

# YAPAY SİNİR AĞI KONTROLLÜ STATİK KOMPAZASYON SİSTEMİ

Mehmet Zeki BİLGİN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Elektrik Mühendisliği Bölümü  
Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 41300, İzmit-Kocaeli  
<sup>1</sup>e-posta: bilgin@kou.edu.tr

*Anahtar Sözcükler: Statik Kompanzasyon. Yapay Sinir Ağı, Alternatif Akım Kıyıcısı*

## ÖZET

*Bu bildiride, triac kontrollü Alternatif Akım (AA) kıyıcısı ile beslenen reaktör ile dengelenen sabit kondansatörlü statik kompanzasyon sistemi için Yapay Sinir Ağı(YSA) tabanlı bir denetleyici tasarlanmıştır. Sistemin kurulan matematiksel modeli (veya deneysel sonuçlar) kullanılarak önceden öğretilmiş olan YSA denetleyici sürekli devrede kalarak hesaplanan ihtiyaç reaktör gücünü vermek için gerekli tetikleme açısını üretmekte kullanılır. Yapay sinir ağı kullanımı ile sistem kararlılığı, cevap süresi artırılmış ve delayı ile de hesap işlemleri basitleştirilmiştir. Benzetim sonuçlarından hassas ve hızlı reaktif güç ayarı yapılabildiği görülmüştür. Sistemde kullanılan AA kıyıcısının sebep olabileceği harmoniklerin etkileri çalışmada incelenmemiş, sistemin harmonik filtre bulunduran bir tesiste kullanıldığı kabul edilmiştir.*

## 1. GİRİŞ

Güç faktörünün sık ve büyük değişimler gösterdiği kaynak makinaları, ark ocakları, asansörler gibi sık devreye girip çıkan sistemlerde kompanzasyon işlemi de hızlı bir şekilde yapılmalıdır. Mevcut reaktif güç kontrol rölelerinin hızları yeterli olmamakla birlikte kondansatör kademelerinden dolayı hassas bir kompanzasyon yapmak ta pek mümkün değildir. Ayrıca kademelerin devreye alınması sırasında geçici rejimler de yaşanmaktadır. Kontaktörler de çok sık açma-kapama yapmalarından dolayı daha sık arızalanırlar. Kontaktör yerine tristör kullanılan tristör anahtarlamalı kompanzasyon sistemi bu sakıncayı giderebilir fakat bu sistemde de kademeli ayar sözkonusudur. Reaktif gücün ve güç faktörünün çok hızlı değiştiği sistemlerde ideal bir kompanzasyon için kompanzasyon elemanının çektiği reaktif gücün de değiştirilmesi gereklidir.

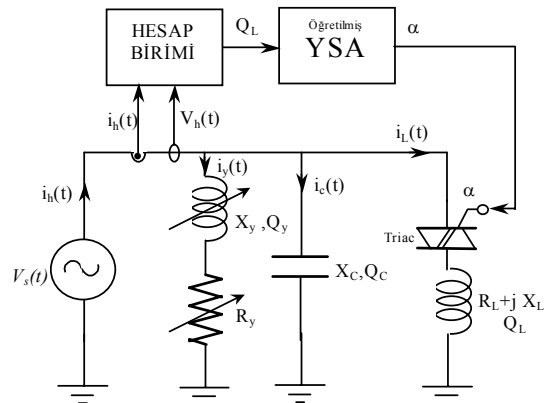
Son yıllarda kademeli kondansatörlü sistemlerin yerine literatürde çok farklı aktif ve pasif statik VAR kompanzasyonları önerilmiştir [1,2,3,4]. Bu sistemlerde kademeli ayar yapabilmek için kondansatörler sürekli devrede kalır. Genelde gücü kontrol edilen bir sabit kondansatör yada sabit kondansatörün yanına gücü kontrol edilen bir reaktör kullanılır. Her iki

sistemde de kompanzasyon elemanı uçlarındaki gerilimin uygun güç elektroniği düzenekleri yardımı ile kontrolü ile güç ayarı yapılır. Kompanzasyon elemanının güç ayarı için literatürde birçok sistem önerilmiştir. Bunlar genel anlamda ya evirici ile yada alternatif akım kıyıcı prensibi ile çalışmaktadır. [5,6,7]. Hassas ve hızlı bir kompanzasyon işlemi için kompanzasyon elemanının gücünün hassas ve hızlı bir şekilde kontrol edilmesi gereği vardır. Kompanzasyon elemanın gücü ile kontrol parametresi arası ilişki lineer değildir.

