

# İKİ ALANLI TERMİK GÜÇ SİSTEMİNDE YÜK- FREKANS KONTROLÜ

Beyda Taşar<sup>1</sup>, Mehmet Özdemir<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Tunceli Üniversitesi, Tunceli  
<sup>1</sup>btasar@tunceli.edu.tr

<sup>2</sup>Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Fırat Üniversitesi, Elazığ  
<sup>2</sup>mozdemir@firat.edu.tr

## Özetçe

Bir iletim şebekesinde frekans ve gerilim sabitliği kaliteli güç üretimini belirleyen önemli faktörlerdir; bu nedenle aktif ve reaktif güç kontrolü elektrik enerjisi sisteminin yeterli ve istenen davranışı gösterebilmesinde hayati rol oynar. Şebeke frekansının belirli tolerans sınırları aralığında sabit kalmasını sağlamak amacı ile çeşitli kontrolör tasarımları yapılır. Bu amaçla bu çalışmada ilk hız kontrol ve destekleyici hız kontrolör tasarımları gerçekleştirilerek, yük değişimine karşılık frekansın değişimi kontrol altında tutulmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmada iki alanlı termik bir güç sistemine ait simülasyon Matlab / Simulink programında gerçekleştirilmiş sistem yükünün değişimine karşılık frekanstaki değişim; ilk hız kontrol, destekleyici hız kontrol yöntemleri uygulanarak karşılaştırılabilir olarak incelenmiştir.

## 1.Giriş

Elektrik üretim santralleri tarafından sağlanan elektrik enerjisinin birincil kaynağı suyun kinetik enerjisi ya da fosil yakıtlardan veya nükleer fisyonlardan elde edilen ısı enerjisidir. Tahrik sistemleri bu enerji kaynaklarını mekanik enerjiye dönüştürür ve bu mekanik enerjide senkron generatörler tarafından elektrik enerjisine dönüştürülür. Tahrik makinası devir sayısı regülâtörleri, çoğunlukla yük frekans ya da otomatik üretim kontrolü olarak isimlendirilen aktif güç-frekans kontrolü için bir araç olarak kullanılır.

Bir güç sisteminin kararlı çalışabilmesi için frekans sabit kalmalıdır. Sabit frekansta çalışabilme güç dengesi için söz konusudur. Sistemde üretilen aktif gücün toplamı, aktif yükler, kayıplar ve sistemin dışında bağlantı hatları üzerinden akan güç toplamına eşit olmalıdır. Bu denge bozulduğu zaman sistem frekansı değişmeye başlar. Yük arttıkça hız yani frekans azalacak; yük azaldıkça hız yani frekans artacaktır.

Frekansın nispeten yakın kontrolünü senkron generatörlerin hızlarının sabitliği sağlar. Sistemin frekansı aktif güç dengesine bağlıdır. Frekans bütün sistemlerde ortak bir faktör olduğu için, herhangi bir noktada aktif güç talebindeki değişim bütün sisteme yansıtılır. Her bir üretim birimindeki hız regülâtörleri (devir sayısı regülâtörleri) merkezi kontrolde ortaya çıkan ilk hız kontrol fonksiyonlarını sağlar. İki veya daha fazla bağımsız kontrol alanı enterkonekte güç sisteminde, frekans kontrolüne ilave olarak, her alan dahilinde üretim çizelgelenmiş güç değişimini sürdüreceği şekilde kontrol edilmelidir. Üretim ve frekansın kontrolü yük frekans kontrolü ya da otomatik üretim kontrolü olarak isimlendirilir[2].

## 2.Güç Sisteminin Modellenmesi

Bir güç sistemine ait yük- frekans kontrol modeli; generatör, türbin, hız regülâtörü, yük ve kontrolör alt blok modellerinden oluşmaktadır. Bu modeller sırası ile aşağıda elde edilmiştir.

### 2.1. Termik Türbin Modeli

Bir buhar türbini yüksek basınçlı ve yüksek sıcaklıklı buharda depolanan enerjiyi, daha sonra generatör tarafından elektriksel enerjiye dönüştürülecek olan mekanik enerjiye dönüştürür. Buhar sağlayan kazan için ısı kaynağı bir nükleer reaktör veya fosil yakıtları yakılan bir kazan olabilir[3].

