

BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA VE SU HAVZASINDA BİR UYGULAMA

Dr. Ceren ERDİN

*YTÜ İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
İşletme Bölümü*

ÖZET

Hızlı nüfus artışı, plansız yerleşim, doğanın ve su havzalarının tahribi, son zamanlarda yaşanan küresel iklim değişikliklerinin yarattığı olumsuzluklar, insan sağlığına uygun su bulma sorunlarını ağırlaştırmaktadır. Bu nedenlerle ülkemizde ve dünyada su kaynaklarının işletilmesi problemlerine yönelik araştırmalar büyük önem taşımaktadır.

Su kaynaklarının işletilmesi bir karar verme problemi olarak kabul edilirse, sorun çok sayıda karar verme değişkeniyle tammlanabilir. Bir havzadan elde edilecek insan sağlığına uygun içme suyunun miktarı ve kalitesi havzanın bitki örtüsü ve topografik yapısı ile doğrudan ilgilidir.

Bu araştırmada içme suyu üretimi için korunan doğal bir havzanın toprak örtüsüne müdahale edilmesi durumunda su kalitesi parametrelerindeki değişikliklerin, bulanık hedef programlama tekniklerinden "üçgensel üyelik fonksiyonlarıyla Chen yaklaşımı" kullanılarak değerlendirilmesi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık hedef, üçgensel üyelik fonksiyonları, Chen yaklaşımı, su kalitesi

ABSTRACT

Rapid population growth, unplanned settlements, destruction of nature and water basins, and negative impacts of global climate changes are among the factors that aggravate the problem of finding sources of water favorable for human health. Hence, the research directed at problems regarding the administration of water resources gains greater importance throughout the world and in our country.

If water administration is considered as a decision-making problem, it can be defined by multiple decision-making variables. The quantity and quality of favorable water to be obtained in a basin are directly related to the basin's flora and topography.

In this study, "Chen approach with triangular membership functions", a technique of fuzzy goal programming, is used to evaluate the changes in parameters of water quality obtained in a sheltered basin when its natural soil has been modified.

Keywords: Fuzzy goal, triangular membership functions, Chen approach, water quality

GİRİŞ

İnsanların doğal kaynakları bilinçsiz olarak kullanmasıyla doğal dengeleri bozması sonucunda çok önemli çevre sorunları ortaya çıkmıştır. Açlık, susuzluk, canlı türlerinin yok olması, bitki örtüsü ve toprağın tahrip edilmesi, küresel ısınma ve iklim değişimi, ozon tabakasının incelmeye, çevre kirlenmesi gibi süreçler bu sorunların başlıcalarıdır.

Söz konusu sorunlar birden bire ortaya çıkmamış, insanların yaşam koşullarını iyileştirme çabaları ile giderek artmıştır. 200 bin yıldan beri devam eden insanlık tarihi, birçok evrim aşamalarından geçmiştir. Avcılık, göçebe toplum ve bunu takip eden yerleşik tarım dönemi, sanayi ve kültür devrimleri bunların başlıcalarıdır. Toplumların yaşam düzenlerini temelinden değiştiren ve birbirlerinden çok farklı olan bu aşamaların bir tek ortak noktası vardır. Bu ortak nokta; insanoğlunun doğayı tahrip eden tutum ve davranışlarının sürekliliğidir (Çepel ve Ergün, 2007:1).

Dünya Bankası'nın 2003 yılı raporunda önümüzdeki 50 yıl içinde kalkınmanın sürdürülebilir olabilmesi için ülkelerin, kalkınma stratejilerini oluştururken dikkate almaları gereken temel konulara yer verilmektedir. Raporunda altı çizilen konular:

- Aşırı yoksulluk ortadan kaldırılmalıdır.
- Gelir dağılımındaki eşitsizlikler azaltılmalıdır.
- Hava kirliliği, gelişmekte olan ülkelerin pek çok şehrinde sağlıksız boyutlara ulaştığından çözüm önerileri geliştirilmelidir.
- Giderek artan bir problem olan içme suyu kıtlığı için öneriler geliştirilmelidir.

Küresel ölçekte tükenmeyen doğal kaynaklar grubu içinde sayılabilen su, bölgesel olarak veya kalite yönünden sonlu bir kaynak durumundadır. Dünya yüzölçümünün dörtte üçünü oluşturan suyun, yaşam için önemli olan kullanılabilir tatlı su miktarı çok sınırlıdır. Ayrıca, coğrafi koşullara ve iklim koşullarına bağlı olarak

tatlı su kaynaklarının yeryüzündeki dağılımı da dengeli değildir (Avcı ve Yanık, 1997: 7).

Yirminci yüzyıl başlarına kadar yaklaşık 1 milyar insan tarafından paylaşılan, miktarı sabit bu tatlı su kaynakları, dünya nüfusundaki ve dolayısıyla su talebindeki hızlı artış ve aşırı kirlenmeler sonucu ihtiyaca cevap veremez hale gelmiştir.

Canlı organizmaları oluşturan hücrelerin yaşamaları ve faaliyetlerini sürdürebilmeleri ancak su ile mümkündür. Sağlıklı bir hayat için insana en gerekli maddelerden birinin, temiz ve yeterli miktarda su olduğu tartışmasız bir gerçektir.

İçme ve kullanma sularında meydana gelen kimyasal ve bakteriyolojik kirlilikler büyük insan kitlelerini sağlık açısından olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle su kalitesinin sürekli denetim altında bulundurulması gerekir.

Su havzalarının insanların su gereksinimini karşılayacak amaçlar doğrultusunda geliştirilmesi ve bugünün gereklerini karşılamanın yanı sıra kaynakların yitirilmeden gelecek kuşakların kullanımına sunulabilmesi için korunması zorunludur.

Ormanlık havzalar, tüm ülkelerde içme ve kullanma suyu sağlanmasında önemli yer tutmaktadır. Türkiye'de kullanılabilir yüzeysel akışın en az $\frac{1}{2}$ si, ülkenin yaklaşık $\frac{1}{4}$ ünü kaplayan orman alanlarından gelmektedir (Görcelioğlu, 1995:7).

Ormanın, su kalitesi, miktarı ve rejimi üzerine etkisini ölçmek üzerine yapılan araştırmalarda, ormanlık alanların, çevresindeki diğer alanlara oranla %15-%50 daha fazla yağış aldığı saptanmıştır. Ormanlar, aldığı yağışın %44'ünü kullanılabilir dere akışı, yani su ürünü haline getirirken, orman dışındaki alanlarda bu oran %14 olarak belirlenmiştir (Çepel, 1986:25).

İçilebilir suyun, yani insan sağlığına uygun suyun elde edildiği doğal su havzaları bir su işletmesi niteliğinde yönetilirler. Böyle bir işletmede su kalitesi parametreleri doğal koşullarda oluşur. Ancak, havzadan alınacak suyun miktarı ve kalitesi konusunda bir dizi belirsizlik vardır. Bu belirsizliklerin yanı sıra

doğal koşullara insan müdahalesi ile söz konusu parametrelerde ne gibi değişiklikler olduğu ve bu değişikliklerin su kalitesinden beklentileri nasıl etkilediği gibi soruların yanıtları, ancak bulanık hedef programlama çözümleri ile verilebilir.

Her türlü işletme yönetiminde amaçların sağlanması ve hedeflere ulaşılmasında bulanık hedef programlama çalışmalarının çok önemli olduğu bir gerçektir. Teorik olarak böyle bir konuda araştırma yapmak için işletmenin üretim ve çalışma yöntemine ait temel verilere gereksinim duyulur. Verilerin sağlanması ve değerlendirilmesinde karar verici ile bilgi iletişimi içinde olmak, değerlendirmenin sonucunu doğrudan etkileyebilir. Bu nedenle araştırma hangi alanda olursa olsun işletmede gerçekleştirilen üretimin ve karar vericinin talep ve beklentilerinin çok iyi bilinmesi ve anlaşılması gerekir.