Bu bildiride lineer olmayan sistemleri modellemede başarılı, yapısı basit, kullanımı kolay olan Yapay Sinir Ağı (YSA) kullanarak daha kısa sürede kompanzasyon elemanının gücünü kontrol etmek amaçlanmıştır. Alternatif akım kıyıcısı ile beslenen sabit kondansatör ve triac kontrollü reaktör ile dengelenen kompanzasyon yapısı üzerine çalışma yapılmıştır.

## 2. ÖNERİLEN REAKTİF GÜÇ KONTROL SİSTEMİ

Kompanzasyon sistemlerinde YSA çok farklı yapılarda kullanılabilir. Bu çalışmada aşağıda ayrıntıları verilen tristör ile kontrol edilen reaktör ile dengelenen sabit kondansatör ile kompanzasyon yapısı kullanılmıştır. Önerilen YSA kontrollü kompanzasyon sisteminin blok diyagramı Şekil 1' deki gibidir.

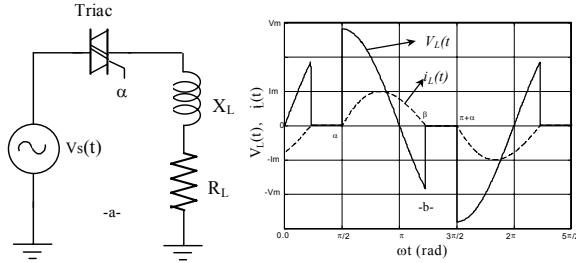


Şekil 1. YSA kontrollü statik kompanzasyon sistemi.

Bu yapı, kontrol aralığının geniş olması ve kondansatörlerin devreye girip çıkma probleminin olmaması nedeniyle avantajlıdır ve  $\cos \phi$ 'nin ve reaktif gücün hızlı değiştiği uygulamalarda kullanılabilir. Burada  $X_L$  ve  $X_C$  doğal halde birbirlerini kompanze edebilecek büyüklükte seçilirler. Reaktör uçlarına gelen gerilimin dalga şekli Alternatif Akım(AA) kıyıcısı yardımıyla değiştirilerek bobinin çektiği reaktif güç "0" ile  $Q_{Lmax}$  arasında ayarlanabilir. Böylece bobin tarafından oluşturulan reaktif gücün ( $Q_L$ ) kontrolü sağlanmış olur. Devreye bağlanan şönt kapasite yükün en düşük endüktif durumunu bile kompanze edebilecek büyüklükte seçilir.  $Q_y$  gücü  $Q_c$ 'den küçük olduğunda sistem kapasitif çalışmaya başlar. Bu kapasitifliği yok edecek büyüklükte bir endüktif güce ihtiyaç vardır. Bu endüktif yük ise devreye paralel bağlanan bir reaktör ile sağlanır. Burada önemli olan reaktörün çekeceği  $Q_L$  yükünün kontrolüdür. Bu kontrol reaktörün uçlarına gelen gerilimin AA kıyıcısı ile kontrol edilmesiyle yapılabilir. Öncelikle  $Q_L$  yükünün  $\alpha$  ile değişimini belirlenmelidir.

### 3. KIYICI KONTROLLÜ REAKTÖRÜN MATEMATİKSEL MODELİ

Triac kontrollü reaktörün eşdeğer devresi ve  $\alpha=90^\circ$  için reaktör akım ve gerilimi Şekil 2' deki gibidir. Reaktör uçlarındaki gerilim kıyılmış sinüsoidal bir gerilimdir.



Şekil 2. a-Reaktörün eşdeğer devresi, b-  $\alpha=90^\circ$  için akım ve gerilim değişimi.