Kazan için süreklilik denklemi

$$\frac{dW}{dt} = V \frac{d\rho}{dt} = Q_{GİRİŞ} - Q_{ÇIKIŞ} \quad (1)$$

biçimindedir. Burada,

W: Kazandaki buharın ağırlığı (kg)=Vxρ

V: Kazanın hacmi (m<sup>3</sup>)

ρ: Buhar yoğunluğu (kg/ m<sup>3</sup>)

Q: Buhar kütlesi çıkış hızı(kg/s)

t: Zaman (s)

dır. Kazandaki dışarı buhar akışının kazandaki basınç ile doğru orantılı olduğu varsayımı ile

$$Q_{ÇIKIŞ} = \frac{Q_0 P}{P_0} \quad (2)$$

olur. Burada ,

P: Kazandaki buhar basıncı

P<sub>0</sub>: Nominal basınç

Q<sub>0</sub>: Kazandaki nominal buhar çıkış değeridir.

$$Q_{GİRİŞ} - Q_{ÇIKIŞ} = V \frac{d\rho}{dP} \frac{dP}{dt} = V \frac{d\rho}{dP} \frac{P_0}{Q_0} \frac{dQ_{ÇIKIŞ}}{dt} = T_v \frac{dQ_{ÇIKIŞ}}{dt} \quad (3)$$

bulunur. Burada

$$T_v = \frac{P_0}{Q_0} V \frac{d\rho}{dP} \quad (4)$$

dir.

$$Q_{GİRİŞ} - Q_{ÇIKIŞ} = T_v s Q_{ÇIKIŞ} \quad (5)$$

yada;

$$\frac{Q_{ÇIKIŞ}}{Q_{GİRİŞ}} = \frac{1}{1+sT_v} \quad (6)$$

olarak yazılabilir. Bu eşitlik buhar kazanının transfer fonksiyonunu gösterir ve T<sub>v</sub> kazanın zaman sabitidir.

## 2.2. Hareket Denklemi ve Yük Modeli

### 2.2.1 Hareket Denklemi

Yük değişimi olduğunda, bu ani olarak generatörün elektriksel moment çıkışı  $T_e$  de değişim olarak görülür. Bu hareket eşitliği ile kolayca belirlenecek olan hızdaki değişimleri veren  $T_e$  elektriksel momentini ve  $T_m$  mekanik momentini arasında uyumsuzluğa neden olur[1].

$$T_m = T_e + j \frac{d\omega}{dt} + B(\omega) \quad (7)$$

(Türbin ve generatörden oluşan tahrik sisteminin hareket denklemi) [1,3].

Yük frekans incelemeleri için, Şekil 1'deki bağıntının momentten çok mekanik ve elektriksel güçler yardımı ile ifade edilmesi tercih edilir.

Güç ve moment arasındaki bağıntı:

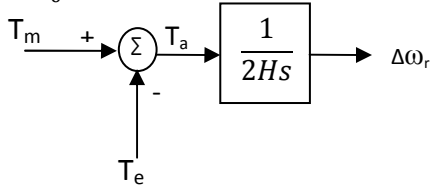
$$P_m = \omega_r T_m \text{ olup,} \quad (8)$$

başlangıç değerinden küçük sapmalar için güç ve moment ifadeleri şöyle yazılabilir:

$$P = P_0 + \Delta P \quad (9)$$

$$T = T_0 + \Delta T \quad (10)$$

$$\omega = \omega_0 + \Delta \omega \quad (11)$$



Şekil 1: Hız ve moment arasındaki transfer fonksiyonu

H: Eylemsizlik sabiti (MVA)  $T_e$ : Elektriksel moment (pu)  
 $T_m$ : Mekanik moment (pu)  $s$ : Laplace operatörü  
 $T_a$ : İvmesel moment  $\Delta\omega_r$ : Rotor hızındaki değişim(pu)

Hız ifadesinin net moment değişimine bağlı olarak ifadesi Şekil 1 de verilmiştir.  $T_a$  arttıkça  $\Delta\omega_r$  artmaktadır.

$$P = P_0 + \Delta P = (\omega_0 + \Delta\omega_r)(T_0 + \Delta T) \quad (12)$$

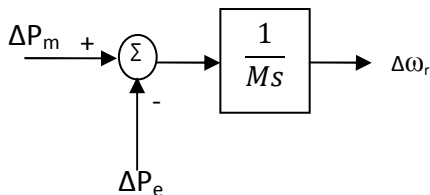
olup yüksek dereceden terimlerin ihmal edilmesiyle aşağıdaki gibi verilebilir;

$$\Delta P = \omega_0 \Delta T + T_0 \Delta\omega_r \quad (13)$$

$$\Delta P_m - \Delta P_e = \omega_0 (\Delta T_m - \Delta T_e) + (T_{m0} - T_{e0}) \Delta\omega_r$$

Sürekli durum olduğu için elektriksel ve mekanik momentler birbirlerine eşit olup, hızın p.u ifade edilmesi ile  $\omega_0=1$  dir. Bundan dolayı;

$$\Delta P_m - \Delta P_e = (\Delta T_m - \Delta T_e) \text{ dir.} \quad (14)$$



Şekil 2: Hız ve güç arasındaki transfer fonksiyonu

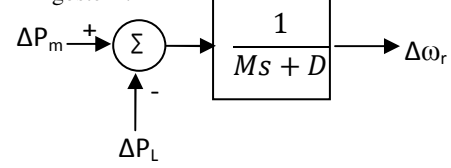
Burada  $M=2H$  dır. Şekil 2 deki ifade, hız ve güç arasındaki transfer fonksiyonudur.

