

**GRİ SİSTEM TEORİSİ VE UYGULAMALARI:
BİLİMSEL YAZIN TARAMASI**
**GREY SYSTEM THEORY AND APPLICATIONS:
A LITERATURE REVIEW**

Yrd.Doç.Dr. Erdal AYDEMİR¹
Doç.Dr. Fevzi BEDİR²
Yrd.Doç.Dr. Gültekin ÖZDEMİR³

ÖZET

Son yüzyılda bilim ve teknolojiye meydana gelen gelişmeler farklı sistem teorilerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Özellikle giderek karmaşıklaşan sistemlerin çözümlenebilmesi ve modellenenebilmesi için eksik bilgi ve/veya tamamlanmamış bilgi içeren küçük örnekleme sahip ve herhangi bir dağılım ihtiyacı olmayan gri sistem teorisi yaklaşımı önerilmiştir.

Bu çalışmada, gri sistem teorisi ve uygulamaları hakkında ağırlıklı olarak son onbeş yılı kapsayan detaylı bilimsel yazın araştırması yapılmıştır. Elde edilen çıkarımlar ile gri sistem teorisi, akademik öğretim ve endüstriyel araştırmalar açısından değerlendirilmiş ve çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

ABSTRACT

The developments in science and technology have led to different systems theories during the last century. In particular, the grey system theory which does not need any statistical distribution has been proposed to analyze and to model increasingly complex systems with missing information and / or with incomplete information and a small sampling.

In this study, a detailed literature review has been conducted for the gray system theory and its applications covering the last fifteen years. Consequently, the further research areas and some recommendations are proposed about grey system theory in terms of academic teaching and industrial research.

Anahtar Kelimeler: *Gri sistem teorisi, gri modelleme, gri tahminleme, gri ilişki analizi, gri kontrol*

Key Words: *Grey system theory, grey modeling, grey prediction, grey incidence analysis, grey control*

¹ İletişim Yazarı: Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, erdalaydemir@sdu.edu.tr

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, fevzibedir@sdu.edu.tr

³ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, gultekinozdemir@sdu.edu.tr

1. GİRİŞ

Modern bilim ve teknolojideki hızlı dönüşüm ve değişime bağlı olarak yeni teorilerin de ortaya çıktığı gözlenmektedir. Özellikle 20. yüzyıldan günümüze sistem teorisi, bilgi teorisi, bulanık matematik, sibernetikler, dağıtık yapılar, katastrof teorisi, kaos teorisi, ayrılma teorisi (*bifurcation*), dinamik sistemler vb. birçok sistem teorileri geliştirilmiştir (Liu ve Lin, 2010). Sistem bilimi araştırmalarında, farklı birçok model ve teknolojiden faydalanılmaktadır. Bunlar; endüstri ve sistem mühendisliği, yönetim bilimi, karar bilimi, matematik, vb. farklı birçok bilim dalı ve teorilerdir.

Gri Sistem Teorisi (GST) de bir sistem teorisi olarak 1980’li yıllarda geliştirilmiştir. 1982 yılında Prof. Deng Ju-Long tarafından “Control Problems of Grey Systems” (Gri Sistemler ile Kontrol Problemleri) başlıklı araştırma makalesi yayımlanmıştır. Bu makale GST’nin bahsedildiği ilk makaledir. Daha sonra çok kısa bir süre içinde hızlı bir şekilde yaygınlaşmış ve teorinin farklı yapıları birçok bilim adamı ve araştırmacı tarafından yapılan çalışmalarla geliştirilmiştir. Belirsizlik durumlarının sayısallaştırılmasını amaçlayan tekniklerden biri olan GST, özellikle Bulanık Mantık yaklaşımına alternatif bir yöntem olarak sunulmuştur (Deng, 1989).

GST’nin ortaya çıkışındaki temel yaklaşım, stokastik veya bulanık yöntemlerle sonuçlandırılmayan belirsiz sistemlerin tepkilerini ya da analizlerinin, sınırlı sayıda veri yardımı ile tahminleyebilmek şeklinde olmuştur. Zaten belirsizliğin ve eksik bilginin olduğu durumlarda anlamlı sonuçlar elde etmenin zorluğuna karşın bunu sağlayabilme yeteneği nedeniyle tercih edilen bir çözüm teorisi olarak karşımıza çıkmaktadır (Liu ve Lin, 2006).

Gri sistem teorisi:

- Endüstriyel sistemler,
- Sosyal sistemler,
- Çevre ve ekolojik Sistemler
- Ekonomi analizleri,
- Yönetim ve organizasyon,
- Eğitim sistemleri,
- Trafik uygulama sistemleri,
- Askeri sistemler,

vb. birçok alanda uygulanma şansını yakalamıştır ve sonuçta GST araştırma ve uygulama metodolojisi olarak altı temel başlıkta toplanmıştır:

- Gri üretim,
- Gri ilişki analizi,
- Gri modelleme,
- Gri tahmin,
- Gri karar verme,
- Gri kontrol.

Gri sistem teorisinin teorik olarak geliştirilmesi konusunda da bilimsel yazında birçok çalışmaya rastlanılmaktadır. Özellikle teorinin ilk yıllarında; Cheng (1986) tarafından gri sistem teorisinin yapısına uygun olacak şekilde parametre değerleri tam olarak bilinmeyen bir sistem için geleneksel ve entegre gri tahminleme yapan bir denetleyici sistemi önerilmiştir. Daha sonra Deng (1989) tarafından yayınlanan “Gri Sistem Teorisine Giriş” (*Introduction to Grey System Theory*) başlıklı makale ile gri

sistem teorisinin matematiksel işlem ve işlevleri ile kullanım alanları üzerinde yoğun bir ilgi başlamıştır.

