

# GELİŞTİRİLMİŞ TABU ALGORİTMASI KULLANILARAK BULANIK DENETLEYİCİ ÜYELİK FONKSİYONLARININ BELİRLENMESİ

Aytekin BAĞIŞ

Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik Müh. Bölümü, 38039 Kayseri  
e-posta: bagis@erciyes.edu.tr

*Anahtar Sözcükler: Tabu Araştırma Algoritması, Bulanık Denetleyici, Üyelik Fonksiyonu*

## ABSTRACT

*This paper presents a new approach for the optimum determination of membership functions for a fuzzy logic controller based on the use of modified tabu search algorithm. To demonstrate the efficiency of the suggested approach, a specific control problem - operation of spillway gates of reservoirs during floods is selected. Simulation results showed that the proposed approach could be employed as a simple and effective optimization method for achieving optimum determination of membership functions.*

## 1.GİRİŞ

Bulanık mantık denetleyiciler (fuzzy logic controllers) uzman bilgi ve deneyimine dayalı sözel (linguistic) kuralların bir kümesi tarafından karakterize edilen zeki kontrol sistemleridir [1,2]. Kontrol altındaki sistemin matematiksel modelinin elde edilemediği, modele ait parametrelerden bazılarının zamana göre doğrusal olmayan biçimde değiştiği ya da klasik yöntemlerle sürecin kontrolünün mümkün olmadığı durumlarda bulanık mantığa dayalı denetim yöntemi en uygun kontrol yöntemi olarak uygulanabilmektedir.

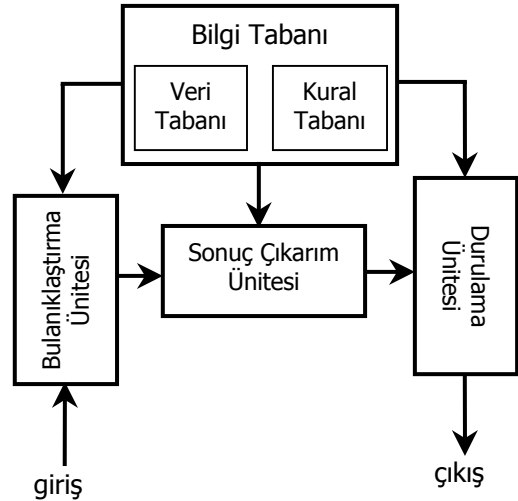
Bir bulanık denetleyici tasarımındaki temel zorluk, uygun kural yapısının oluşturulmasında ortaya çıkar. Kural yapısını meydana getiren en uygun üyelik fonksiyonlarının (membership functions) belirlenmesi, denetleyicinin nihai performansını önemli ölçüde etkiler [3]. Bu nedenle, bulanık denetleyiciden en iyi performansın elde edilebilmesi için bulanık üyelik fonksiyonlarının en uygun formda belirlenmesi gerekir. Bu amaçla, üyelik fonksiyonlarının elde edilmesinde etkili optimizasyon yöntemlerinin kullanılması önemli bir alternatif olarak düşünülebilir. Bu yöntemlerden biri olan tabu araştırma (tabu search) algoritması, hızlı ve etkili bir optimizasyon tekniğidir.

Bu çalışmada, üyelik fonksiyonlarının optimum şekilde belirlenmesi amacıyla geliştirilmiş (modified) tabu araştırma (GTA) algoritmasına dayalı basit ve etkili bir yöntem incelenmiştir. Bu yöntem, bulanık mantık denetime dayalı baraj haznesi işletim sistemine (reservoir operating system) uygulanmıştır. Bu amaçla yapılan çalışmada, Adana Çatalan Barajı dikkate alınmıştır. Bulanık denetim sisteminden elde edilen

sonuçlar klasik kontrol yöntemlerine ait sonuçlarla karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