### 2.2.2. Yük Denklemi

Genellikle güç sistemindeki yükler çeşitli elektriksel cihazların bir bileşimidir. Aydınlatma ve ısı yükleri gibi dirençsel yükler için, elektriksel güç frekansa bağımsızdır. Fanlar ve pompalar gibi motor yükü durumunda ise, elektriksel güç motor hızındaki değişimler nedeni ile frekans ile değişir. Bütün karmaşık yükün frekansa bağlı karakteristiği aşağıda ki gibi ifade edilebilir;

$$\Delta P_e = \Delta P_L + D \Delta\omega_r \quad (15)$$

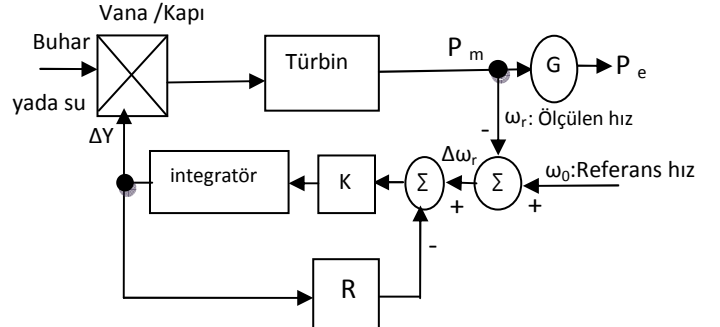
Burada D sönüm sabitidir. Eşitliğin sağ ilk tarafı frekansa duyarlı yük değişimini, ikinci kısmı ise frekansa duyarlı yük değişimini gösterir.



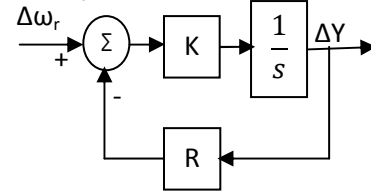
Şekil 3: Yük değişimi ile frekans değişimi arasındaki transfer fonksiyonu

### 2.3. (Speed drop) Regülatör Modeli

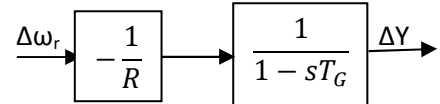
Paralel çalışan iki ya da daha fazla sayıda birim arasındaki kararlı yük paylaşımı için, yük artarken hız azalacak şekilde bir özelliğe sahip olan (proporsiyonel)devir sayısı regülatörü kullanılır[1].



Şekil 4: Hızda azalma özelliğine sahip devir sayısı regülatörünün blok diyagramı



Şekil 5: Hızda azalma özelliğine sahip devir sayısı regülatörünün indirgenmiş blok diyagramı



Şekil 6: Hızda azalma özelliğine sahip devir sayısı regülatörünün transfer fonksiyonu

$$T_G = 1/KR \quad (16)$$

$$R = \Delta f / \Delta P \quad (17)$$

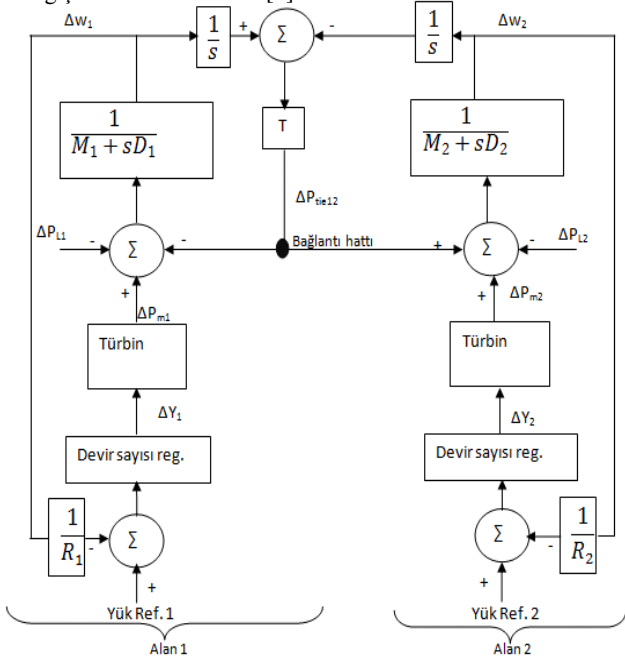
$$\Delta f = f - f_0 \quad (18)$$

Çıkış gücü değişiminin frekans değişimine oranı R ye eşittir. R regülasyon olarak tanımlanır.

