sonuçları arasında VUF'un değişimine bağlı olarak önemli derecede farklar meydana geldiği görülmüştür.

B. Durum 2: Değişken V_e -Sabit VUF'a Sahip Gerilimler Altında Test

İkinci durumda VUF değeri %5 değerinde sabit tutulurken şebeke gerilim değeri (V_e) 0.8 pu değerinden 0.1 pu adımlarla 1.2 pu değerine kadar arttırılmıştır. Birinci durumda olduğu gibi bu durum için de mekanik giriş gücü (P_T), 160 kW gücünde sabit tutulmuştur. Önerilen model, kayma hesabı temelli fazör tanım bölgesi model, d-q model, sabit P,Q(V+) model ve sabit P,Q model ile hesaplanan her bir faza ait aktif ve reaktif güç değerleri Şekil 4'te verilmiştir.

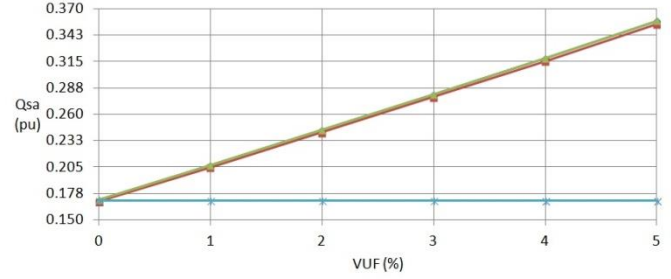
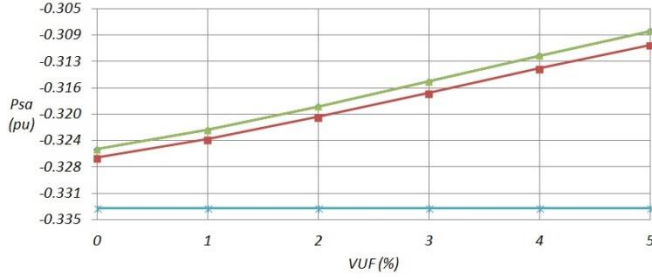
Şekil 4'te görüldüğü üzere $V_e = 0.8$ pu durumunda, önerilen model, kayma hesabı temelli fazör tanım bölgesi model ve d-q model ile yapılan hesaplamalara göre; generatörün a, b, c fazlarından şebekeye yaklaşık olarak 0.318 pu, 0.410 pu ve 0.234 pu seviyelerinde aktif güçler verilmektedir. Aynı modellere göre; $V_e = 0.8$ pu değerinde generatörün a, b, c fazlarından yaklaşık olarak 0.260 pu,

0.118 pu ve 0.055 pu değerlerinde reaktif güç şebekeden talep edilmektedir.

$V_e=1.2$ pu için önerilen model, kayma hesabı temelli fazör tanım bölgesi model ve d-q model ile yapılan hesaplamalara göre; generatörün a, b, c fazlarından sırasıyla 0.295 pu, 0.541 pu ve 0.136 pu aktif güç verdiği görülmektedir. Bu üç modele göre, aynı V_e değerinde generatör a, b, c fazlarından yaklaşık olarak 0.488 pu,

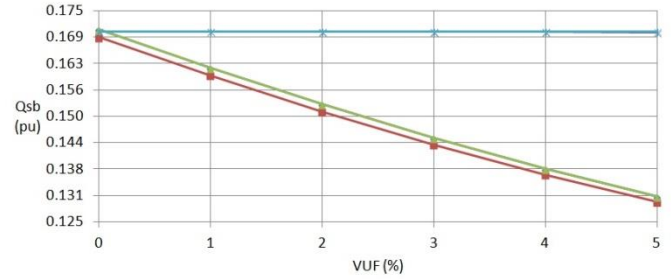
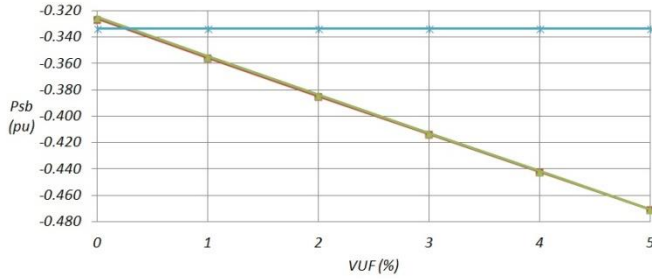
0.158 pu ve 0.051 pu. değerlerinde reaktif güç çekmektedir.