## 2. BULANIK DENETLEYİCİ VE TABU ARAŞTIRMA ALGORİTMASI

Bulanık mantık denetleyiciler, dört temel yapıdan meydana gelirler [1]: Bulanıklaştırma (fuzzification) ünitesi, veri (data) ve kural (rule) tabanından oluşan bilgi tabanı (knowledge base), sonuç çıkarım ünitesi (inference mechanism) ve durulama (defuzzification) ünitesi (Şekil 1). Bulanıklaştırma ünitesi, ölçülen bilgiyi bulanık değerler biçimine dönüştürür. Kural tabanı kontrol altındaki sistemden yararlanılarak ortaya konulan bulanık kuralları, veri tabanı ise üyelik fonksiyonları ve operatörler için kullanılan tüm tanımlamaları içerir. Kural tabanında bulunan kurallar kullanılarak bir girişe karşılık denetleyici çıkışının nasıl olması gerektiği sonuç çıkarım ünitesi tarafından belirlenir. Çıkış değeri denetlenen sistemin algılayabileceği değerlere durulama ünitesi tarafından dönüştürülür.



Şekil 1. Bulanık Mantık Denetleyici

Tabu araştırma algoritması, zor optimizasyon problemlerinin çözümü için ortaya konulmuş olan iteratif bir optimizasyon yöntemidir (Tablo 1) [2,3]. Yöntemin esası bir çeşit komşuluk (neighbourhood) araştırma mekanizmasına dayalıdır. Bir çözümün komşuluğu, bu çözümden bir hareket (move) tarzıyla

elde edilebilecek olan tüm olası çözümlerin kümesini ifade eder. Böylece mevcut çözümün bulunduğu araştırma bölgesi etrafında yeni ve daha iyi çözümlerin elde edilebilmesi için sistematik bir incelemeye imkan sağlar.

Algoritmanın en önemli özelliklerinden biri, benzer çözümlerin tekrarlı şekilde yeniden incelenmesini önlemek üzere oluşturulan bir tabu listesine (tabu list) sahip olmasıdır. Belirli kriterleri sağlamayan ve diğerlerine göre kalitesi düşük olan çözümler bu liste içine dahil edilir ve araştırmanın yeniden bu çözümler üzerine yönelmesi engellenmiş olur. Tabu listesinin kullanımı sayesinde algoritma, aynı kalitesiz çözümleri yeniden değerlendirmeye almayacağından, önemli bir zaman kazanımı sağlar.

Tablo 1. Temel Tabu Araştırma Algoritması

- (1) Başlangıç çözümü üret
- (2) Komşu çözümleri üret ve değerlendir
- (3) En iyi çözümü belirle
- (4) Sonlandırma kriteri sağlanmadıysa tabu listesini güncelle ve Adım (2)'ye git
- (5) Nihai çözümü belirle

Tabu listesine dahil edilecek olan çözümlerin belirlenmesi bazı tabu şartlarına (tabu conditions) göre yapılır [2]. Bu şartlar iki önemli faktöre dayalıdır. Bunlar, yakınlık hafızası (recency memory) ve sıklık hafızasıdır (frequency memory). Yakınlık ve sıklık hafızaları sırasıyla bir çözümün en son ne zaman ve hangi sıklıkla denendiğine ilişkin bilgileri saklarlar. Bu bilgiler, problemin yapısına göre oluşturulan bazı şartlar doğrultusunda değerlendirilir ve ilgili çözümün tabu listesine alınıp alınmayacağına karar verilir. Böylece, kullanılan hafıza kriterleri yardımıyla, araştırma sırasında çözüm vektörüne ait elemanların belirli bir disipline bağlı olarak değişim göstermeleri sağlanır. Bu çalışmada, çözüm vektörünün n. elemanı için iki tabu şartı dikkate alınmıştır. Bunlar;

- (1) yakınlık(n) < y.K
- (2) sıklık(n) > s.S<sub>ort</sub>

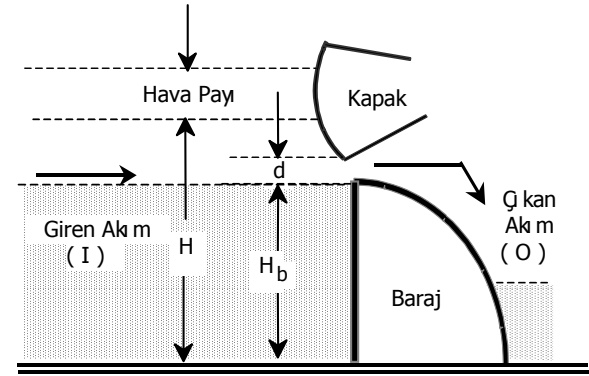
şeklinde. Burada y ve s, sırasıyla yakınlık ve sıklık faktörleri, K çözüm vektöründeki eleman sayısı, S<sub>ort</sub> sıklık tabanlı hafızanın ortalama değeri. Verilen bu şartlara göre, çözüm vektöründeki bir eleman bu şartlardan birini sağladığında tabu olarak değerlendirilir ve tabu listesine dahil edilir.