Şekil 2.b'deki gerilim uygulanan bir reaktör akımı ise;

$$i_L(t) = \frac{V_{\max}}{Z} \cdot \sin(\omega t - \phi) + I_o \cdot e^{-\frac{R_L}{L}t} \quad (1)$$

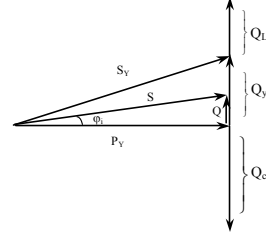
$$\left. \begin{aligned} I_o &= \left( -\frac{V_{\max}}{Z} \right) \cdot \sin(\alpha - \phi) \cdot e^{-\frac{R_L}{L} \frac{\alpha}{\omega}} \\ \beta &= \tan^{-1} \left( \sin(\alpha - \phi) \cdot e^{-\frac{R_L}{L} \frac{\alpha}{\omega}} \right) + \phi \\ \phi &= \tan^{-1} \left( \frac{\omega L_L}{R_L} \right) \\ Z &= \sqrt{X_L^2 + R_L^2} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Burada  $R_L$ ,  $X_L$ ,  $\phi$ ,  $\beta$  sırası ile reaktörün iç direnci, reaktansı, empedans açısı, akımın sönüm açısı  $\alpha$  ise tetikleme açısıdır. Reaktörün çektiği aktif güç (3) ve reaktif güç (4) ile hesaplanabilir.

$$P_L(\alpha) = \frac{1}{T} \int_0^T v_L(t) i_L(t) dt \quad (3)$$

$$Q_L(\alpha) = \frac{1}{T} \int_0^T v_L \left( t - \frac{T}{4} \right) i_L(t) dt \quad (4)$$

Bu sistemde devrede üç farklı reaktif güç mevcuttur. Bu yüklerin fazör diyagramı Şekil 3' te gösterilmiştir.



Şekil 3. Devrenin Fazör Diyagramı.

Fazör diyagramını kullanarak güç faktörünün istenilen değerde olması için gerekli  $Q_L$  gücü (5) ile hesaplanır.

$$Q_L = Q_C - Q_Y - Q \quad (5)$$

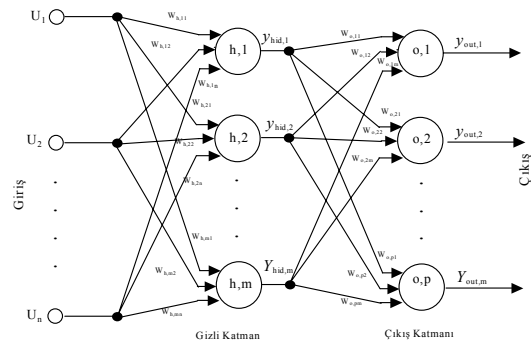
$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (6)$$

$$S = P / \cos \phi_i$$

denklem (6) da  $\cos \phi_i$  hedeflenen faz açısı,  $Q$  ise bu faz açısına karşılık düşen toplam reaktif güçtür. Triac tetikleme açısı  $\alpha$  ayarlanarak hesaplanan  $Q_L$  gücünü üretmek mümkündür.  $Q_L=f(\alpha)$  fonksiyonu lineer olmayan bir fonksiyondur ve bu gücü üretecek  $\alpha$  tetikleme açısı (4) den hızlı bir şekilde hesaplanmalıdır. Bu hesap oldukça zor ve vakit alıcıdır. Bu noktada yapılan çalışmada YSA'nın öğrenme ve bilgi depolama özelliğinden faydalanılmıştır.

### 4. YAPAY SİNİR AĞI' NIN TANIMI VE MATEMATİKSEL MODELİ

Literatürde birçok YSA yapısı önerilmiştir [8,9,10]. Bu yapılardan birisi ve en çok kullanılanı da İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı (İBYSA)'dır. YSA' lar sistem davranışını, sistemin giriş ve çıkış bilgileri kullanılarak öğrenebilen yapılardır. Genel bir İBYSA yapısı Şekil 4' te gösterilmiştir.



Şekil 4. Çok girişli, çok çıkışlı iki katmanlı İBYSA.