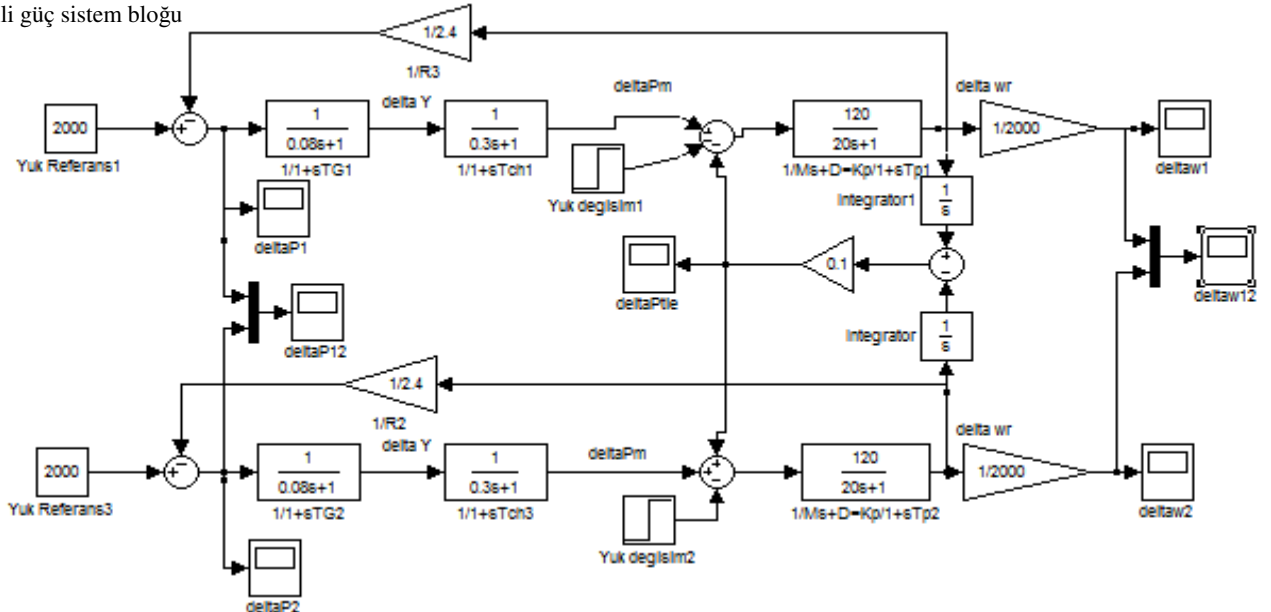
### 3. İki Alanlı Güç Sistemine Ait Simülasyonlar

#### 3.1. İlk Hız Kontrolü

Primer kontrol olarak da isimlendirilen bu kontrol döngüsünde üretilen güç, sistemdeki toplam yüke eşittir. Bu olay sonucunda üretilen ve tüketilen güç miktarı eşitlenirken, frekansta R eğimine bağlı olarak bir miktar kayma olur. R katsayısını belirleyen kullanılan hız regülâtörünün özelliğidir. İlk hız kontrol hareketi ile sistem yükündeki değişim, yükün referans duyarlılığına ve devir sayısı regülâtörü düşü karakteristiğine bağlı olarak, sürekli durum frekansında bir değişime yol açar. Bu, güç sistemlerinde istenmeyen bir durumdur. Sistem frekansının yük değişimi ne olursa olsun sabit kalması esastır. Hızı ayarlayan bütün üretim birimleri, yükün değiştiği bölgeye bağlı olmaksızın, üretimdeki bütünsel değişime katkıda bulunur[2].



Şekil 7: İlk hız kontrolünün uygulandığı iki alanlı termik türbinli güç sistem bloğu



Şekil 8: İlk hız kontrolünün uygulandığı iki alanlı termik türbinli sisteme ait simülasyon bloğu

Tahrik makinalarının hızlarındaki değişim:

$$\Delta\omega_{ss} = \frac{-\Delta P_L}{\left(\frac{1}{R_1} + D_1 + \frac{1}{R_2} + D_2\right)} \quad (19)$$

