

**T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DIŞ TORNALAMA İŞLEMİNDE, TAKIM TUTUCU
MALZEMESİNİN VE SERTLİKLERİNİN (HR_c) YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE KESME KUVVETLERİNE
ETKİSİNİN GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ YÖNTEMİ İLE
BELİRLENMESİ**

Esra YILMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Ferhat GÜNGÖR**

İSTANBUL 2010

**T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DIŞ TORNALAMA İŞLEMİNDE, TAKIM TUTUCU
MALZEMESİNİN VE SERTLİKLERİNİN (HR_c) YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE KESME KUVVETLERİNE ETKİSİNİN GRİ
İLİŞKİSEL ANALİZ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

**Esra YILMAZ
(141101720060280)**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Ferhat GÜNGÖR**

İSTANBUL 2010

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca, derin bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, her türlü maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Tez Danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ferhat GÜNGÖR' e şükranlarımı sunarım.

Ayrıca tez için gerekli deneylerin Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi CNC Laboratuvarında uygulanmasını sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Mustafa KURT, Arş. Gör. Barkın BAKIR ve Yrd. Doç. Dr. Gürcan ATAKÖK' e; takım tutucularını imal edip çalışmalarımızın yapılmasını sağlayan TAKIMSAŞ A.Ş. yöneticilerinden Tekin SEÇKİN ve Turgay YAPICI Beyefendilerine; Uçlarımızı tedarik ettiğimiz NIKKEN Kesici Takımlar Sanayi ve Uluslararası Ticaret A. Ş. Genel Müdürü Dr. Ayhan ETYEMEZ Beyefendiye; çalışmalarım her aşamasında yanımda olan ve hiçbir zaman manevi desteğini benden esirgemeyen arkadaşım Mehtap YAVUZ' a, ve son olarak her türlü maddi ve manevi desteği ile yanımda olan eşim Mesut ÖZ'e ve de bu günlere gelmemi sağlayan, hiçbir desteğini benden esirgemeyen canım aileme teşekkürlerimi sunarım.

Eylül, 2010

Esra YILMAZ

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
SEMBOLLER	vii
KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
BÖLÜM I	1
I.1 GİRİŞ VE AMAÇ	1
I.2 KAPSAM	2
BÖLÜM II	4
II.GENEL BİLGİLER	4
II. 1. TALAŞ KALDIRMA İŞLEMİNİN TEMEL PRENSİPLERİ	4
II. 2. TALAŞ KALDIRMA MEKANİĞİ	4
II. 2. 1. Dik (Orthogonal) Kesme Mekanikği.....	5
II. 2. 2. Eğik (Oblique) Kesme Mekanikği.....	5
II. 3. İŞ PARÇASI YÜZEY KALİTESİ (PÜRÜZLÜLÜK)	7
II. 3. 1. İdeal Yüzey Pürüzlülüğü.....	7
II. 3. 2. Doğal Yüzey Pürüzlülüğü.....	8
II. 3. 3. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar.....	8
II. 3. 4. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler.....	9
II. 4. TİTREŞİM [Tekaüt, 2008]	9
II. 4. 1. Titreşimin Tanımlanması [Tekaüt, 2008].....	11
II. 4. 2. Titreşimin Sınıflandırılması.....	13
BÖLÜM III	16
III.TEZ ÇALIŞMASINDA KULLANILAN MATERYAL ve YÖNTEMLER	16
III.1. ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ VE ÇALIŞMALAR	16
III.1.1 Gri İlişkisel Analizi Yöntemi.....	17
III.1.1.1 Gri Teori.....	17

III.1.1.2 Gri İlişkisel Analizi Literatür Çalışması.....	19
III.1.1.3 Gri Sistem Teorisinin Gelecekteki Araştırmaları	21
III.1.1.3.1 Oluşum:.....	21
III.1.1.3.2 Karşılaştırma:.....	21
III.1.1.3.3 Geliştirme:	21
III.1.1.3.4 Uygulama:.....	21
III.1.1.3.5 Kombinasyon:.....	22
III.1.1.4 Gri Sistemlerin Temel Kavram ve Prensipleri.....	22
III.1.1.4.1 Gri Sistemlerin Temel Kavramları	22
III.1.1.4.2 Gri Sistemlerin Temel Prensipleri	24
Aksiyom III.1.1.4.2.1 Bilgisel Farkların Prensiibi.....	24
Aksiyom III.1.1.4.2.2 Eşsiz Olmama Prensiibi	25
Aksiyom III.1.1.4.2.3 Minimum Bilgi Prensiibi.....	25
Aksiyom III.1.1.4.2.4 Tanıma Esası Prensiibi	26
Aksiyom III.1.1.4.2.5 Yeni Bilgi Önceliği Prensiibi	26
Aksiyom III.1.1.4.2.6 Griliğin Kesinlik Problemi.....	27
III.1.1.4.3 Sistem Bilimi ve Gri Sistem Teorisinin Sistem Bilimi İçerisindeki Konumu	27
III.1.1.4.5.Gri İlişkisel Analizi Yöntemi.....	36
III.1.1.4.6 Gri İlişkisel Analiz Hesaplama Adımları.....	36
III.2. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN MATERYALLER ve ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	69
III. 2. 1. CNC Torna Tezgahı.....	69
III. 2. 2. Kesme Kuvvetlerin Ölçülmesi.....	70
III.2.3. Titreşim Ölçülmesi	71
III.2.4. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi	74
III. 3. DENEY DÜZENEĞİ	77
IV. BÖLÜM	79
IV.SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	79
IV.1. KESME KUVVETİ, TİTREŞİM VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜM SONUÇLARI.....	79
IV. 2. ÖLÇÜM SONUÇLARININ GRİ İLİŞKİSEL ANALİZİ	80
IV. 3. ÖLÇÜM SONUÇLARININ VARYANS ANALİZİ (ANOVA).....	86

IV. 4. ÖLÇÜM SONUÇLARINA GÖRE PARAMETRELERİN BELİRLENMESİNDE AKSİYOMİK TASARIMIN BİLGİ AKSİYOMU UYGULAMASI	87
IV. 5. ÖLÇÜM SONUÇLARINA GÖRE PARAMETRELERİN BELİRLENMESİNDE TAGUCHİ UYGULAMASI	89
IV. 5.1 Kesme Kuvveti Sonuçlarına Göre Parametrelerin Seçimi	89
IV. 5. 2 Titreşim Sonuçlarına Göre Parametrelerin Seçimi.....	94
IV. 5. 3 Yüzey Pürüzlüğü Sonuçlarına Göre Parametrelerin Seçimi.....	99
BÖLÜM V	104
V.DEĞERLENDİRMELER ve ÖNERİLER	104
V. 1. DEĞERLENDİRMELER	104
V. 2. ÖNERİLER	106
KAYNAKLAR	108

ÖZET

DIŞ TORNALAMA İŞLEMİNDE, TAKIM TUTUCU MALZEMESİNİN VE SERTLİKLERİNİN (HRC) YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ, KESME KUVVETİ VE TİTREŞİME ETKİSİNİN GRİ İLİŞKİSEL ANALİZİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

İmalat sektöründe elde edilen ürünün ölçü ve yüzey kalitesi ile işleme parametrelerinin optimizasyonu bilimsel araştırmalar içerisinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Dahası bütün talaş kaldırma işlemlerinde temel amaç iş parçasında istenilen geometride ve hassas bir yüzey oluşturmaktır.

Bu tez çalışmasında, takım tutucu malzemesi ve sertliği ile ilerleme miktarı değiştirilerek; malzeme özelliği SAE/AISI4140 olan parça işlenmiştir. İşleme esnasında ve sonucunda bazı parametreler elde edilmiştir. Kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü olan bu parametreler Gri İlişkisel Analizi (GİA) Yöntemine göre değerlendirilmiştir. Böylece tutucusu malzemesi ve sertliği, tornalama işlemi esnasında oluşan işleme parametreleri üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Her geçen gün kendine daha fazla yer bulan ve farklı alanlarda uygulamalarda kullanılan GİA Yöntemi, az ya da kesikli bilgi, çok veri ve belirsizlik olan durumlarda başvurulabilecek alternatif ve etkili bir yaklaşımdır. Kullanılan takım tutucular, SVJCR özelliğinde olup TAKIMSAŞ tarafından özel imal edilmişlerdir. Takım tutucusu malzemeleri SAE/AISI 2344, SAE/AISI 4140 ve SAE/AISI 4340' dır. Bu üç farklı malzemeye göre imal edilmiş takım tutucular her bir malzeme için 42HRC, 45HRC ve 47HRC' ye göre sertleştirilmiştir. Böylece her malzeme için 3 farklı sertlikte takım tutucular yapılmış ve 9 farklı takım tutucusu elde edilmiştir.

Takım tutucu sertliği arttıkça işleme kalitesinin arttığı gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde en ideal (optimum) yüzey kalitesi, kesme kuvvetleri ve titreşim için en uygun takım tutucu sertliği önerilmiştir.

Eylül, 2010

Esra YILMAZ

ABSTRACT

DETERMINATION OF TOOL HOLDER MATERIAL AND HARDNESS EFFECT ON SURFACE ROUGHNESS, CUTTING FORCE AND VIBRATION BY USING GREY RELATION ANALYSIS

Dimension and surface quality with optimization of processing parameters of product obtained from manufacturing sector has a very important role in scientific research. Moreover, the basic aim of all machining operations on the workpiece is to create the desired geometry and a sensitive surface.

In this thesis, material and hardness of tool holder process quantity is changed and SAE/AISI4140 material is processed. During the processing and as a result of processing some parameters are obtained. These parameters which are cutting force, vibration and surface roughness are evaluated by using Grey Relational Analysis (GRA) So tool holder material and hardness effect on processing parameters composed during the turning operation are determined. Processing quality increasing is observed when the tool holder hardness is increased. GRA method which is used in different areas and applications with each passing day finds itself more space. It is an alternative and effective approach that can be applied in case of more data and uncertainty or less or discrete information. Used tool holders which are capable of SVJCR, made exclusively by TAKIMSAŞ. Tool holder materials are SAE/AISI 2344, SAE/AISI 4140 and SAE/AISI 4340. Tool holders are manufactured from these three different material. For each material; 42 HRC, 45 HRC, 47 HRC hardnesses are applied. So that three different hardness tool holders are made for each material and nine different tool holders are obtained.

Processing quality increasing is observed when the tool holder hardness is increased. As a result of obtained data, the most appropriate tool holder hardness is proposed for optimum surface quality, cutting forces and vibration.

Eylül, 2010

Esra YILMAZ

SEMBOLLER

D₁	: Küçük dış çap
D₂	: Büyük dış çap
f	: İlerlemem miksrı
f	: Frekans
F_x	: İlerleme kuvvet
F_y	: Teğetsel kuvvet
F_z	: Radyal kuvvaet
Hz	: Hertz
Ra	: Yüzey pürüzlülüğü değeri
r_c	: Uç kavis yarıçapı
s	: Saniye
Y	: Periyot
V	: Hız
V_f	: İlerleme doğrultusu
$\hat{y}^{(0)}$: Sistem davranışının tahmini değeri
$y^{(0)}$: Kararlaştırma miktarı
y	: Sistem çıkışı
u	: Kontrol Kuralı

KISALTMALAR

- AISI** : American Iron and stelle Iddustry
Al : Alüminyum
BLU : Kesici Ucun Üzerine Talaşın Yapışması
BOO : Birikmiş Oluşum Operasyonu
C : Karbon
Cr : Krom
Co : Kobalt
GiA : Gri İlişkisel Analiz
GiOO : Gri İlişkisel Oluşum Operasyonu
GGİD : Global Gri İlişkisel Derecesi
GM : Gri Model
GFRF : Glas Fiber-Rainforced Polymer
LGİD : Lokalizyon Gri İlişkisel Derecesi
LO : Lokalizyon Oluşumu
Mn : Mangan
Mo : Molibden
P : Fosfat
S : Kükürt
Si : Silisyum
TBOO : Ters Biriktirici Oluşum Operasyonu
Ti : Titanyum
V : Vanadyum
YT : Yığın Talaşı
W : Wolfram (Tungsten)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil II. 1 Dik (Orthogonal) Kesme	5
Şekil II. 2 Eğik (Oblique) Kesme	6
Şekil II. 3 Tornalamada Kesme Kuvvetleri ve Bileşenleri.....	6
Şekil II. 4 Yuvarlak uçlu bir takım için oluşan yüzey pürüzlülüğü.....	8
Şekil II. 5 Serbest titreşim [Tekait,2008]	13
Şekil II. 6 Titreşim hareketinin zaman ve frekans düzleminde gösterilmesi [Çay,2006].....	14
Şekil III. 1 Belirsizlik ve karmaşıklık düzeylerine göre problemler [Liu ve Lin, 2006]	28
Şekil III. 2 GM(1,1) Model Kavramı [Wen, 2004]	32
Şekil III. 3 GM(1,N) Model Kavramı [Wen, 2004]	32
Şekil III. 4 GM(0,N) Model Kavramı [Wen, 2004]	33
Şekil III. 5 Gri kontrolün blok diyagramı [Wen, 2004]	35
Şekil III. 6 Gri İlişkisel Yöntemi Hesaplama Adımları	38
Şekil III. 7 JOHNFORD TC 35 CNC Torna Tezgahı	69
Şekil III. 8 Dinamometre-Amplifikatör-Kart-Bilgisayar Çevrimi	70
Şekil III. 9 KISTLER 9121 Dinamometre (Kuartz Kristali) ve Kuvvetlerin Yönleri	70
Şekil III. 10 Dinamometreye kesici uçun bağlanması ve işleme	71
Şekil III. 11 Schenck VibroTest60, El Tipi Çift Kanallı Titreşim Ölçüm, Analiz Cihazı ve Ekipmanları.....	72
Şekil III. 12 Schenck VibroTest60 Cihazı	73
Şekil III. 13 Schenck VibroTest60 Cihazının Bağlanması ve Titreşim Ölçümü	73
Şekil III. 14 Mitutoyo SurfTest S211 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Aleti	74
Şekil III. 15 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümlerinin Yapılması.....	74
Şekil III. 16 Deneysel Çalışmada kullanılan Uçlar	75
Şekil III. 17 Dış Tornalama Takımları için ISO Kodlaması	75
Şekil III. 18 Deney Düzeneği.....	77
Şekil III. 19 Deneyde Kullanılan Takım Tutucular ve İşlenmiş Parçalar	78
Şekil IV. 2 Sinyal Gürültü Oranları.....	90
Şekil IV. 3 Sertlik ve İlerlemenin Kesme Kuvvetine Etkisi	91
Şekil IV. 4 A ve C'nin Kesme Kuvvetine Etkisi.....	92

Şekil IV. 5 B ve C'nin Kesme Kuvvetine Etkisi	93
Şekil IV. 6 Sinyal Gürültü Oranları	95
Şekil IV. 7 A ve B'nin Tıraşım'e Etkisi	96
Şekil IV. 8 A ve C'nin Tıraşım'e Etkisi	97
Şekil IV. 9 B ve C'nin Tıraşım'e Etkisi	98
Şekil IV. 10 Sinyal Gürültü Oranları	100
Şekil IV. 11 A ve B'nin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	101
Şekil IV. 12 A ve C'nin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	102
Şekil IV. 13 B ve C'nin Yüzey Pürüzlülüğüne'e Etkisi	103