Sosyal, ekonomik ve endüstriyel birçok sistem, GST ile incelenmektedir. Bunun başlıca nedeni, ilgili süreçlerden kaynaklanan belirsiz durumlar ve/veya eksik bilgidir. GST süreci tanımlanırken Siyah-Gri-Beyaz bilgi kavramı ön plana çıkmaktadır (Liu ve Lin, 2006). Burada;

- “Siyah” bilinmeyen bilgi,
- “Gri” kısmi bilinen-kısmi bilinmeyen bilgi,
- “Beyaz” tam bilinen bilgidir.

Gri sistem özelliklerine bakıldığında; kısmi bilinen-kısmi bilinmeyen ya da tamamlanmamış bilgi adı verilen karmaşık durumlar için belirli toleranslara sahip birden fazla çözüm önerilebildiği görülmektedir. GST açısından siyah-gri-beyaz sistemlerin karşılaştırılması Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo1: Siyah-Gri-Beyaz sistemlerin karşılaştırılması
(Liu ve Lin, 2006)

	Siyah	Gri	Beyaz
Bilgi Türü	<i>Bilinmiyor</i>	<i>Tamamlanmamış</i>	<i>Biliniyor</i>
Görünüş	<i>Koyu</i>	<i>Gri</i>	<i>Parlak</i>
Süreç	<i>Yeni</i>	<i>Eski yerine Yeni</i>	<i>Eski</i>
Özellik	<i>Kaos</i>	<i>Karmaşıklık</i>	<i>Düzen</i>
Yöntem	<i>Olumsuz</i>	<i>Geçiş</i>	<i>Olumlu</i>
Tutum	<i>Müsamaha içerir</i>	<i>Tolerans</i>	<i>Netlik</i>
Çıkarım	<i>Sonuç yok</i>	<i>Çoklu Çözüm</i>	<i>Tek Çözüm</i>

Herhangi bir durum hakkında tanımlanan gri bilgi, yani kısmi bilinen-kısmi bilinmeyen ya da tamamlanmamış bilgi anlamında kullanılmaktadır. Burada incelenen bir sistem için dört farklı durum söz konusudur (Liu ve Lin, 2010):

- Elemanlar (Parametreler) hakkında tamamlanmamış bilgi,
- Yapı hakkında tamamlanmamış bilgi,
- Sınırlar hakkında tamamlanmamış bilgi,
- Davranışlar hakkında tamamlanmamış bilgi.

Gri sistem teorisinin sıklıkla başvurulan konulardan olan olasılık teorisi, istatistik ve bulanık matematik açısından karşılaştırılması Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2: Gri sistem teorisinin karşılaştırılması (Liu and Lin, 2006)

Kategori	Gri Sistem Teorisi	Olasılık ve İstatistik	Bulanık Matematik
Çalışma Alanı	<i>Yetersiz Bilgi</i>	<i>İstatistiksel Belirsizlik</i>	<i>Dilsel Belirsizlik</i>
Temel Küme	<i>Gri Belirsiz kümeler</i>	<i>Kantor kümeler</i>	<i>Bulanık kümeler</i>
Yöntem	<i>Bilgi Kapsamı</i>	<i>Olasılık Dağılımları</i>	<i>Üyelik Fonksiyonları</i>
Prosedür	<i>Gri Seriler</i>	<i>Frekans Dağılımları</i>	<i>Marjinal Örneklem</i>
Gereksinim	<i>Herhangi Bir Dağılım</i>	<i>Belirli Bir Dağılım</i>	<i>Tecrübe</i>
Önem	<i>Kapsam</i>	<i>Kapsam</i>	<i>Uzanti</i>
Amaç	<i>Gerçekçi Kurallar</i>	<i>İstatistiksel Kurallar</i>	<i>Dilsel İfadeler</i>
Karakteristik	<i>Küçük Örneklem</i>	<i>Büyük Örneklem</i>	<i>Tecrübe</i>

Tablo 2'ye göre, GST'nin küçük örnekleme sahip yetersiz veya eksik bilgi olsa bile herhangi bir dağılım ya da dağılım ile ifade edilmeksizin çalışabilmesi, endüstriyel ve akademik araştırmalarda kullanımı açısından kolaylıklar sağlaması nedeniyle tercih edilmesine sebep olmaktadır.

Ayrıca, her bir gri sistemde gri sayılar, sistem için en temel aşama olarak düşünülebilir. Bir gri sayı, değeri kesin olarak bilinmeyen fakat alabileceği değer için sınırları bilinen/tanımlanabilen bir sayıdır. Gri sayılar bir aralık ya da sayı kümesinden elde edilir.

Genellikle gri sayılar ve işlemleri olarak tanımlanan gri matematik sürecinde alt ve üst sınırları bilinen aralık gri sayılar (*interval grey numbers*) sıklıkla tercih edilmektedir ve $\otimes \in [a, \bar{a}]$ şeklinde gösterilmektedir.

Gri sayıların beyazlaştırılması sürecinde ise pratikte beyazlaştırma katsayısı adı verilen bir α katsayısı kullanılır ve genellikle $\alpha = \frac{1}{2}$ olarak kabul edilmektedir. $\alpha = \frac{1}{2}$ olduğu durumdaki α katsayısına ortalama beyazlaştırma katsayısı adı verilmektedir. Bu da hesaplama kolaylığı ve hızı sağlamaktadır. Burada, beyaz değer $\tilde{\otimes} = \alpha \cdot a + (1 - \alpha) \cdot b$, $a \in [0,1]$ ve $\otimes \in [a, b]$ şeklinde elde edilmektedir. Ayrıca, α katsayısı değerinin belirlenmesine yönelik farklı araştırmalara da bilimsel yazında rastlanılmaktadır.

İzleyen bölümde, GST ve uygulamaları konusunda yapılan detaylı bilimsel yazın taraması ve bunun sonucunda elde edilen çıkarımlar ve öneriler yer almaktadır.