### 3. ALGORİTMANIN BARAJ HAZNESİ İŞLETİM PROBLEMİNE UYGULANMASI

Bu bölümde, tabu araştırma algoritmasının etkinliğini göstermek için doğrusal olmayan bir kontrol problemi olan baraj haznesi işletimi problemi dikkate alınmıştır. Ele alınan sistemin kontrol mekanizmasında, üyelik fonksiyonları GTA algoritması tarafından belirlenen bir bulanık denetleyici kullanılmıştır. Algoritmanın performansı, komşuluk yapısındaki yeni düzenleme ile önemli ölçüde artırılmıştır.

### 3.1. Kontrol Edilen Sistem

Baraj haznesi işletim sistemi, bir barajda toplanan suyun tahliye miktarını ayarlamak için baraj kapaklarını idare eden bir kontrol sistemidir [4-6]. İklim şartlarının doğrusal olmayan bir davranış sergilemesi, baraj haznesine giren su miktarının tam olarak tahmin edilememesi, kontrol edilen sisteme ilişkin tam doğru bir modelin ortaya konulamamasından dolayı, baraj haznesi işletim problemi doğrusal olmayan nitelikte karmaşık bir kontrol problemidir. Bu sistemin en önemli görevi, tüm iklim koşullarında kapak açıklıklarını ayarlayarak baraj haznesindeki suyun seviyesini belirli sınır değerler arasında tutmaktır. Kontrol edilen sisteme ait temel değişkenler Şekil 2'de gösterilmiştir [4,5]. Bu şekilde, I baraj haznesine giren akım değeri (m<sup>3</sup>/sn), O tahliye edilen akım değeri (m<sup>3</sup>/sn), H<sub>b</sub> minimum su seviyesi (m), H su seviyesi (m) ve d kontrol edilen kapak açıklığıdır (m).



Şekil 2. Temel Baraj Haznesi Yapısı

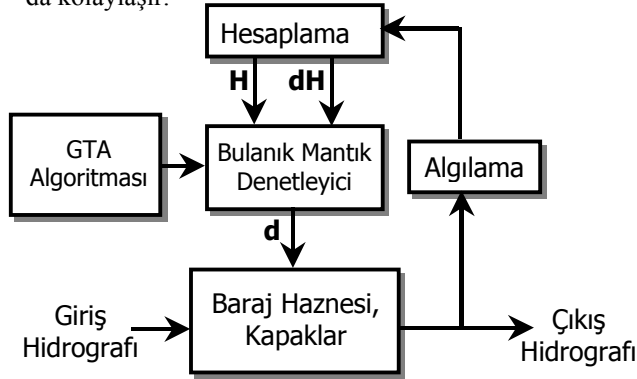
Bu çalışmada Adana Çatalan Barajı'na ait gerçek akış verileri dikkate alınmıştır [5,6]. Baraj haznesine ait alt ve üst su seviyesi sınır değerleri sırasıyla 118.6m (H<sub>b</sub>) ve 127m olarak belirlenmiştir.