TABLolar LİSTESİ

Tablo III. 1 Siyah, beyaz ve gri sistemlerin karşılaştırılması [Liu ve Lin., 2006]....	24
Tablo III. 2 Gri Tahmin ile Geleneksel Gri Tahminin Karşılaştırılması	34
Tablo III. 3 İçme Suyunun Standardı.....	44
Tablo III. 4 Dört Şehrin Sonuçları	45
Tablo III. 5 Örnek için Maksimum, Minimum ve Nominal Değerler	45
Tablo III. 6 Dört Şehrin Değiştirilmiş Sonuçları	46
Tablo III. 7 Hsia'nın Metodu Kullanılarak Elde Edilen Sonuçlar	48
Tablo III. 8 Chang'nın Metodu Kullanılarak Elde Edilen Sonuçlar.....	49
Tablo III. 9 Onaylanmış Değerler (P) ve Kabul Edilmiş Değerler (E) için Servis Kalitesinin Farkı.....	50
Tablo III. 10 Veri İşleminden Sonrası	51
Tablo III. 11 Servis Kalitesinde Onaylanmış Değerler (P) ve Kabul Edilmiş Değerler (E) için (Hsia'nın Metoduna göre) Farkın Sonuçları	53
Tablo III. 12 Servis Kalitesinde Onaylanmış Değerler (P) ve Kabul Edilmiş Değerler (E) için (Chang'in Metoduna göre) Farkın Sonuçları.....	53
Tablo III. 13 Orijinal veriler	54
Tablo III. 14 Onaylanmış Değerler (P) ve Kabul Edilmiş Değerler (E) için Müşteri Servisi Farkının Gerçek Verileri	57
Tablo III. 15 Onaylanmış Değerler (P) ve Kabul Edilmiş Değerler (E) için Müşteri Servisinin Farkı	58
Tablo III. 16 Veri İşlemi	58
Tablo III. 17 Kriterlere göre Alternatif Ürünlere Verilen Değerler.....	62
Tablo III. 18 Ürünlerin kriterlerden aldığı değerler ve referans serisi.....	63
Tablo III. 19 Daha büyük daha iyi durumuna göre normalize edilmiş matris.....	63
Tablo III. 20 Normalize edilmiş veriler ile referans serisi arasındaki uzaklık matrisi	65
Tablo III. 21 Gri İlişkisel Katsayı Matrisi	66
Tablo III. 22 AISI 2344 Çelik Malzemesinin Kimyasal Özellikleri.....	76
Tablo III. 23 AISI 4140 Çelik Malzemesinin Kimyasal Özellikleri.....	76
Tablo III. 24 AISI 4340 Çelik Malzemesinin Kimyasal Özellikleri.....	76

Tablo IV. 1 AISI 4140 Malzemesi için Tیرهşim, Kesme Kuvveti, ve.....	79
Tablo IV. 2 Takım Tutucularının Aldığı Değerler ve Referans Serisi.....	80
Tablo IV. 3 Daha Düşük Daha İyi Durumuna Göre Normalize Edilmiş Matris.....	81
Tablo IV. 4 Normalize Edilmiş Veriler ile Referans Serisi Arasındaki Uzaklık Matrisi	82
Tablo IV. 5 Gri İlişkisel Katsayı Matrisi.....	83
Tablo IV. 6 Gri İlişkisel Derece ve Sıralaması	84
Tablo IV. 7 GİA Yönteminde Elde Edilen Sonuçların L9 Ortogonal Dizine Göre Hesaplanması	85
Tablo IV. 8 GİA Yöntemine göre En İdeal Parametre Tayini	85
Tablo IV. 9 GİA Yöntemine göre Parametre Tayini.....	86
Tablo IV. 10 Bilgi aksiyomuna göre uygulama sonuçları	88
Tablo IV. 11 Her Bir Faktör İçin Kesme Kuvveti Değerlerinin S/N Oranları.....	89
Tablo IV. 12 Her Bir Faktör İçin Tیرهşim Değerlerinin S/N Oranları	94
Tablo IV. 13 Her Bir Faktör İçin Yüzey Prüzlülüğü Değerlerinin S/N Oranları.....	99
Tablo V. 1 En İdeal Yüzey Kalitesini Veren Optimal Değerler.....	106

BÖLÜM I

I.1 GİRİŞ VE AMAÇ

Talaşlı imalat işlemleri, üretim yöntemlerinin önemli bir grubunu oluşturmaktadır. Döküm, dövme, haddeleme ve diğer şekillendirme yöntemleriyle üretilmiş mühendislik malzemelerinin kullanıma hazır hale getirilmesi için çoğunlukla talaşlı imalat işlemlerine maruz kalmaları gerekir. Talaşlı imalat işlemlerinde bir iş parçasını istenilen geometriye getirmek için, üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgahı ve kesici takım kullanılarak, talaşlar şeklinde uzaklaştırılıp, istenilen boyutlar ve yüzey kalitesi sağlanır. Uzay ve havacılık, otomotiv, kalıp gibi endüstriyel alanlarda çoğu ürüne son şekli talaşlı imalat işlemleri ile verilir [Çevik, 2006].

Talaş kaldırma işleminde amaç, parça yapım resminde gösterilen tolerans hassasiyetine göre parçaların istenilen geometrik ölçü ve yüzey kalitesinde parça imal edilmesidir. [Bahar, 2006]. İş parçasının yüzey kalitesine en çok etki eden sebeplerden bir tanesi titreşimdir. Kesme esnasında titreşime neden olan iki temel unsur mevcuttur. Bunlar; tezgahın genel yapısı ve çalışma ortamının rijitliği ile kesme şartlarına bağlı olarak oluşan kuvvetlerin yarattığı titreşimlerdir[Bahar, 2006].

Endüstri devriminin ilk günlerinde kullanılan kesici takımlarla, günümüzde kullanılan kesici takımların performansları arasında kıyaslanamayacak derecede farklar olmasına rağmen, kesici takımlar alanındaki araştırma ve geliştirme faaliyetleri yoğun bir şekilde devam etmektedir[Çevik, 2006]. Modern imalat teknolojilerinin gelişmesi ile daha hızlı ve kaliteli işler yapan sistemlerle çalışılmaya başlanmıştır. Malzemelerin talaş kaldırılarak işlenmesi için geliştirilen CNC takım tezgâhlarında yüksek kesme hızlarında ve ilerlemelerle çalışılabilmektedir. Malzeme teknolojisindeki gelişmelerle yüksek mukavemete sahip malzemeler elde edilmiştir. Bu malzemelerin verimli bir şekilde işlenebilmesi için gerek takım imalatçıları

gerekse akademisyenler imalat sistemlerinde kesici takım geometri ve malzemelerinin geliştirilmesi üzerine çalışmaktadırlar[Bakır, 2005].

Talaş kaldırma esnasında uygun kesici takımın seçilmesi maksimum verimliliğin sağlanması için şarttır. Özellikle takım malzemesi ve kesme geometrisi seçimi çok önemlidir. Ancak takım uygun seçilmiş olsa bile işleme koşulları standart dışı ise verimlilik düşer[Bakır, 2005].

Verimliliğin yüksek ve ekonomik işleme yapabilmek için işlenecek malzeme ve kesici takım çeşitlerinin her biri ile ilgili teorik ve deneysel çalışmalar yapmak gerekir[Bakır, 2005].

Bu çalışmada, kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği parametreleri yardımıyla yapılan tornalama işlemleri için, her bir parçanın kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü değerleri bulunmuştur. Gri İlişkisel Analizi (GİA) Yöntemi yardımıyla da, bulunan bu değerler analiz edilmiş ve tornalama işlemi esnasında kullanılan takım tutucusu malzemesinin özelliğinin ve sertliğinin kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir.

I.2 KAPSAM

Bu çalışmada, yaygın bir talaşlı imalat yöntemi olan dış tornalama metoduyla şekillendirme esnasında, takım tutucusu malzemesinin ve takım tutucularının farklı sertliklerde kesme parametrelerinin, kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. AISI 2344, AISI 4140 ve AISI 4340 olmak üzere üç farklı malzemeye göre imal edilmiş takım tutucular her bir malzeme için 42HRC, 45HRC ve 47HRC' ye göre sertleştirilmiştir. Değerlendirme, çok kriterli karar verme metodlarından biri olan ve her geçen gün kullanımı artan GİA Yöntemi ile yapılmıştır.

İkinci bölümde, işleme kalitesi açısından önemli parametreler olan kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde, tez çalışmasındaki teorik çalışma olan, Gri İlişkisel Analizi Yöntemi hakkında detaylı bilgi verilmiştir. GRA için işlem basamakları adım adım anlatılmıştır. Ayrıca, deneysel çalışmada kullanılan materyaller, ölçüm cihazları, kesici uçlar, iş parçası ve takım tutucular açıklanmıştır,

Dördüncü bölümde, farklı sertlikteki takım tutucuların yüzey kalitesi üzerine etkisini incelemek için oluşturulan deney düzeneği ile kesme kuvvetleri, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü değerleri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar GİA Yöntemi ile Microsoft Office Excel'de hesaplanmış işlem basamakları tek tek anlatılmış ve takım tutucularının yüzey kalitesi üzerindeki etkilerine göre sıralaması yapılmıştır. GİA Yönteminin güvenilirliğinin ölçülmesi için Varyans Analizi (ANOVA) Excel'de uygulanmıştır. Deneyler e göre elde edilen sonuçlar ayrıca, Aksiyomatik Tasarımda Bilgi Aksiyomuna göre Excel'de ve Taguchi Metoduna Göre MINITAB'da hesaplanmış ve tablolar ile grafikler değerlendirilmiştir.

Beşinci ve son bölümde ise uygulanan deneysel çalışma ve elde edilen değerlere göre yapılan istatistiksel çalışmalar sonucunda değerlendirmeler yapılmış, yorumlar ve önerilerde bulunulmuştur.

BÖLÜM II

II. GENEL BİLGİLER

II. 1. TALAŞ KALDIRMA İŞLEMİNİN TEMEL PRENSİPLERİ

İmalat sayesinde malzemelerin verimli şekilde işlenmesi için yeterli bilgi, sadece kesilen malzeme hakkında değil, aynı zamanda değişik şartlar altında, kesici takım malzemesi, kesici şekli ve nasıl yapılacağı hakkında da gereklidir [Şan, 2007].

Farklı geometrilerdeki iş parçalarını talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirebilmek için çeşitli talaşlı imalat işlemleri ve bu işlemlere özgü takım tezgahları geliştirilmiştir. Tornalama işlemi talaşlı imalat ile ilgili yapılan deneysel çalışmalarda en çok kullanılan talaşlı imalat yöntemidir. Etkin bir talaşlı imalat işlemi olan tornalama işlemi dairesel iş parçalarının işlenmesinde kullanılır. İşlenecek olan iş parçası genelde bir aynaya bağlanarak döndürülür. Bir takım tutucu üzerine yük etkisinde şekil değiştirmeyen kesici takım dönen iş parçası ekseninde ilerletilerek ve iş parçasından bir katman kaldırılarak, dairesel veya daha karmaşık profilli yüzeyler oluşturulur [Nas, 2008].

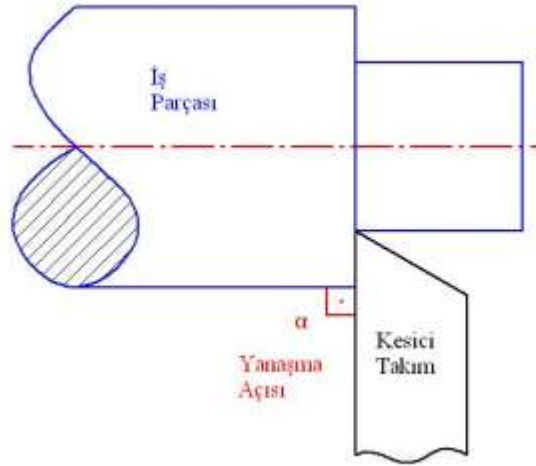
II. 2. TALAŞ KALDIRMA MEKANİĞİ

Talaşlı imalat işlemi, bir iş parçası üzerindeki fazlalıkları uygun kesici takım ve takım tezgahı kullanarak uzaklaştırmaktır. İş parçası metal olduğu zaman işlem metal kesme olarak da isimlendirilir. Talaşlı imalat işleminde etkin olan kesme hareketi iş parçasının kesici takım önündeki plastik deformasyonunu ve deforme olan bu katmanın talaşa dönüşmesini gerektirir [Nas, 2008]. Talaşlı imalatta iki tür kesme

olayından söz edilmektedir. Bunlardan birincisi Dik (Orthogonal) kesme ve diğeri ise Eğik (Oblique) kesmedir (Şekil II.1 ve II.2) [Atakök, 2008].

II. 2. 1. Dik (Orthogonal) Kesme Mekanîği

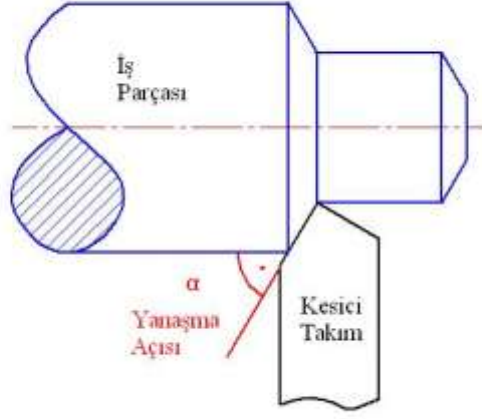
Talaşlı imalat da iki çeşit kesme şekli tanımlanmaktadır. Bunlardan en basiti olan Orthogonal (Dik) kesme, Şekil II.1’da gösterilmiştir. Talaş derinliği t olan, ve V kesme hızındaki bir kesme prosesinde, kesici takımın kesme kenarının iş parçası kesici takım hareketine 90 derecelik bir açının olması yani dik olması bu kesme prosesinin dik kesme şeklinde tanımlanmasına neden olmuştur [Karagöl, 2008].



Şekil II. 1 Dik (Orthogonal) Kesme

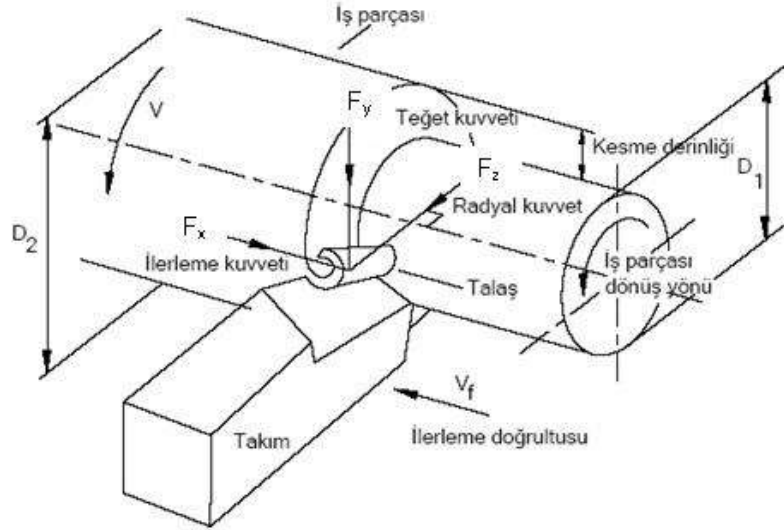
II. 2. 2. Eğik (Oblique) Kesme Mekanîği

Uç (insert) kesme kenarının iş parçası kesici takım hareketine açılı olması durumunda ise (Şekil II.2) bu eğik (oblique) kesme olarak tanımlanmaktadır. İmalatta kesme olayları genelde açılı gerçekleşmekte ve eğik kesme olarak tanımlanmasına rağmen, bu modelin matematiksel ve nümerik olarak ifade edilmesinin prosesi daha karmaşık bir hal aldırma durumundan dolayı genellikle prosesler dik kesme olarak tanımlanmakta ve hesaplamalar bu şekilde yapılmaktadır [Karagöl, 2008].



Şekil II. 2 Eğik (Oblique) Kesme

Tornalama prosesi, metal kesme proseslerinden en önemlilerinden biridir. Bu proses de meydana gelen kuvvetler Şekil II.3’de verilmiştir. Şekil II.3’de görüldüğü gibi, tornalama esnasında F_x ilerleme kuvveti, F_y teğetsel kuvvet ve F_z radyal kuvvet oluşmaktadır. Bu kuvvetler dinamometreler ile ölçülebilmektedir.



