

Çok Fonksiyonlu Bir Elektronik Pülverizatörde İlaçlama İşleminin Optimal ve Bulanık Kontrolü

Mahit GÜNEŞ^{1*}, Selçuk ARSLAN², Ahmet Ertuğrul BAY¹

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Biyositem Mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye

ÖZET: Bu çalışmada tüm parçaları tasarlanan elektronik kontrollü bir pülverizatörün karışım tankının seviye kontrolü ve ilaç karışım oranı Doğrusal İkinci dereceden Düzenleyici (Lineer Quadratik Regülatör-LQR) metotları ve bulanık mantık kontrol teknikleri kullanılarak simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Karışım tankına alınan temiz su ve kimyasal ilaç sıvı oranları reçeteye bağlı kalarak karışım modeli türetilmiştir. Türetilen model üzerinde LQR kontrol metodu uygulanarak elde edilen sonuçlar bulanık kontrol sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: LQR, Bulanık Kontrol, Optimal Kontrol, Tank Seviyesi, Karışım Tankı.

Pesticide Control Of Multi-Functional Electronic Sprayer By Using Optimal And Fuzzy Controller

ABSTRACT: In this study, the control simulation of the tank level and pesticide mixing ratio of a newly constructed electronic sprayer was carried out using Linear Quadratic Regulator (LQR) and fuzzy control techniques. The mixture model is derived according to clean water and prescribed liquid chemical rates into the mix tank. The results obtained from LQR control utilizing derived model were compared with the result of fuzzy controller.

Keywords: LQR, Fuzzy Control, Optimal Control, Tank Level, Mixed Tank Level.

1. GİRİŞ

Ulusal gelirin %25'i tarım sektöründen karşılanan ülkemizde tarımsal mücadelede modern tarım makinalarının kullanımı da son derece önemlidir. Fonksiyonel makinelerin etkin kullanılması için iyi tasarlanmış kontrol sistemlerine ihtiyaç vardır. Bu vesile ile ülkemizde ve yurt dışında araç teknolojisi üzerine hizmet veren COBO TÜRK firması ile Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi bir araya gelerek Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının SANTAZ projeleri kapsamında optimum ilaçlama işlemlerinde kullanılmak üzere yeni nesil bir tam otomatik kontrollü bir pülverizatör geliştirilmiştir.

Günümüzde kontrol edilebilen sistemlerde birçok modern kontrol yöntemleri kullanılmaktadır. Kullanılacak kontrol yöntemleri ekonomik olması ve kontrol gereksinimlere en iyi cevap vermesi ilkelerine göre belirlenmektedir. Matematik modeli türetilen sistemlerde birçok modern kontrol teknikleri uygulanabilmektedir. Model türetilmesine ihtiyaç duyulmadan da bulanık kontrol gibi çeşitli kontrol teknikleri de kullanılabilir. Modern denetimli sistemlerin temeli, belirli bir kriter için klasik denetimli tasarım yöntemlerinin optimizasyonuna dayanmaktadır. Optimal kontrol sistemlerinde lineer optimal durum denetleyicisi ikinci dereceden maliyet fonksiyonunu minimize etmek üzere tasarlanır. Böylece denetleyici için optimal kontrol parametreleri bulunur [1-8].

Bu çalışmada elektronik kontrollü pülverizatörün içinde bulunan akışkan tankının seviye kontrolü için sistemin modeli türetilmiş ve sistemin transfer fonksiyonu elde edilmiştir. Tank karışımını ve seviyesini kontrol etmek amacıyla LQR ve bulanık mantık kontrol metotları kullanılmış Matlab/Simulink benzetim programı kullanılarak sonuçlar test edilmiş ve elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

2. SİSTEMİN YAPISI

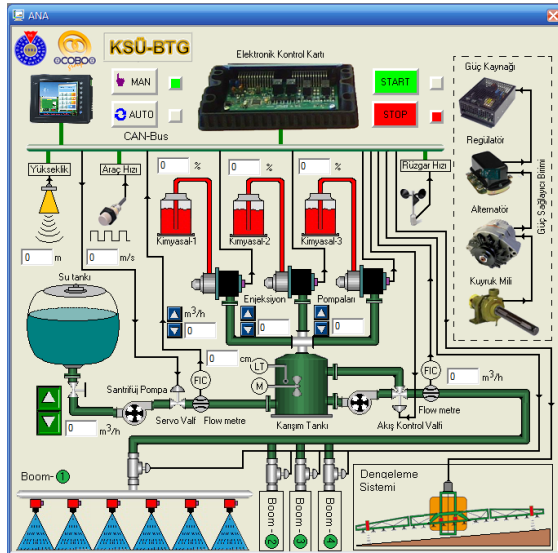
Tüm parçaları ayrı ayrı tasarlanan çekilir tip bir pülverizatörün kontrolü tamamen elektronik olup kullanıcı sadece dokunmatik operatör panelinden ilaç karışım miktarlarını ve dekar başına atılması gereken bilgileri girmektedir. Geleneksel pülverizatörlerden farklı olarak Ar-Ge niteliği taşıyan aşağıdaki sistemlerle donatılmış tamamen elektronik kontrollü yeni bir ürün ortaya çıkartılmıştır.