Belirsizlikleri çözümlenmeye yönelik bulanık hedef programlamaya; bulanık kümelerin optimizasyon problemlerine uygulanmasıyla ulaşılmaktadır. Bulanık hedef programlama tekniğinin en belirleyici özelliği; hedef değerlerinin bir kesinlik taşımamasıdır. Bulanık hedef programlamanın temelini "bulanık karar", "optimal karar" "bulanık hedef" oluşturur. Bulanık hedef programlamanın çözümüyle elde edilecek olan alternatifler uzaydaki bulanık küme, bulanık karar kümesi olarak tanımlanır. Bulanık karar kümesi, her bulanık küme gibi bir üyelik fonksiyonu ile ifade edilir. Alternatif çözümler ise üyelik fonksiyonu yardımı ile bulanık kısıtları ve hedefleri sağlamadaki başarılarına göre sıralanmaktadır.

Bulanık hedef programlamanın belirsiz ortamlarda hızlı ve doğru karar vermeye nasıl etki ettiğini somutlaştırmak amacıyla yapılan bu araştırma, bir su işletmesinde ve su kalitesi üzerinde etkili olan akım karakteristikleri ile bazı kimyasal – fiziksel su kalitesi parametreleri ölçümlerine dayalı olarak gerçekleştirilmiştir.

I. METOT

A. UYGULAMA ALANI

Bu çalışmada kullanılan uygulama verileri, İ.Ü. Orman Fakültesi Havza Amcınajmanı Anabilim Dalı öğretim üyeleri tarafından 1976

yılında planlanan ve halen devam eden deneme havzaları proje çalışmalarının bir bölümüne aittir. Deneme havzaları İ.Ü. Orman Fakültesi'ne yakın, tarih boyunca İstanbul'un su ihtiyacının bir bölümünün karşılandığı özel bir koruma alanı olan Belgrad Ormanı'da korunmuş bir alanda 5 adet olarak belirlenmiştir (Balcı vd., 1993:14). Havzalar yukarı havza konumunda olup, doğal ekosistem yapıları havzaya düşen yağışın, havza akışına ve barajlara ulaşmasında gerçekleşen hidrolojik döngünün önemli bir adımını oluşturmaktadır.

Deneme havzaları belirlenirken karakteristiklerin (toprak ve topografik yapı) birbirine oldukça benzer olmaları sağlanmaya çalışılmış, bu kriteri sağlayan beş havzadan ikisinde, I ve IV no'lu havzalarda yağış, akım ve su kalitesi parametreleri ölçülmesi amacıyla "akım ölçme istasyonları" ve hemen yanına "meteoroloji istasyonu" kurulmuştur. Yaklaşık on yıla yakın süren bir katiibrasyon dönemi sonucu, söz konusu iki havzada (I-IV) yapılan ölçüm değerleri karşılaştırılması sonucu katiibrasyon denklemi elde edilmiştir. Bu noktada her iki havzanın tüm parametrelerinin sıkı ilişkide olduğu görülmüş ve havzalardan biri kontrol (I), diğeri (IV) ise uygulama havzası olarak seçilmiştir. Böylece uygulama havzası üzerinde yapılacak her türlü müdahale sonuçları, katiibrasyon denklemi aracılığıyla, kontrol havzası verilerinden hareketle kıyaslanmış ve kontrol edilmiştir.

B. UYGULAMA VERİLERİ

İçme sularının renksiz, berrak olması, hastalık yapıcı organizmaları ve zararlı kimyasal maddeleri içermemesi gerekmektedir. Sularda bu şartları sağlamak ve suda bulunması istenmeyen maddeleri belirli bir seviyenin altında tutmak için çeşitli standartlar geliştirilmiştir. Ülkemizde, içme ve kullanma suları TSE 266'da belirtilen fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik parametrelere göre değerlendirilmektedir. Bu standartta, içme ve kullanma suları ayrı tutulmamaktadır. Hem içme hem de kullanma suları için verilen kimyasal ve mikrobiyolojik limitler aynıdır.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) içme ve kullanma sularının parametre değerlerini açıklamıştır. Ancak bu değerler ülkeden ülkeye değişik gösterebilmektedir.

Suyun temizliği, insan sağlığı açısından önemlidir. Bu nedenle su kalitesinin sürekli denetim altında tutulması gerekmektedir. Ancak programsız kentleşme, buna bağlı olarak alt yapının yetersizliği, sanayi ve üretim hızındaki gelişme, içme suyu havzalarının tüketilmesine, içme ve kullanma sularının kirlenmesine neden olmaktadır. Su kirlenmesinin ana kaynakları; evlerden gelen kullanılmış sular ile sanayi kuruluşları tarafından su yataklarına verilen sıvı atıklardır (Karpuzcu, 1994:13).

Çalışmanın yapıldığı deneme havzalarının, Belgrad Ormanı'nda korunmuş bir alanda olması, etrafında yerleşim alanı veya sanayi alanı bulunmaması sebebiyle, I ve IV no'lu havzalar evsel ya da endüstriyel atıklara maruz kalmamıştır. Bu nedenle yapılan ölçümlerde zehirli maddelere ve sağlığa olumsuz etki yapan maddelere rastlanmamıştır. Verilerin elde edildiği havzalarda su kalitesini saptamak için ölçülen parametreler; klor, kalsiyum, magnezyum, pH, renk, bulanıklık ve sediment'dir.

Uygulamada kullanılan fiziksel (sediment, bulanıklık, renk) ve kimyasal (klor (Cl), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), pH) su kalitesi analizleri, akım ve yağış verileri 1976 yılından 1979 yılına kadar düzensiz, 1979 yılından günümüze kadar düzenli olarak ölçülmüş, ölçme ve değerlendirilmeler her gün yapılarak aylık veriler olarak düzenlenmiştir.

C. KONTROL VE UYGULAMA HAVZALARI VERİLERİ

Verilerin ait olduğu I ve IV no'lu havzalarda 1986 yılına kadar yapılan araştırmalarda her iki havzanın tüm parametrelerinin benzer değerler olduğu saptanmıştır. Bu ilişkiden yola çıkarak, I no'lu havza kontrol havzası, IV no'lu havza ise uygulama havzası olarak belirlenmiştir. Oluşturulan kalibrasyon denklemleri ile IV no'lu uygulama havzasına yapılan müdahalelerin

sonuçları, kontrol havzası verileri ile karşılaştırılmıştır.

Havzaların konumu ve ekolojik yapısı gereği üretilen suyun kalitesini ve miktarını doğrudan etkileyen etkenlerin en önemlisi havza üzerindeki bitki örtüsüdür. Bitki örtüsü, havzalarda orman ağaçları ve alt örtüden oluşmaktadır. Bu nedenle suyun kalitesi ve miktarı ile ilgili değişiklikleri izlemek ve değerlendirmek için uygulama havzasında sadece bitki örtüsüne müdahale düşünülmüştür.

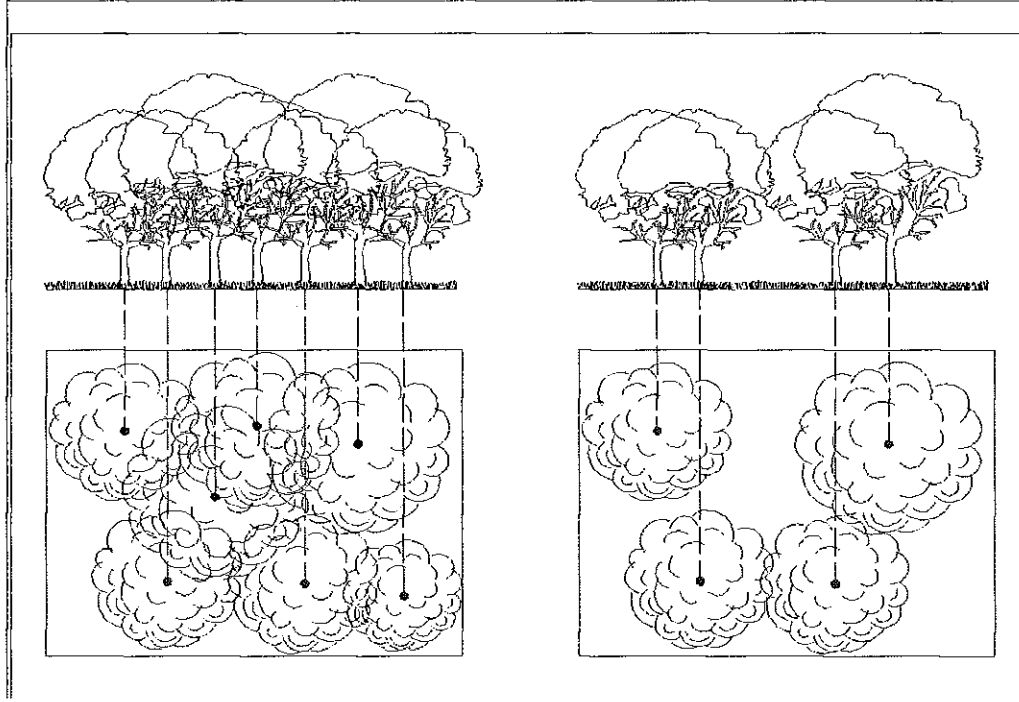
Yapılan müdahale, havza üzerindeki ağaçların oluşturduğu kapalılıkta %X ile tanımlanan miktarda örtünün azaltılmasıdır. Şekil 1-2'de yapraklı bir orman örtüsünün kapalılığı gösterilmiştir. Yapraklı ormanlar kış aylarında yapraklarını döktüklerinden, kapalılık ifadesi gövde ve dalların oluşturduğu kapalılığı ifade etmektedir.