Şekil II. 3 Tornalamada Kesme Kuvvetleri ve Bileşenleri

II. 3. İŞ PARÇASI YÜZEY KALİTESİ (PÜRÜZLÜLÜK)

Talaşlı imalatta, yüzey pürüzlülüğü çok önemli araştırma konularından biridir. Talaşlı imalatta kullanılan her yöntem ile işleme, işleme parametrelerinin yüzey kalitesine doğrudan etkisi olabilmektedir [Karagöl, 2008]. Yüzey pürüzlülüğü yüzey kalitesini belirleyen bir parametredir. Yüzey pürüzlülüğü, ilerleme miktarı, uç radyüsü, paso derinliği, kesme hızı, devir sayısı gibi parametrelere bağlıdır. İşlenmiş parça yüzeylerinin tribolojik özellikleri, yüzey dokusundan birinci derecede etkilenmektedir. Yüzey pürüzlülüğü sadece aşınma, sürtünme ve yağlama gibi tribolojinin geleneksel konularında değil aynı zamanda sızdırmazlık, hidrodinamik, elektrik, ısı iletimi vb. farklı alanlarda da dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Bu yüzden makine parçalarında yüzey pürüzlülük değerinin tespiti oldukça önemlidir [Nas, 2008].

Talaşlı imalat uygulamalarında işlenebilirliğin ölçülmesindeki ölçütlerden birisi olan yüzey kalitesi ile yüzey pürüzlülüğü aşağıdaki iki bağımsız değişkenle ölçülebilir.

1. İdeal yüzey pürüzlülüğü; kesici takımın uç radyüsü ve ilerleme miktarının sonucudur.
2. Doğal yüzey pürüzlülüğü; talaş kaldırma işlemlerindeki kontrol dışı etkenlerin sonucudur.

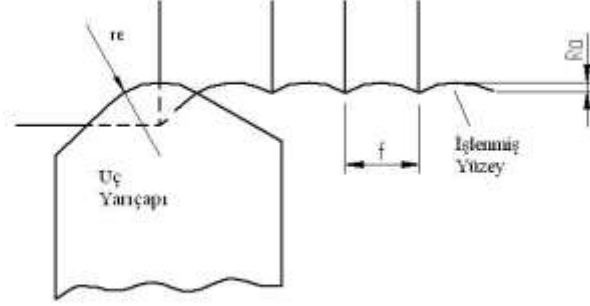
II. 3. 1. İdeal Yüzey Pürüzlülüğü

İdeal kesici takım seçilerek (hatalar, vuruntular, yığıntı talaş, titreşim ve takımın hatalı bağlanması v.b. etkenlerin minimize edilmesi) kesici uç biçimine ve ilerlemeye bağlı olarak elde edilen en iyi yüzey pürüzlülüğü “ideal” yüzey pürüzlülüğü olarak adlandırılabilir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde en çok kullanılan yöntem Ra aritmetik ortalama değeri olarak bilinir. Genellikle, pratik kesme işlemlerinde kullanılan takımların ucu yuvarlatılmıştır. İdeal şartlarda bu tür takımla işlenen yüzey Şekil II.4’de gösterilmiştir. Böyle bir yüzey için matematiksel ortalama pürüzlülük değerini veren teorik eşitliğin esası, uç kavis yarıçapı ve ilerleme ile yakından bağlantılıdır. Uç yarıçapı r_c olduğunda [Şan, 2007];

$$Ra = 0,00321 \cdot f^2 / r\epsilon$$

Formül II. 1

olarak yazılabilir



Şekil II. 4 Yuvarlak uçlu bir takım için oluşan yüzey pürüzlülüğü

II. 3. 2. Doğal Yüzey Pürüzlülüğü

Doğal yüzey pürüzlülüğü, gerçek yüzey pürüzlülüğünün büyük bir kısmını içerir. Doğal yüzey pürüzlülüğünü, takım tezgahı, iş bağlama sistemi, takım sistemi ve çalışma ortamı gibi faktörler etkiler. Doğal yüzey pürüzlülüğüne neden olan temel etkenlerden biri de yığıntı talaşın (YT) oluşmasıdır. Kararsız YT devamlı olarak oluşur ve kopar. Bu durum, daha pürüzlü bir yüzeyin oluşmasına neden olur [Şan, 2007].

II. 3. 3. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar

Yüzey pürüzlülüğü birçok alanda önemli bir parametredir. Bunların bazıları;

- Sürtünmeli yataklar,
- Korozyon ortamında çalışan parçalar,
- Yuvarlanmalı yataklar,
- Boyanmış ve kaplanmış yüzeyler,
- Sızdırmazlık yüzeyleri,
- Plastik enjeksiyon kalıp yüzeyleri,
- Masterlar vb [Tekait, 2008].

II. 3. 4. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler;

- Kesici takımdaki titreşimler,
- Kesici takım geometrisi,
- İşlenen iş parçasında medyana gelen titreşim ve balans,
- İlerleme miktarı,
- Kesme hızı,
- Talaş derinliği,
- Kesici uçun üzerine talaşın yapışması (BUE),
- İşlenen malzemenin süreksiz talaş vermesi,
- Bir önceki yüzey kalitesi,

şeklinde sıralanabilir [Tekaut, 2008].

II. 4. TİTREŞİM [Tekaut, 2008]

İnsanoğlu endüstride makineleri kullanmaya başladığından bu güne makinelerin titreşimleri ile ilgilenmeye başlamıştır. Özellikle makinelere motorlar tarafından hareket sağlanmaya başlanması ile titreşim problemleri ortaya çıkmış ve bu problemleri ortadan kaldırmak için çözüm yolları aramaya başlamışlardır. Mühendisler titreşimi azaltmak, izole etmek veya kontrol altına almak için çalışmalar yapmışlardır. İlk önceleri makine titreşimi ölçümleri, fabrikada çalışan tecrübeli elemanlar tarafından ses dinlenerek veya elle dokunarak yapılmış, ağır ve hantal sistemlerde titreşimleri analiz etmişlerdir. Titreşimi azaltmak için yapılan ilk çalışmalar makine tasarımında gelişmeler sağlanmış, özellikle uygun malzeme seçimi önem kazanmıştır. Daha sonra standartlara uygun ürünler üretmeye yönelmişlerdir. Titreşimin kaliteli ürün üretmekte sorun çıkarması ve sistemlerin ömrünü kısaltması nedeni ile titreşimi daha detaylı olarak mercek altına almaya başlamışlardır. 19. yüzyıl sonlarına doğru yeni teknolojiler gelişmiş olup piezoelektrik ivme algılayıcılar yardımı ile titreşimi elektrik sinyallerine dönüştürülerek ölçümde elektroniğin avantajlarından yararlanmışlardır. Günümüzde sistemlerdeki titreşimleri önlemek ve bu sistemlerin titreşimlerini belirlemek için hala çalışmalar yapılmakta olup, su ve ses yöntemiyle de titreşim ölçümleri yapılmaya başlanmıştır. Ayrıca günümüzde periyodik olarak titreşim ölçümleri

yapılarak sistemlerin arızaları tespit edilmekte ve sistemin bozulmasına imkan vermeden bakımları yapılmaktadır.

Sistemlerdeki titreşim, her zaman istenmeyen bir durum değildir. Bazı kullanım yerlerine göre titreşim ve titreşimi oluşturan bu sistemler günlük hayatta birçok alanda yardımcı olabilmektedir (örneğin; asfalt sıkıştırma makineleri, kum eleme elekleri, taş kırma kompresörleri, masaj aletleri, zımpara makineleri vb.). Sistemlerin titreşimden yararlanmanın yanı sıra, titreşim daha çok, endüstride kullanılan sistemlerin ömürlerini sınırlayıcı etki olarak karşımıza çıkmaktadır. Titreşim, sistemlerde istenmeyen bir durumdur. Çünkü dinamik sistemlerde boş enerji harcar, gürültü çıkarır ve üretim esnasında titreşimden dolayı istenmeyen kalitede ürün ortaya çıkarabilir. Ayrıca, çalışma ortamında titreşen sistemlerle temas eden insanların sağlığını olumsuz etkilemesine neden de olabilir. Bunun yanında son yıllarda önemini artırmış olan uyarıcı bakım dediğimiz periyodik olarak sistemlerin titreşim analizi yapılarak bakım ve arıza tespiti yapılmaktadır. Bu tespit yapılırken bir cisme etki eden kuvvetler sonucunda meydana gelen titreşimi 0 (sıfır) ile belli bir frekans üst değeri arasında ve belli bir sayıdaki frekans bileşenlerindeki genliklerini gösteren ve titreşimin spektrumu (frekans-zaman, hız-zaman, deplasman-zaman, ivme-zaman vb.) adı verilen grafikler kullanılır. Titreşim spektrumuna bakarak, sistemlerin elektrik motorunda mekanik boşluk, motor elektrik arızası, rulman arızası, kaymalı yataklarda aşınma, dişli arızaları, takım tezgahlarında ayna ve fener mili dişlileri veya iş başlığında oluşan boşluktan dolayı meydana gelen arızalar, santrifüj motorlarında ve fanlarda kanat arızaları gibi birçok arıza tespit edilebilir. Bir benzetme yapılacak olursa, hastanın kalp titreşiminin spektrum analizi (EKG) alınıp hastanın kalp fonksiyonları analiz edilip yorumlanıyorsa dinamik sistemlerin de EKG'si alınıp sistemin fonksiyonları hakkında yorumlar yapılabilmektedir.

Titreşimler genellikle hareketli parçalara sahip makinelerin ve bunların temasta bulunduğu parçaların içindeki dinamik kuvvetlerin etkisi sonucu ortaya çıkar. Sistem işlevini yapmak için harcadığı kuvvetlerin bir kısmını gövdesini veya bağlı olduğu yapıyı titretmek için harcar. Bu olay sistemlerde enerji kaybı anlamını taşır. Ayrıca sistemlerde parça aşınmasına ve malzeme yorulmasına neden olmaktadır. Sistemlerin bozulma ve kırılma nedenlerinin çoğu titreşimden kaynaklanabilir.

Dinamik sistemler, sistemlere hareketi veren motorların kendi bünyelerinde oluşturduğu titreşimi sistemlere ilettiği gibi, çevre şartlarından veya sistemin tasarım hatasından kaynaklanan istenmeyen titreşimler de söz konusu olabilir. Ayrıca sistemlerde dengesizlik, bağlantı hataları, aşırı sürtünme gibi birçok nedenden dolayı da titreşim meydana gelebilir.

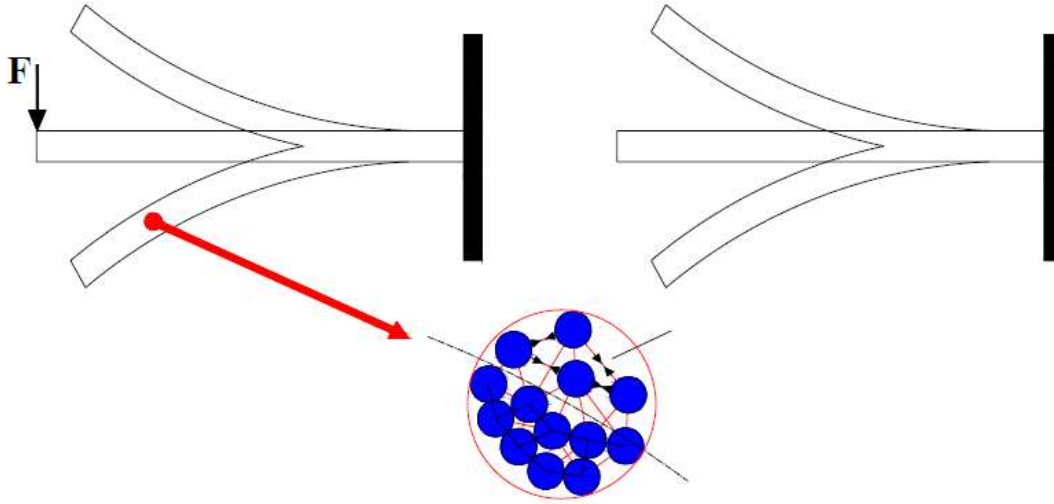
Metal kesme, imalat işlemlerinde en çok kullanılanlardan birisi olup, bu işlem sırasında dış etkenlerden ve sistemin yapısından kaynaklanan etkenlerden dolayı ürün istenilen standartlarda elde edilemez. Ürün kalitesini etkileyen olumsuz etkilerden birisi de titreşimdir. Titreşimin kesme esnasında ürünün yüzeyinde oluşturduğu etkilerden dolayı istenilen kalitede ürün elde edilemez. Talaşlı imalat atölyesinin en önemli tezgahlarında birisi olan torna tezgahı elektrik motorundan aldığı hareketle sistemi harekete geçirmektedir. Bilgisayar sayısal denetimli torna tezgahları özel gövde tasarımı ile titreşimi absorbe eden takozlarla zemine rijit bir şekilde bağlanırlar. Fakat bu tezgahlarda sistemin oluşturduğu titreşimi sıfıra indirmek mümkün değildir. Ayrıca en önemlisi, yük altında çalışırken, kesici takımında titreşim meydana gelir. Talaş kaldıran kesici takımın oluşturduğu titreşim, kesme kuvvetlerinden ve tezgahın yapısından kaynaklanan titreşimlerin bütünüdür. Ayrıca takım tutucunun boyu, kesici takım uç yarıçapı, kesme açısı, kayma açısı vb. birçok kesme parametrelerinin tornalama işlemi esnasında titreşime neden olduğu bilinmektedir.

II. 4. 1. Titreşimin Tanımlanması [Tekaüt, 2008]

Mekanik sistemlerin salınım ya da titreşimleri fizikte oldukça önemli çalışma alanlarından birini teşkil eder. Gerçekte her sistem titreşim yeteneğine sahiptir ve çoğu sistem değişik şekillerde serbestçe titreşebilir. Küçük sistemlerin doğal titreşimi hızlı, büyük sistemlerin doğal titreşimi yavaş olur. Örneğin bir sivrisineğin kanatları saniyede yüzlerce kez titreşip işitilebilir bir nota üretirken, tüm yeryüzü bir deprem ile sarsıldıktan sonra bile ortalama saatte bir sarsıntı ile titreşmeye devam eder. Bütün bu olayların sahip olduğu ortak özellik periyodik olmasıdır. Yer değiştirme ya da hareketin, kendini sürekli tekrarlayan bir şekillenimi vardır ve bu şekillenim karmaşık veya basit şekilde olabilir. Fiziksel bir kriter olarak titreşim oldukça çok sayıda kendini tekrar eden hareket olarak tanımlanabilir.

Titreşimin bir başka tarifi ise bir mekanik sistemin hareketini veya konumunu tanımlayan büyüklük şiddetinin zamanla değişimidir. Bir başka deyişle bu büyüklüğün ortalama değerden veya bir referans değerinden, zaman içinde sırayla, daha büyük ve daha küçük olmak üzere değişimidir.