- Geliştirilen sisteme araç teknolojisinde standart olarak kullanılan CAN-BUS haberleşme altyapısı kullanılarak açılı, araç hızı, rüzgâr hızı ve ultrasonik mesafe algılayıcıları gibi tüm algılayıcılar yerleştirilmiş ve fonksiyonel hale getirilmiştir.
- Reçete bilgilerine göre karışım oranının hesaplayan karışım kontrolü yapılmıştır.

*Sorumlu Yazar: Mahit GÜNEŞ, mgunes@ksu.edu.tr

- Araç hızına bağımlı olarak dekar başına karşılık gelen ilaçlama miktarını ayarlayan debi kontrolü gerçekleştirilmektedir.
- Bom dengeleme ve engellerden sakınma kontrolü eklenmiştir.
- Karışım tankı seviye kontrolü gerçekleştirilmiştir.
- Tüm sistemi kontrol algoritmaları 16 bit gelişmiş çift çekirdekli mikrodenetleyici kartı kullanılarak ve haberleşme yazılımları sructure Text (ST) dili kullanılarak VT3 platformunda geliştirilmiştir.
- İlaç karışımları için 3 adet kimyasal tank sistemi tamamen yerli imkanlar kullanılarak ucuz maliyetli şekilde otomatik kontrol sistemi geliştirilmiştir.
- Aracın süpürdüğü alan ve araç hızı birleştirilerek atması gereken ilaç miktarının kontrolü gerçekleştirilmiştir.
- Sistemde debi kontrolü için hidrolik motor kullanılarak enerji ihtiyacı traktörden alınabilmektedir. Yine hidrolik güç kullanılarak 25 metreye kadar uzatılabilir bom sisteminin mekanik hareketleri kontrol edilebilmektedir.

Geliştirilen sistemin genel blok diyagramı Şekil-1'de, sistemin fotoğrafı ise Şekil-2'de verilmiştir.



Şekil-1. Sistemin genel blok diyagramı



Şekil-2. Geliştirilen sistem

3. KARIŞIM VE SEVİYE KONTROL MODELİ

Kullanılan tankın, taban alanı A ve yüksekliği h olan dikdörtgen prizma şeklindedir. Temiz su girişi, Kimyasal karışım girişi ve çıkış için oransal valfler bulunmaktadır. Girişler ve çıkışlar için kullanılan kontrol valfinin ayarı kontrolör tarafından istenilen su seviyesine göre yapılmaktadır.

$$\frac{d(\text{Biriken Miktar})}{dt} = \sum(\text{Giren Debi}) - \sum(\text{Çıkan debi}) \quad (1)$$

$$\frac{d(A\rho h)}{dt} = (\rho_w Q_w + \rho_p Q_p) - \rho_t Q_t \quad (2)$$

Karışım oranı sabit bir katsayı olup temiz su ile ilaç karışımından oluşmaktadır. Dolayısıyla, $Q_p = K_m Q_w$ şeklinde yazılabilir ve denklem 2 tekrar düzenlenirse denklem 3 elde edilir.

$$\frac{d(A\rho h)}{dt} = Q_w(\rho_w + \rho_p K_m) - \rho_t Q_t \quad (3)$$

Denklem-3, bir kütle dengesi olarak doğru, ama gerçekte çözüm için çıkış debisine sınıyının uyguladığı basınçta işleme katılır. Tank içerisindeki sıvı basıncı kapalı bir tank için:

$$P_1 = \rho g h \quad (4)$$

şeklinde ifade edilir. Eğer kapalı bir tank değil ve sıvıya açık hava basıncı etkiyorsa:

$$P_1 = P_a + \rho g h \quad (5)$$

P_1 = Zemindeki sıvı basıncı ;
 P_a = Açık hava basıncı
 ρ = akışkan yoğunluğu
 g = yer çekimi sabiti
 h = tank içindeki sıvının yüksekliği