Orman örtüsüne müdahale ile orman ağaçlarına ve altındaki alt örtünün yapısına bağlı olarak yüzeysel akış, toplanan suyun miktarı ve kalitesi nasıl etkilenir? Bu sorunun yanıtı için deneme havzalarında belirli bir plana göre söz konusu müdahaleler yapılarak sonuçları izlenmektedir. Bu amaçla uygulama havzasında 1986 yılında orman örtüsüne %10'luk bir müdahale gerçekleştirilmiş, yani havza üzerindeki orman örtüsü %10 oranında azaltılmıştır.

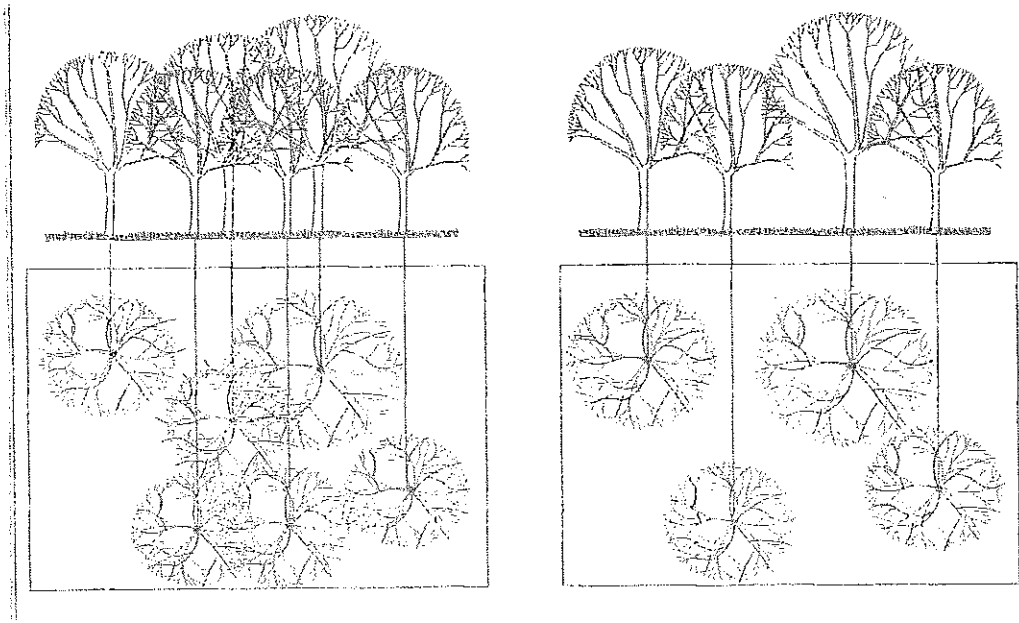
Bu müdahaleden sonra her iki havzada da ölçü ve değerlendirmelere aynen devam edilmiştir. Elimizde mevcut 1980-1994 Ocak ayına kadar olan veriler hem kontrol havzasına hem de müdahale edilen uygulama havzasına aittir. Söz konusu iki havzanın tüm parametrelerinin sıkı ilişkiler içinde olduğu saptandığından, uygulama havzasına müdahale edilmemiş olsaydı yapılan ölçüler ne olurdu sorusunun yanıtı bilinmektedir. İki havzanın kalibrasyon denklemi 2007 "Journal of Hydrology" dergisinde yayımlanan, "Hydrological Impact of a Slight Thinning Treatment in a Deciduous Forest Ecosystem in Turkey" adlı makalede yayımlanmış ve aylık regresyon % 95 güvenlikle $Y = 1.1201X + 3.4008$ ($R^2 = 0.9022$) olarak verilmiştir (Serengil vd., 2007:572).

Verilerin değerlendirilmesinde ilk olarak; müdahale yapılmıyorsa verilerin ölçüm değerleri nasıl olurdu sorusu yanıtlanmış, yani aynı zaman dilimi içindeki kontrol havzası verilerinden

kalibrasyon denklemi aracılığı ile hesaplanan veriler kullanılmıştır (Model I).



Şekil 1: Yapraklı Bir Orman Örtüsünün Kapalılığı (Yoğunluğu) ve Azaltılması



Şekil 2: Yapraklı Bir Orman Örtüsünün Yapraklarını Dökmesi Sonrası Kapalılığı (Yoğunluğu) ve Azaltılması

Su havzası verilerinin değerlendirilmesinde ikinci adımında 1986 yılında orman örtüsüne %10 müdahale edilmiş uygulama havzası verileri (1980-1994) kullanılmıştır. Veriler 14 yıllık bir zaman aralığındaki aylık ölçüm sonuçlarıdır (Model II).

Böylece ilk iki adımda, müdahale edilmemiş haldeki (Model I) ve müdahale edildikten sonraki (Model II) veriler kullanılmıştır.

Yapılan değerlendirmelerin sonuçları yorumlanarak, uygulama havzası örtüsüne gelecek yıllarda yapılması planlanan ikinci ve daha sonraki müdahalelerin sonuçları sorgulanmaya başlanmıştır. Dünyada ve ülkemizde toprak örtüsü türlerinin üzerine düşen yağışın ne kadarının yüzeysel akışa dönüştüğü ile ilgili yapılmış çok sayıda araştırma vardır (Çepel, 1986:18).

Benzer araştırmaların sonuçları ve uygulama havzasına yapılan %10'luk müdahale sonuçları dikkate alınarak, uygulama havzasına %10 değil de %40 müdahale yapılsaydı ne olurdu? Sorusuna yanıt araştırılmıştır. Sorunun yanıtlanması için bu konuda çalışan bilim adamlarının benzer çalışmalardan kazanılmış bilimsel öngörülerine dayalı bir model tasarlanmıştır. Yine yanıt için gerekli fiziksel ve kimyasal veriler ile akım verileri, öngörüler doğrultusunda modele uyarlanmıştır (Model III). Uygulamanın üçüncü adımında % 40 müdahale sonrası için tasarlanan modelin kurulmasında önceki adımlarda yapılan işlemler aynen tekrarlanmıştır. Bu tür bir modelin tasarlanmasındaki amaç, uygulama havzalarında bölüm bölüm yapılan müdahale sonuçlarının uzun yıllar beklemeden öngörülmesidir.