### 3.2. Bulanık Denetleyici Yapısı ve Tabu Algoritmasının Probleme Uygulanması

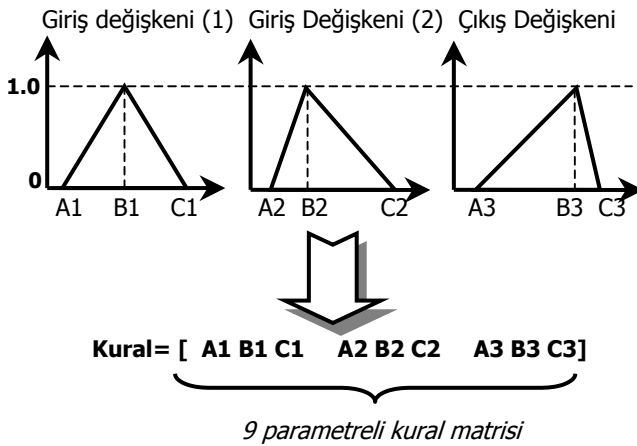
Dikkate alınan problem için önerilen bulanık denetleme sistemi Şekil 3'de verilmiştir. Bulanık denetleyicinin giriş değişkenleri, baraj haznesi su seviyesi (H) ve bu seviyenin zamana bağlı değişimi (dH) olarak alınmıştır. Baraja ait kapak açıklığı (d) ise bulanık denetleyici tarafından kontrol edilen çıkış değişkenidir.

H, dH ve d değişkenleri için normalizasyon aralıkları sırasıyla [118, 127], [-1, 1] ve [0, 12] olarak seçilmiştir. Problemin yapısı dikkate alınarak ve uzman bilgi ve deneyimleri kullanılarak çalışmada üçgen biçimli üyelik fonksiyonları ve 3 kuraldan oluşan bir kural yapısı kullanılmıştır. Başlangıçta gelişigüzel seçilen üyelik fonksiyonları GTA algoritması kullanılarak işletim sistemi amaçları doğrultusunda optimize edilmiştir. Bulanık mantık denetleyiciye ait üyelik fonksiyonları [0, 1] aralığında yer alan 3 sayısal değer ile ifade edilmiştir (Şekil 4). Bu değerler üyelik

fonksiyonunun söylev evrenindeki (universe of discourse) konumunu tanımlar. Bu tip bir tanımlama, üyelik fonksiyonlarının simetrik yapıda olmamasını ve böylece araştırma bölgesinin tamamının incelenmesini sağlar. Ayrıca kuralların oluşturulması ve anlaşılması da kolaylaşır.



Şekil 3. Önerilen Zeki Kontrol Sistemi



Şekil 4. Üyelik Fonksiyonu ve Kural Yapısının Tanımlanması

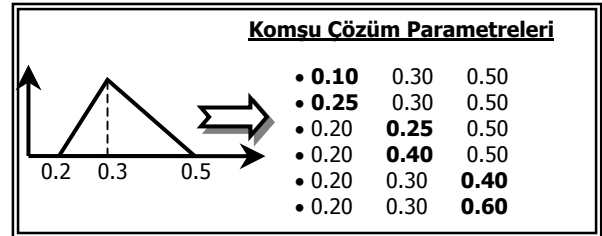
Şekil 4'de verilen tanımlamaya göre her bir kural [(giriş sayısı + çıkış sayısı) x 3] adet parametreden oluşur. Böylece, bir kural kümesinin tanımlanması için kullanılması gereken toplam parametre sayısı [kural sayısı x (giriş sayısı+çıkış sayısı) x 3] olacaktır. Bu çalışmada iki giriş (H,dH) ve bir çıkış değişkeni (d) kullanıldığından, her bir bulanık kural 9 adet parametre ile tanımlanmıştır. Bu durumda, 3 farklı kural için 27 adet parametre kullanılmıştır. Bu değer aynı zamanda, algoritmanın kullandığı tabu listesinin büyüklüğünü de yansıtmaktadır.

Bulanık mantık denetleyici tasarımında, GTA algoritması tarafından iki temel faktör dikkate alınmıştır: Çıkış hidrografına ait maksimum çıkış değerleri ve bu değerlerin zamana göre değişimi. Optimizasyon işlemi sırasında algoritma bu iki faktörü aşağıdaki değerlendirme fonksiyonunu kullanarak minimize etmeye çalışır:

$$E = (1/N) \left( \sum_{t=0}^N \{O(t+1) + \exp(|O(t+1) - O(t)|)\} \right) \quad (1)$$

Burada, N örnek sayısı, t zaman ve O ise çıkış hidrografına ait maksimum çıkış değerleridir.