Bernoulli denklemine göre bir tanktaki h yüksekliğindeki suyun a kesitli çıkış ağzından dışarı çıkan debi miktarı ise denklem 6'daki gibi yazılabilir.[3,6]

$$Q_t = C_d a \sqrt{2gh} \quad (6)$$

Sonuç olarak bir tank içerisindeki karışım su seviyesi değişimi denklem 7 ile ifade edilir.

$$\frac{dh}{dt} = \frac{Q_w(\rho_w + K_m \rho_p) - (1 - K_m)\rho_w + K_m \rho_p}{A} C_d a \sqrt{2gh} \quad (7)$$

C_d = Boşalma Katsayısı
 a = Çıkış Valfi çapı (m)
 g = Yer çekimi sabiti

Denklemden $\rho_w = \rho_p = \rho_t = 1$ kabul edilirse;

$$A \frac{dh}{dt} = Q_w(1 + K_m) - C_d a \sqrt{2gh} \quad (8)$$

$$A \frac{dh}{dt} = -C_d a \sqrt{2gh} + Q_w(1 + K_m) \quad (9)$$

Denklemler-9, birinci dereceden diferansiyel denklem olarak elde edilir. Elektronik Kontrollü Pülverizatörün karışım tankı seviyesini doğrusal olarak kontrol etmek için tanktaki sıvının normal çalışma seviyesinde durgun bir noktadaki çok küçük değişiklikleri göz önünde bulundurarak bu denklemi doğrusal hale getirilir.

$$H = H^0 + h \quad (10)$$

Burada H^0 çalışma seviyesi olup sabittir. h ise akışkan yüksekliğinin çok küçük değişimleridir. Dolayısı ile doğrusal hale getirilmiş yeni denklemimiz denklem-11'deki gibidir.

$$A \frac{dh}{dt} = -C_d a \sqrt{2gH^0} h + Q_w(1 + K_m) \quad (11)$$

$$R = C_d a \sqrt{2gH^0} \quad (12)$$

$$A \frac{dh}{dt} + \frac{h(t)}{R} = Q_w(1 + K_m) \quad (13)$$

$$\tau \frac{dh}{dt} + h(t) = Q_w(1 + K_m)R \quad (14)$$

Denklemler-14'te her iki tarafının Laplace dönüşümü alınırsa;

$$\tau s H(s) + h(0) + H(s) = R(1 + K_m)Q_w(s) \quad (15)$$

Burada $h(0) = 0$ alınırsa,

$$H(s)[\tau s + 1] = R(1 + K_m)Q_w(s) \quad (16)$$

Sistemin transfer fonksiyonu Denklem-17'de gösterildiği gibi elde edilir.

$$\frac{H(s)}{Q_w(s)} = \frac{R(1 + K_m)}{\tau s + 1} \quad (17)$$

R = Sistem Kazancı

$\tau = A.R$ = Zaman sabiti

$C_d = 0,68$, $a = 0,005 \text{ m}^2$, $g = 9,81 \text{ N/kg}$, $H^0 = 0,5 \text{ m}$ olmak üzere

$$R = \frac{1}{C_d a \sqrt{2gH^0}} = \frac{1}{0,68 \times 0,005 \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,5}} = 93,9045$$

$$\tau = A.R = 93,9045 \times 1,25 = 117,38$$

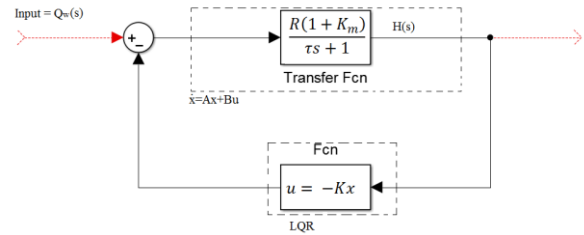
Karışım oranı ilaç reçetesine göre belirlenmekte olup bu çalışmada 800 mililitre suya göre 200 mililitre ilaç karışımı kabul edilmiş ve K_m karışım oranı 0.2 olarak alınmıştır. Sistemin Transfer Fonksiyonu ;

$$\frac{H(s)}{Q_w(s)} = \frac{93,9045(1+0,2)}{117,38s+1} ; \quad (18)$$

$$\frac{H(s)}{Q_w(s)} = \frac{112,68}{117,38s+1} \quad (19)$$

3.1. LQR Kontrolü

Kontrol edilecek sistemin genel blok diyagramı Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Sistemin LQR Kontrol Blok Diyagramı

Bir optimal kontrol problemi, performans kriteri veya maliyet fonksiyonunu en aza indiren optimum bir kontrolün bulunmasıdır. LQR denetimi, optimal denetim sistemleri olarak sınıflandırılmış tasarımlardır. Bu kontrol mühendisliği için önemli bir fonksiyondur.