2. GRİ SİSTEM TEORİSİ KAYNAK ÖZETLERİ

GST ve ilgili uygulamaları içeren detaylı bilimsel yazın araştırması ağırlıklı olarak son onbeş yılı kapsayacak şekilde Tablo 3'te gösterilmiş ve bu bölümde ayrı başlıklar altında kaynak özetleri verilmiştir.

Tablo 3: GST ve uygulamaları hakkında bilimsel yazın araştırması

GST Yöntemi	Bilimsel Yazın Örneği
Gri üretim	<i>Guo ve Guo (2009); Xu vd. (2011)</i>
Gri ilişki analizi	<i>He ve Hwang (2007); Pai vd. (2007); Xu vd. (2007); Kurt (2008); Akay (2011);</i>
Gri tahminleme	<i>Hsu ve Wen (1998); Lin vd. (2001); Hsu (2003); Yao vd.(2003); Hsu ve Chen (2003); Lin vd. (2004); Chiou vd. (2004); Trivedi ve Singh (2005); Wang ve Hsu (2008); Huang ve Jane (2009); Kayacan vd. (2010); Kayacan ve Kaynak (2011); Askari ve Askari (2011); Wang vd. (2012)</i>
Gri karar verme	<i>Zhongmin ve Xizu (2009); Tseng (2009); Özdemir ve Deste (2009); Eşme vd. (2009); Turskis ve Zavadskas (2010); Zavadskas vd. (2010); Yılmaz ve Güngör (2010); Luo ve Wang (2012)</i>
Gri kontrol	<i>Cheng (1986), Huang ve Huang (1994); Wong ve Chen (1998) Huang ve Lian (1998)</i>
Gri ve yapay zeka	<i>Chen ve Chang (2000); Tsaur (2006); Akay ve Kulak (2007); Li ve Liu (2008); Xu vd. (2009); Shen vd. (2009); Wang (2011); Liu vd. (2011); Sofyalıoğlu (2011); Köse vd. (2011)</i>

2.1. Gri Tahminleme

Tahminleme konusunun birçok belirsizlik durumu içermesi, gri tahminleme yöntemlerinin geliştirilmesine neden olmuştur. Bilimsel yazında da çok farklı uygulama alanlarında gri tahmin modellerinin kullanıldığı görülmektedir.

Hsu ve Wen (1998), asya-pasifik bölgesinde bölge uçuş pazarında bulunan on ülke çifti arasındaki havayolu yolcu trafiği tahminlemesi için birinci dereceden tek değişkenli gri sistem modeli GM(1,1) geliştirdiler. ARIMA ve çoklu regresyondan daha iyi sonuç veren GM(1,1) modeline göre 2000 yılı için büyümenin %11 oranında olacağını tahmin etmişlerdir. Lin vd. (2001) yaptıkları çalışmada ise; Markov-Fourier açılımlı gri tahminleme modeli geliştirmişler ve bu modelin önceden geliştirilmiş olan yapay sinir ağları ve bulanık mantık temelli tahminleme modellerine göre daha yüksek hassasiyete sahip bir tahminleyici olduğunu göstermişlerdir. Hsu (2003) ise; gri tahminleme yöntemlerini geleneksel yöntemler ile karşılaştırdığı çalışmanın sonucunda, entegre devre sistemleri için talep tahminlemesinde, GST'nin kısa dönemlik tahminler için daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Yao vd. (2003) elektrik enerjisi tahminlemesi konusunda yaptıkları çalışmada çok kısa dönemler için elektrik talebinin tahminlemesine yönelik gri tabanlı adaptif bir tahmin modeli geliştirmişlerdir. Sonuçta, yüksek enerji tüketen işletmelerde işlem maliyetlerini koruyan bir sonuç elde etmişlerdir. Benzer şekilde, Hsu ve Chen (2003) ise; Tayvan'ın enerji talebi için geliştirdikleri gri tabanlı tahminleyici ile daha iyi tahminleme doğruluğu elde etmişlerdir. Akay ve Atak (2007) tarafından yapılan çalışma ile Türkiye

elektrik talebinin yuvarlanma (rolling) mekanizmalı gri tahminleme sistemi ile tahminlemesi gerçekleştirilmiştir.

Genellikle tek faktörlü kısa dönemli ve eksik verili sistemlerin tahminlemesinde sıklıkla kullanılan gri sistem teorisi, Lin vd. (2004) tarafından geliştirilen yöntemle çok faktörlü zaman serisi tahminlemesine imkan sağlamaktadır. Geliştirilen yöntemde; birinci aşamada, faktör analizi gerçekleştirilmekte ve ikinci aşamada niteliksel ölçüden niceliksel ölçüye gri ilişki derecesi kullanarak dönüşüm sağlanmaktadır. Üçüncü aşamada ise, birinci aşama sonuçlarına göre tahminleme prosedürü uygulanmaktadır. Chiou vd. (2004) ise, Tayvan donanması yedek parça stoklarının kontrolü için yaptıkları çalışmada, sadece talep miktarını belirlemek için gri tahminleme modeli ile malzeme gereksinimi üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Trivedi ve Singh (2005) tarafından yapılan çalışmada, uzun süreli su kaynakları verilerinin güvenilirliği konusunda gelişmekte olan ülkeler açısından Hindistan örneği üzerinde gri sistem teorisi uygulanmış ve diğer istatistiksel metotlara göre diferansiyel hidrolojik gri modelin daha yüksek tahmin doğruluğunda olduğu gösterilmiştir. Wang ve Hsu (2008) ise; Tayvan’da yüksek teknoloji sektöründen trendleri ve çıktıları tahminlemeye yönelik genetik algoritma kullanan bir gri sistem teorisi geliştirmişlerdir. Tahminleme hatasının enküçüklenmesinin amaçlandığı çalışma, entegre devre endüstrisi üzerinde yapılan bir uygulama ile desteklenmiştir.