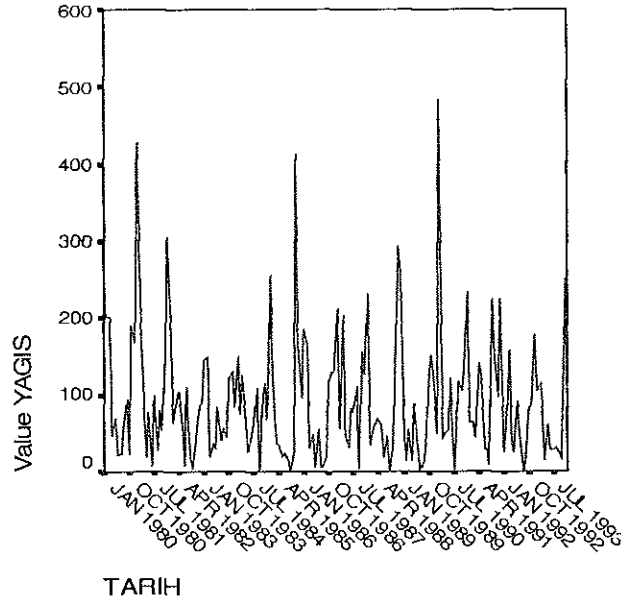
II. BULGULAR ve YORUM

Uygulama alanı olarak su işletmesi niteliğindeki su havzası verileriyle havzadaki ağaç sıklığının (kapalılık, yoğunluk) su verimi ve su kalitesi üzerine yaptığı etkileri ortaya koymak amacıyla, bulanık hedef programlama modeli için geliştirilen çözüm yaklaşımlarından biri olan *üçgensel üyelik fonksiyonları* ile *Chen yaklaşımı*'ndan yararlanılmıştır. *Chen* tarafından önerilen ve işlemsel yükü azaltmayı amaçlayan bu yaklaşımda G_1 tercih önceliğindeki bulanık hedef programlama problemi tek bir doğrusal programlama problemine indirgenmiştir. *Chen* yaklaşımında bulanık hedeflerin üyelik derecelerinin maksimize edilmesi yerine, bulanık hedeflerin en fazla 1'e eşit olabilen üyelik derecelerinden oluşan en büyük sapmalar minimize edilmektedir. Çünkü bulanık bir hedefin üyelik derecesinin maksimize edilmesi, bulanık bir hedefe üye olmama derecesinin minimum olması derecesine özdeştir (Chen, 1994:287-290).

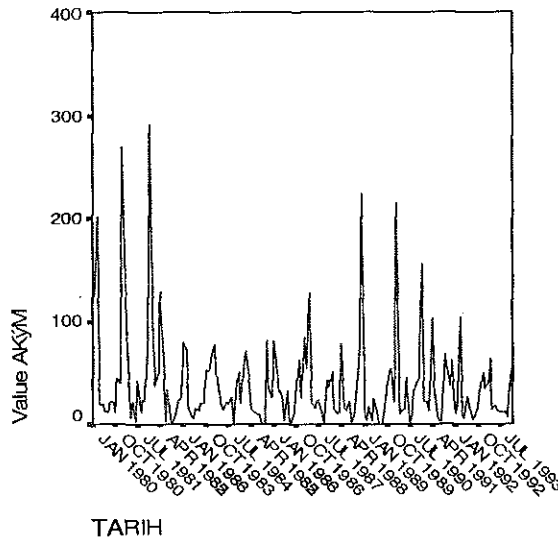
Üçgensel üyelik fonksiyonları ile *Chen yaklaşımı*'m kullanabilmek için öncelikle zaman serisi modelleri yardımıyla denklemler oluşturulmuştur.

Bir havzada suyun kalitesini, su içindeki erimiş ve dağılmış halde bulunan maddelerin miktarı ve türü etkiler. Havzadaki suyun miktarı ise yağış ve akımdan etkilenir. Modelde kullanılan değişkenler; havzada üretilen suyun kalitesini ve miktarını etkileyen yağış, akım, sediment, klor (Cl), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), pH, renk, bulanıklık ile ağaç yoğunluğudur. Havzadan elde edilen veriler aylık gözlem ve ölçüm verilerini içermektedir.

Veriler ile ilgili analitik çalışmalara başlamadan önce, veri setlerindeki değişkenler hakkında görsel bilgi edinebilmek için grafiklerden yararlanılmıştır. Bu amaçla serilere ilk olarak grafik analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen grafikler Şekil 3-4'de verilmiştir.



Şekil 3: Yağış Serisinin Grafiği



Şekil 4: Akım Serisinin Grafiği

Serilerin grafikleri incelendiğinde doğrusal bir yapı sergilemedikleri görüldüğü için SPSS paket programında değişkenler arasındaki en uygun matematiksel bağlantının tipini ve

matematiksel yapısını tahmin etmeye yarayan model tahmini (curve estimation) seçeneği uygulanmış ve serilerin zamana göre değişiminin incelenmesi sonucunda logaritmik olduğu

saptanmıştır. Bu nedenle serilere logaritmik dönüşüm uygulanarak analize devam edilmiştir.

Zaman serilerinde kurulan modellerin, değişkenlerinin durağan olduğu kabul edilmektedir (Gujarati, 2001:709). Bir zaman serisinin ortalamasıyla varyansında zaman içinde bir değişme olmuyorsa ve düzenli periyodik değişmeler ortaya çıkmıyorsa, seri durağandır denir (Gujarati, 2001:713). Durağan olmayan değişkenlerin regresyonlarda kullanılması bazı sorunlar yaratmaktadır. Bu sorunlardan en önemlisi sahte regresyondur, yani iki değişken arasında gerçekten anlamlı bir ilişki olmamasına rağmen R^2 'lerin oldukça büyük çıkmasıdır. Bunun sonucunda da hipotez testleri de yanıltıcı olmaktadır. Bu nedenle çalışmada kullanılan tüm serilere durağanlık analizi yapılmıştır. Durağanlık

analizi için; serilere EViews (Econometric Views) paket programı kullanılarak, Dickey-Fuller testi uygulanmıştır.

Duyarlılık analizi hipotezleri şöyle kurulmuştur;

H_0 : Seri Durağan Değildir

H_1 : Seri Durağandır

Dickey-Fuller testinde; t istatistiğinin mutlak değeri ($|t|$) MacKinnon DF'nin mutlak eşik değeri t değerinden büyükse, bu seri için H_0 hipotezi red edilir (Gujarati, 2001:720). Tablo 1-2'de verilen Dickey-Fuller testi sonuçlarında da görülebileceği gibi tüm seriler için H_1 hipotezi kabul edilerek, serilerin durağan olduğu saptanmıştır.

Tablo 1: Yağış Değişkenin Durağanlık Testi

Null Hypothesis: LOG(YAGIS) has a unit root

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-10.68783	0.0000
Test critical values:		
1% level	-3.469691	
5% level	-2.878723	
10% level	-2.576010	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Tablo 2: Akım Değişkenin Durağanlık Testi

Null Hypothesis: LOG(AKIM) has a unit root

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-8.494390	0.0000
Test critical values:		
1% level	-3.469933	
5% level	-2.878829	
10% level	-2.576067	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Durağan olduğu belirlenen serilerin, mevsimsel etkilerden de arındırılması gerekmektedir. Mevsimin etkisinde olan değişkenler yılın bazı dönemlerinde diğerlerine oranla daha yüksek veya daha düşük değerlere ulaşırlar. İncelenen değişkenlerin tamamen doğal olaylar olması nedeniyle mevsimsel etkiler görülebilir. Değişken grafikleri de bu tahmini güçlendirmektedir. Seriler, EViews (Econometric Views) paket programı kullanılarak mevsim etkisinden arındırılmıştır.

Yapılan dönüşümler ve uygulanan testler sonucunda uygulamada kullanılacak serilerin son hali elde edilerek, çalışmaya logaritmik, durağan ve mevsimsellikten arındırılmış serilerle devam edilmiştir. Ve bu seriler kullanılarak, bağımlı bir değişkenin, bir veya birden fazla bağımsız değişkenle arasındaki ilişkinin matematiksel bir fonksiyon şeklinde yazılabilmesi için regresyon analizleri yapılmıştır.

Regresyon denklemi yardımıyla bağımsız değişkenlerin çeşitli değerlerine karşılık, bağımlı değişkenin ulaşacağı değer tahmin edilmiş ve örnek regresyon tablosu Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3'de görüldüğü gibi, yağışta %1'lik bir artış klor değişkeninde %0.36'lık artış yaratmaktadır. Model yağış değişkeninin bir etkisi olmaması halinde magnezyumun klor üzerindeki etkisinin %1.12 olacağını göstermektedir.