Tasarımın amacı istenilen çalışma performansını sağlayacak olan pratik bileşenler ile bir sistemi gerçekleştirmektir. İstenilen performans zaman alanı, performans indisleri açısından ifade edilebilir. Örneğin, bir basamak giriş için maksimum aşım ve yükselme zamanı, zaman alanı indisleridir. Geçici ve sürekli durum performansı durumunda, performans indisleri normal olarak zaman alanında belirtilmektedir

LQR ikinci mertebeden bir performans indeksine sahip lineer bir sistem için optimal kontrolü sağlar. Sürekli-zaman sisteminde fonksiyonel bir denklem Eşitlik 21’de olduğu gibi tanımlanır [4,5].

$$f(x, t) = \min_u \int_{t_0}^{t_1} h(x, u) dt \quad (20)$$

$t_0 - t_1$ değerlerinde ki bu fonksiyonun ifadesi :

$$f(x, t_0) = f(x(0)), f(x, t_1) = 0 \quad (21)$$

olur. Hamilton- Jacobi Denklemi uygulanırsa

$$\frac{df}{dt} = \min_u \left[h(x, u) + \left(\frac{df}{dt} \right)^T g(x, u) \right] \quad (22)$$

Lineer zamanla değişmeyen bir sistemin denklemi

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (23)$$

şeklinde tanımlanır. Performans kriteri kuadratik olarak uygulanırsa 25’deki gösterilen şekilde tanımlanır.

$$J = \int_{t_0}^{t_1} h(x^T Qx + u^T Ru) dt \quad (24)$$

Bu ifadelerin sonucunda Hamilton-Jacobian eşitliği:

$$\frac{df}{dt} = - \min_u \left[x^T Qx + u^T Ru + \left(\frac{df}{dt} \right)^T (Ax + Bu) \right] \quad (25)$$

P matrisi simetrik ve kare matris olmak üzere

$$f(x, t) = x^T Px \quad (26)$$

şeklinde tanımlanırsa,

$$\frac{df}{dt} = x^T \frac{d}{dt} Px, \frac{df}{dx} = 2Px \text{ ve } \left[\frac{df}{dx} \right]^T = 2x^T P \quad (27)$$

İfadeleri sonucunda Hamilton-Jacobian eşitliği 29. denklemden tanımlanır.

$$x^T \frac{d}{dt} Px = - \min_u [x^T Qx + u^T Ru + 2x^T P(Ax + Bu)] \quad (28)$$

Burada u ifadesini minimize etmek için denklem-29 yazılır.

$$\frac{d[df/dt]}{du} = 2u^T R + 2x^T PB = 0 \quad (29)$$

Optimal kontrol yasasına göre $u_{opt} = -Kx$ şeklinde yazılır ve K ifadesinin değeri: $K = R^{-1}B^T P$ olur.

u_{opt} değeri H-J denkleminde yerine yazılırsa P matrisinin bulunması için aşağıdaki Riccati denklemi bulunur.

$$PA + A^T P + Q - PBR^{-1}B^T P = 0 \quad (30)$$

Q ve R matrisleri simetrik ve pozitif tanımlanabilen matrislerdir. Kuadratik form için Q matrisinin tamamının pozitif ve simetrik olma şartı söz konusudur. Q matrisinin köşegen seçilmesinin nedeni ise kuadratik kontrolde Q matrisinin her zaman simetrik bir Q matrisi ile değiştirilebilir olmasıdır. Bu matrisler ilk aşamada Bryson kuralına göre aşağıdaki gibi seçilir.