GTA algoritmasındaki temel değişiklik komşuluk yapısında yapılmıştır. Bu yapının temel gösterimi Şekil 5'de verilmiştir. Klasik tabu araştırma algoritmasında ikili bit dizileri tarafından ortaya konulan tüm gelişigüzel çözümler tek tek denenir ve en iyi çözüm belirlenmeye çalışılır. Bu durum, araştırma bölgesinin gereğinden fazla genişlemesini sağlar ve üretilen komşu çözümlerin değerlendirilmesi için harcanan süreyi artırır. GTA algoritmasında ise tüm komşu çözümler üyelik fonksiyonlarını tanımlayan parametreler civarında üretilir. Bu sistematik komşuluk üretim mekanizması kullanılarak optimizasyon süresinin azaltılması ve algoritma performansının önemli ölçüde artırılması mümkün olur.

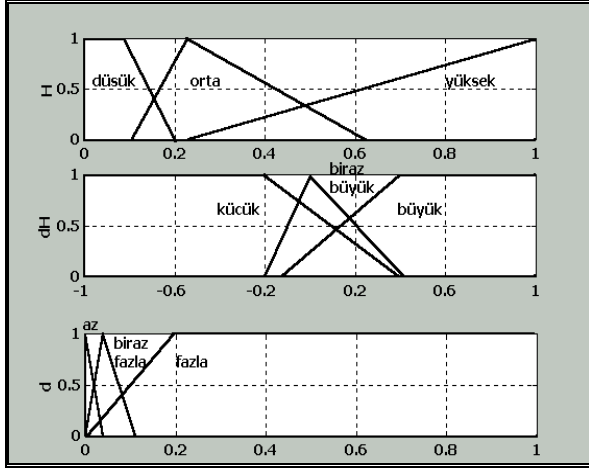


Şekil 5. GTA Algoritmasının Komşuluk Yapısı

GTA algoritmasına ait diğer kontrol parametreleri olan,  $\gamma$ ,  $s$  ve iterasyon sayısı sırasıyla 0.20, 2.0 ve 250 olarak belirlenmiştir. GTA algoritması kullanılarak belirlenen üyelik fonksiyonları ve kural yapısı Şekil 6 ve Tablo 2'de sunulmuştur. Yapılan çalışmada, Mamdani'nin sonuç çıkarım yöntemi ve alan merkezi (center of area) durulama tekniği uygulanmıştır. Farklı kontrol yöntemlerine ait benzetim çalışması sonuçları Şekil 7'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu kontrol yaklaşımları, manuel kontrol (beş-kademeli işletim yöntemi), [6]'da tanımlanmış on-kademeli kontrol yöntemi ve bu çalışmada sunulan bulanık kontrol yöntemidir.

Benzetim çalışmasına göre, GTA algoritması kullanılarak optimize edilen bulanık denetleme yöntemi klasik yöntemlere göre daha arzu edilir sonuçlara sahiptir. Çıkış hidrografına ait en düşük değerlere ulaşılması (Şekil 7a), ani değişimlerin tamamen ortadan kaldırılması (Şekil 7a), baraj haznesi su seviyesinin istenilen sınırlar içinde başarılı şekilde tutulması (Şekil 7b) ve bu seviyenin diğer yöntemlere göre daha kısa sürede minimum değere (118.6m) çekilmesi, maksimum kapak açıklığının en düşük seviyede tutulmuş olması (Şekil 7c), GTA algoritmasına dayalı bulanık denetleme yönteminin en belirgin özellikleridir. Bu özellikler, bulanık denetleyici tasarımında GTA algoritması

kullanılmasının sağladığı avantajları açıkça ortaya koymaktadır.



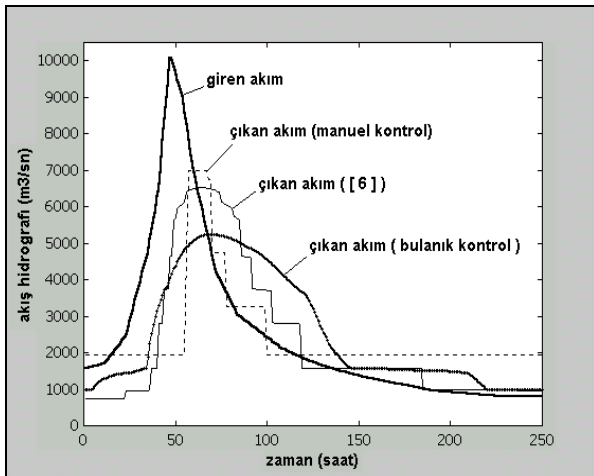
Şekil 6. Optimize Edilen Üyelik Fonksiyonları