Bağlantı hattından akan güç:

$$\Delta P_{tie12} = -\Delta\omega \left(\frac{1}{R_2} + D_2\right) \quad (20)$$

Üretim birimlerindeki üretim değişim miktarı:

$$\Delta P_{m1} = -\frac{\Delta\omega}{R_1} \quad (21)$$

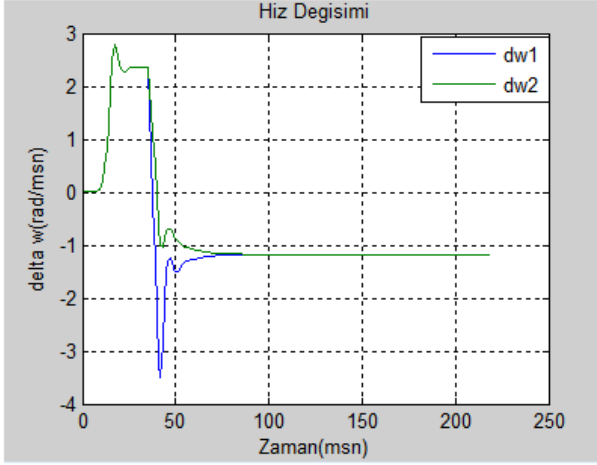
$$\Delta P_{m2} = -\frac{\Delta\omega}{R_2} \quad (22)$$

#### 3.1.1 İlk Hız Kontrolünün Uygulandığı İki Alanlı Güç Sistemin Simülasyonu

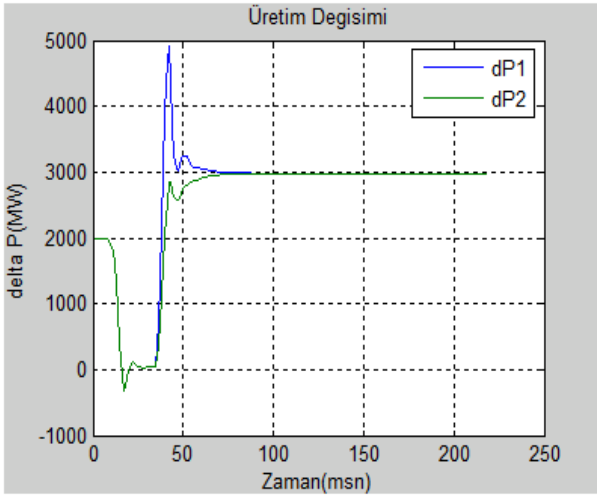
Şekil 8'da iki alanlı güç sistemi termik türbin modeli esas alınarak tasarlanmış, ilk hız kontrollü simülasyon bloğuna yer verilmiştir. Yükün belirli bir oranında değişmesi sonucunda frekans ve üretim değişiminin incelenebilmesi amaçlanmıştır. Alan 1 de yük %100 oranında yük referansının üzerine çıktığı zaman frekans ve üretim değişimine ait simülasyon grafikleri Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11'deki gibidir. Güç sistemine ait simülasyon parametreleri:

$$R=2.4 \text{ Hz/ p.u MW} \quad T_g=0.8 \text{ sn} \quad T_{ch}=0.3 \text{ sn} \quad K=0.5$$

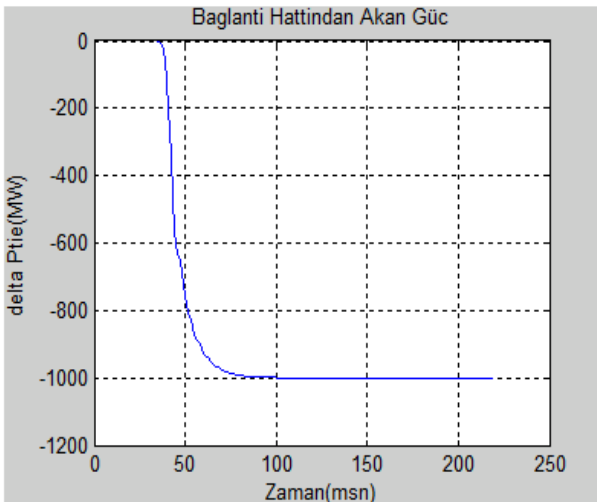
$$\Delta P_R=2000 \text{ MW} \quad K_p=1/D=0.0083 \text{ Hz/ p.u MW} \quad T=0.1$$