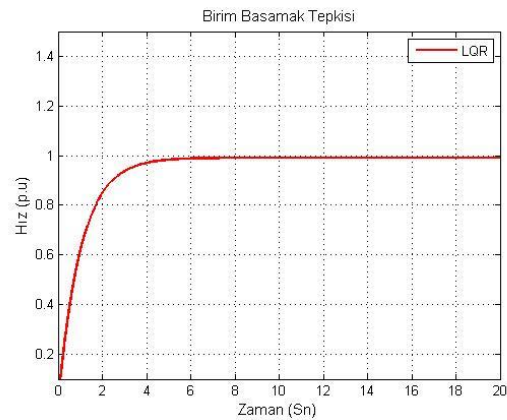
$$Q = \begin{bmatrix} q_1 & & & \\ & q_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & q_n \end{bmatrix}$$

$$R = \rho \begin{bmatrix} r_1 & & & \\ & r_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & r_n \end{bmatrix}$$

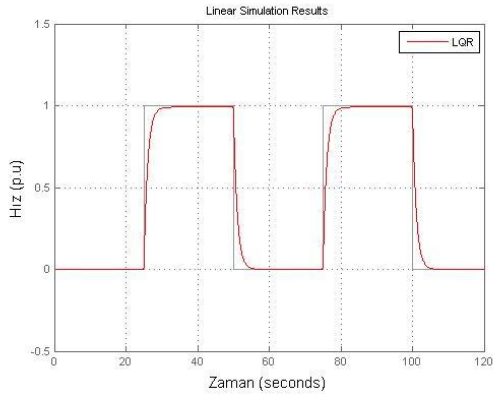
$$Q_u = \left[(t_f - t_0) \times \max(x_t(t_f))^2 \right]^{-1} \quad (31)$$

$$R_u = \left[(t_f - t_0) \times \max(u_t(t_f))^2 \right]^{-1} \quad (32)$$

Bryson kuralı bazı durumlarda iyi sonuç vermesine rağmen bu Q ve R matrisleri kapalı çevrim kontrol sistemlerinde deneme yanılma yoluyla tasarım mühendisleri tarafından seçilmektedir.



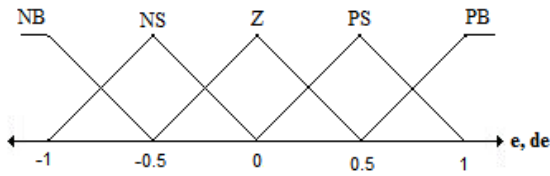
Şekil 4. LQR ile elde edilen sistem birim basamak tepki grafiği



Şekil 5. LQR Kontrolünde uygulanan kare dalga tepkisi

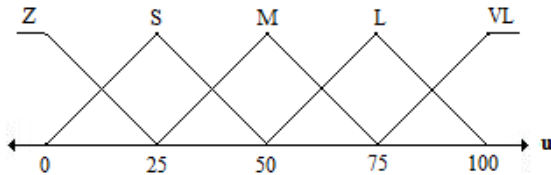
3.2. Bulanık Mantık Kontrolü

Bulanık mantığın temeli bulanık küme teorisine dayanır. Bulanık mantık klasik küme gösteriminin genişletilmesidir. Bulanık varlık kümesinde her bir varlığın üyelik derecesi vardır. Varlıkların üyelik derecesi, (0, 1) aralığında herhangi bir değer olabilir ve üyelik fonksiyonu $\mu_A(x)$ ile gösterilir. Kontrolde kullanılan giriş üyelik fonksiyonu hata ve hata değişim grafiği Şekil-6'da gösterilmiştir.



Şekil-6. Giriş üyelik fonksiyonu.

Yine kontrolde kullanılan çıkış üyelik fonksiyonu Şekil-7'de gösterilmiştir.



Şekil-7. Çıkış üyelik fonksiyonu

Aşağıdaki dilsel ifadeler kullanılarak Şekil-8de verilen kural tablosu kullanılmıştır.

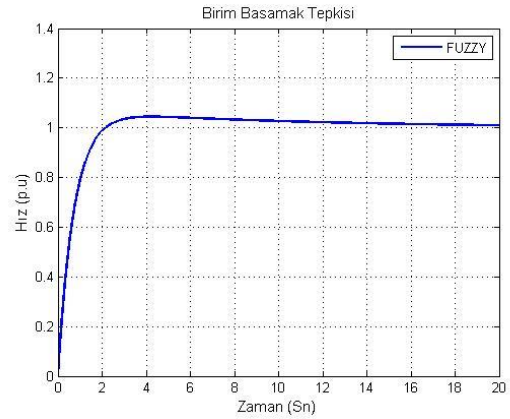
NB=Negative Big
NS=Negative Small
Z=Zero
PS=Positive Small
PB=Positive Big