Huang ve Jane (2009), hisse senedi tahminlemesi ve portföy seçimi için eksojen otoregresif hareketli ortalama (ARX), gri sistem ve kaba küme (RS) teorilerini kullanarak hibrit bir model geliştirmişlerdir. Sonuçta, seçilen hisse senetlerinde geri dönüş oranlarının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kayacan vd. (2010), 2005-2007 yıllarını kapsayacak şekilde Avro ve Dolar paritesini gri tabanlı zaman serisi analizi ile tahmin etmişlerdir. Sonuç olarak gri tabanlı sistemin Fourier serisine göre daha iyi tahminleme yaptığını göstermişlerdir. Kayacan ve Kaynak (2011) yaptıkları çalışmada; tahminleme hatasının küçültülebilmesi için geliştirilen birçok tahmin modelinin gri olanlarda dahil bilgisayarlı hesaplama maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle gri tahminleyici yapısı içine çok basit bir şema yöntemi geliştirerek daha iyi performans sonuçları elde etmişlerdir. Askari ve Askari (2011) ise, gri zaman serisi modeli olarak altın fiyatlarının tahminlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Fourier serisi kullanarak yapılan geliştirme, ARIMA (Box-Jenkins) modeli ile performansları değerlendirmişlerdir. Sonuçta, geliştirilen gri yöntemin daha iyi olduğunu sayısal bir örnek ile göstermişlerdir.

Ayrıca Wang vd. (2012) tarafından yapılan farklı bir çalışma ile gıda güvenliği konusunda erken uyarı veren gri bir tahminleme sistemi önerilmiştir. Süreç yeterlilik indeksi ve gri tahminleme modelinin birlikte değerlendirilmesi ile gıda güvenliği konusunda erken uyarı sistemi geliştirmişlerdir. Zayıf ve eksik bilgi ihtiyacı dikkate alınarak geliştirilen yöntem etkin olarak uygulamalı bir şekilde kullanılmıştır.

2.2. Gri İlişki Analizi ve Karar Verme

Gri sistem teorisi özellikle gri ilişki analizi uygulaması yönüyle farklı kullanım alanlarına da sahiptir. Gri sistem teorisinde, bir sisteme etkisi olan faktörlerin belirlenebilmesi için gri ilişki analizi ve belirsizlik altında gri karar verme süreçlerine ilişkin modeller de geliştirilmektedir. Bu konuda özellikle son 5 yıl içinde gerçekleştirilen ve farklı alanlarda uygulamalı olarak yer alan çalışmalar kronolojik bir düzende özetlenmiştir.

Hasar tespiti konusunda He ve Hwang (2007) tarafından yapılan çalışmada; hasarın meydana geldiği yerdeki parametrelerin sayısının azaltılmasında gri ilişki analizi kullanılmış ve belirlenen parametreler için genetik algoritma ve tavlama benzetimi algoritmaları ile hibrit bir yapı oluşturularak hasar tespitine karar verilmiştir. Pai vd. (2007) ise; gri sistem teorisi yardımıyla Japonya hava kirliliği kontrolü sürecini, yasal düzenlemeleri dikkate alacak şekilde gri ilişki analizi yöntemini kullanarak otoyol kenarına kurdukları izleme istasyonlarından elde ettikleri veriler ile bir değerlendirme sistemi kurmuş ve 1975-2004 yılları arasını incelemiştir. Otoyol kenarı hava kalitesinin giderek azaldığı tespit edilmiştir.

Xu vd. (2007), kanıt teorisinin bir arayüzü olacak şekilde gri ilişkisel analiz kullanarak inanma fonksiyonu için yeni bir karmaşık yeniden atama yaklaşımı önermiştir. Böylece güvenilir olmayan bilginin hariç tutulması ve bilgi kaynaklarının güvenilirliğinin değerlendirilmesi sağlanmıştır. Kurt (2008) ise, üniversite öğrencilerinin sahip oldukları gelecek ile ilgili kaygılarının; tutum, algı, değer yargısı, bilgi ve davranış değişikliklerini dikkate alarak gri ilişki çözümü ve rijit çözümü yöntemleri ile değerlendirmiştir.

Sistem analizi konusunda gri sistem teorisinin avantajlarını kullanan Zhongmin ve Xizu (2009), aralık gri sayılar kullanarak çok amaçlı çözüm üretecek şekilde bir şebeke (ağ) planı üzerinden kritik yolun tespit edilebileceğini ve öznel ve nesnel faktörlerin birlikte çözülebileceği göstermişlerdir. Tseng (2009) ise, beklenen hizmet kalitesi üzerine geliştirilen nedensel bir karar verme modelini gri bulanık DEMATEL (*Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory*) yaklaşımı ile gerçekleştirmiştir. Çözüm yolunu; birinci aşaması, üçgensel bulanık sayılar ile tarif edilen alternatifler ve ölçüt ağırlıkları, ikinci aşaması, tüm alternatiflerin sıralı düzenlenebilmesi için gri olasılık derecesinin tanımlanması, üçüncü aşaması, DEMATEL yöntemi ile bu ölçütler arasında bağılıkların belirlenmesi ve dördüncü aşaması ise, müşteri beklentileri açısından hizmet kalitesi için en iyi hizmet kalitesi aracının belirlenmesi ve seçilmesi şeklinde dört aşamada tanımlamıştır.