Önerilen model, kayma hesabı temelli fazör tanım bölgesi model ve d-q modelde elde edilen analiz sonuçlarından, V_e artışı ile P_{sa} , P_{sc} ve Q_{sc} 'nin azaldığı görülmektedir. Fakat, P_{sb} , Q_{sa} ve Q_{sb} 'nin V_e değerinin artmasıyla artış gösterdiği görülmektedir.



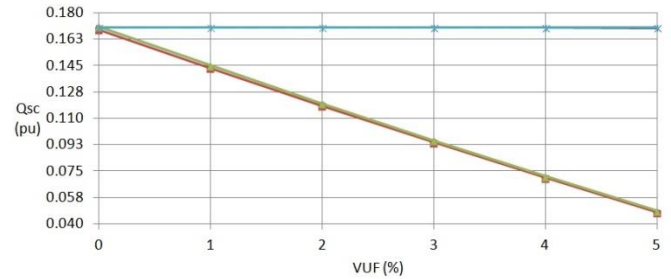
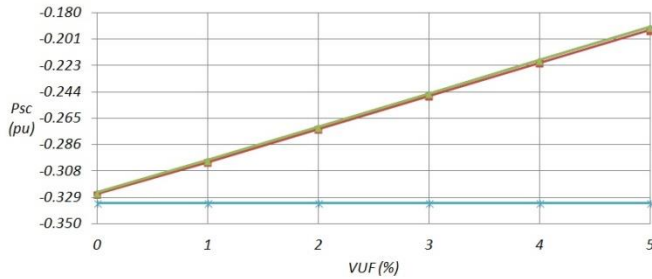
a) Simulink Dinamik Modeli, Önerilen Metod, Kayma Temelli Metod, Sabit P,Q(V+) Metodu, Sabit P,Q Metodu

b) Simulink Dinamik Modeli, Önerilen Metod, Kayma Temelli Metod, Sabit P,Q(V+) Metodu, Sabit P,Q Metodu



c) Simulink Dinamik Modeli, Önerilen Metod, Kayma Temelli Metod, Sabit P,Q(V+) Metodu, Sabit P,Q Metodu

d) Simulink Dinamik Modeli, Önerilen Metod, Kayma Temelli Metod, Sabit P,Q(V+) Metodu, Sabit P,Q Metodu



e) Simulink Dinamik Modeli, Önerilen Metod, Kayma Temelli Metod, Sabit P,Q(V+) Metodu, Sabit P,Q Metodu

f) Simulink Dinamik Modeli, Önerilen Metod, Kayma Temelli Metod, Sabit P,Q(V+) Metodu, Sabit P,Q Metodu

Şekil 3: Durum 1 için model sonuçları (a) P_{sa} , (b) Q_{sa} , (c) P_{sb} , (d) Q_{sb} , (e) P_{sc} ve (f) Q_{sc} .

Son olarak, sabit P,Q ve sabit P,Q(V+) modellerinin sonuçları ile diğer üç modelin sonuçları arasında V_e 'nin değişimine bağlı olarak önemli derecede farklar meydana geldiği görülmüştür.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, dengeli veya dengesiz dağıtım sisteminde güç akışı analizlerinde kullanılmak üzere şebekeye doğrudan bağlı asenkron generatörlü rüzgar elektrik üretim sistemleri için bir model geliştirilmiştir. Önerilen model, literatürde yer alan kayma hesabına dayanan fazör tanım bölgesi model ve d-q modeline kıyasla daha az hesaplama karmaşıklığına sahiptir.

Çeşitli dengesizlik durumları altında yapılan model hassasiyet analizlerinden ise; önerilen modelin, bu iki modelle uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Diğer taraftan, yük akışı analizlerinde kullanılan basitleştirilmiş asenkron generatör modelleri olan sabit P,Q ve sabit P,Q(V+) modellerinin dengesizlik altında önemli derecede hatalı sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır.