de ^e	NB	NS	Z	PS	PB
NB	Z	Z	Z	S	S
NS	Z	S	S	M	M
Z	S	S	M	L	L
PS	M	M	L	L	VL
PB	L	L	VL	VL	VL

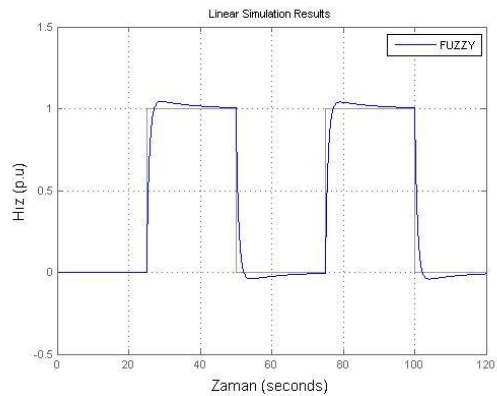
Şekil-8. Kural Tablosu.

Durulama işlemi, bulanık bilgilerin kesin sonuçlara dönüştürülmesi işlemidir. Durulama işleminde ağırlık merkezi yöntemi en yaygın kullanılan durulama yöntemidir.

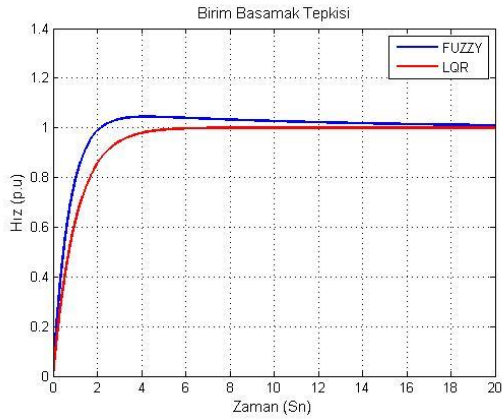
$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n u_i \mu_{out}(u_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_{out}(u_i)} \quad (33)$$



Şekil 9. Bulanık kontrol ile elde edilen sistem birim basamak tepki grafiği



Şekil 10. Bulanık Kontrolüne uygulanan kare dalga tepkisi



Şekil 11. Her iki kontrol sisteminin karşılaştırılması.

4. SONUÇLAR

Elektronik Kontrollü Pülverizatörün karışım tankındaki karışım oranları ile seviye kontrolü için LKR ve Bulanık kontrol işlemleri uygulanmıştır. Modeli türetilen karışım tank sistemi üzerinde Matlab/SIMULINK programı yardımı ile yapılan simülasyon sonuçlarına göre LKR kontrolünde aşım olmadığı gözlenmiş ve sistemin oturma zamanı 6 sn süresinde olmuştur. Bulanık kontrolde ise yaklaşık %5 aşım olmasına karşılık set değerine daha hızlı gelmekte ve oturma zamanı yaklaşık 15sn'dir. Bu sonuçlar ışığında bu çalışmada optimal kontrol yöntemlerinden olan LQR kontrolünün, Bulanık kontrol yöntemine göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

- [1]. Gunes Mahit, "Fuzzy and three-step control of refiner system to get stable freeness for recycled paper" Scientific Research and Essays Vol. 6(1), pp. 110-117, 4 January, 2011.
- [2]. Güneş M, Dogru N, "Fuzzy Control of Brushless Excitation System for Steam Turbo generators", IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 25, NO. 3, SEPTEMBER 2010.
- [3]. Keçecioglu F, Şekkeli M, Güneş M. Lineer Kuadratik Regülatör (LKR) ile Hidrolik Türbinin Optimal Kontrolü. TOK2013.
- [4]. Ö. Oral, L. Çetin ve E. Uyar, "A Novel Method on Selection of Q And R Matrices In The Theory Of Optimal Control" International Journal of Systems Control, Cilt.1, No:2, s: 84-92, 2010.
- [5]. <http://www.control-systems-principles.co.uk/whitepapers/coupled-tanks-systems.pdf> Access Time: 12/27/2013 1:21 PM.
- [6]. R.S. Burns, Advanced Control Engineering, Butterworth-Heinemann, 2001.

- [7]. http://mechatronics.poly.edu/Control_Lab/Water_Tank_Manual.pdf Access Date: 1/7/2014 12:11 PM.
- [8]. Özçalık, H.R., Kılıç, E., Yılmaz, Ş., Gani, A., "Bulanık Mantık Esaslı Sıvı Seviye Denetiminde Farklı Üyelik Fonksiyonlarının Denetim Performansına Etkisinin İncelenmesi", Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK2013, 26-28 Eylül 2013, Malatya, S.243-247.