Özdemir ve Deste (2009) yaptıkları çalışmada, gri ilişki analizi yöntemi ile çok ölçütlü karar verme sürecinde otomotiv sektöründe tedarikçi seçimi uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Seçilen işletmenin 82 tedarikçisi için problemi, performans değerlendirme problemi olarak ele alarak, gri ilişki analizi sayesinde birçok niteliği kapsayan çoklu alternatifler arasından karar verebilen bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Turskis ve Zavadskas (2010)

yaptıkları çalışmada; nakliye ücretleri, finansal durum, üretim spesifikasyonları, standartlar, ticari geçmiş ve tedarikçi performansı vb. birçok ölçütün dikkate alındığı tedarikçi seçimi problemi için gri sistem teorisi tabanlı yeni bir çok kriterli analiz yöntemi geliştirmişlerdir. Yine Zavadskas vd. (2010) tarafından, benzer şekilde, karar analizi konusunda gri ilişki analizi temelinde aralık gri sayılar kullanan bir TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution*) modeli geliştirildi. Gri ilişki analizi yardımıyla imalat yöntemleri ve uygulamaları alanında birçok çalışma yapılmıştır. Luo ve Wang (2012) ise, üç parametrelilik aralık gri sayı şeklinde tanımlanan özellik değeri için yeni bir çok özellikli gri hedef karar yöntemi önermişlerdir. Yöntem, öznel veya nesnel ağırlıklandırma metodu kullanılarak ağırlık indekslerini belirleme yoluyla kritik etki vektörü tespit edilerek çalıştırılmaktadır.

Üretim sistemleri ve imalat teknikleri kapsamında Eşme vd. (2009) Taguchi Metodu tabanlı gri ilişki çözümlemesi metodu kullanılarak yaptıkları çalışmada; öncelikle galetaj işleminde yüzey pürüzlülüğü ve mikrosertliğe etki eden parametreleri belirlemişlerdir. Bu parametreler ilerleme hızı, paso sayısı, galetaj hızı ve baskı kuvvetidir. Parametrelerin etkilerini en-küçük-en iyi ve en-yüksek-en iyi performans karakteristiği ile optimize etmişlerdir. Daha sonra Yılmaz ve Güngör (2010), tornalama parametrelerinin optimizasyonu için çok ölçütlü karar verme yöntemi olan gri ilişki analizini kullanılarak SAE/AISI 4140 malzemesi üzerinde 3 farklı malzemeden takım tutucuları ve 3 farklı sertlik seviyesinde, kesme kuvveti ve titreşim üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Ergonomi konusunda Akay (2011) yaptığı çalışma ile, meslek hastalıklarından önemli biri olan bel rahatsızlıklarının sınıflandırılması amacıyla örneklerle öğrenme temeline dayalı gri ilişki analizi yöntemini tercih etmiştir.

2.3. Gri Kontrol ve Yapay Zeka Teknikleri

Gri sistem teorisi belirsizlik altında modelleme olarak düşünüldüğünde diğer yapay zeka teknikleri ve/veya sezgisel yöntemler ile birlikte de kullanılmıştır. Tabii bu yöntemlerin başında sıklıkla tercih edilen yapay sinir ağları ve bulanık mantık yöntemleri gelmektedir. Bu kısımda daha çok gri sistem teorisinin farklı kullanım alanlarından örneklere yer verilmiştir.

Chen ve Chang (2000), katı atık oluşumu analizinin tahminlenmesi için bir gri bulanık dinamik modelleme yaklaşımı geliştirmişlerdir. Tayvan'daki bir şehir de yapılan pratik uygulamada, yeni tahminleme yönteminin geleneksel gri dinamik modelleme, en küçük kareler regresyon ve bulanık hedef programlama yöntemlerine göre daha düşük tahminleme hata seviyesine sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Tsaur (2006) ise, sınırlı veri ile yapılan tahminlemelerde belirsizlik durumlarının etkisini azaltacak şekilde GM(1,1) modelini bulanık mantık ile geliştirmiştir. Bulanık gri çıktı modeli adını verdiği yöntemin karar verme sürecinde mümkün kayıpları azalttığı yönündeki model performansını bir örnek ile göstermiştir.

Ürün tasarımı ve geliştirme konusunda Akay ve Kulak (2007) yaptıkları çalışmada, ürün tasarımı konseptlerinin değerlendirilmesinde gri bulanık bilgi aksiyomlarını kullanmışlardır. Wang (2011) ise, gri sistem teorisi ve destek vektör regresyonu tabanlı hibrit bir Kansei mühendislik tasarımı içeren uzman sistem önermiştir. Müşteri taleplerine hızlı cevap verebilmede müşteriler arasındaki ilişkileri çözmeye çalışarak yüksek ücretli makine teçhizat kullanımını sağlayan bir uzman sistemi Kansei mühendislik yaklaşımı altında üretim sistemi için önermiştir. Gri sistem teorisini ürün imajını etkileyen parametrelerin belirlenmesi ve bu parametrelerin etkilerinin ağırlıklandırılmasında etkin olarak kullanmıştır. Destek vektör regresyonu sayesinde de ürün imajı ve bileşenleri ile ürün arasındaki ilişkinin tanımlanmasını sağlamıştır. Üretim planlama ve kontrol sürecinde farklı bir çalışma olarak ekonomik sipariş miktarı modellerinin gri sistem teorisi ile kullanıldığı tek bir çalışmaya rastlanılmaktadır. Köse vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada klasik ekonomik sipariş miktarı modeli için talep belirsizliği ve sipariş ile elde bulundurma maliyetlerinin grileştirilmesi ve buna karşın aynı sistemin bulanık mantık ile çözümlenmesi ile elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Li ve Liu (2008) tarafından yapılan çalışmada, bir ekonomik sistem hakkında belirsizlik koşulları altında girdi-çıkı analizi yapabilmek için gri sayıların yanı sıra gri matrisler ve ters gri matrislerin tanımlanabileceği ispatlı bir şekilde gösterilmiştir. Liu vd. (2011) ise, hata türü ve etkileri analizini, bulanık kanıt nedensel yaklaşım ve gri sistem teorisi kullanarak gerçekleştirmiştir. Geleneksel yöntem ve bulanık mantık yöntemi ile geliştirilen hata türü ve etkileri analizi uygulamaları içinde gri sistem teorisi yardımıyla bir takım üyesinden diğerine aktarılan görüş ve bilgilerin gösterilmesi ve risk önceliklerinin belirlenmesi problemleri çözülmüştür. Benzer bir çalışmada Sofyalıoğlu (2011) tarafından sanayi uygulaması ile desteklenerek gerçekleştirilmiştir. Hata türü ve etkileri analizi yöntemi, risk öncelik puanlaması ile gerçekleştirilmiş ve daha sonra görülen eksiklikler gri ilişkisel analiz ile giderilmeye çalışılmıştır.