Modelin anlamlı olup olmadığını anlayabilmek için öncelikle t-istatistiği sonuçlarına bakılmış ve görüldüğü gibi modelin

değişkenleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Tablodaki çoklu regresyon denklemini tahminlerde kullanabilmek için, iki bağımsız değişkenin birlikte, bağımlı değişken üzerindeki etkisinin derecesini gösteren "düzeltilmiş R²" değeri 1'e yakın olmalıdır. Yağış ve Mg değişkenlerinin Cl üzerindeki etkilerinin çok büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca, modelde otokorelasyon olmaması gerekmektedir. Bundan dolayı modeller otokorelasyondan arındırılmıştır. Tablo 3'de görülebileceği gibi, Durbin-Watson testi sonucuna göre modelde otokorelasyon yoktur. Regresyon analizlerinde t-istatistiklerinin anlamlı olması, R²'lerin yüksek olması, otokorelasyon olmamasının yanında bağımsız değişkenler arasında çok güçlü bir ilişki, yani "çoklu doğrusal bağlantının" olması istenmemektedir.

Çoklu doğrusal bağlantıya mani olabilmek için, bağımsız değişken seçimi yapılırken bağımsız değişkenler arasından diğerleri ile ilişkisi olmayan ama bağımlı değişkeni en çok etkileyenler seçildi. t-istatistikleri anlamsızken R²'nin yüksek olması çoklu doğrusallığın belirtisidir. Yukarıda kurulan modelde bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantı yoktur. Sonuç olarak istatistiksel olarak anlamlı bir model elde edilmiştir.

İstatistiksel anlamlılığın reddedildiği durumlar, modelde ihmal edilmiş değişkenin varlığından doğmaktadır. Bu olumsuzluğun çalışmaya yansımaması için istatistiksel olarak anlamlı modellerle çalışılmıştır.

Tablo 3: Yağış ve Mg Değişkeninin Cl Değişkenine Etkisini Gösteren Regresyon Analizi

Dependent Variable: LOG(CL_SA)

Method: Least Squares

Sample: 1980M01 1993M12

Included observations: 168

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG(YAGIS_SA)	0.364082	0.008742	41.64719	0.0000
LOG(MG_SA)	1.124588	0.012129	92.72023	0.0000
R-squared	0.980832	Mean dependent var		2.961691
Adjusted R-squared	0.980716	S.D. dependent var		3.242748
S.E. of regression	0.450307	Akaikc info criterion		1.254058
Sum squared resid	33.66084	Schwarz criterion		1.291248
Log likelihood	-103.3408	Durbin-Watson stat		1.803909

Regresyon analizleri ile oluşturulan, istatistiksel olarak anlamlı denklemlerin, *Chen* yaklaşımına göre çözüm değerlerini elde etmek için WinQSB programı kullanılmıştır. Uygulamada kullanılan değişkenlerin çözüm değerlerinin hedeflenen değerler olması ve aynı anda en fazla hedefi gerçekleştirerek havzadaki ağaç oramına göre suyun kalitesindeki değişiklikleri belirlemeye çalışmak, uygulamanın amacını oluşturmaktadır.

A. MODEL I (MÜDAHALE EDİLMEMİŞ UYGULAMA HAVZASI)

Model I (müdahale edilmemiş uygulama havzası) için, su kalitesi problemine ait, tercih öncelikli bulanık hedef programlama modelinin hedefleri ve tercih öncelikleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir;

$G_1: x_{renk} \cong 2$ renk hedefi \rightarrow 1. tercih önceliği

$G_2: x_{bulanik} \cong 5$ bulanıklık hedefi \rightarrow 2. tercih önceliği

$G_3: x_{Ca} \cong 7.5$ kalsiyum hedefi \rightarrow 3. tercih önceliği

$G_4: x_{Mg} \cong 4$ magnezyum hedefi \rightarrow 4. tercih önceliği

$G_5: x_{Cl} \cong 20$ klor hedefi \rightarrow 5. tercih önceliği

$G_6: x_{pH} \cong 7$ pH hedefi \rightarrow 6. tercih önceliği

$x_{renk}, x_{bulanik}, x_{Ca}, x_{Mg}, x_{Cl}, x_{pH} \geq 0$

Chen, bulanık hedefleri aşağıda verilen üçgensel üyelik fonksiyonları ile nitelendirmiştir;

$$\mu_i(Ax)_i = \begin{cases} 0 & (Ax)_i \leq b_i - d_i \\ 1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} & b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i} & b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i \\ 0 & (Ax)_i \geq b_i + d_i \end{cases}$$

Burada;

b_i : i 'inci bulanık hedef için karar vericinin belirlediği erişim değeri,

d_i : bu erişim değerinden oluşacak sapma için kabul edilebilir tolerans miktarını göstermektedir.

Bu durumda, uygulamada kullanılan bulanık hedeflere ait üçgensel üyelik fonksiyonları aşağıda verildiği gibi ifade edilir;

$$\mu_{renk}(x) = \begin{cases} 0 & x_{renk} \leq -46 \\ 1 - \frac{2 - x_{renk}}{48} & -46 \leq x_{renk} \leq 2 \\ 1 - \frac{x_{renk} - 2}{48} & 2 \leq x_{renk} \leq 50 \\ 0 & x_{renk} \geq 50 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} b_i &= 2 \\ d_i &= 48 \\ b_i - d_i &= -46 \\ b_i + d_i &= 50 \end{aligned}$$

$$\mu_{bulanik}(x) = \begin{cases} 0 & x_{bulanik} \leq -15 \\ 1 - \frac{5 - x_{bulanik}}{20} & -15 \leq x_{bulanik} \leq 5 \\ 1 - \frac{x_{bulanik} - 5}{20} & 5 \leq x_{bulanik} \leq 25 \\ 0 & x_{bulanik} \geq 25 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} b_i &= 5 \\ d_i &= 20 \\ b_i - d_i &= -15 \\ b_i + d_i &= 25 \end{aligned}$$

$$\mu_{Ca}(x) = \begin{cases} 0 & x_{Ca} \leq -5 \\ 1 - \frac{7.5 - x_{Ca}}{12.5} & -5 \leq x_{Ca} \leq 7.5 \\ 1 - \frac{x_{Ca} - 7.5}{12.5} & 7.5 \leq x_{Ca} \leq 20 \\ 0 & x_{Ca} \geq 20 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} b_i &= 7.5 \\ d_i &= 12.5 \\ b_i - d_i &= -5 \\ b_i + d_i &= 20 \end{aligned}$$

$$\mu_{Mg}(x) = \begin{cases} 0 & x_{Mg} \leq -7 \\ 1 - \frac{4 - x_{Mg}}{11} & -7 \leq x_{Mg} \leq 4 \\ 1 - \frac{x_{Mg} - 4}{11} & 4 \leq x_{Mg} \leq 15 \\ 0 & x_{mg} \geq 15 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} b_i &= 4 \\ d_i &= 11 \\ b_i - d_i &= -7 \\ b_i + d_i &= 15 \end{aligned}$$

$$\mu_{Cl}(x) = \begin{cases} 0 & x_{Cl} \leq -20 \\ 1 - \frac{20 - x_{Cl}}{40} & -20 \leq x_{Cl} \leq 20 \\ 1 - \frac{x_{Cl} - 20}{40} & 20 \leq x_{Cl} \leq 60 \\ 0 & x_{Cl} \geq 60 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} b_i &= 20 \\ d_i &= 40 \\ b_i - d_i &= -20 \\ b_i + d_i &= 60 \end{aligned}$$

$$\mu_{pH}(x) = \begin{cases} 0 & x_{pH} \leq 2.8 \\ 1 - \frac{6 - x_{pH}}{3.2} & 2.8 \leq x_{pH} \leq 6 \\ 1 - \frac{x_{pH} - 6}{3.2} & 6 \leq x_{pH} \leq 9.2 \\ 0 & x_{pH} \geq 9.2 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} b_i &= 6 \\ d_i &= 3.2 \\ b_i - d_i &= 2.8 \\ b_i + d_i &= 9.2 \end{aligned}$$