İleri beslemeli ağlarda giriş işaretleri ağ girişinden çıkışına doğru tek yönlü iletilir. Her bir katmandaki hücreler sadece bir önceki katmanın hücre çıkışlarıyla beslenir. Giriş katmanı ile çıkış katmanı arasında birçok gizli katman bulunabilir. Şekil 4' ten gizli ve çıkış katmanı denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\left. \begin{aligned} X_{hid,j} &= \sum_{i=1}^n W_{h,ji} \cdot U_i \\ y_{hid,j} &= f_i(X_{hid,j}) \end{aligned} \right\} j=1,2,..m \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} X_{out,k} &= \sum_{j=1}^m W_{o,kj} \cdot y_{hid,j} \\ y_{out,k} &= f_k(X_{out,k}) \end{aligned} \right\} k=1,2,..p \quad (8)$$

Öğrenme hatası  $e$  aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$e = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^r (y_{tar,kl} - Y_{out,kl})^2 \quad (9)$$

burada  $y_{tar,ji}$  çıkış katmanındaki  $j$ 'inci hücrenin  $i$ 'inci hedef çıkışı ve  $y_{out,ij}$  ise çıkış katmanındaki  $j$ 'inci hücrenin  $i$ 'inci gerçek çıkışı olarak tanımlanır. Bu hata ( $e$ ) ağırlıklar güncellenerek minimize edilmeye çalışılır. Hata istenilen değere düşüncüye kadar işleme devam edilir. Yeni ağırlıklar aşağıdaki şekilde güncellenir.

$$\begin{aligned} W_{o,kj}(t+1) &= W_{o,kj}(t) + \Delta W_{o,kj} \\ W_{h,ji}(t+1) &= W_{h,ji}(t) + \Delta W_{h,ji} \end{aligned} \quad (10)$$

$\Delta W_{o,kj}$  ve  $\Delta W_{h,ji}$  sırası ile çıkış ve gizli katmanındaki ağırlıklardaki değişme miktarıdır. Eğer aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonlar seçilmişse ( $\Delta W$ ) çıkış katmanı için (11), gizli katmanlar için (12) formülü ile hesaplanır.

$$\Delta W_{o,kj} = \eta \cdot (y_{tar,k} - y_{out,k}) \cdot (1 - y_{out,k}) \cdot y_{out,k} \cdot y_{hid,j} \quad (11)$$

$$\Delta W_{h,ji} = \eta \cdot \left( \sum_{k=1}^p \delta_{out,k} \cdot W_{o,kj} \right) \cdot (1 - y_{hid,j}) \cdot y_{hid,j} \cdot U_i \quad (12)$$

$$\delta_{out,k} = (y_{tar,k} - y_{out,k}) \cdot (1 - y_{out,k}) \cdot y_{out,k} \quad (13)$$

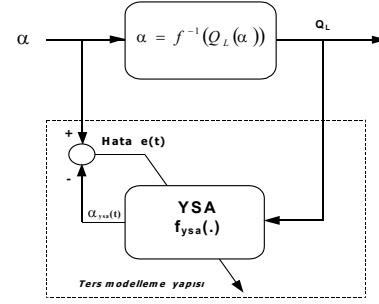
burada  $\eta$  öğrenme katsayısıdır. Toplam hata istenilen değere düşene kadar öğretim işlemine devam edilerek İBYSA'nın ağırlıkları güncellenir. İstenilen hata sınırına gelince öğrenme işlemine son verilir ve ağırlıklar kaydedilir.

## 5. YAPAY SİNİR AĞI İLE SİSTEMİN MODELLENMESİ

Denklem (4) her  $\alpha$  değeri için çözülüp denklem (14) kullanılarak 201 verili bir öğrenme seti oluşturulmuştur.

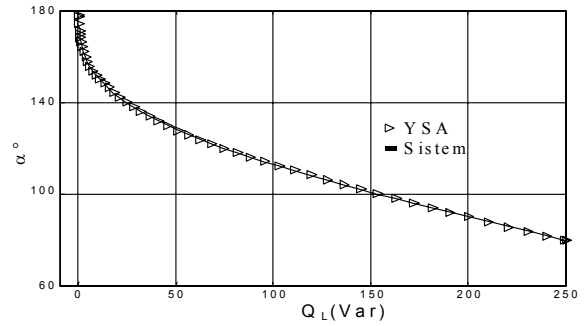
$$Q_{L,i} = f(\alpha_i) = f(80 + i \cdot 0.5) \quad i = 0,1,..,200 \quad (14)$$

Hazırlanan bu öğretim seti Şekil 5' deki yapı kullanılarak YSA ya öğretilir.