Shen vd. (2009) tarafından bilgi güvenliğinin sağlanması konusunda gri sistem teorisi kullanan bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bir şifreleme sistemi için şifreleme algoritması içine gri sistem teorisi kullanarak türetilmiş gri veriler yerleştirilmiştir. Aynı zamanda, toplam ve fark işlemleri ile kilitleme ve açma durumlarında bilginin saklanması sağlanmış ve tekrardan şifrenin doğrulanması görsel olarak da örneklendirilmiştir. Xu vd. (2009) ise, otoyol trafik güvenlik düzeyinin değerlendirilmesi için gri sistem teorisi ve yapay sinir ağları yöntemlerini bir arada uygulamışlar ve geliştirdikleri yöntemin daha avantajlı olduğunu sayısal bir örnek ile göstermişlerdir.

Gri sistem teorisi yönetsel ve modelleme açısından da gelişime açık bir teoridir. Bu konuda özellikle son yıllarda karşılaşılan önemli çalışmalar da bulunmaktadır. Guo ve Guo (2009) yaptıkları çalışma ile gri diferansiyel eşitlik modeli için klasik Gauss hata kanunu ve bulanık ölçülebilirlik teorisi temelinde rassal bulanık değişken kullanılabileceğini göstermişlerdir. Xu vd. (2011), en küçük kareler yöntemi yardımıyla gri

modellerin geliştirilmesini sağlamışlardır. Geleneksel yöntemlere göre en küçük kareler yönteminin model kurmada tercih edilmesi ile gri modellerin hassasiyetlerinin her zaman daha iyi olduğunu sayısal örneklerle desteklemişlerdir.

Gri kontrol ve denetleyici tasarım konularındaki çalışmalara da bilimsel yazında rastlanılmaktadır. Bu konuda ilk araştırma makalesi Chen (1986) tarafından yapılan gri öngürüsel denetleyici sistem önerisidir. Daha sonraları robotik izleme ve denetleme konusunda endüstriyel gelişime paralel olarak gri sistem teorisinin de etkisi görülmektedir. Huang ve Huang (1994) çalışmalarında; robot kolu denetimi için gri bulanık bir denetleyici sistem geliştirmiştir. Sonrasında; Wong ve Chen (1998) ise, gri tahminleyici ve bulanık denetleyici yapısı altında bulanık kural tabanına dayanan bir gri öngürüsel bulanık denetleyici yapısı tasarlamışlardır. Bunu yaparken yüksek kontrol performansı için uygun parametrelerin bulunabilmesi sürecinde tavlama benzetimi sezgisel algoritmasını kullanmışlardır. Benzer şekilde; Huang ve Lian (1998) ise; gri sistem teorisi tabanlı tahminleyici ve bulanık denetim özellikli bir robot hareket kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Robot hareketlerinin güncel pozisyon hataları ve hata değişimlerinin robot uygulamaları açısından en küçük seviyede tutulması amacını taşıyan gri tahminleyici ile robot hareketlerinin öngörülmesi ve bu pozisyonların bir sonraki adımda bulanık kural tabanında denetleyici mekanizmasına geçmesi sağlanmıştır. Geliştirilen sistem uygulamalı olarak performans analizine tabii tutulmuştur. Kayacan ve Kaynak (2006) ise, değişken tahminleme boyutunda doğrusal olmayan bir sistem olarak gri bulanık yinelemeli yeni bir PID kontrol sistemi önermişlerdir.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

GST yöntemi ile ilgili araştırma ve uygulamalar için özellikle son onbeş yılı içeren detaylı bilimsel yazın taramasına göre elde edilen sonuç ve öneriler aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Endüstriyel araştırma ve uygulama problemleri, genellikle kısmi bilinen özellikler taşıyan yapıya sahiptir. Değişkenliğin ve karmaşık yapının zaman boyunca süreklilik arz ettiği durumları içermektedir.
- Gri sistem teorisi, belirsizlik içeren yarı-karmaşık (kısmi bilinen- kısmi bilinmeyen ya da tamamlanmamış bilgi) içeren sistemlerin modellenmesinde genellikle aralık cebiri temeline dayanan küçük örneklem yapısına sahip problemlerin çözülmesi için etkin bir yöntemdir.
- GST ile hesaplama yoğunluğu ve zorluğu içeren orta ve büyük ölçekli endüstriyel problemlerin modellenebilmesine imkan verilmektedir. Hesaplama maliyeti değerlendirildiğinde ise, gri sayılar ve işlemleri, dizi oluşturma, gri ilişki analizi ve en küçük kareler yöntemine dayanan diferansiyel denklemleri içeren modeller için günümüzde bilgisayar destekli hesaplama sayesinde pratik çözümler önerilebilmekte ve

geliştirilmiş modeller için çözüm zamanları ise oldukça kısa sürelere çekilebilmektedir.