Chen yaklaşımına göre, birinci tercih önceliğinde çözülmesi gereken doğrusal programlama problemi aşağıda verilmiştir;

$$\text{Max } \lambda = 1 - \lambda$$

kısıtlayıcılar

$$\left. \begin{array}{l} \lambda \geq \left(1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i}\right) - 1 \\ \lambda \geq 1 - \left(1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i}\right) \end{array} \right\} \equiv \left\{ \begin{array}{l} \lambda \geq \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i} \\ \lambda \geq \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} \end{array} \right. \quad i=1,2,\dots,m_1$$

$$b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i$$

$$\lambda \in [0,1]$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Bu formülü birinci tercih önceliğindeki “renk” hedefine uyguladığımız zaman şunu elde ederiz;

$$\text{Max } \lambda = i - \lambda \quad \text{Max } \lambda$$

kısıtlayıcılar

kısıtlayıcılar

$$\left. \begin{array}{l} \lambda \geq \frac{x_{renk} - 2}{48} \\ \lambda \geq \frac{2 - x_{renk}}{48} \\ -46 \leq x_{renk} \leq 50 \\ \lambda \in [0,1] \\ x_{renk} \geq 0 \end{array} \right\} \equiv \left\{ \begin{array}{l} x_{renk} - 48\lambda \leq 2 \\ x_{renk} + 48\lambda \geq 2 \\ x_{renk} \geq -46 \\ x_{renk} \leq 50 \\ \lambda + \lambda = 1 \\ \lambda \leq 1 \\ \lambda \leq 1 \\ x_{renk}, \lambda, \lambda \geq 0 \end{array} \right.$$

Birinci tercih önceliği verilen, suyun estetik özelliklerinden olan “renk” bulanık hedefi için

oluşturulan regresyon analizi denklemlerinden bazıları örnek olarak aşağıda verilmiştir;

$$\text{Log} (\text{RENK} \text{ _ SA}) = 0.4175 \text{ Log} (\text{YAGI. Ş _ SA}) + 6.9567 \text{ Log} (\text{SEDIMENT} \text{ _ SA})$$

$$R^2 = 0.9482$$

$$\text{Log} (\text{RENK} _ \text{SA}) = 0.6848 \text{ Log} (\text{YAGIS} _ \text{SA}) + 8.5194 \text{ Log} (\text{CL} _ \text{SA})$$

$$R^2 = 0.9637$$

$$\text{Log} (\text{RENK} _ \text{SA}) = 2.6662 \text{ Log} (\text{CL} _ \text{SA}) + 3.3781 \text{ Log} (\text{MG} _ \text{SA})$$

$$R^2 = 0.9709$$

“Renk” bulanık hedefi için istatistiksel olarak anlamlı bulunup, modele dahil edilmesine karar verilen tüm denklemler, *Chen* yaklaşımına göre, birinci tercih önceliğinde çözülmesi gereken

doğrusal programlama problemi ile birlikte aşağıda gösterildiği gibi WinQSB programıyla çözülmüş ve WinQSB çözüm tablosu Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4: Birinci Tercih Önceliğindeki Bulanık Hedef İçin WinQSB Çözüm Tablosu

09-05-2007 13:06:39	Decision Variable	Solution Value	Basis Status	Reduced Cost Goal 1
1	yagis	0	at bound	0
2	norakim	0	at bound	0
3	norsediment	0,29	basic	0
4	norrenk	2,00	basic	0
5	norbulanik	0,37	basic	0
6	normg	0,41	basic	0
7	norca	0	at bound	0
8	norcl	0,23	basic	0
9	ph	0,18	basic	0
10	noryogun	0	at bound	0
11	lamda	1,00	basic	0
12	lamdatissü	0	basic	0
	Goal 1:	Maximize	G1 =	1,00

Max λ

$$0.4175 \text{Log}(YAGI\text{Ş} _ SA) + 6.9567 \text{Log}(SEDIMENT _ SA) \geq 2$$

$$0.4175 \text{Log}(YAGI\text{Ş} _ SA) + 6.9567 \text{Log}(SEDIMENT _ SA) \leq 50$$

$$0.6848 \text{Log}(YAGI\text{Ş} _ SA) + 8.5194 \text{Log}(CL _ SA) \geq 2$$

$$0.6848 \text{Log}(YAGI\text{Ş} _ SA) + 8.5194 \text{Log}(CL _ SA) \leq 50$$

$$1.5284 \text{Log}(YAGI\text{Ş} _ SA) + 11.5809 \text{Log}(MG _ SA) \geq 2$$

$$1.5284 \text{Log}(YAGI\text{Ş} _ SA) + 11.5809 \text{Log}(MG _ SA) \leq 50$$

$$1.3285 \text{Log}(YAGI\text{Ş} _ SA) + 11.1012 \text{Log}(PH _ SA) \geq 2$$

$$1.3285 \text{Log}(YAGI\text{Ş} _ SA) + 11.1012 \text{Log}(PH _ SA) \leq 50$$

$$0.2555 \text{Log}(SEDIMENT _ SA) + 37.2847 \text{Log}(CL _ SA) \geq 2$$

$$0.2555 \text{Log}(SEDIMENT _ SA) + 37.2847 \text{Log}(CL _ SA) \leq 50$$

$$1.8573 \text{Log}(SEDIMENT _ SA) + 5.4519 \text{Log}(MG _ SA) \geq 2$$

$$1.8573 \text{Log}(SEDIMENT _ SA) + 5.4519 \text{Log}(MG _ SA) \leq 50$$

$$0.2715 \text{Log}(CL _ SA) + 3.6958 \text{Log}(BULANIKLIK _ SA) \geq 2$$

$$0.2715 \text{Log}(CL _ SA) + 3.6958 \text{Log}(BULANIKLIK _ SA) \leq 50$$

$$8.7764 \text{Log}(CL _ SA) + 0.8379 \text{Log}(YOGUNLUK _ SA) \geq 2$$

$$8.7764 \text{Log}(CL _ SA) + 0.8379 \text{Log}(YOGUNLUK _ SA) \leq 50$$

$$11.6199 \text{Log}(MG _ SA) + 1.1980 \text{Log}(YOGUNLUK _ SA) \geq 2$$

$$11.6199 \text{Log}(MG _ SA) + 1.1980 \text{Log}(YOGUNLUK _ SA) \leq 50$$

$$x_{renk} - 48\lambda' \leq 2$$

$$x_{renk} + 48\lambda' \geq 2$$

$$x_{renk} \geq -46$$

$$x_{renk} \leq 50$$

$$\lambda + \lambda' = 1$$

$$\lambda \leq 1$$

$$\lambda' \leq 1$$

$$x_{renk}, \lambda, \lambda' \geq 0$$

WinQSB çözüm tablosuna bakıldığında birinci öncelikli “renk” bulanık hedefinin çözüm değerinin, hedeflendiği gibi “renk=2” olduğu görülmektedir.

Birinci tercih öncelikli hedef gerçekleştirildikten sonra, ikinci tercih öncelikli hedefin gerçekleştirilmesi aşamasına geçilmiştir. İkinci tercih önceliğindeki hedef gerçekle-

tirmeye çalışırken, *Chen* tarafından önerilen yaklaşımın kuralı olarak, “renk=2” denklemi, ikinci tercih önceliği için oluşturulan bulanık hedef programlama modeline bir kısıtlayıcı olarak eklenmiştir.

Her tercih öncelik sırası, bir önceki tercih önceliği için “kısıtlayıcı” olarak eklenerek çözülmüş ve öncelik sırası 5 olan “Klor” bulanık

hedefi için istatistiksel olarak anlamlı bulunup, modele dahil edilmesine karar verilen tüm denklemler, beşinci tercih önceliği için çözülmesi

gereken doğrusal programlama problemi ile birlikte çözülmüş ve WinQSB çözüm tablosu Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5: Beşinci Tercih Önceliğindeki Bulanık Hedef İçin WinQSB Çözüm Tablosu

09-04-2007 18:04:22	Decision Variable	Solution Value	Basis Status	Reduced Cost Goal 1
1	yagis	0	at bound	0
2	akim	0	at bound	0
3	sediment	4,61	basic	0
4	bulanik	5,00	basic	0
5	mg	4,00	basic	0
6	ca	7,50	basic	0
7	cl	20,00	basic	0
8	ph	1,57	basic	0
9	noxyogun	0	at bound	0
10	renk	2,00	basic	0
11	lamda	1,00	basic	0
12	lamdatissü	0	basic	0
	Goal 1: Maximize	GI =		1,00

Çözüm tablosunda, birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü öncelikli hedeflerin, hedef değerleri bozulmadan, beşinci öncelikli bulanık hedefin de sağlanmış olduğu görülmektedir. Maksimum olması istenen λ ’nın değerinin 1 olması hedeflere tamamen ulaşıldığını göstermektedir.