Titreşim hareketi referans bir konum etrafında veya konum etrafında ortaya çıkan mekanik bir salınım hareketidir. Fizikte harmonik hareket adı altında tarif edilen titreşim, bir kütlenin belli bir merkez etrafında çevrimsel hareketidir ya da bir makine parçasının her hangi bir yöndeki ileri geri hareketi diye de tarif edilmektedir. Titreşim sistemleri oluşturan malzemelerin yapısından ve kuvvete karşı verdiği tepkiden kaynaklanır. Titreşim, malzemenin atomik yapısındaki statik dengeyi bozan bir kuvvet etkisi ile meydana gelir. Bu statik dengeyi bozan kuvvet ortadan kalktıktan sonra atomlar arasındaki bağ kuvveti malzemeyi eski statik dengeye getirmeye çalışır. Bu elastik bağ kuvveti malzemeyi statik denge konumuna getirmek için ivmelenir. Bu ivmenin etkisi ile malzeme eski statik konumunu geçer ve ters yönde ivme kazanır. Eski statik denge konumunu ivme etkisi ile geçen malzeme tekrar bağ kuvveti ile eski denge konumuna gelmek için ters yönde ivmelenecektir. Bu olay devamlı tekrarlandığı için malzeme statik denge konumu etrafında hareket eder. Malzemenin atomları arasındaki sürtünme yok sayılırsa bu hareket sonsuza kadar devam eder. Bu tür titreşimlere serbest titreşim denir (Şekil II.5). Serbest titreşimde, başlangıçta başlangıç hareketinin verilip sonradan kuvvetin ortadan kalkması sonucunda sistemin yapısında bulunan bağ kuvvetleri ve atomlar arası sürtünme kuvveti ivmelenme hareketini yavaşlatacak ve zamanla sistemdeki titreşim sifıra yakın olacaktır. Serbest titreşime; salıncakta sallanan çocuğa ilk hareketin verilip bırakılması, sazın teline vurulup bırakılması veya bir yüzücünün trampleden sıçradıktan sonra trampelinin aşağı ve yukarı hareketine devam ederek yavaşlayıp statik konumuna geri gelmesi örnek teşkil edebilir. Bu örnekte salıncaktaki çoğunun yavaşlaması yer çekimi kuvveti etkisi sayesinde olurken sazın telinin ve trampelin ilk konumuna gelmesi ise malzeme yapılarındaki bağlar sayesinde olur.



Şekil II. 5 Serbest titreşim [Tekauit,2008]

II. 4. 2. Titreşimin Sınıflandırılması

Titreşimin imalat sırasında ortaya çıkan birkaç tipi vardır. Bunlar genel olarak serbest titreşimler, zorlanmış titreşimler, kendi kendini uyarın titreşimler, yenilebilen titreşimler, termomekanik titreşimler ve mod çiftlemesi olarak adlandırılırlar. Bu sınıflamanın dışında titreşimler, doğrusal ve doğrusal olmayan titreşimler, belirli ve rastgele titreşimler olmak üzere de sınıflandırılabilirler [Tekauit,2008].

Titreşim hareketi Klotter tarafından yönü bir defadan fazla değişen hareket olarak tanımlanmış olup periyodik hareket veya periyodik olmayan aperiodyk hareketler olarak tarif edilmiştir [Tekauit,2008].

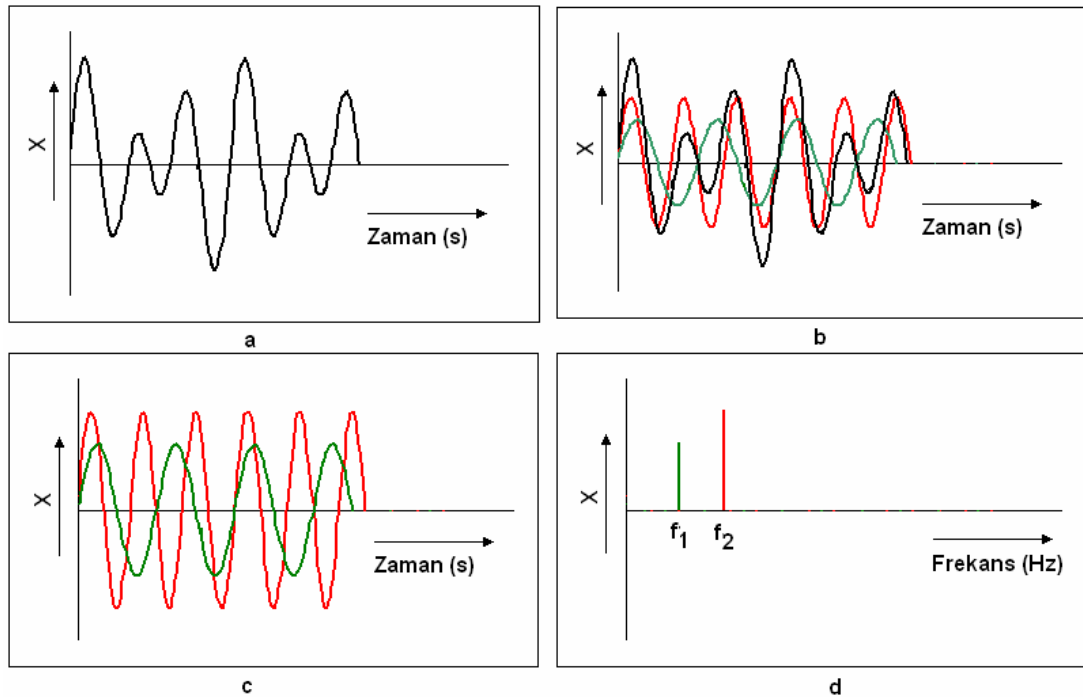
Titreşim hareketi periyodik ve random (gelişigüzel) titreşim hareketi olarak iki sınıfa ayrılabilir. Periyodik titreşim hareketi, belirli bir sürede aynen veya kısmen tekrar etme özelliğine sahip bir harekettir. Random titreşim hareketi ise, zamanla tekrarlanabilme özelliğine sahip değildir. Titreşim hareketinin meydana geldiği doğrultu veya eksen sayısı serbestlik derecesi olarak adlandırılır. Uygulamada bir titreşim hareketi pek çok doğrultu veya ekseninde meydana gelebilir. Bu yüzden titreşim hareketi üç doğrusal eksen (x, y ve z) ve üç açısal doğrultu (rx, ry ve rz)'da ölçülür [Çay,2006].

Periyodik titreşim hareketinde, hareketin tekrar süresine periyot (T), ve saniyede meydana gelen hareket sayısına frekans (f) adı verilir. Matematiksel tanım ile frekans periyodun tersidir ve aşağıdaki gibi hesaplanır [Çay,2006]:

$$f = T^{-1} = \frac{1}{T}$$

Formül II. 2

Periyodun birimi saniye (s), frekansın birimi Hertz (Hz)'dir. Titreşim hareketi birçok doğru ve eksende meydana geldiği için, bir başka deyişle birden fazla bileşenden oluştuğu için, zaman düzleminde bir titreşim hareketini incelemek zordur. Bu yüzden titreşim ölçme ve değerlendirme uygulamalarında frekans spektrumu kullanılır. Frekans spektrumu, bir titreşim hareketinin frekans ve titreşim niceliğine bağlı bir fonksiyon olarak gösterimidir. Şekil II.6'da bir titreşim hareketi zaman düzleminde ve frekans düzleminde gösterilmiştir. Şekil II.6.a' da periyodik, fakat harmonik olmayan bir titreşim hareketi görülmektedir. Her ne kadar görünüşte harmonik olmasa da bu hareket, aslında frekansları ve genlikleri farklı iki adet harmonik bileşene sahiptir (Şekil II. 6.b ve Şekil II.6.c). Bu bileşenlerin zaman düzleminde analiz edilmeleri oldukça zordur. Bu yüzden hareket frekans düzleminde incelenir (Şekil II.6.d) [Çay,2006].



Şekil II. 6 Titreşim hareketinin zaman ve frekans düzleminde gösterilmesi [Çay,2006]

Uygulamada bir titreşim hareketi çok sayıda frekans içerir. Bunların teker teker incelenerek titreşim büyüklüğünün belirlenmesi mümkün değildir. Bu amaçla frekans spektrumu belirli frekans aralıklarına bölünür ve bu aralıklarda titreşim niceliği ölçülür [Çay,2006].

Frekans aralıkları aritmetik dizin yerine geometrik dizinden yararlanılarak belirlenir. Buna göre birbirini izleyen iki frekans değeri arasındaki oran sabit bir sayıdır. Geometrik dizinin birer terimi olan ardışık frekansların aralarındaki aralık oktav olarak adlandırılır . Oktav, birbirini izleyen frekans değerlerinin arasındaki aralığın 2 tabanına göre logaritması olup, uygulamada sabit sayı olarak 2^1 , $2^{1/2}$ ve $2^{1/3}$ değerleri kullanılır. Bu değerlerin 2 tabanına göre logaritması alındığında oktav birimleri sırasıyla 1, 1/2 ve 1/3 olarak belirlenmiştir [Çay,2006].

BÖLÜM III

III. TEZ ÇALIŞMASINDA KULLANILAN MATERYAL ve YÖNTEMLER

III.1. ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ VE ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada Gri İlişkisel Analizi ile dış tornalama işleminde tutucuların sertliklerine göre optimum değerlerinin belirlenmesine çalışılmıştır.

Farklı kesme faktörleri (tutucu malzemesinin cinsi, tutucu malzemesinin sertliği ve ilerleme) için Taguchi L9 ortogonal dizisinden yararlanılarak, deney seti oluşturulmuştur. Her bir deneyde elde edilen kesme kuvvetleri, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü değerleri Gri İlişkisel Analizi Yöntemine göre analiz edilmiştir. Analiz sonucunda en ideal kesme parametreleri belirlenmiştir. Deneysel sonuçların tutarlılığının yorumlanabilmesi için, Varyans Analizi Metodu kullanılarak, deneysel çalışmada seçilen faktörlerin kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü gibi ölçülebilen sonuçlara etki oranları saptanmıştır. Aynı sonuçlar için Aksiyomatik Tasarım Metodu kullanılarak analiz yapılmış Gri İlişkisel Analizi ile karşılaştırılmıştır. Minitab programı kullanılarak deney sonuçları Taguchi Metodu'na göre değerlendirilmiş ve tablolar halinde sunulmuştur.

III.1.1 Gri İlişkisel Analizi Yöntemi

III.1.1.1 Gri Teori

Gri teori, ilk defa 1982 yılında Tayland'da ki Hua Chung Bilim ve Teknoloji Üniversite'si öğretim üyelerinden olan Profesör Julong Deng tarafından ortaya atılmıştır. Gri teori, gri ilişkisel analiz, gri modelleme, gri tahmin ve gri karar verme gibi alt başlıklar altında farklı alanlarda uygulanmaktadır. Son yirmi yılda gri sistem teorisi farklı disiplinlerde kullanılan popüler bir analiz yöntemi olmuştur [Üstünişik, 2007].

Gri sistem teorisi, belirsizliğin sayılaştırılmasında alternatif bir metottur. Stokastik veya bulanık yöntemlerle üstesinden gelinemeyen belirsizlik durumlarının modellenmesini sağlar. Gri sistem teorisinde, belirsizliğin olmadığı kusursuz bilgiye sahip olan bir sistem beyaz renk ile sembolize edilmiştir. Tam zıt özelliklere sahip olan sistem ise siyah olarak nitelendirilmiştir. Yalnızca kısmi bilgiye sahip olan sistemler ise “gri sistemler” olarak nitelendirilmiştir. Hayattaki olayların, işlemlerin ve süreçlerinin çoğunluğu hiçbir zaman ne tam siyah ne de tam beyazdır. Örneğin tarım sektöründe ekilecek alanın büyüklüğü, kullanılacak tohumun kalitesi, gübre, sulama gibi tüm faktörlerin kesin bilindiği bir durumda, hasat miktarını tam olarak belirlemek mümkün değildir. Örneğin hava koşulları ürün miktarını etkileyen bir belirsizliktir. Çoğu zaman tam olmayan, eksik bilgi ve varsayımlar altında modeller kurar ve kararlar veririz. Gri sistem teorisinin ortaya çıkış felsefesi de bu fikirlere dayanmaktadır. Sistem faktörleri (parametreleri), faktörler arasındaki ilişki, sistemin işleyiş yapısı ve işleyiş şeklinin belirsiz olduğu bu durumlar gri sistemlerin karakteristik özelliklerindedir [Üstünişik, 2007].

Gri sistem ile bulanıklık arasındaki temel farklılık kavramların taşıdığı dar ve geniş anlamdan kaynaklanmaktadır. Gri sistem kesin geniş anlama ve belirsiz dar anlama sahip nesnelere veya kavramlarla ilgilenirken, bulanık matematik kesin ve tam bir dar anlama sahip ve belirsiz geniş anlama sahip kavramlarla ilgilenir. Örneğin Çin hükümetinin Çin nüfusunu 1.15-1.25 milyar kişi arasında tutmayı planlaması gri bir kavramdır. Çünkü 1.15-1.25 geniş anlamda kesin olarak belirgindir fakat dar anlamda bu aralık belirgin değildir veya nüfusun alacağı büyüklük değer

önemli değildir. Diğer yandan “genç erkek” bulanık bir kavramdır ve dar anlamda birçok insan genç erkeği tanımlayabilir. Genç kavramını kapsayan pek çok ifade kullanılabilir ve dilsel bir belirsizlik söz konusudur. Bununla birlikte geniş anlamda hangi erkekler genç. Hangilerin genç olmadığını belirten bir yaş aralığı tanımlamak oldukça zordur [Üstünişik, 2007].

Deng, gri sistemlerin karakteristik yapılarını ortaya çıkarmak için sıkıcı matematiksel hesaplamalar, istatistiksel varsayımlarla uğraşmak yerin, gri modelleme kullanarak yetersiz/eksik-gri bilgiye sahip sistemleri basit hesaplama yöntemlerinden faydalanarak incelemiştir. İstatistiksel analizlerde farklı veri yapıları farklı rassal özellikler göstermekte ve dolayısıyla farklı rassal yöntemlerle analiz edilmektedir. Gri sistem teorisinde ise tüm farklı rassal prosesler gri kaynaklı /temelli kabul edilmektedir. Gri sistem teorisinin bir başka önemli özelliği ise çok az sayıda verinin olması durumunda bile, örneğin 3,4 veya daha fazla, bu tür sistemin gri olarak modellenebilmesidir [Üstünişik, 2007].

Hair ve arkadaşları çoklu regresyonda yirmiden az örnek hacmine sahip olunması durumunda yalnızca $y=ax+b$ şeklindeki basit regresyon modellerinin oluşturabileceğini belirtmiştir. Örnek hacminin küçük olduğu bu basit regresyon modelinde ise yalnızca değişkenler arasında çok kuvvetli ilişki olması durumunda model güvenilir sonuçlar verebilmektedir. Çok değişkenli istatistiğin en önemli varsayımlardan olan “normallik” varsayımının sağlanmadığı durumlarda ise verilerin normal dağılıma dönüşümünü sağlayan çok sayıda yöntem olmasına rağmen bu yöntemlerin uygulanması zor ve oldukça çaba gerektiricidir. Örnek hacminin küçük olduğu ve normallik şartının sağlanmadığı durumlarda kullanılacak alternatif bir yöntem “Gri Sistem Teorisi”dir. Gri Sistem Teorisi az ya da kesikli bilgi, çok veri ve belirsizlik olan durumlarda başvurulabilecek alternatif ve etkili bir yaklaşımdır. Çok değişkenli istatistiklerle hiçbir dağılıma uymayan, yeterli veri içermeyen ve belirsizlik nedeniyle modellenemeyen problemlerde gri teori çözüm önermektedir [Üstünişik, 2007].

III.1.1.2 Gri İlişkisel Analizi Literatür Çalışması

Bu tezde analiz aşamasında kullanılan Gri İlişkisel Analizi (GİA) Yöntemi, Gri Teori başlığı altında literatürde yerini almış bir yöntemdir. Bu analiz yöntemi ile ilgili literatür çalışmaları aşağıda sunulmaktadır.

Hsu ve Wen 2000 yılında yaptıkları çalışmada, GİA yönteminden yararlanarak belirsizlik ortamında en az sayıda veriyle havayolu trafiği konusunda tahmin ve buna dayalı olarak uçuş frekanslarının belirlenmesi yoluyla havayolu ağ tasarımı gerçekleştirmiştir.

2001 yılında Wang, Chen ve Yuen GİA Metoduna dayanarak bulanıklık oluşumunu incelemiştir.