- Benzer avantajları nedeniyle hızlı ve pratik çözümleri etkili bir performans seviyesinde sunabilmesi nedeniyle akademik eğitim-öğretim süreçlerinde Gri Sistem Teorisi içerikli lisans ve/veya lisansüstü derslere yer verilmesinin önemli olacağı düşünülmektedir.
- Gri sistem teorisinin; gri modelleme, gri ilişki analizi ve tahminleme uygulamaları dışındaki kullanım alanları olarak gri doğrusal-doğrusal olmayan programlama, gri tamsayı programlama, gri karar verme modelleri, gri oyun modelleri, gri kontrol sistemleri vb. uygulama alanlarının yanı sıra yapay zeka teknikleri ve sezgisel-metasezgisel yöntemler ile birlikte kullanılabilir olması nedeniyle akademik ve endüstriyel araştırmalar için etkin bir araç olarak kullanılması söz konusudur.
- Gri sistem teorisinin, 1980'lerin sonundan itibaren özellikle uzakdoğu (Çin, Japonya, Tayvan ve bölgesi) ülkelerinde endüstriyel araştırma ve uygulamalar için hızlı bir şekilde artarak tercih edilen bir alternatif sistem teorisi olduğu ve ilgili coğrafyanın özellikle son 30 yılda ekonomik göstergeler bakımından gelişmiş olduğu seviye ile birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu açıdan düşünüldüğünde birçok uygulama kolaylığı içeren GST yönteminin akademik ve endüstriyel araştırmalarda daha fazla önemsenesinin gerektiği düşünülmektedir.

Teşekkür

Yazarlar, 2918-D-11 nolu Doktora Tezi Projesi'nin bir parçası olarak bu çalışmaya verdikleri kısmi destekten dolayı, Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür eder.

KAYNAKÇA

1. AKAY, Diyar (2011), "Grey Relational Analysis Based on Instance Based Learning Approach for Classification of Risks of Occupational Low Back Disorders", *Safety Science*, 49 (8-9), 1277-1282.
2. AKAY, Diyar ve Mehmet Atak (2007), "Grey prediction with rolling mechanism for electricity demand forecasting of Turkey", *Energy*, 32 (9), 1670-1675.
3. AKAY, Diyar ve Osman Kulak (2007), "Evaluation of product design concepts using grey-fuzzy information axiom", *Journal of Grey System*, 19 (3), 221-234.
4. ASKARI, Mehdi ve Hadi Askari (2011), "Time Series Grey System Prediction-based Models: Gold Price Forecasting", *Trends in Applied Sciences Research*, 6 (11), 1287-1292.
5. CHEN, H. W. ve Ni-Bin Chang (2000), "Prediction Analysis of Solid Waste Generation based on Grey Fuzzy Dynamic Modeling", *Resources, Conservation and Recycling*, 29, 1-18.
6. CHENG, Biao (1986), "The Grey Control on Industrial Process", *Huangshi College Journal*, 1, 11-23.

7. CHIOU, Hua-Kai; Gwo-Hshiung Tzeng; Chih-Kang Cheng ve Gia-Shie Liu (2004), “Grey Prediction Model for Forecasting the Planning Material of Equipment Spare Parts in Navy of Taiwan”, *Automation Congress*, 17, 315-320.
8. DENG, Ju-Long (1982), “Control Problems of Grey Systems”, *Systems & Control Letters*, 1 (5), 288-294.
9. EŞME, Uğur; Melih Bayramoğlu ve Hakan Aydın (2009), “Galetaj İşleminin Taguchi Tabanlı Gri İlişki Çözümlemesi İle Optimizasyonu”, 2. Mühendislik Sempozyumu, 30 Nisan-1 Mayıs 2009, Çankaya Üniversitesi, Ankara.
10. GUO, R. ve D. Guo (2009), “Random Fuzzy Variable Foundation for Grey Differential Equation Modeling”, *Soft Computing*, 13, 185-201.
11. HE, Rong-Song ve Shung-Fa Hwang (2007), “Damage Detection by a Hybrid Real-Parameter Genetic Algorithm under the assistance of grey relation analysis”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 20, 980-992.
12. HSU, Che-Chiang ve Chia-Yon Chen (2003), “Applications of improved grey prediction model for power demand forecasting”, *Energy Conversion and Management*, 44, 2241-2249.
13. HSU, Chaug-Ing ve Yuh-Horng Wen (1998), “Improved Grey Prediction Models for the Trans-Pacific Air Passenger Market” *Transportation Planning and Technology*, 22, 87-107.
14. HSU, Li-Chang (2003), “Applying the Grey Prediction Model to the Global Integrated Circuit Industry”, *Technological Forecasting & Social Change*, 70(6), 563–574.
15. HUANG, Kuang-Yu ve Chuen-Jiuan Jane (2009), “A Hybrid Model for Stock Market Forecasting and Portfolio Selection Based on ARX, Grey System and RS Theories”, *Expert Systems with Applications*, 36, 5387-5392.
16. HUANG, Shiuh-Jer ve Chien-Lo Huang (1994), “Control of an Inverted Pendulum Using Grey Prediction Model”, *Proceedings of IEEE Conference Industrial Applications*, 3, Denver, CO, ABD, 1936-1941.
17. HUANG, Shiuh-Jer ve Ruey-Jing Lian (1998), “A Fuzzy Controller with Grey Prediction for Robot Motion Control”, *International Journal of System Science*, 29 (4), 341-351.
18. KAYACAN, Erdal ve Okyay Kaynak (2011), “Single-step Ahead Prediction based on the Principle of Concatenation Using Grey Predictors”, *Expert Systems with Applications*, 38, 9499-9505.
19. KAYACAN, Erdal; Barış Ulutaş ve Okyay Kaynak (2010), “Grey system theory-based models in time series prediction”, *Expert Systems With Applications*, 37, 1784-1789.
20. KÖSE, Erkan; İzzettin Temiz ve Serpil Erol (2011), “Grey System Approach for Economic Order Quantity Models under Uncertainty”, *The Journal of Grey System*, 1, 71-82.