“pH” bulanık hedefi için de anlamlı olan tüm denklemler, altıncı tercih önceliği için çözülmesi gereken doğrusal programlama problemi ile birlikte çözüldü. Ancak pH değişkeni diğer hedeflerle beraber çözülememiş ve istenilen hedefi sağlayamamıştır.

Bu nedenle, beşinci tercih önceliğinde bulunan “klor” için oluşturulan modelin çözümü, bulanık hedef programlama modelinin çözümünü verir.

B. MODEL II (%10 MÜDAHALE EDİLMİŞ UYGULAMA HAVZASI)

Model II’de; havzaya %10 müdahale yapılmış ve bu müdahalenin su kalitesi üzerine etkisi olup olmadığı araştırılmıştır.

Model II’de kullanılan yeni veri setlerine istatistiksel testler uygulanmış, gerekli dönüşümler yapılmıştır. Model II içinde, çalışmada logaritmik, durağan ve mevsimsellikten arındırılmış seriler kullanılmıştır. Bu seriler ile bağımlı bir değişkenin, bir veya birden fazla bağımsız değişkenle arasındaki ilişkinin matematiksel bir fonksiyon şeklinde yazılabilmesi için regresyon analizleri yapılmıştır.

Model II için, tercih öncelikli bulanık hedef programlama modeline ait hedefler ve tercih öncelikleri aşağıdaki gibidir;

$G_1: x_{renk} \cong 2$ renk hedefi \rightarrow 1. tercih önceliği

$G_2: x_{bulanik} \cong 5$ bulanıklık hedefi \rightarrow 2. tercih önceliği

$G_3: x_{Ca} \cong 7.5$ kalsiyum hedefi \rightarrow 3. tercih önceliği

$G_4: x_{Mg} \cong 4$ magnezyum hedefi \rightarrow 4. tercih önceliği

$G_5: x_{Cl} \cong 20$ klor hedefi \rightarrow 5. tercih önceliği

$G_6: x_{pH} \cong 7$ pH hedefi \rightarrow 6. tercih önceliği

$x_{renk}, x_{bulanik}, x_{Ca}, x_{Mg}, x_{Cl}, x_{pH} \geq 0$

Hedef değerlerinde değişiklik olmamıştır çünkü, kaliteli bir su için hedef değerleri sabittir. Bu durumda, Model II'de kullanılacak olan bulanık hedeflere ait üçgen üyelik fonksiyonları bir önceki model ile aynı olacaktır.

Birinci tercih önceliğindeki “renk” bulanık hedefini gerçekleştirebilmek için, bağımlı değişkeni renk olan regresyon analizleri yapılmıştır. İstatistiksel olarak anlamlı ilişkiler ile birinci tercih önceliğinde çözülmesi gereken doğrusal programlama problemi aşağıda gösterildiği gibi her ikisi birlikte, WinQSB programıyla çözülmüştür. Bu çözümden elde edilen WinQSB çözüm tablosu Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: Birinci Tercih Önceliğindeki Bulanık Hedef İçin WinQSB Çözüm Tablosu

09-04-2007 18:23:58	Decision Variable	Solution Value	Basis Status	Reduced Cost Goal 1
1	yagis	2,30	basic	0
2	akim	0	at bound	0
3	sediment	0,19	basic	0
4	renk	2,00	basic	0
5	bulanik	0	at bound	0
6	mg	0,52	basic	0
7	ca	0	at bound	0
8	cl	0,05	basic	0
9	ph	0,19	basic	0
10	muyogun	0	at bound	0
11	lamda	1,00	basic	0
12	lamdaüssü	0	basic	0
Goal 1: Maximize G1 =				1,00

WinQSB çözüm tablosuna bakıldığında birinci öncelikli “renk” bulanık hedefinin çözüm değerinin, hedeflendiği gibi “renk=2” olduğu görülmektedir.

Model I'de olduğu gibi, birinci tercih önceliği “renk” bulanık hedefinin çözümünden sonra, diğer bulanık hedefler tercih önceliklerine göre bulanık hedef programlama modeline kısıt

olarak eklenmiştir. Çözüm tablosundan (Tablo 7) da görüldüğü gibi; bulanık hedef programlama, Model II için belirlenen hedeflerden “bulanıklık” hedefini istenilen değerde sağlayamamıştır. Müdahale yapılmamış havzanın verilerinin kullanıldığı Model I'de beş hedef sağlanabilirken, %10 müdahale edilmiş havzayı tanımlayan Model II'de dört hedef sağlanabilmiştir.

Bunun nedeni olarak şunlar söylenebilir; ormanlık bir havzanın su verimini, havza üzerine düşen yağış, yüzeysel akış, intersepsiyon (düşen yağışın ağaçların yaprakları tarafından tutulması)

ve transpirasyon (bitkilerin kökleriyle topraktan aldıkları suyu terleme yoluyla tüketmesi) gibi faktörler şekillendirir (Asan ve Şengönül, 1987: 60).

Tablo 7: Beşinci Tercih Önceliğindeki Bulanık Hedef İçin WinQSB Çözüm Tablosu

09-04-2007 18:47:06	Decision Variable	Solution Value	Basis Status	Reduced Cost Goal 1
1	yagis	0	at bound	0
2	akim	0	at bound	0
3	sediment	4,65	basic	0
4	renk	2,00	basic	0
5	bulanik	0	at bound	0
6	mg	4,00	basic	0
7	ca	7,50	basic	0
8	cl	20,00	basic	0
9	ph	1,57	basic	0
10	muyogun	0	at bound	0
11	lamda	1,00	basic	0
12	lamdatussü	0	basic	0
Goal 1: Maximize G1 =				1,00

Düşen yağışın ağaç yaprakları tarafından tutulması, havzadaki ağaç yoğunluğu ile ya da başka bir değişle havzanın kapalılık oranı ile doğru orantılıdır. Model I'de havzaya müdahale edilmediği için, havzadaki ağaç yoğunluğu Model II'ye göre %10 daha fazladır. Bu nedenle, iki model arasındaki farkı yaratan en büyük etken toprağa ulaşan yağış miktarının farklı olmasıdır. Aynı şekilde, terleme yoluyla tüketilen su miktarı, yaprak miktarına bağlı olarak artmaktadır. Bu da iki model arasındaki farkı yaratan diğer bir nedendir. Toprağa ulaşan su miktarındaki ve terleme yoluyla tüketilen su miktarındaki farklılıklardan dolayı, suyun kalitesini etkileyen parametrelerin oranlarında değişiklikler olmaktadır. Gerçekleştirilmeye çalışılan hedeflerin sıralamasının farklılık göstermesinin nedeni budur.

“Bulanıklık” hedefinin Model II tarafından sağlanamaması ise yüzeysel akışla açıklayabiliriz. Yüzeysel akış üzerinde etkili olan faktörler; yağış şiddeti ve miktarı, arazi eğimi, toprak özellikleri ile bitki örtüsüdür. Toprak yüzünün çıplak oluşu yüzeysel akışı artırır. Pek çok araştırma göstermiştir ki; bitki örtüsü, hem toprak yüzeyinin yapısını muhafaza etmesine, hem de ölü örtü tabakasının çok yüksek su tutma kapasitesi nedeniyle yüzeysel akışın azalmasına, buna karşılık toprağa giren suyun miktarının artmasını sağlamaktadır. Bu da bulanıklığı artırıcı bir etki yapmakta ve kaliteli bir su için belirlenen bulanıklık miktarlarının aşılmasına neden olmaktadır.

C. MODEL III (%40 MÜDAHALE EDİLMİŞ UYGULAMA HAVZASI)

Uygulama havzası ağaç yoğunluğuna yapılan %10'luk müdahaleden sonra, müdahalenin daha büyük oranda yapılması durumunda hedeflerin nasıl etkileneceğini görebilmek için Model III tasarlanmıştır.

Uygulamanın üçüncü adımında % 40 müdahale sonrası için tasarlanan modelin kurulmasında önceki adımlarda yapılanlar aynen tekrarlanmıştır.

Model III'de kullanılacak olan yeni veri setlerine istatistiki testler uygulanmış, gerekli dönüşümler yapılmıştır. Model III için yapılan çalışmada da logaritmik, durağan ve mevsimsellikten arındırılmış seriler kullanılmıştır. Bu seriler ile bağımlı bir değişkenin, bir veya birden fazla bağımsız değişkenle arasındaki ilişkinin matematiksel bir fonksiyon şeklinde yazılabilmesi için regresyon analizleri yapılmıştır (Tablo 8).