Şekil 5. Öğrenme yapısı.

YSA 1-4-1 yapısındadır ve tüm katmanlarda "sigmoid" fonksiyonu kullanılmıştır. Öğrenme algoritması olarak Levenberg-Marquardt geriye yayılım algoritması kullanılmıştır. 975 iterasyonda toplam karesel hata 7.67257e-006 değerine kadar öğretim işlemine devam edilmiştir. Öğrenme işlemi sonucu Şekil 6' daki gibidir.



Şekil 6. YSA öğrenme testi.

Öğrenme işleminden sonra YSA kontrolör olarak sisteme Şekil 1' deki gibi bağlanır. Ölçümler ve hesap sonucu bulunan  $Q_L$  değeri YSA girişine uygulanır ve çıkışında bu gücü verecek  $\alpha$  değeri belirlenir ve triac'a uygulanır. Bu işlem  $Q_L$  ihtiyacı belirlendikten sonra anında gerçekleştirilir. Dolayısıyla hiçbir zaman kaybı yoktur. Ancak devre elemanlarının özellikleri ve ölçüm hızı zamanı etkiler. Bu sebeple endüktif yüklerin çok hızlı değiştiği sistemlerde de kullanılabilir.

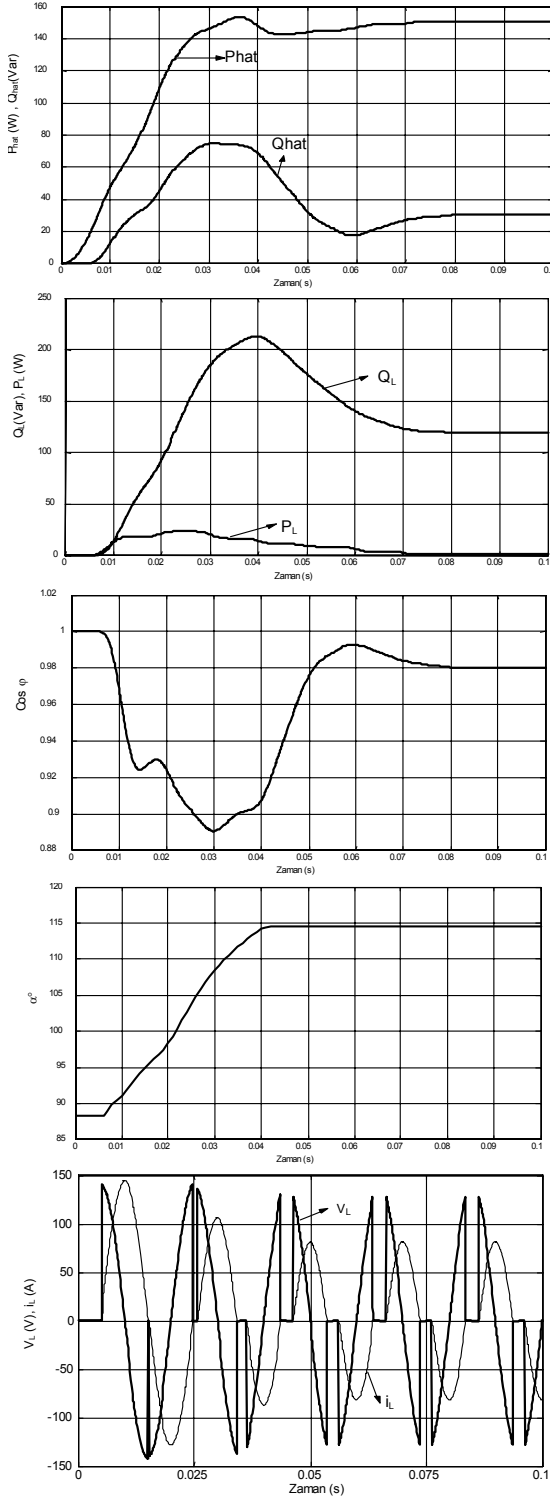
## 6. ÖNERİLEN KOMPANZASYON SİSTEMİNİN BENZETİMİ

Önerilen sistemin benzetimi MATLAB/Simulink paket programında yapılmıştır. Benzetim için Tablo 1' deki parametreler kullanılmıştır.