2002 yılında Chen ve Ting yaptıkları araştırma neticesinde servis kalitesinin ölçümünü analiz ederken kullandıkları yöntem GİA Yöntemidir. Lin ve Lin (2002) yaptıkları çalışmada çoklu performans karakteristikleri ile tel erozyon işleminin optimizasyonu için GİA ve ortogonal diziyi kullanmışlardır.

2003 yılında, Kao ve Hocheng GİA metodunu çok yanıtli performans karakteristiklerine sahip problemler için optimum parametre düzeylerinin belirlenmesinde kullanmışlardır. Wu ve Chang (2003) çevre bilimi araştırmasında GİA Yönteminden yararlanmışlardır.

2004 yılında yapılan çalışmada Lin, çok sayıda performans özelliği bulunan torna operasyonunun optimizasyonunda Taguchi yöntemi ile GİA yöntemi beraber kullanılmıştır. Singh, Raghukondon ve Pai (2004); Al-10%SiCp kompozit malzemesinin işlenmesinde tel erozyon tezgahındaki parametrelerin optimizasyonu için GİA'yı kullanmışlardır.

2005 yılında yapılan başka bir çalışmada, Lai, Lin ve Yeh; ürün görüntüsünün form dizaynı, GİA ve sinir ağı modelini kullanarak yapmış ve çalışma sonucunda ürün tasarımı için yararlı bir bakış açısı sağlamıştır. Lin ve Lin (2005) işleme proseslerinin optimizasyonu için Gri-Bulanık Mantıktan yararlanmışlardır. Song,

Shepperd ve Mair (2005) yaptıkları çalışmada, yazılım projelerinin değerlendirilmesi ve tahminini yaparken GİA Metodundan yararlanmışlardır. Chang, Lai, Yu (2005), Tayvan'da yarı iletken endüstri üretimi için belirlenen A değişkeni ve P değerinin yuvarlatılmasında Gri Tahmin Modelinden yararlanmışlardır.

2006 yılında Palanikumar, Karunamoorthy, Karthikeyan, çalışmalarında karbür(KIO) takımını kullanarak GFRP (glass fiber-reinforced polymer) malzemesinin işlenmesinde, işleme parametrelerinin çoklu performanslarını optimizasyonunu yapmışlardır. Bunun için de GİA'dan faydalanmışlardır. Tosun (2006), delik delme işleminde çoklu performans karakteristikleri için GİA Yönteminden yararlanmış ve optimum parametre seçmiştir.

2007 yılında, Üstünişik, Türkiye'deki coğrafi bölgeler ve İstatistik Bölge Birimleri bazında gelişmişlik sıralamasının belirlenmesi amacıyla, sistemler arasındaki ilişki yapısını ortaya çıkarmada gri ilişkisel analizin uygulanmasına karar vermiştir. Demiray (2007) firma gereksinimlerine en uygun makinenin seçilmesinde Hiyerarşik Gri İlişkisel Analiz Yöntemini kullanmıştır. Pan, Wang, Wei, Sher (2007), Taguchi Metodu ve Gri İlişkisel Analizi beraber kullanılmış ve çoklu kalite karakteristiklerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Lin, Lu, Lewis (2007), Tayvanda yaptıkları araştırmada karbondioksit yayılımının ve enerji kullanımının ekonomi açısından bağıntısının Gri İlişkisel Performans ile değerlendirilmesi yapılmıştır.

2008 yılında Çağdaş ve Haşçalık, çoklu performans karakteristikleri ile optimum lazer kesme parametrelerinin belirlenmesi için GİA'yı kullanmışlardır. Abbas, Li ve Tai (2008), GİA ile AISI 304 malzemesinin tel çekme işlemi optimizasyonu için Taguchi metodunu da kullanarak yapmışlardır. Chan (2008), ürün çıkışının özellikleri, seçenekleri için GİA ile farklı bir yaklaşım sunmuştur.

2009 yılında Lu, Chang, Hwang, Chung çalışmalarında yüksek hızlı frezede kesme parametrelerinin optimum dizaynı için temel bileşenler analizi ile GİA bir arada kullanılmıştır. Tzeng, Lin, Yang ve Jeng (2009), çoklu performans karakteristikleri ile tornalama operasyonunun optimizasyonu için Taguchi yöntemini ve GİA'yı birlikte kullanmışlardır. Hsu ve Wang (2009), çok değişkenli Gri Model

ve Gri İlişkisel Analizini kullanarak entegre devre çıkışlarının tahmini ve geliştirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Yang, Wang, Hao, Shen, Qi (2009), güç görüntüsünün tahminine ve GİA'ne dayanarak, açık gürültü kaynağını tanımlamak amacıyla çalışma yapmışlardır.

2010 yılında, Tseng, yapmış olduğu çalışma çevre bilgi yönetimi kapasiteleri tedarikçi değerlendirmesi için gri ilişkisel analizi yöntemini de içine alan bir yaklaşım ortaya koymuştur. Wei (2010), yazdığı makalede gri ilişkisel analizi metodunu kullanmıştır. Bu makalenin amacı, sezgisel bulanık bilgi ile çok kriterli karar verme problemlerini araştırmaktır.

III.1.1.3 Gri Sistem Teorisinin Gelecekteki Araştırmaları

Gri sistem teorisinin gelecekteki araştırmaları birkaç madde altında incelenmektedir[Liu ve Lin, 2006]:

III.1.1.3.1 Oluşum:

Bu bölümde, gri sistem teorisinin araştırılması amaçlanmıştır.

III.1.1.3.2 Karşılaştırma:

Bu bölümde, gri sistem teorisi metodu benzer durumları analiz etmek ve elde edilen sonuçları geleneksel metotlarla elde edilen sonuçlarla karşılaştırmak için kullanılır. (Örneğin; bulanık metot, zaman serisi metodu vb.)

III.1.1.3.3 Geliştirme:

Bu bölümün esas amacı orijinal matematik modelleri altına, gri sistem teorisi metotlarını ekleyerek sonuçları daha tatmin edici ve pratik hale getirmektir. Bunun yanında, gri sistem teorisi 20 yılı aşkın zamandır geliştirilmektedir. Fakat, gri sistem teorisi Tayvan'da 10 yıldır bilinmektedir ve bundan dolayı burada önemli bir araştırma konusu olmaktadır.

III.1.1.3.4 Uygulama:

Gelecekte gri sistem teorisi araştırma eğilimleri, işletme, yönetim ve eğitim alanlarına doğru olacaktır. Böylece kullanıcılar gri sistem teorisi yardımıyla daha net sonuçlara ulaşabileceklerdir.

III.1.1.3.5 Kombinasyon:

Gelecekte, bilgisayarla hesaplama teorilerine eğilim olacaktır. Örneğin; bulanık-gri teorisi, dayanıklı-gri vb. gibi.

III.1.1.4 Gri Sistemlerin Temel Kavram ve Prensipleri

III.1.1.4.1 Gri Sistemlerin Temel Kavramları

Doğada sosyal, ekonomik, tarım, endüstri, ekolojik ya da biyolojik birçok sistem, araştırma konuları arasındaki alan ve sıralamalar baz alınarak adlandırılmıştır. Buna karşın gri sistemler, araştırılan konuların renkleri baz alınarak isimlendirilmiştir. Örneğin, kontrol teorisinde, renklerin koyulukları, [Liu ve Lin., 2006].

Bilgilerin berraklık derecelerini göstermek için yaygın olarak kullanılmıştır. Kabul edilen en iyi temsillerinden biri de “kara kutu” olarak adlandırılan gösterimdir. Araştırmacının tamamen bilemediği yapılar ve dahili ilişkiler bir nesne ile simgelenir. Siyah, bilinmeyen bilgileri göstermek için, beyaz, tamamen bilinen bilgiler için ve gri, kısmen bilinmeyen bilgileri göstermek için kullanılır. Buna bağlı olarak biz, tamamen bilinen bilgiyi beyaz sistemler olarak; tamamıyla bilinmeyen bilgiyi siyah sistemler ve kısmen bilinen ve kısmen bilinmeyen bilgiyi ise gri sistemler olarak adlandırırız [Liu ve Lin., 2006].

Gündelik hayatımızda ekonomik ve bilimsel araştırma faaliyetlerinde, eksik bilgi gerektiren durumlarla sıkça karşılaşırız. Örneğin, tarımsal çalışmalarda, çekirdeklerin ekilmesi, gübreleme ve sulama gibi alanlarla ilgili bütün bilgiler biliniyor olsa bile, işçi kalitesi, kullanılan teknoloji seviyesi, doğal çevre, hava koşulları vb. durumlarla ilişkili çeşitli bilinmeyen ya da belirsiz bilgiler nedeniyle üretim miktarı ve yıllık geliri tahmin etmek yine de zordur. Böceklerin kontrolü halinde ise biz ilgili böceklerin özel çeşitleri ve onların doğal düşmanları arasındaki ilişkiyi oldukça iyi biliriz. Ama bu bizim için istenen etkiyi elde etmek için hala zor olabilir. Çünkü biz, ilgilendiğimiz böcekler ve yem, onların doğal düşmanları ve yem, diğer doğal

düşmanlar, bir böcek çeşidi ve diğer böcek çeşitleri arasındaki ilişkiler hakkında yeterli bilgiye sahip değiliz.

Ekonomimizde fiyat sisteminin her bir düzenlemesi için karar vericiler müşteriler üzerinde fiyat değişikliğinin etkisi üzerine kesin bilgiye sahip olma zorluğuyla sıkça karşılaşılır. Ölçülemeyen bazı değerler yüzünden bütün sıvı basıç sistemlerinin kontrol edilmesi zordur. Voltaj ve elektrik akımlarının stokastik parametreleri nedeniyle elektrik sistemlerinin izlenmesi güçtür. Hareket ve parametrelerin yeterince bilinmemesi çok büyük zorluklar yaratır. Genel, sosyal ya da ekonomik bir sistemde iç ve dış arasındaki açık bir fark bulunmadığından girdinin çıktı üzerindeki etkisini analiz etmek zordur. Sistemin kendisi, çevresi ve de sistem sınırını ya da sistem sınırını ya da açıklanması başka durumları anlatmak kolay olabilir. Stokastik çalışmalarda aynı ekonomik değişkenler bazı uzmanlar tarafından iç kaynaklı olarak görülebilir. Bu olguların geniş mesafelere yayılması modellenen bilgilerin yoksunluğu nedeniyle sisteme uygun modelin bulunmaması yüzünden ya da doğru gözlem ve kontrol değişkenlerinin geliştirilememesi nedeniyle aşağıda temelinde sistemlerin eksik bilgileri için dört ihtimal vardır [Liu ve Lin., 2006].

1. Parametre bilgileri eksiktir.
2. Yapıda bilgi eksiktir.
3. Sınırdaki bilgi eksiktir.
4. Hareketin davranış bilgisi eksiktir.

“eksik bilgi”, “gri” oluşumun temel anlamıdır. Farklı durumlarda ve farklı açılardan “gri” oluşum yine de uzatılabilir.

Daha fazla bilgi için Tablo III.1'e bakınız.

Tablo III. 1 Siyah, beyaz ve gri sistemlerin karşılaştırılması [Liu ve Lin., 2006].

	<i>Siyah</i>	<i>Gri</i>	<i>Beyaz</i>
Bilgi	Bilinmeyen	Eksik	Bilinen
Görünüş	Koyu	Gri	Açık
Süreç	Yeni	Yeni İle Eskinin Değişimi	Eski
Özellik	Karmaşık	Karışık	Düzenli
Metodoloji	Negatif	Geçiş	Pozitif
Konum	Bağımlılık	Tolerans	Güvenli
Sonuç	Sonuçsuz	Çoklu Çözüm	Tek Çözüm

III.1.1.4.2 Gri Sistemlerin Temel Prensipleri

İlk kurulma ve son gelişme aşamaları boyunca birçok önemli aksiyom Profesör Julong Deng gibi birçok uzman tarafından önerilmiştir [Liu ve Lin., 2006].

Aksiyom III.1.1.4.2.1 Bilgisel Farkların Prensipleri

“Fark” bilgilerin varlığı anlamına gelir. Her bir bilgi parçası “fark”ın bazı türlerine taşınır [Liu ve Lin., 2006].

A nesnesinin B nesnesinden farklı olduğunu söylediğimizde; anlatmak istediğimiz A nesnesi hakkında bazı özel bilgilerin B nesnesi açısından doğru olmadığıdır. Bütün farklılıklar, mevcut olan doğal nesnelere ve olaylar arasında onların doğasını anlamamız için bize başlangıç bilgilerini sağlar [Liu ve Lin., 2006].

Eğer bilgi, anladığımız ya da karmaşık konunun etkisini değiştirmişse sonra bilginin adedi ilk anladığımız özel konudan kesinlikle farklıdır. Bilim ve teknolojiye büyük atılımlar, çevremizdeki dünyayı değiştirmek ve anlamak için genellikle bilgi ve materyal olarak isimlendirilen gerekli bilgileri bize sağlar [Liu ve Lin., 2006].

Aksiyom III.1.1.4.2.2 Eşsiz Olmama Prensibi

Belirsiz ve eksik bilgiyle problem için çözüm tek değildir. Gri sistem teorisinin basit uygulama kuralları olan eşsiz olmama prensibinden dolayı, esnekliğiyle baktığımız problem için serbestçe kurulabilir. Esneklikle bu amacına ulaşmasında daha etkili olur [Liu ve Lin., 2006].

Stratejik olarak gri sistem teorisinin basit uygulama kuralları olan eşsiz olmama prensibi, gri hedeflerin kavramı doğrultusunda fark edilebilir. Bu kavram eşsiz olmayan ve zapt edilemeyen kavramların birleşimidir. Örneğin eğer bir lise mezunu, herhangi bir üniversite, özel okula başvuru yapmışsa ve bu kişi üniversiteye girme döneminde başarısının değişimi sınırlıdır. Diğer taraftan, eğer önceki örnekteki kişiye benzer niteliklere sahip lise mezunu ise, üniversitelerin ya da diğer özel okulların ek seçeneklerine devam etmek istese, bu kişinin üniversitede başarılı olması daha muhtemeldir. Çünkü bu kişi, hedefini tutturduğunda hedefine ilerleme şansı daha yüksek olacaktır [Liu ve Lin., 2006].

Eşsiz olmama prensibi, ulaşılabilecek her bir hedefe, karşılaştırmalı olarak farkındalık sağlar. Mevcut her bilgi eklenebilir. Erkenden yapılan herhangi bir plan daha fazla değişebilir ve gelişebilir, her bir ilişki bağdaştırılabilir, her bir mantıki düşünce çok yönlü olabilir, her bir anlam derineşebilir ve her bir yol optimize edilebilir. Çoklu çözümlerin olabilirliğiyle yüzleşildiğinde bu belirlenen analiz ya da bilginin eklenmesi doğrultusunda bir ya da birçok yeterli çözüm ve bölgeselleştirilebilir. Bu yüzden eşsiz olmama prensibi temeline dayalı bulunan sonuçların metodu her iki niceliksel analizinin birleşmesinden biridir [Liu ve Lin., 2006].

Aksiyom III.1.1.4.2.3 Minimum Bilgi Prensibi

Gri sistem teorisinin karakteristiklerinden biri de “minimum bilgi miktarını” en çok ve en iyi kullanılabilmektir [Liu ve Lin., 2006].

Minimum bilgi prensibi, “çok az” ve “çok fazla”nın mantıksal birleşmesi olarak görülebilir. Gri sistem teorisinin bir avantajı da “küçük örnekler” ve/veya “az

bilgi” ile kesin olmayan problemleri ele almaları dahi yetenekleridir. Çalışmanın kurulması, “sınırlı bilgi boşlukları”nın konseptidir. Minimum bilgi miktarı, gri sistem teorisinin gücünü göstermek için temel bölgedir. Elde edilebilir bilgi miktarı “gri” ve “gri olmayan” arasındaki çizgidir. Var olan hiçbir “minimum bilgi” uygulaması ve yeterli araştırma miktarının uygulaması ve yapılan yeterli araştırma, gri sistem teorisinde kullanılan problem çözme temel düşünce mantığıdır [Liu ve Lin., 2006].