Şekil 9: Tahrik makinalarının hızlarındaki değişim



Şekil 10: Tahrik makinalarının üretimlerindeki değişim

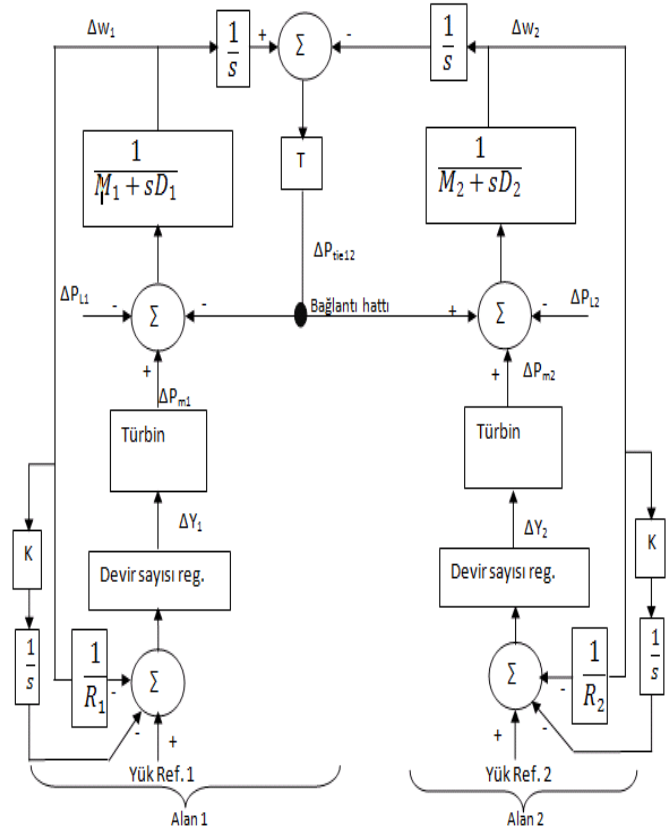


Şekil 11: Bağlantı hattından akan güç

### 3.2. Destekleyici Hız Kontrolü

Sekonder kontrol olarak da isimlendirilen destekleyici hız kontrolünün ilk amacı hız regülatörlerinin eğimli karakteristiklerinden dolayı meydana gelen frekans kaymalarını düzeltmek, diğer amacı ise güç sistemleri ile bağlantı hatları üzerindeki güç akışını, anlaşmalar çerçevesinde ayarlamak ve hız regülatörlerinin doğal davranışları sonucu grupların paylaştıkları yükü ekonomi ve emniyet kriterlerine göre gruplar arasında yeniden düzenlemektir. Destekleyici hız kontrolü frekans üretim karakteristiğinin kaydırılması ile elde edilir. Var olan yük şartlarında her ikincil regülasyon adımını bir hız ayarı takip eder. Çünkü mevcut uygulamalarda, hız ayarı ikincil regülasyondan çok daha hızlıdır. Herhangi bir yük değişiminde ikincil regülasyon başlamadan önce, sistem yeni yük değerine kararlı duruma erişmiş olur. Yani toplam yük ile toplam üretim eşitlenmiş olur.

İkincil kontrol olmadığı güç sisteminde belirli bir yük değişimi bulunduğu frekans belirli değerde sabitlenebilir ancak nominal değerine geri getirilemez. Sistem frekansını nominal değerine geri getirebilmek için destekleyici kontrole gerek duyulmaktadır. İntegral kontrolü sayesinde yük değişimi nedeni ile oluşan frekans hatası belirli bir zaman aralığı sonunda sıfır değerine gelir. Hata sıfır yapıldıktan sonra hız regülatörü referans değeri sabit bir yük değerine ayarlanmış olur[4,5,6]. Destekleyici hız kontrolünde sisteme ait değerlerin elde edildiği formüller ilk hız kontrolünde kullanılan formüller ile aynıdır.



Şekil 12: Destekleyici hız kontrolünün uygulandığı iki alanlı termik türbinli güç sistem bloğu

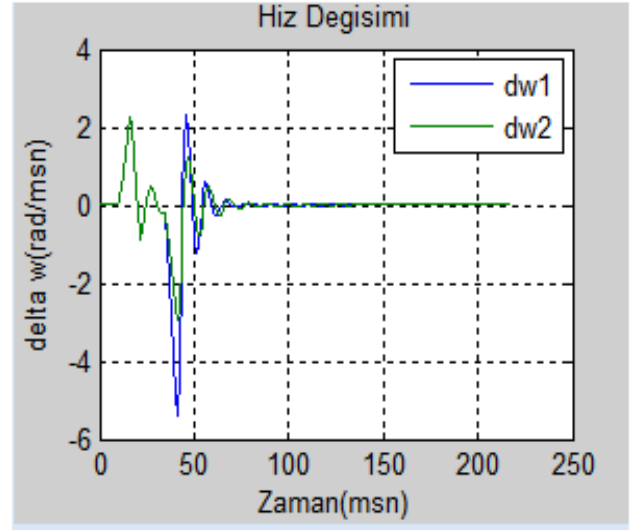
### 3.2.1 Destekleyici Hız Kontrolünün Uygulandığı İki Alanlı Güç Sistemin Simülasyonu

Şekil 13’de iki alanlı güç sistemi termik türbin modeli esas alınarak tasarlanmış, destekleyici hız kontrollü simülasyon bloğuna yer verilmiştir. Yükün belirli bir oranında değişmesi sonucunda frekans ve üretim değişiminin incelenebilmesi amaçlanmıştır.