Tablo1. Sistem parametreleri.

Parametre	Değer	Parametre	Değer
$Q_{L,max}$	250 VAr	$\cos \phi_i$	0.98
$Q_c$	250 VAr	Q	30.46 Var
$Q_v$	100 Var	$Q_L$	119.54 Var
$P_y$	150 W	$V_{etk}$	100 V
$\cos \phi$	0.8321	f	50 Hz

Şekil 7' de ise benzetim sonuçları görülmektedir.



Şekil 7. Benzetim sonuçları.

Bu sonuçlardan YSA kontrolörün yaklaşık 70 ms ' de sistemin güç faktörünü istenilen değere ayarladığı görülmektedir. Şekil 7.a' da toplam aktif ve reaktif güçler görülmektedir. Burada 150 W aktif ve 30.46 Var reaktif güç görülmektedir. Buradaki reaktif güç istenilen 0.98 güç faktörüne karşılık düşen güçtür. Tamamen omik çalışma sağlanabilir

## 7. SONUÇ

Reaktif gücün hızlı değiştiği sistemlerde hassas ve hızlı kompanzasyon yapabilmek için kademeli kondansatör grupları yerine reaktif güçleri kontrol edilen sabit kondansatörlü sistemler kullanmak kompanzasyon işleminin hızı ve hassasiyetini artırır. Bu çalışmada triac kontrollü reaktör ile dengelenen sabit kondansatörlü kompanzasyon sisteminin kontrolünde önceden eğitilmiş YSA kullanılması ile sistem hassasiyeti ve hızı artırılmıştır. Sistem 70 ms içerisinde istenilen noktaya gelmektedir. YSA ölçüm sonucunu aldıktan sonra anında çıkış vermektedir fakat beklenen tepki reaktör zaman sabitinden dolayı gecikmektedir. Ayrıca YSA kullanılması ile hesaplamalar basitleştirilmiştir. Yapılan çalışmada AA kısıcısının sebep olduğu harmonikler analiz edilmemiş kullanılan sistemde harmonik filtrelerin var olduğu ve harmonikleri tamamen süzdüğü düşünülmüştür.

## KAYNAKLAR

- [1] El-Saady G., El-Sadek M., Abo-Elsaoud M., Fuzzy adaptivemodel reference approach-based power system static VAR stabi-lizer, Electric Power Syst. Res. 45 (1998) 1–11.
- [2] Ellithy K.A., Al-Alawi S.M., Tuning a static var compensator controller over a wide range of load models using an artificial neural network, Electric Power Syst. Res. 38 (1996).
- [3] Trainer R., Tennakoon B., Morrison E., Analysis of GTO-based Static VAR Compensators, IEE Proc.-Electr. Power Appl. Vol.141, No.6, 1994.
- [4] Nayebzadeh M., Haubrich H.-J., Povh D., Guth G., Dietel W., Applications of static var compensators in extended power systems, Cigre, Paris, September 1994.
- [5] Guk C. Cho. Gu H. Jung, N.S. Choi and G.H.Cho, "Analysis and Controller Design of Static Var Compensator Using Three- Level GTO Inverter", IEEE Tran. on Power Elec. ,Vol.11, No.1 , 1996.
- [6] Gyugyi L., Fundamentals of thyristor-controlled static VAR system, Symposium on Static VAR Systems, IEEE:PES, 1987 Winter Meeting.
- [7] Larsen E.V., Chow J.H., SVC control design concepts for system dynamic performance, Symposium on SVAR Systems, IEEE:PES, 1987.
- [8] ABULAFYA, N., Neural Networks for System Identification and Control , Ph.D. Thesis, Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London, 1995
- [9] AHMED, M.S. and TASADDUG, I.A., NN Controller for Nonlinear Plants: Design Approach Through Linearisation. IEE Proc. Control Theory and Appl., Vol.141, No.5, pp.315-322, 1994
- [10] FUKUDA, T., SHIBITA, T., Theory and Application of NN for Industrial Control System. IEEE Tra. Ind. Elc., Vol.39, No.6, pp.472-489. 1992