Tablo 8. Altıncı Tercih Önceliğindeki Bulanık Hedef İçin WinQSB Çözüm Tablosu

09-03-2007 14:29:03	Decision Variable	Solution Value	Basis Status	Reduced Cost Goal 1
1	yağis	0	at bound	0
2	akim40	0	at bound	0
3	sediment40	1,14	basic	0
4	renk40	0	at bound	0
5	bulanik40	0,09	basic	0
6	mg40	0,70	basic	0
7	ca40	7,50	basic	0
8	cl40	0,79	basic	0
9	ph40	6,00	basic	0
10	yogun40	1,68	basic	0
11	lamda	1,00	basic	0
12	lamdalüssü	0	basic	0
Goal 1:		Maximize	G1 =	1,00

Çözüm tablosundan da görüldüğü gibi; bulanık hedef programlama, Model III için belirlenen hedeflerden sadece kalsiyum ve pH'ı aynı anda ve hedef değerlerinde sağlamıştır. Müdahale edilmemiş havzayı tanımlayan Model I'de beş hedef, %10 müdahale edilmiş havzayı tanımlayan Model II'de dört hedef, ve son olarak %40 müdahale edilmiş havzayı tanımlayan Model III'de iki hedef sağlanabilmiştir.

Model III'de ormanlık alanın yoğunluğu %40 oranında azaltıldığında, toprağı tutma ve akış hızını azaltma görevini yapan bitki örtüsünde büyük bir kayıp olmakta, bu da su kalitesine hemen yansımaktadır. Bunun ispatı da; düşük bir oranda da olsa, Model III'e dahil olan pH

parametresidir. pH seviyesindeki değişim, kirliliğin artmasının ya da çevre faktörlerindeki herhangi bir değişimin göstergesidir. Model I ve II'de yer almamasının sebebi bitki örtüsünün yoğunluğunun kabul edilebilir seviyede olmasıdır. Model III'de "renk" ve "bulanıklık" hedeflerinin gerçekleşmemesinin en büyük sebebi de yüzey akışıdır. Bitki örtüsünün yoğunluğunun azlığı, yağmur sularının kontrolsüz bir şekilde havzaya akmasına neden olur. Bu kontrolsüz akış sırasında su ile çözünen çok çeşitli maddeleri de beraberinde taşıdığından istenen seviyelerde "bulanıklık" ve "renk" hedefleri elde edilememektedir.

Bitki örtüsünün, su kalitesi üzerindeki etkisinin çok önemli olduğunu kurulan Model III'de desteklemektedir. Çevresinde yerleşim yeri olmayan dolayısıyla evsel ve endüstriyel atıklardan uzak olan havzanın su kalitesi, bitki örtüsüne yapılan %40'lık bir müdahale ile bozulabilmektedir.

SONUÇ

Son yıllarda çok amaçlı programlama tekniklerinin önde gelenlerinden hedef programlama teknikleriyle işletme yönetimlerinde karar verme problemlerinin çözümünde önemli adımlar atılmıştır.

Hedef programlama belli kararlar çerçevesinde farklı ve çelişen amaçların eniyilemesini araştıran matematiksel bir model olup, mantık ve özellikle kümeler, sayılar üzerinde üretilen yeni yaklaşımlar hedef programlamaya yeni boyutlar kazandırmıştır. Tezin başlığını oluşturan "Bulanık Hedef Programlama" bu gelişmeleri kapsamaktadır. Günümüzde genel anlamda endüstriyel işletmelerdeki uygulamalara konu olan bulanık hedef programlamanın doğal olaylara uygulanması amacıyla, bir su işletmesi olarak kabul edilen su toplama havzalarındaki su üretimine uygulanması gerçekleştirilmiştir.

Tercih öncelikli bulanık hedef programlama modellerinde (I-II-III) çözüm yöntemi olarak "üçgensel üyelik fonksiyonları ile Chen yaklaşımı"nın uygulanması, içme suyu sağlanması amacıyla işletilen havzalarda bulanık hedef programlamanın etkin uygulama alanı bulacağını göstermektedir.

Araştırmada kullanılan veriler, Belgrad Ormanı'nda belirlenen özel havzalara ait olup, havzaların üzerindeki bitki ve ağaç örtüsü yoğunluğu değiştirildiğinde su kalitesi ve miktarındaki değişimlerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Farklı iki modelde de, müdahalesiz ve müdahaleli veriler ile hedef gerçekleştirme çalışmalarının sonuçları %10 gibi bir müdahalenin suyun kalitesi ve miktarında çok etkili olmadığını, ancak bu durumda dahi hedeflerin sağlanmasında güçlükler yaşandığını göstermiştir.

Havzalardaki toprak örtüsüne ve ağaç yoğunluğuna yapılacak müdahalenin belirli bir sınırı aşmasından sonra havzadan alınacak su miktarında artışlar olacak, ancak suyun kalitesinde olumsuzluk görülecektir.

Araştırmanın küresel ısınma tartışmalarının yapıldığı bir dönemde gerçekleştirilmesi, su ihtiyacımızın önemi ve su temininde en önemli kaynak olan havzaların bilimsel müdahaleler dışında insan yerleşimine açılmaması, insan müdahalesi, evsel ve endüstriyel atıklardan uzak tutulmasının kaçınılmaz olduğu görülmüştür. Ancak, bu yaklaşım havza topraklarının üretime katılmaması şeklinde anlaşılmalı, toprak ve su koruma ilkeleri doğrultusunda üretime katılması planlanmalıdır.

KAYNAKÇA

- KARPUZCU Mehmet; (1994), **Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü**, Kubbealtı Neşriyatı, İstanbul, 13s.
- GUJARATI Damodar N.; (2001), **Temel Ekonometri**, Çev.Ümit Şenesen, Gülay Günlük Şenesen, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 709s.
- ÇEPEL Necmettin; (1986), "Barajların Yukarı Yağış Havzaları İçin Arazi Kullanım Planlamasının Ekolojik Esasları", **İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi**, Seri:B, 36(2), ss. 17-27.
- ASAN Ünal, Kamil ŞENGÖNÜL; (1987), "Orman Formlarının Fonksiyonel Açısından Karşılaştırılması", **İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi**, Seri B, 37(4), ss.52-67.
- BALCI Nihat, Necdet ÖZYUVACI, Süleyman ÖZHAN, Kamil ŞENGÖNÜL; (1993), "İstanbul Çevresinde Yeralan Meşe-Kaym Orman Ekosistemlerinde Eş-Havza Denemeleri İle İlgili Kalibrasyon Dönemi Sonuçları", **İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi**, Seri:A, 43(1), ss.13-27.
- CHEN Huey Kuo; (1994), "A Note on a Fuzzy Goal Programming Algorithm by Tiwari, Dharmar and Rao", **Fuzzy Sets and Systems** 62, ss.287-290.

- GÖRCELİOĞLU Ertuğrul; (1995), "Ekositem, Kent ve İnsan", İ.Ü. Orman Fakültesi. Dergisi, Seri:B, 45(3-4), ss.5-14.
- AVCI İlhan, Bahattin YANIK; (1997), "Sınır aşan ve Sınır oluşturan Su Kaynaklarımız:Potansiyel, Su Talepleri ve Sorunları", Su Kongresi ve Sergisi Bildirileri, İstanbul, ss.7-15.
- SERENGİL Yusuf, Ferhat GÖKBULAK, Süleyman ÖZHAN, Ahmet HIZAL, Kamil ŞENGÖNÜL,
- A. Nihat BALCI, Necdet ÖZYUVACI; (2007), "Hyrological Impacts Of A Slight Thinning Treatment In A Deciduous Forest Ecosystem In Turkey" , **Journal of Hydrology**, 333, ss.569-577.
- ÇEPEL Necmettin, Celal ERGÜN; (2007), "Temel Çevre Sorunları", İnternet Adresi; http://www.tema.org.tr/CevreKutuphanesi/Kuresellsmma/Pdf/EM_Konu_12.pdf , Erişim Tarihi: 10.06.2007.