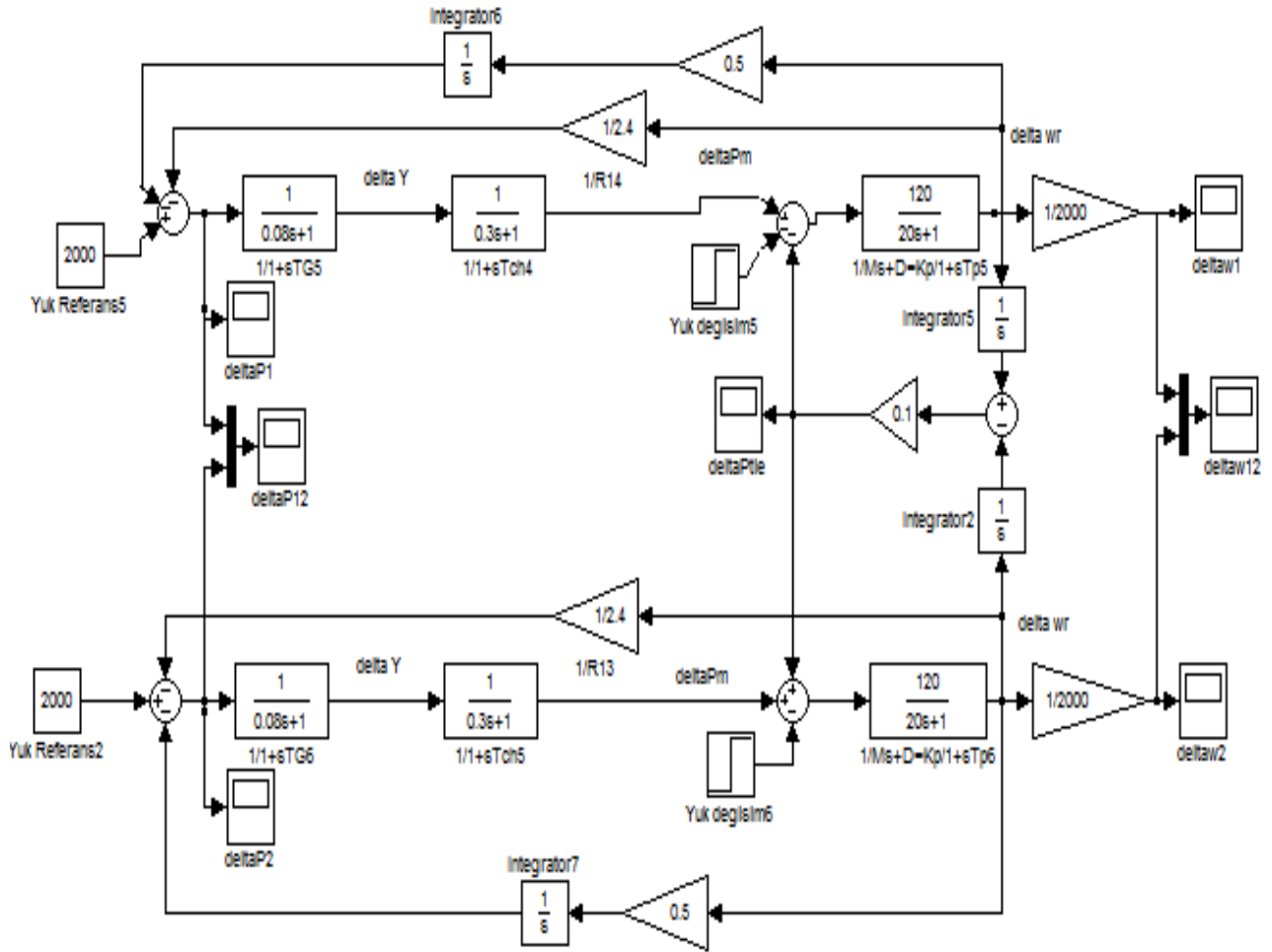
Alan 1 de yük %100 oranında yük referansının üzerine çıktığı zaman frekans ve üretim değişimine ait simülasyon grafikleri Şekil 14, Şekil 15 ve Şekil 16’daki gibidir. Güç sistemine ait simülasyon parametreleri:

$$R=2.4 \text{ Hz/ p.u MW} \quad T_g=0.8 \text{ sn} \quad T_{ch}=0.3\text{sn} \quad K=0.5$$

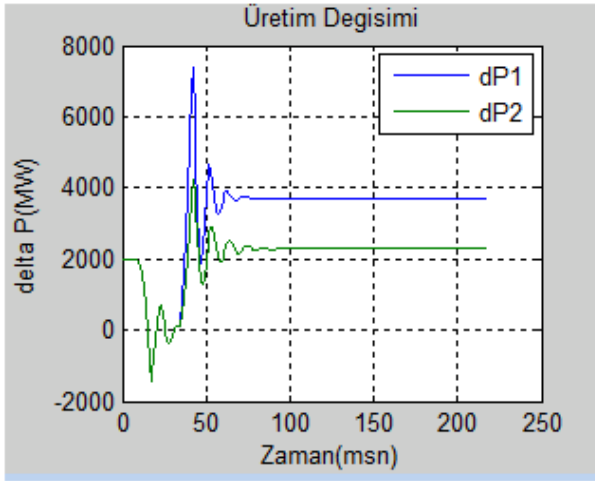
$$\Delta P_R=2000\text{MW} \quad K_p=1/D=0.0083\text{Hz/ p.u MW} \quad T=0.1$$