Aksiyom III.1.1.4.2.4 Tanıma Esası Prensibi

Bilgi, insanların kabul etmesi ve anlaması üzerine kurulmuştur. Bu prensip, bütün tanımlamaların bilgi üzerine temellendirilmesi gerektiğini söyler. Bilgi olmaksızın hiçbir şey bilmeyen insanlar için bir yönde olmayacaktır. Tam olan ve belirlenmiş bilgiyle insanlar, kesin bir tanımlama elde edebilirler. Eksik ve belirlenmiş bilgi esas alındığında insanlar sadece eksik ve belirlenmemiş gri tanımlamayı elde edebilir [Liu ve Lin., 2006].

Aksiyom III.1.1.4.2.5 Yeni Bilgi Önceliği Prensibi

Bilginin yeni parçalarının fonksiyonu, bilginin eski parçalarının fonksiyonundan daha büyüktür [Liu ve Lin., 2006].

“Yeni bilginin önceliği prensibi” , gri sistem teorisinde uygulanan bilgi hakkında kilit noktasıdır. Bu, yeni bilgi üzerinde uygulanan ilave ağırlıklarla gri modelleme, gri tahmin, gri analiz, gri gelişim ve gri karar vermeden daha iyi bir etki sağlayabilir. Yeniyi eskisiyle değiştirme modeli yeni bilgi prensibi önceliğini yansıtır. Yeni bilgilerin kullanılabilir hale gelmesi ile gri elemanların beyazlaştırılması için bir temel motivasyon güçlendirildi. Yeni bilgi önceliği prensibinin modelleştirilmesi aslında genel olarak bilginin zaman hassasiyetine dayanır [Liu ve Lin., 2006].

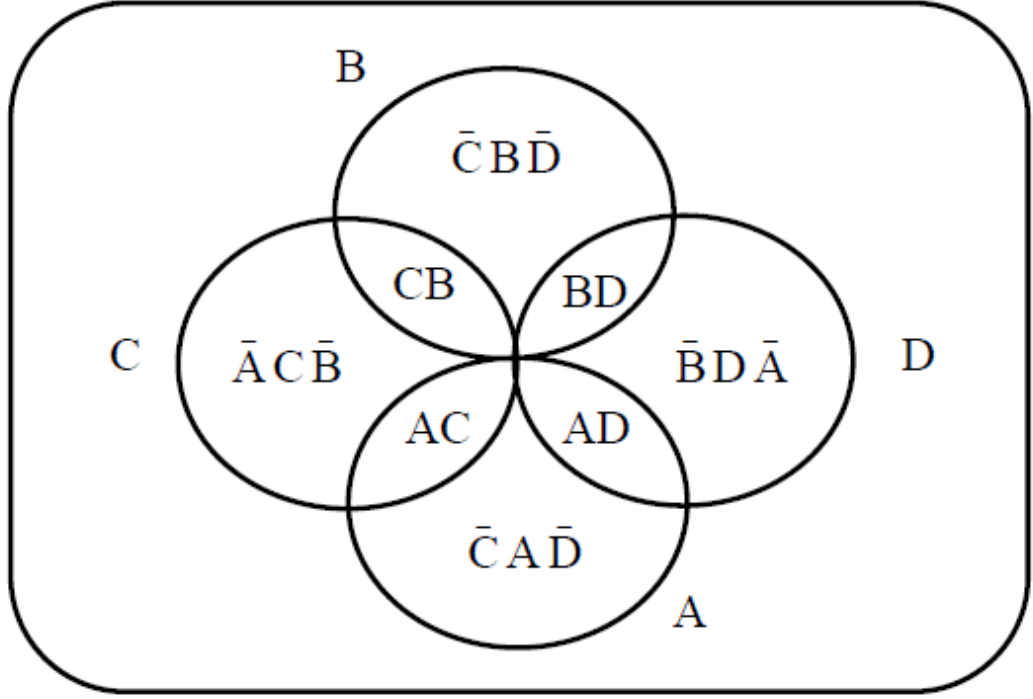
Aksiyom III.1.1.4.2.6 Griliğin Kesinlik Problemi

Bilginin eksikliği mutlaktır. Bilginin belirsizliği ve eksikliği genelleştirilebilirliğe sahip olmasındandır. Her bilgi bütünlüğü göreceli ve geçicidir. Belirsizlik, orijinal bilgi yok olduğunda, yeni belirsizlik yakında ortaya çıkacaktır. İnsan tanınması ve dünya anlayışı da sonsuz olur. O yüzden bilginin griliği mutlaktır ve asla yok olmayacaktır [Liu ve Lin., 2006].

III.1.1.4.3 Sistem Bilimi ve Gri Sistem Teorisinin Sistem Bilimi İçerisindeki Konumu

Gri Sistem Teorisinin sistem bilimi içindeki konumunu belirlemek için öncelikle problemleri karmaşıklık ve belirsizlik düzeylerine göre sınıflandırmak gerekmektedir. Şekil III.1' de problem türleri karmaşıklık belirsizlik düzeylerine göre Venn diyagramı üzerinde gösterilmiştir. Şekil III.1'de yer alan A,B,C ve D evrensel kümede yer alabilecek tüm olası problem türlerini temsil etmektedir. A, basit, B, karmaşık, C, kesin, D, belirsiz problem kümelerini nitelemektedir. Şekil III.1 'deki Venn diyagramında yer alan her bir parça aşağıdaki problem türünü kapsamaktadır [Üstünişik, 2007].

1. $\overline{C}\overline{B}\overline{D}$: Yarı kesin karmaşık problemler (semi-certain complex problems)
2. $\overline{A}\overline{C}\overline{B}$: Kesin yarı karmaşık problemler (certain semi-complex problems)
3. $\overline{C}\overline{A}\overline{D}$: Yarı kesin basit problemler (semi-certain simple problems)
4. $\overline{B}\overline{D}\overline{A}$: Belirsiz karmaşık problemler (uncertain complex problems)
5. CB : Kesin karmaşık problemler (certain complex problems)
6. BD : Belirsiz karmaşık problemler (uncertain complex problems)
7. AD : Belirsiz basit problemler (uncertain simple problems)
8. AC : Kesin basit problemler (certain simple problems)



Şekil III. 1 Belirsizlik ve karmaşıklık düzeylerine göre problemler [Liu ve Lin, 2006]

Farklı problem çözüm yöntemleri dikkate alındığında, Venn diyagramında yer alan her bir problem türü için aşağıdaki yöntemler kullanılır [Üstünişik, 2007].

1. $\bar{C}\bar{B}\bar{D}$: Öz Örgütlenme Teorisi – Kendi kendini düzenleyen ve organize olan cansız sistemler
2. $\bar{A}\bar{C}\bar{B}$: Yöneylem Araştırması
3. $\bar{C}A\bar{D}$: Mantık Teorisi
4. $\bar{B}D\bar{A}$: Gri Sistem Teorisi
5. CB : Genel Sistem Teorisi
6. BD : Doğrusal olmayan bilim
7. AD : Olasılık, istatistik ve bulanık matematik
8. AC : Matematik

Buradan sonuç olarak gri sistem teorisinin belirsiz ve yarı karmaşık problemlerle ilgilendiği sonucu ortaya çıkmaktadır [Üstünişik, 2007].

III.1.1.4.4 Gri Belirsizlik

A şu özellikleri taşıyan gri bilgi olsun: α bir bilinmeyen, $S \neq \emptyset$, K , S 'nin bir alt kümesi, $U = \text{"}\alpha \text{ S' e ait olsun"}$ ve $A = \text{"}\alpha \text{ K' ya ait olsun"}$. Bilinmeyen α 'nin spesifik (kesin) değeri gri belirsizliği ifade eder. Örneğin, $U = \text{"}\alpha \text{ S' e ait olsun"}$, $S = \text{"Tüm reel sayılar kümesi"}$, $K = \text{"}[2,3]$ aralığı" ve $A = \text{"}\alpha \text{ K' ya ait olsun"}$. A gri bilgisi şu belirsizliği içerir. α , 2 ile 3 arasında reel bir sayıdır. Bununla birlikte α 'in kesin değeri bilinmemektedir. Örneğin yeni bir araba satın almayı düşünen bir müşterinin \$30.000'nin olduğunu kabul edelim. α pazarlık sonrası arabanın satış fiyatını gösterecektir. α 'in 0 ile \$30.000 arasında bir değer alacağı kesindir. Burada gri belirsizlik aracın pazarlık sonrası satış fiyatının kesin değerinin belirsizliğinden kaynaklanmaktadır [Üstünişik, 2007].

Bulanık belirsizlikte ise dilsel bir belirsizlik söz konusudur. A bulanık bilgisi şu koşulları sağlayan bir bilgidir. α bir bilinmeyendir, S boş küme değildir. $U = \text{"}\alpha \text{ S'e aittir"}$, $A = \text{"}\alpha \text{ S'e aittir ve } \alpha = e \in S \text{ aitlik derecesi } \alpha_e \text{ dır ve } 0 \leq \alpha_e \leq 1 \text{ dır.}$ Örneğin X , üniversitenin birçok komisyonunda görev olan bir öğretim üyesi olsun. X , disiplin komisyonunda yer almasına rağmen bu komisyonun birçok toplantısına katılmıyor ise, X 'in bu komisyona üye (ait) olma derecesi sıfıra yakın bir değer olacaktır. X *çok büyük bir ihtimalle* bu komisyona üye değildir ama *kesinlikle* üye değildir denilemez. X , satınalma komisyonunun tüm toplantılarına bugüne kadar istinasız katılmıştır. X 'in satınalma komisyonuna ait olma derecesi 1'dir. Bununla birlikte bu Ali bey'in gelecekte satınalma komisyonunun tüm toplantılarına katılacağı anlamına gelmemektedir [Üstünişik, 2007].

III.1.1.4.5 Gri Sistem Teorisinin Ana İçerikleri

Gri sayılar, gri elemanlar ve gri ilişkiler, gri sistemler teorisindeki araştırmaların ana konularıdır. Bu yüzden, gri sistemlerin tüm teorileri, gri sayıların temeli ve onların işlemleri, gri matrisleri, gri denklemlerinin kurulmasına uzanır. Endüstrideki kontrol problemleri ve gri sistemlerin analizi, modelleme, tahmin, karar verme ve sosyal, ekonomik tarımsal ve ekolojik içsel özelliklerin kontrolü vb. sistemler, gri sistemlerin ana araştırma görevleridir. Bir gri sistem probleminin her

çalışması sık sık birçok farklı yönlerini sentezleme çabasına ihtiyaç duyar [Liu ve Lin, 2006]

Örneğin; bir idari bölgenin veya işin uzun zamanlı kalkınma planını yapmak için öncelikle güncel durumun analiz edilmesine ve tanımlanması gerekir. Bu temel üzerine bir sistem modeli kurulur ve böylece geleceğe yönelik bilimsel ve güvenilir tahminler yapılabilir. Güvenilir bir öngörü ile yapılan planlar etkili karar verme ve kontrol, daha az girdi ve daha çok çıktı nesnesine ulaşmak için tercih edilen girişimlerle sağlanabilir. Ekolojik sistemlerin besin zinciri çalışmasında, örneğin; yeşil bitkilerin oluşumu, etçil hayvanlar ve etçil olmayan hayvanlar içeren 3 katmanla aynı anda uğraşmak zorundadır. Hayvancılık için kalkınma planları yaparken, çalışma bu üç katman doğrultusunda her bir katmana insan müdahalesi altındaki gelişim ve değişimleri tahmin etmek için sayısal ilişkileri analiz etmek zorundadır. İnsan müdahalesi anlayışı ile bir maliyete sahiptir ve bazı faydalar sağlanabilir. Bu, maliyeti yükseltmek için daha fazla yarar sağlamak için ve prosedürün özel uygulama programlarına sahip olması için prosedür tasarımına ihtiyaç vardır. Bu örneklerde, analiz, modelleme, tahmin, karar verme ve kontrol içeriğinin tümünü kapsamıştır [Liu ve Lin, 2006]

Gri sistem analizi, esas olarak gri oranı analizi, gri istatistikler, gri kümeler vb. den meydana gelir [Liu ve Lin, 2006].Gri sistem teorisine göre, gri sistem alanı altı bölümde özetlenebilir [Wen, 2004]:

III.1.1.4.5.1 Gri Oluşum

Gri oluşum fikri, düzensiz ham fikri gri modelleme yararı için düzenli serilere dönüştürebilmesidir. Gri oluşum dört bölüm kapsar [Wen, 2004]:

1- Gri ilişkisel oluşum operasyonu: GİOO

GİOO' nun anlamı, sistem ihtiyaçları için yeni bilgi eklenmesidir. Diğer bir deyişle, bu verinin kurallarını bulmak için işlenmiş veri üzerine dayanır.

2- Birikmiş oluşum operasyonu: BOO

BOO' nun anlamı, orijinal verinin rastgele olmasını azaltmak için veri birikmiş operasyonu kullanır.

3- Ters biriktirici oluşum operasyonu: TBOO

Ters biriktirici oluşum operasyonu, birikmiş oluşum operasyonunun zıttı operasyondur.

4- Lokalizasyon oluşum (LO)

Lokalize oluşumun ana amacı, non-equigap in dizisi ya da eksik veridir. Sonra, biz kayıp verinin yeniden düzenlenmesi için ve olan eşit aralık ardaşığı yapmak için bu yöntem kullanılır.

III.1.1.4.5.2 Gri İlişkisel Analiz: GİA

Bu model, güçlü ölçüm modelidir ki bu zamana içinde sistemin, iki element ya da iki sistem arasında ki değişiklerin ilişkilerinin ölçülmesini konu alır [Wen, 2004].

İki tip inşa modeli vardır, bunlar [Wen, 2004]:

1- Lokalizasyon gri ilişkisel derecesi (LGİD):

Lokalizasyon gri ilişkisel derecesinde, bir referans dizisi alınır ve bu diziyi sıralamak için formül kullanabiliriz.

2- Global gri ilişkisel derecesi (GGİD):

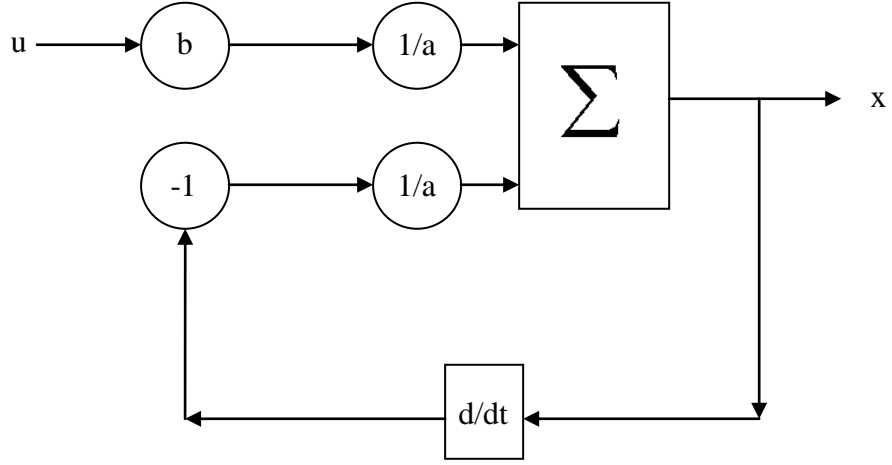
Global gri ilişkisel derecesinde, her dizi referans dizisi olabilir ve diziyi sıralamak için öz vektör metodunu kullanabiliriz ayrıca optimal dizi de seçebiliriz [Wen, 2004].

III.1.1.4.5.3 Gri Model (GM)

Bu metot, diferansiyel eşitlik içinde farklı eşitliklere çevirmek için yapay konsept (kavram) kullanır [Wen, 2004].