21. KURT, Günseli (2008), “Gri İlişki Çözümlemesi ve Ridit Çözümlemesi Kullanılarak Üniversite Öğrencilerinin Çeşitli Kaygılarının Değerlendirilmesi”, *Akademik Bakış*, 14, 1-10.
22. LI, Qiao-Xing ve Liu, Si-Feng (2008), “The Foundation of the Grey Matrix and the Grey Input-Output Analysis”, *Applied Mathematical Modeling*, 32, 267-291.
23. LIN, Chan-Ben; Shun-Feng Su, Yen-Tseng Hsu (2001), “High-precision forecast using grey models”, *International Journal of Systems Science*, 32 (5), 609-619.
24. LIN, Yen-Hung; Jean-Shyan Wang ve Ping-Feng Pai (2004), “A Grey Prediction Model With Factor Analysis Technique”, *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 21 (6), 535-542.
25. LIU, Hu-Chen; Long Liu; Qi-Hao Bian; Qin-Lian Lin; Na Dong ve Peng-Cheng Xu (2011), “Failure Mode and Effect Analysis Using Fuzzy Evidential Reasoning Approach and Grey Theory”, *Expert Systems with Applications*, 38, 4403-4415.
26. LIU, Sifeng ve Yi Lin, (2006), *Grey Information*, Springer, 503 s., Almanya.
27. LIU, Sifeng ve Yi Lin, (2010), *Grey Systems Theory and Applications*, Springer, 379 s., Almanya.
28. LUO, Dang ve Xia Wang (2012), “The Multi-Attribute Grey Target Decision Method for Attribute Value within Three-Parameter Interval Grey Number”, *Applied Mathematical Modeling*, 36, 1957-1963.
29. ÖZDEMİR, Ali İhsan ve Mustafa Deste, (2009), “Gri İlişkisel Analiz ile Çok Kriterli Tedarikçi Seçimi: Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama”, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 38(2), 147-156.
30. PAI, Tzu-Yi; Keisuke Hanaki; Hsin-Hsien Ho ve Chun-Ming Hsieh (2007), “Using Grey System Theory to Evaluate Transportation Effects on Air Quality Trends in Japan”, *Transportation Research Part D*, 12, 158-156.
31. SHEN, Victor R. L.; Yu-Fang Chung ve Tzer-Shyong Chen (2009), “A Novel Application of Grey system Theory to Information Security (Part-I)”, *Computer Standards and Interfaces*, 31, 277-281.
32. SOFYALIOĞLU, Çiğdem (2011), “Süreç Hata Modu Etki Analizini Gri Değerlendirme Modeli” *Ege Akademik Bakış*, 11 (1), 155-164.
33. TRIVEDI, H. V. ve J. K. Singh (2005), “Application of Grey System Theory in the Development of a Runoff Prediction Model”, *Biosystems Engineering*, 92 (4), 521-526.
34. TSAUR, Ruey-Chyn (2006), “Forecasting Analysis by Fuzzy Grey Model GM(1,1)”, *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 23 (5), 415-422.
35. TSENG, Ming-Lang (2009), “A causal and Effect Decision Making Model of Service Quality Expectation Using Grey-Fuzzy DEMATEL Approach”, *Expert Systems with Applications*, 36, 7738-7748.

36. TURSKIS, Zeonas ve Edmundas Kazimieras Zavadskas (2010), “A Novel Method for Multiple Criteria Analysis: Grey Additive Ratio Assessment (ARAS-G) Method” *Informatica*, 21 (4), 597-610.
37. WANG, Chao-Hung ve Li-Chang Hsu (2008), “Using Genetic Algorithms Grey Theory to Forecast High Technology Industrial Output”, *Applied Mathematics and Computation*, 195, 256-263.
38. WANG, Kun-Chieh (2011), “A Hybrid Kansei Engineering Design Expert System Based on Grey System Theory and Support Vector Regression”, *Expert Systems with Applications*, 38, 8738-8750.
39. WANG, Yuhong; Jiangrong Tang ve Wenbin Cao (2012), “Grey Prediction Model-Based Food Security Early Warning Prediction”, *Grey Systems: Theory and Application*, 2 (1), 13 – 23.
40. WONG, Ching-Chang ve Chia-Chong Chen (1998), “A Simulated Annealing Approach to Switching Grey Prediction Fuzzy Control System Design”, *International Journal of System Science*, 29 (6), 637-642.
41. XU, Guoping; Weifeng Tan; Li Qian ve Xiangfen Zhang (2007), “A Novel Conflict Reassignment Method based on Grey Relational Analysis (GRA)”, *Pattern Recognition Letters*, 28, 2080-2087.
42. XU, Jin; Tao Tan; Mao Tu ve Long Qi (2011), “Improvement of Grey Models by Least Squares”, *Expert Systems with Applications*, 38, 13961-13966.
43. XU, Xiangzheng; Baichao Chen ve Fangcheng Gan (2009), “Traffic Safety Evaluations Based on Grey System Theory and Neural Network”, *Proceedings of 2009 World Congress on Computer Science and Information Engineering*, 603-607, 31 Mart – 2 Nisan 2009, Los Angeles, ABD.
44. YAO, Albert W. L.; Chi, S. C. Ve Chen, J. H. (2003), “An improved Grey-based approach for electricity demand forecasting”, *Electric Power Systems Research*, 67, 217-224.
45. YILMAZ, Esra ve Ferhat Güngör (2010), “Gri İlişkisel Analiz Yöntemine Göre Farklı Sertliklerde Optimum Takım Tutucusunun Belirlenmesi”, 2. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, 1-9, 11-12 Kasım 2010, Balıkesir.
46. ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras; Tatjana Vilutiene; Zeonas Turskis; Jolanta Tamosaitiene (2010), “Contractor Selection for Construction Work: By Applying SAW-G and TOPSIS Grey Techniques”, *Journal of Business Economics and Management*, 34-55.
47. ZHONGMIN, Song ve Yan Xizu (2009), “Critical Path for Grey Interval Project Network”, *Proceedings of 2009 IEEE International Conference of Grey System and Intelligent Services*, 10-12 Kasım 2009, Nanjing, China, 697-701.