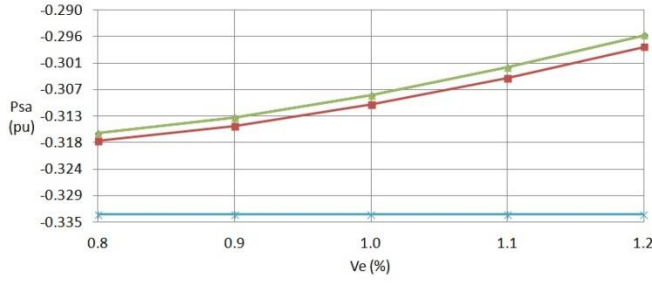
5. EKLER

Simulasyonda kullanılan asenkron makinenin parametreleri:

Nominal Gerilimi: 400 V (rms) Nominal Gücü: 160 kW
 $R_{sc}=0.02151\Omega$ $X_{sc}=0.09550\Omega$ $R_m = \text{İhmal}$ $X_m=2.41588\Omega$

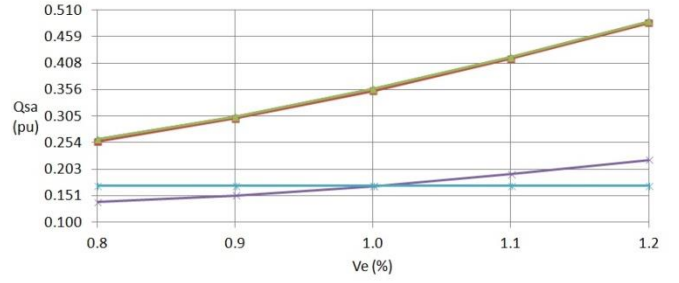
6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TUBITAK) 112E222 proje numarasıyla desteklenmiştir.



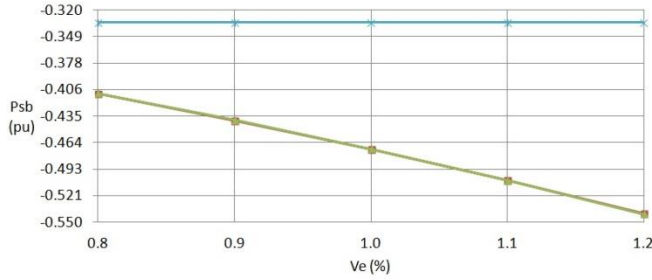
— Simulink Dinamik Modeli — Önerilen Metod — Kayma Temelli Metod
— Sabit P,Q(V+) Metodu — Sabit P,Q Metodu

a)



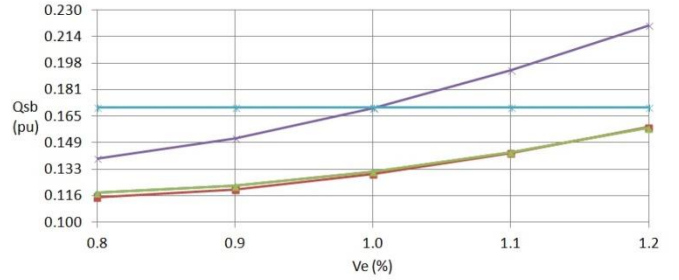
— Simulink Dinamik Modeli — Önerilen Metod — Kayma Temelli Metod
— Sabit P,Q(V+) Metodu — Sabit P,Q Metodu

b)



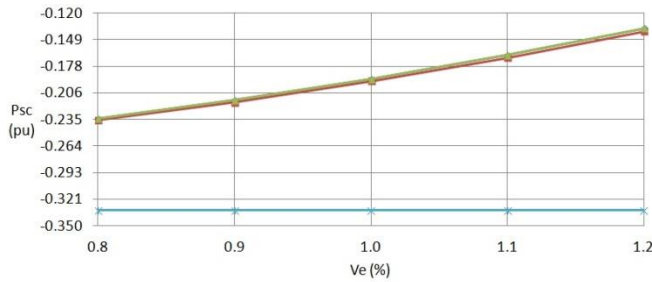
— Simulink Dinamik Modeli — Önerilen Metod — Kayma Temelli Metod
— Sabit P,Q(V+) Metodu — Sabit P,Q Metodu

c)