1- GM (1,1) Modeli:

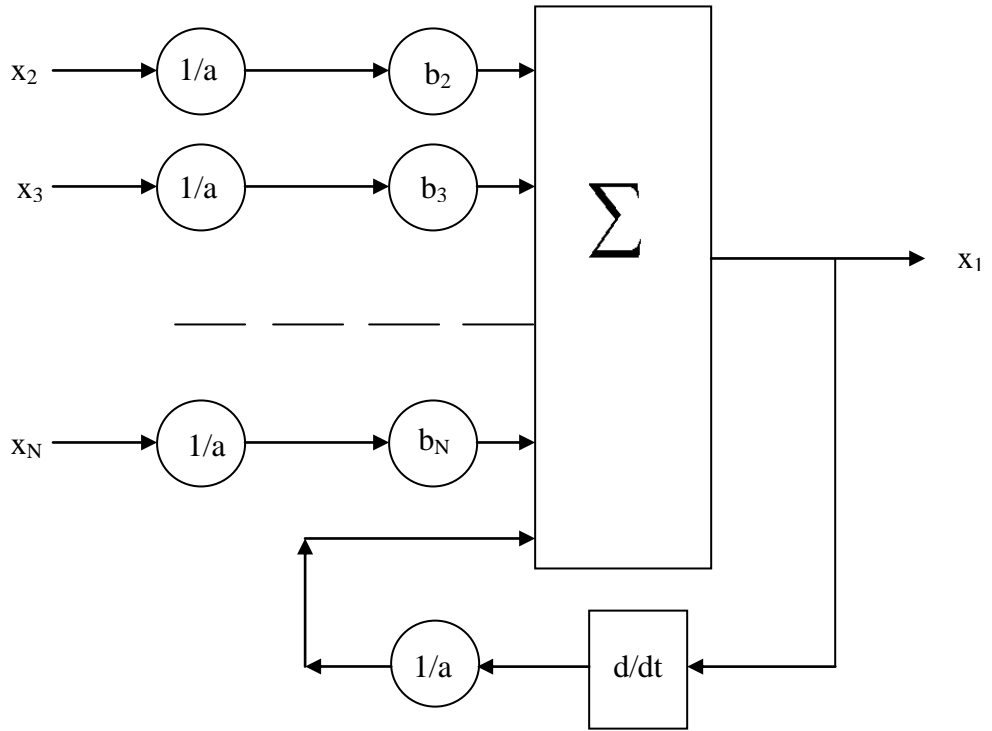
GM (1,1) modelinin anlamı birincil diferansiyel ve bir değişken, GM (1,1) modelinin fonksiyonu tahmin alanı içinde kullanılır.



Şekil III. 2 GM(1,1) Model Kavramı [Wen, 2004]

2- GM (1,N) Modeli:

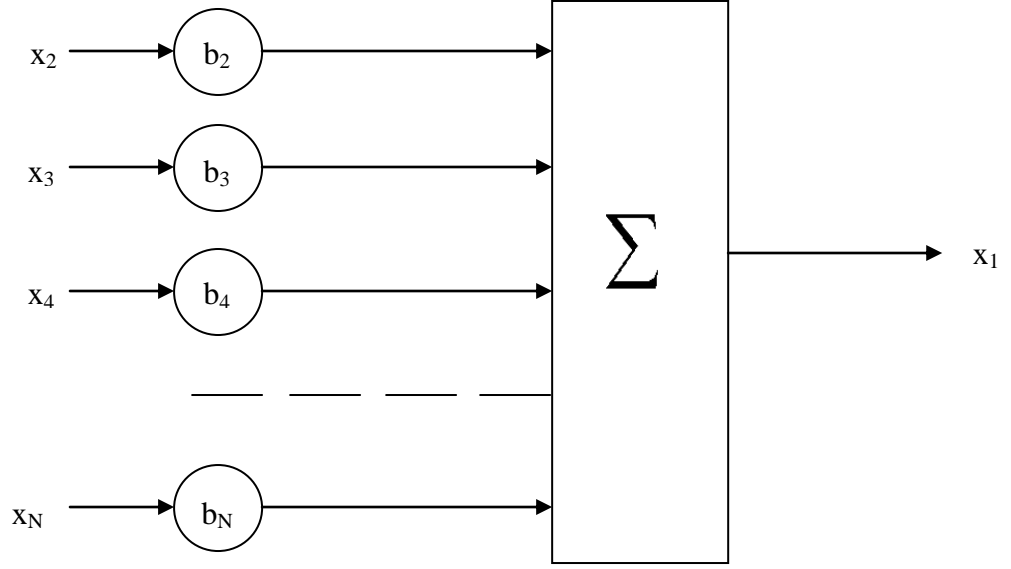
GM (1,N) Modelinde, ilk olarak N değişkenlerinin diferansiyellerini buluruz, bu GM (1,N) Modelinin fonksiyonu çoklu değişken analiz alanlarında kullanılır.



Şekil III. 3 GM(1,N) Model Kavramı [Wen, 2004]

2- GM (0,N) Modeli:

GM (0,N) Modelinin anlamı, diferansiyel olmaması ve N değişkenleri, GM (0,N) Modelinin analiz basamağı GM (1,N) Modeli ile aynı ve de GM (1,N) Modelinin özel tipidir.



Şekil III. 4 GM(0,N) Model Kavramı [Wen, 2004]

III.1.1.4.5.4 Gri Tahmin (GT):

GM (1,N) Modeline dayanılarak, tahmin yapmak için modeli kullanırız. Tablo III.2 de, geleneksel ve gri metod içerikleri olan tahmin metodu listelenmiştir [Wen, 2004].

Tablo III. 2 Gri Tahmin ile Geleneksel Gri Tahminin Karşılaştırılması

<i>Matematik Model</i>	<i>Tahmin için en az veri</i>	<i>Veri Tipi</i>	<i>Zaman</i>
Basit Üssel (Katsayı)	5-10	Eşit aralık	Kısa
Holt's	10-15	Aynı yön ve güvenilir	Kısa ve orta
Winter's	En az 5	Aynı yön ve güvenilir	Kısa ve orta
Regresyon	En az 10 ya da 20	Aynı yön ve güvenilir	Kısa ve orta
Causal Regresyon	En az 10	Karışım tipi	Kısa, orta ve uzun
Zaman Serisi Metodu	En az 2 seçme değer	Karışım tipi ve güvenilir	Kısa ve orta
Gri Metod	En az 50	Eşit aralık	Kısa, orta ve uzun
Gri Metod	Sadece 4	Eşit aralık ve eşit aralığı olmayan	Kısa, orta ve uzun

III.1.1.4.5.5 Gri Karar Verme

Karar verme problemlerini çözmek için diğer metodlar ile GM (1,1) Modeli birleştirilir. Üç tip inşa modeli vardır, bunlar [Wen, 2004]:

1-Gri Kurallar Durumu:

Gri kurallar durumu; çoklu nesnelere dayanılarak yapılan stratejinin üstesinden gelmek, sıradan yön içinde tutarsızdır.

2- Gri karar verme grubu:

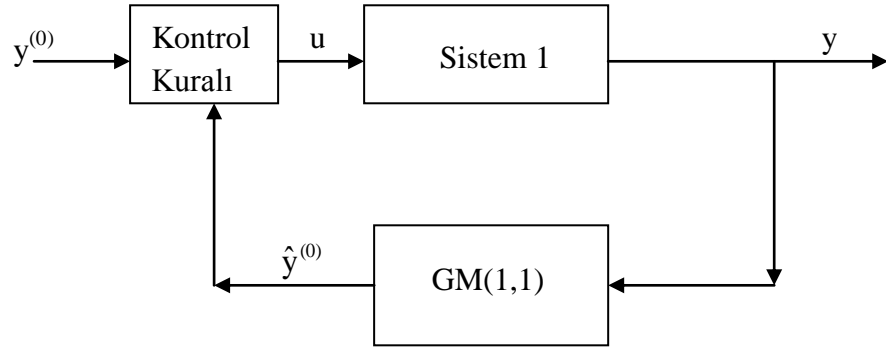
Bu alan, gri ilişkiler alanı, gri istatistik, gri kümeleme ve gri tahmini kapsar.

3- Gri programlama:

Dinamik programlama yapmak için gri tahmin modeline dahil etmek ve çevreye uyum hükmü ile gri numaraya benzer katsayı kabul etmek geleneksel programlamaya dayanır.

III.1.1.4.5.6 Gri Kontrol

Sistem davranışlarının yönünü bulmak için kullanılan veriler ve sonra daha ideal kontrol sistemleri yapmak için tahmin metotları ile birleştirilir. Şekil III.5 de, kontrol sisteminde GM (1,1) model fonksiyonu gösterilmiştir [Wen, 2004].



Şekil III. 5 Gri kontrolün blok diyagramı [Wen, 2004]

Burada,

- (1) $\hat{y}^{(0)}$: Sistem davranışının tahmini değeri
- (2) $y^{(0)}$: Kararlaştırma miktarı
- (3) y : Sistem çıkışı
- (4) u : Kontrol Kuralı

III.1.1.4.5.Gri İlişkisel Analizi Yöntemi

Çok kriterli karar verme yöntemleri konusunda yapılan çalışmalara bakıldığında birçok farklı örnek ve yöntem bulmak mümkündür. Bu yöntemlerden Gri İlişkisel Analiz (GİA), her geçen gün kendine daha fazla yer bulan ve farklı alanlarda uygulamalarda kullanılan bir yöntemdir [Demiray, 2007].

Gri İlişkisel Analiz, Gri Teori ana başlığı altında literatürde yerini almış bir karar verme ve analiz aracıdır. Gri Teori ilk defa Julong Deng tarafından 1982 yılında ortaya atılmıştır. Stokastik veya bulanık karar verme yöntemleriyle çözülemeyen problemlerin modellenmesini ve çözülmesini sağlayan Gri teori; sistemler arası analiz, model kurulması, tahmin ve karar verme problemleri için sıkça başvurulan bir yöntemdir. Gerçek hayat problemlerine bakıldığında tüm faktörleri tam pozitif veya tam negatif olarak nitelendirmek oldukça zordur. Aynı şekilde tüm etkenleri tamamen belirli veya tamamen belirsiz olarak değerlendirmek de mümkün olmamaktadır. Hiçbir belirsizliğin olmadığı bir sistem “Beyaz”, tüm etkenlerin tamamen belirsiz olduğu bir sistem “Siyah” ise, kısmen belirli ve kısmen belirsiz sistemler “Gri” olarak tanımlanmıştır [Demiray, 2007].

Bir problem, tek bir kriterden meydana geldiğinde, o kriterin sahip olabileceği en iyi değere en yakın ve en kötü değere en uzak olan alternatif kolayca seçilebilmektedir. Ancak, bir problem birden fazla kriterden oluştuğunda, bunu tespit etmek kolay olmamaktadır. İşte bu noktada devreye GİA yöntemi girmektedir. Bir alternatifin, tüm kriterlerde o kriterin alabileceği en iyi değere olan yakınlığını ve en kötü değere uzaklığını hesaplayan bu yöntem, toplamda en iyi alternatifi seçmeyi başarmaktadır [Demiray, 2007].

III.1.1.4.6 Gri İlişkisel Analiz Hesaplama Adımları

Gri ilişkisel analiz (GİA) gri modellemenin alt başlıklarından biridir. GİA gri bir sistemdeki her bir faktör ile kıyas yapılan faktör (referans serisi) serisi arasındaki ilişki derecesini belirlemeye yarayan bir metottur. Her bir faktör bir dizi (sıra veya

sütun) olarak tanımlanır. Faktörler arası etki derecesi ise gri ilişkisel derece olarak isimlendirilir [Üstünişik, 2007].

Gri ilişkisel derece referans faktör serisi ile karşılaştırılacak faktör serisi arasındaki geometrik benzerlik dikkate alınarak hesaplanır. Bir gri ilişkisel dereceyi tanımlayan fonksiyonunun normallik (normality), dual simetri (duality symmetric), bütünlük (wholeness) ve yakınlık (closeness) aksiyomlarını sağlaması gerekmektedir. x_i ve x_j serileri arasındaki gri ilişkisel derece $y(x_i, x_j)$ olarak tanımlansın. $x_i(k)$ i. Serinin k. değerini gösterecektir [Üstünişik, 2007].

- Normallik: $0 < y(x_i, x_j) \leq 1, \forall_i, \forall_j$
- Dual Simetri: $y(x_i, x_j) = y(x_j, x_i) \Leftrightarrow X = x_i, x_j$
- Bütünlük: $y(x_i, x_j) \neq y(x_j, x_i), \forall x_i, x_j \in X = x_s \mid s = 1, 2, \dots, m; m \geq 2$
- Yakınlık: $y(x_i, x_j)$ 'nin değeri $|x_i(k) - x_j(k)|$ belirler. $|x_i(k) - x_j(k)|$ ne kadar küçük ise gri ilişkisel derece o kadar büyüktür.

GİA'nin temel işlemi, öncelikle karşılaştırılabilirlik dizisi içine bütün alternatiflerin performansını dönüştürmektir. Bu adım 'gri ilişkisel oluşum' olarak adlandırılır. Bu dizilere göre, 'referans serisi' (ideal hedef serisi) tanımlanır. Sonra, bütün karşılaştırma serileri ve referans serileri arasındaki 'gri ilişkisel katsayı' hesaplanır. Son olarak, bu gri ilişkisel katsayılar baz alınarak, referans serisi ve bütün karşılaştırma serileri arasında 'gri ilişkisel derece' hesaplanır. Eğer bir karşılaştırma serisi, referans serisi ve kendisi arasında en yüksek gri ilişkisel dereceye sahip bir alternatiften çevrilmişse, bu alternatif en iyi seçim olacaktır. GİA Yöntemi Şekil III.6'da gösterilmektedir [Kuo ve ark., 2008]:



Şekil III. 6 Gri İlişkisel Yöntemi Hesaplama Adımları

Gri ilişkisel analiz metodunun hesaplama adımlarını formüllerle ifade edecek olursak aşağıdaki gibidir [Üstünışık, 2007].

1. Adım: n uzunluğundaki referans seri aşağıdaki gibi olsun (formül III.1).

$$x_0 = \{x_0(1), x_0(2), x_0(3), \dots, x_0(n)\} \quad \text{Formül III. 1}$$

2. Adım: Verilerin normalize edilmesi

Faktörlerin farklı kaynaklardan geldiği, farklı birimlerde ölçüldüğü düşünüldüğünde GİA' nın ilk adımı verilerin aynı birime dönüştürülmesidir. Ayrıca serinin çok geniş aralıklarda değerler aldığı durumlarda standartlaştırmayla verilerin küçük bir aralığa çekilmesinde de fayda vardır. Gri sistem teorisinde bu normalleştirme projesine “gri ilişkisel oluşum (grey relational generating)” adı

verilmektedir. Verilerin normalizasyonunda en sık kullanılan yöntemlerden birisi lineer veri önışleme metodudur. Faktör serilerinin normalizasyonunda dikkat edilmesi gereken “ daha yüksek daha iyi”, “daha düşük daha iyi” ve “en ideal en iyi” kriterlerinden hangisinin serinin özelliğini yansıttığıdır. Örneğin serideki noktaların küçük değerler olması istenen bir özellik ise lineer normalizasyonda küçük değer alan noktalar normalizasyonda “1” ’ e yakın değerler alırken, büyük değer alan noktalar “0” ’ a yakın değerler alacaktır [Üstünışık, 2007].

“Daha yüksek daha iyi” durumunda normalizasyon formül III.2’deki gibidir [Üstünışık, 2007]:

$$x_i(k) = \frac{x_i^0(k) - \min x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad \text{Formül III. 2}$$

$x_i^0(k)$, i serisi k. sıradaki orjinal değer, $x_i(k)$ normalizasyon sonrası i. seri k. sıradaki değer, $\min x_i^0(k)$ i serisindeki minimum değer, $\max x_i^0(k)$ i serisindeki maksimum değerdir.