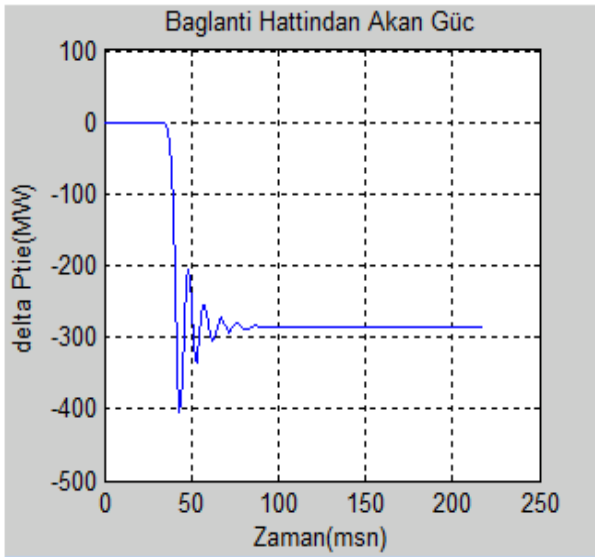
Şekil 14: Tahrir makinalarının hızlarındaki değişim



Şekil 13: Destekleyici hız kontrolünün uygulandığı iki alanlı termik türbinli sisteme ait simülasyon bloğu



Şekil 15: Tahrik makinalarının üretimlerindeki değişim



Şekil 16: Bağlantı hattından akan güç

## 5.Sonuçlar

Bu bildiri de enterkonnekte sisteme ait iki alanlı bir güç sisteminin yüke bağlı olarak frekans değişiminin kontrolü ilk hız, destekleyici hız ve frekans yönelim faktörlü bağlantı hattı kontrolleri ile yapılmış ve farklı çalışma koşullarında bu kontrollerin biri birileri ile karşılaştırmalı analiz sonuçları elde edilmiştir. İlk hız kontrolünün uygulandığı iki alanlı güç sisteminde yük değişimi sırasında frekans değerinin değiştiği ve nominal değeri yakalayamadığı ve üretimin tüm birimlerde değiştiği gözlemlendi. Sisteme destekleyici PI kontrolör eklenerek farklı yük değişimlerinde sistem frekansının değişimi incelendiğinde kontrolör ile nominal frekansın yakalandığı ve birimlerin artan yükü belirli oranlar dahilinde bölüştükleri analiz edildi. Birimler arasında yer alan bağlantı hattındaki yük akışının, yükün değiştiği bölgeye bağlı olarak pozitif ve negatif oluşu gözlemlenmiştir. Destekleyici hız kontrolü ile güç sisteminin istenilen çalışma şartlarını daha iyi ve kararlı bir şekilde sağladığı görülmüştür.

## 6.Teşekkür

Bu çalışmanın hazırlanmasında büyük emeği olan tez yöneticim Sayın Yrd. Doç.Dr. Mehmet Özdemir hocama ve düzenli bir çalışma ortamı sağlama konusundaki desteklerinden dolayı Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Mehmet Cebeci hocama teşekkürü borç bilirim.

## 7.Kaynakça

- [1] DEMİRÖREN A., *Elektrik Enerji Sistemlerinin Kararlılığı Kontrolü ve Çalışması*, Birsen Yayınları, İstanbul, 2004
- [2] PARLAK Ş., *Enterkonnekte Güç Sisteminde Yük-Frekans Kontrolünün İncelenmesi*, Doktora Semineri, Fırat Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Elazığ, 2002
- [3] KUNDUR P., *Power System Stability and Control*, Mc Graw-Hill, New York, 1993
- [4] ÖZDEMİRCİ E., *Bir Elektrik Güç Sisteminde Yük-Frekans Kontrolü İncelemesi ve Modellemesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Elazığ, 2002
- [5] ÖZDEMİRCİ E., ÖZDEMİR M., *Bir Elektrik Güç Sisteminde Yük-Frekans Kontrolü İncelemesi ve Modellemesi*, Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks, Turkey, June 2002
- [6] ÖZDEMİRCİ E., ÖZDEMİR M., *Bir Elektrik Güç Sisteminde Yük-Frekans Kontrolü İncelemesi ve Modellemesi*, 2nd International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, Turkey, September 2004