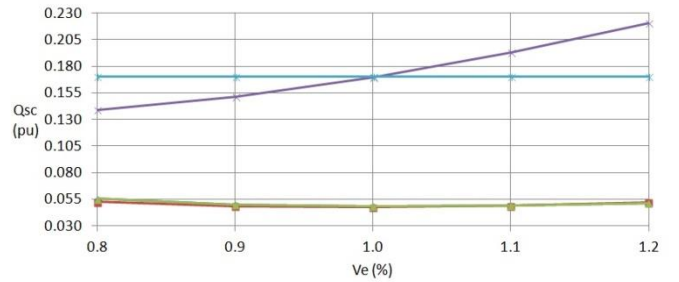
— Simulink Dinamik Modeli — Önerilen Metod — Kayma Temelli Metod
— Sabit P,Q(V+) Metodu — Sabit P,Q Metodu

d)



— Simulink Dinamik Modeli — Önerilen Metod — Kayma Temelli Metod
— Sabit P,Q(V+) Metodu — Sabit P,Q Metodu

e)



— Simulink Dinamik Modeli — Önerilen Metod — Kayma Temelli Metod
— Sabit P,Q(V+) Metodu — Sabit P,Q Metodu

f)

Şekil 4: Durum 2 için model sonuçları (a) P_{sa} , (b) Q_{sa} , (c) P_{sb} , (d) Q_{sb} , (e) P_{sc} ve (f) Q_{sc} .

7. REFERANSLAR

- [1] S. M. Mueen, J. Tamura, T. Murata, "Stability augmentation of a grid-connected wind farm", 2nd ed., Springer-Verlag, London, UK, 2009.
- [2] Y. Amirat, M.E.H. Benbouzid, B. Bensaker, R. Wamkeue, "Generators for wind energy conversion systems: state of the art and coming attractions", J. of Electrical Syst., vol. 3, no. 1, pp 26-38, Mar. 2007.
- [3] E.F. Fuchs, M.A.S. Masoum, "Power quality in power systems and electrical machines", 1st Edition, Elsevier Academic Press, Burlington, MA, 2008.
- [4] U. Eminoglu, B. Dursun, and M. H. Hocaoglu, "Incorporation of a new wind turbine generating system model into distribution systems load flow analysis," Wind Energy J., vol. 12, no. 4, pp. 375-390, May 2009.
- [5] U. Eminoglu, M. H. Hocaoglu, "A new power flow method for radial distribution systems including voltage dependent load models" Electric Power Systems Research, Vol. 76, Issues 1-3, pp 106-114, Sept. 2005,
- [6] M. Abdel-Akher, K. Mahmoud, "Unbalanced distribution power-flow model and analysis of wind turbine generating systems", Euro. Trans. Electr. Power, vol. 23, no. 5, pp. 689-700, Jul. 2013.
- [7] A. H. Ghorashi, S. S. Murthy, B. P. Singh, B. Singh, "Analysis of wind driven grid connected induction generators under unbalanced grid conditions", IEEE Trans. on Energy Conv., vol. 9, no. 2, pp. 217-223, Jun. 1994.
- [8] X. Yang, Z. Wei, G. Sun, Y. Sun, Y. Yuan, Z. Lu, X. Xu, L. Huang, "Power flow calculation for unbalanced three-phase distribution network with DGs based on phase-sequence hybrid modeling," IEEE SEGE 2013, pp.1-6, 28-30 Aug. 2013.
- [9] Matlab/SIMULINK SimPowerSystems Documents, accessed online From <http://www.mathworks.com/help/physmod/powersys/gettingstarted-with-simpowersystems.html>, July 2013.
- [10] IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities under Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions, IEEE Std. 1459 – 2010.
- [11] A. Jouanne, B. Banerjee, "Assessment of voltage unbalance", IEEE Trans. on Power Deliv., vol. 16, no. 4, pp. 782 – 790, Oct. 2001.
- [12] Singh, S.B., Singh, A.K.;Thakur, P., "Assessment of induction motor performance under voltage unbalance condition", IEEE International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), pp. 256 - 261, Hong Kong, 2012.