Tablo 2. Bulanık Kural Yapısı

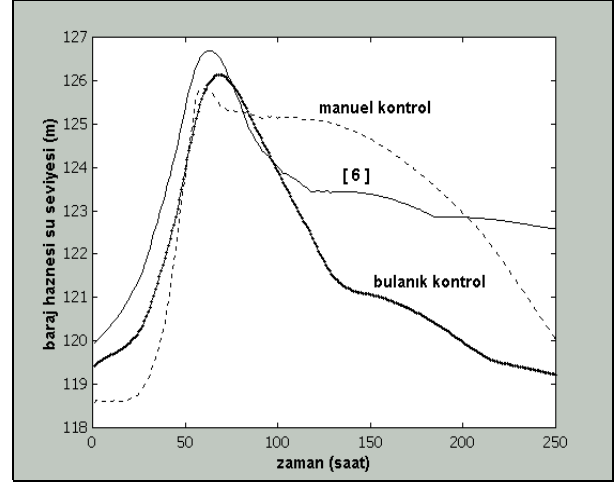
EĞER H düşük VE dH büyük İSE d az  
EĞER H orta VE dH biraz büyük İSE d biraz fazla  
EĞER H yüksek VE dH küçük İSE d fazla

#### 4. SONUÇ

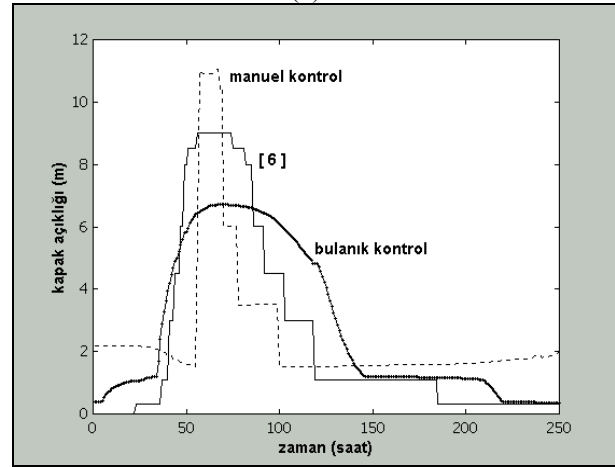
Bu çalışmada, GTA algoritması kullanımına dayalı olarak bulanık kural yapısındaki üyelik fonksiyonlarının optimum şekilde belirlenmesi için yeni bir yöntem sunulmuştur. Güncel bir kontrol problemi dikkate alınarak yapılan uygulamada, sunulan yöntemin etkili şekilde çalıştığı ve optimize edilen bulanık denetleyici ile kontrol altındaki sistemin dinamik cevabı arasında sistematik bir ilişki sağlayabildiği görülmüştür. Başlangıç çözümü, tabu koşulları, durdurma kriteri gibi parametreler ayarlanarak GTA algoritmasının performansı artırılabilir ve sistemin dinamik davranışı da önemli ölçüde geliştirilebilir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 7. Farklı Kontrol Yöntemlerine Ait Performans Eğrileri

#### KAYNAKLAR

- [1] T.J. Ross, Fuzzy logic with engineering applications, McGraw-Hill, 1995.
- [2] D.T. Pham, and D. Karaboga, Intelligent optimization techniques: genetic algorithms, tabu search, simulated annealing and neural networks, Springer-Verlag, 2000.
- [3] A. Bagis, and O.G. Saracoglu, Determination of fuzzy logic controller membership functions using tabu search algorithm: an application to fiber optic sensor, Second Int. Conf. on Electrical and Electronics Engineering (2001), Turkey, 271-275.
- [4] S.L. Udall, Design of small dams, United States department of the interior, Bureau of Reclamation, Washington, 1961.
- [5] A. Bagis, D. Karaboga, and T. Haktanir, A new method for reservoir control of dams, Second Int. Conf. on Electrical and Electronics Engineering (2001), Turkey, 327-331.
- [6] T. Haktanir, and O. Kisi, Ten-stage discrete flood routing for dams having gated spill-ways, Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, 6(1) (2001), 86-90.