“Daha düşük daha iyi” için formül III.3’deki gibidir [Üstünışık, 2007]:

$$x_i(k) = \frac{\max x_i^0(k) - x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad \text{Formül III. 3}$$

“İdeal değer daha iyi” için formül III.4’deki gibidir [Üstünışık, 2007]:

$$x_i(k) = 1 - \frac{|x_i^0(k) - x^0|}{\max x_i^0(k) - x^0} \quad \text{Formül III. 4}$$

Burada x^0 istenilen ideal değeri göstermektedir.

3. Adım: x_0 serisi ile karşılaştırılacak m tane seri formül III.5’de tanımlanmış olsun.

$$x_i = \mathfrak{A}_i(1), x_i(2), x_i(3), \dots, x_i(n) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad \text{Formül III. 5}$$

4. Adım: k , n uzunluğundaki serideki k . Sırayı gösterebiliriz. $\varepsilon_{\mathfrak{A}_0(k), x_i(k)}$, k . noktadaki gri ilişkisel katsayı olup formül III.6, III.7, III.8 ve III.9'a göre hesaplanır.

$$\varepsilon_{\mathfrak{A}_0(k), x_i(k)} = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \xi \Delta_{\max}} \quad \text{Formül III. 6}$$

$$\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_j(k)| \quad \text{Formül III. 7}$$

$$\Delta_{\min} = \min_j \min_k |x_0(k) - x_j(k)| \quad \text{Formül III. 8}$$

$$\Delta_{\max} = \max_j \max_k |x_0(k) - x_j(k)| \quad \text{Formül III. 9}$$

Ve $\xi \in (0,1)$ arasındaki bir katsayıdır. $j=1,2,\dots,m$; $k=1,2,\dots,n$. ξ işlevi, Δ_{0i} ile Δ_{\max} arasındaki farkı ayarlamaktır. Çalışmalar ξ değerinin gri ilişkisel derece sonrası oluşacak sıralamayı etkilemediğini göstermektedir.

5. Adım: Son olarak gri ilişkisel derece ise formül III.10 ile hesaplanır:

$$\gamma_{\mathfrak{A}_0, x_i} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon_{\mathfrak{A}_0(k), x_i(k)} \quad \text{Formül III. 10}$$

$\gamma_{\mathfrak{A}_0, x_i}$ gri bir sistemdeki x_i serisi ile x_0 referans serisi arasındaki geometrik benzerliğin bir ölçüsüdür. Gri ilişkisel derecesinin büyüklüğü x_i ile x_0 arasında kuvvetli bir ilişki olduğunun göstergesidir. Eğer karşılaştırılan iki seri birbirinin aynı ise gri ilişkisel derece değeri 1 olarak bulunur. Gri ilişkisel derece karşılaştırılan serinin referans seriyeye ne kadar benzer olduğunu gösterir.

Eğer her bir kriterin ağırlıkları verildiyse, kriterin gri ilişki katsayısı ile kriterin nem derecesine ilişkin ağırlık değeri çarpılarak gri ilişki derecesi bulunabilir. Bu formül III.11'e göre hesaplanır.

$$\gamma_{\mathcal{A}_0, x_i} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \mathcal{E}_{\mathcal{A}_0(k), x_i(k)} \cdot W_i(k) \quad \text{Formül III. 11}$$

Hsia ve Chang gri ilişkiyel oluşumunun hesaplanması (3. Adım) için farklı çözümler önerileri sunmuştur:

1. Hsia'nın Metodu [Wen,2004]:

(1) Daha yüksek daha iyi

$$x_i^*(k) = \frac{x_i^{(0)}(k) - \min_{alli} x_i^{(0)}(k)}{\max_{alli} x_i^{(0)}(k) - \min_{alli} x_i^{(0)}(k)} \quad \text{Formül III. 12}$$

(2) Daha düşük daha iyi

$$x_i^*(k) = \frac{\max_{alli} x_i^{(0)}(k) - x_i^{(0)}(k)}{\max_{alli} x_i^{(0)}(k) - \min_{alli} x_i^{(0)}(k)} \quad \text{Formül III. 13}$$

(3) İdeal değer daha iyi

$$x_i^*(k) = 1 - \frac{|x_i^{(0)}(k) - OB|}{\max_{alli} \max_{alli} x_i^{(0)}(k) - OB, OB - \min_{alli} x_i^{(0)}(k)} \quad \text{Formül III. 14}$$

$x_i^*(k)$: Normalizasyon Değeri

$\min_{alli} x_i^0(k)$: $x_1^0(k), x_2^0(k), x_3^0(k), \dots, x_n^0(k)$ değerlerinin minimumu

$\max_{alli} x_i^0(k)$: $x_1^0(k), x_2^0(k), x_3^0(k), \dots, x_n^0(k)$ değerlerinin maksimumu

OB : $x_i^0(k)$ deki hedeflenen değer

2. Chang'ın Metodu [Wen,2004]:

(1) Daha yüksek daha iyi

$$x_i^*(k) = \frac{x_i^{(0)}(k)}{\max_{alli} x_i^{(0)}(k)}$$

Formül III. 15

(2) Daha düşük daha iyi

$$x_i^*(k) = \frac{-x_i^{(0)}(k)}{\min_{alli} x_i^{(0)}(k)} + 2$$

Formül III. 16

(3) İdeal değer daha iyi

$$x_i^{(0)}(k) \leq OB \text{ ise, } x_i^*(k) = \frac{x_i^{(0)}(k)}{OB}$$

Formül III. 17

$$x_i^{(0)}(k) > OB \text{ ise, } x_i^*(k) = \frac{x_i^{(0)}(k)}{OB} + 2$$

Formül III. 18

$x_i^*(k)$: Normalizasyon Değeri

$\min_{alli} x_i^0(k)$: $x_1^0(k), x_2^0(k), x_3^0(k), \dots, x_n^0(k)$ değerlerinin minimumu

$\max_{alli} x_i^0(k)$: $x_1^0(k), x_2^0(k), x_3^0(k), \dots, x_n^0(k)$ değerlerinin maksimumu

OB : $x_i^0(k)$ deki hedeflenen değer

Hsia ve Wu (1998) gri ilişkisel derecenin hesaplanmasında (5. Adım) aşağıdaki farklı hesaplama yöntemini önermiştir (formül III.19) [Üstünişik, 2007].

$$\gamma(X_0, X_i) = \frac{\Delta_{\min} + \Delta_{\max}}{\Delta + \Delta_{\max}}$$

Formül III. 19

Burada $\Delta' = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n \Delta_{0i}^2(k)}{n}}$ formülüyle hesaplanmaktadır.

Wen (2004), ise formül III.20'de gri ilişkisel derecenin hesaplanmasında daha genel bir formül önermiştir.

$$\gamma(X_0, X_i) = \frac{\Delta_{\min} + \Delta_{\max}}{\Delta_{0i} + \Delta_{\max}} \quad \text{Formül III. 20}$$

Burada $\bar{\Delta}_{0i} = \left\{ \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \Delta_{0i}(k) \right\}$ formülüyle hesaplanmaktadır.

Hsia ve Wu ve Wen' in formülasyonlarında ξ ' nin etkisi hesaplamadan çıkartılmış ve gri ilişkisel katsayılar hesaplanmadan doğrudan gri ilişkisel derece hesaplanmıştır.

Karar verme problemlerinde referans seri, kriterlerin alması istenen en büyük, en küçük ve en ideal değerler olarak seçilirse, karşılaştırması yapılacak faktör serilerinin referans seriye göre hesaplanacak gri ilişkisel derecesi kriterleri yakalama seviyesinin bir göstergesi olacaktır. Diğer bir deyişle gri ilişkisel derecesi en yüksek olan faktör seviyesi (alternatif) karar verme probleminde en iyi karar alternatifini gösterecektir [Üstünişik, 2007].

III.1.1.4.7 Örnek Uygulamalar

Örnek III.1.1.4.7.1: Tayvan'ın merkezinde kaynak yerinden içme suyunun dört çeşidi örnek için sunulmuştur. Bu dört yer; Changhua Şehri, Fenyuan Ülkesi, Puli Şehri, Changhua Hongmao Well'dir. İlk olarak, Tablo III.3'de içme suyunun standartları bulunur [Wen,2004].

Tablo III. 3 İçme Suyunun Standardı

<i>Madde</i>	<i>Standart</i>	<i>Birim</i>
1.Bulanıklık	4,0	NTU
2. pH Değeri	7,0	-
3. Klorür	250,0	mg/1
4. Sülfat	250,0	mg/1
5. Amonyak	0,5	mg/1
6. Toplam Sertlik	500,0	mg/1
7. Demir Oranı	0,3	mg/1
8. Manganez Oranı	0,05	mg/1
9. Oval Basil Sayısı	250,0	Birim/100ml
10. Basil Sayısı	100,0	mg/1

Her bir şehirdeki içme değerleri Tablo III.4'de gösterilir.

Tablo III. 4 Dört Şehrin Sonuçları

<i>Madde</i>	<i>Changhau Şehri</i>	<i>Fenyuan Ülkesi</i>	<i>Puli Şehri</i>	<i>Hongmao Well</i>
1. Bulanıklık	0,7	1,7	0,3	1,1
2. pH Değeri	8,0	7,5	6,8	6,7
3. Klorür	54,0	12,0	6,0	61,0
4. Sülfat	85,0	21,0	2,0	182,0
5. Amonyak	0,10	2,3	<0,05	0,70
6. Toplam Sertlik	242	104,0	68,0	334,0
7. Demir Oranı	0,04	0,02	<0,01	0,14
8. Manganez Oranı	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
9. Oval Basil Sayısı	0	0	0	0
10. Basil Sayısı	1300	7840,00	624	730

İki madde yok sayılmıştır. Çünkü manganez oranı ve oval basil sayısı sıfıra yakındır.

Tablo III. 5 Örnek için Maksimum, Minimum ve Nominal Değerler

<i>Madde</i>	<i>Maksimum</i>	<i>Minimum</i>	<i>Nominal</i>
1. Bulanıklık	1,7	0,3	-
2. pH Değeri	8	6,7	7,0
3. Klorür	61	6	-
4. Sülfat	182	2	-
5. Amonyak	2,30	0,05	-
6. Toplam Sertlik	334	68,0	-
7. Demir Oranı	0,14	0,01	-
8. Basil Sayısı	7840	624	-

Tablo III. 6 Dört Şehrin Değiştirilmiş Sonuçları

<i>Madde</i>	<i>Changhau</i> <i>Şehri</i>	<i>Fenyuan</i> <i>Ülkesi</i>	<i>Puli</i> <i>Şehri</i>	<i>Hongmao</i> <i>Well</i>
1. Bulanıklık	0,7	1,7	0,3	1,1
2. pH Değeri	8	7,5	6,8	6,7
3. Klorür	0,54	0,12	0,6	0,61
4. Sülfat	0,85	0,21	0,2	1,82
5. Amonyak	0,1	2,3	0,05	0,70
6. Toplam Sertlik	2,42	1,04	0,68	3,34
7. Demir Oranı	0,04	0,02	0,01	0,14
8. Basil Sayısı	1,3	7,84	0,624	0,73

Bulanıklık ve pH değeri gösterim faktörü olarak kullanılır. pH değeri için en küçük en iyi metodu ve bulanıklık için nominal değer en iyi metodu kullanılır.

1. Hsia'nın Metodu:

(1) Changhua Şehrinde bulanıklık:
$$x_1^*(1) = \frac{(1,7 - 0,7)}{(1,7 - 0,3)} = \frac{1,0}{1,4} = 0,7143$$

(2) Fenyuan Ülkesinde bulanıklık:
$$x_2^*(1) = \frac{(1,7 - 1,7)}{(1,7 - 0,3)} = \frac{0,0}{1,4} = 0,0000$$

(3) Puli Şehrinde bulanıklık:
$$x_3^*(1) = \frac{(1,7 - 0,3)}{(1,7 - 0,3)} = \frac{1,4}{1,4} = 1,0000$$

(4) Hongmao well'de bulanıklık:
$$x_4^*(1) = \frac{(1,7 - 1,1)}{(1,7 - 0,3)} = \frac{0,6}{1,4} = 0,4283$$

2. Chang'in Metodu:

(1) Changhua Şehrinde bulanıklık:
$$x_1^*(1) = -\frac{0,7}{0,3} + 2 = -0,333$$

(2) Fenyuan Ülkesinde bulanıklık: $x_2^*(1) = -\frac{1,7}{0,3} + 2 = -3,666$

(3) Puli Şehrinde bulanıklık: $x_3^*(1) = -\frac{0,3}{0,3} + 2 = 1,0000$

(4) Hongmao well'de bulanıklık: $x_4^*(1) = -\frac{1,1}{0,3} + 2 = 1,6666$

3. Hsia'nın Metodu:

(1) Changhua Şehrinde pH Değeri:

$$x_1^*(2) = 1 - \frac{|8,0 - 7,0|}{\max 8,0 - 7,0; 7,0 - 6,7} = 1 - \frac{1,0}{\max 1; 0,3} = 1 - \frac{1}{1} = 0,0000$$

(2) Fenyuan Ülkesinde pH Değeri:

$$x_2^*(2) = 1 - \frac{|7,5 - 7,0|}{\max 8,0 - 7,0; 7,0 - 6,7} = 1 - \frac{0,5}{\max 1; 0,3} = 1 - \frac{0,5}{1} = 0,5000$$

(3) Puli Şehrinde pH Değeri:

$$x_3^*(2) = 1 - \frac{|6,8 - 7,0|}{\max 8,0 - 7,0; 7,0 - 6,7} = 1 - \frac{0,2}{\max 1; 0,3} = 1 - \frac{0,2}{1} = 0,8000$$

(4) Hongmao well'de pH Değeri:

$$x_4^*(2) = 1 - \frac{|6,7 - 7,0|}{\max 8,0 - 7,0; 7,0 - 6,7} = 1 - \frac{0,3}{\max 1; 0,3} = 1 - \frac{0,3}{1} = 0,7000$$

4. Chang'in Metodu:

(1) Changhua Şehrinde pH Değeri: $x_1^*(2) = -\frac{8,0}{7} + 2 = 0,8571$

(2) Fenyuan Ülkesinde pH Değeri: $x_2^*(2) = -\frac{7,5}{7} + 2 = 0,9286$

(3) Puli Şehrinde pH Değeri: $x_3^*(2) = -\frac{6,8}{7} + 2 = 0,9714$

(4) Hongmao well'de pH Değeri: $x_4^*(2) = -\frac{6,7}{7} + 2 = 0,9571$

Sonuçlar Tablo III.7'da ve Tablo III.8'de yeniden düzenlenmiştir.

Tablo III. 7 Hsia'nın Metodu Kullanılarak Elde Edilen Sonuçlar

<i>Madde</i>	<i>Standart</i>	<i>Changhau Şehri</i>	<i>Fenyuan Ülkesi</i>	<i>Puli Şehri</i>	<i>Hongmao Well</i>
1. Bulanıklık	1,0000	0,7143	0,0000	1,0000	0,4283
2. pH Değeri	1,0000	0,0000	0,5000	0,8000	0,7000
3. Klorür	1,0000	0,1273	0,8910	1,0000	0,0000
4. Sülfat	1,0000	0,5389	0,8944	1,0000	0,0000
5. Amonyak	1,0000	0,9778	0,0000	1,0000	0,7111
6. Toplam Sertlik	1,0000	0,3459	0,8647	1,0000	0,0000
7. Demir Oranı	1,0000	0,7692	0,9231	1,0000	0,0000
8. Basil Sayısı	1,0000	0,9014	0,0000	1,0000	0,9845

Tablo III. 8 Chang'nın Metodu Kullanılarak Elde Edilen Sonuçlar

<i>Madde</i>	<i>Standart</i>	<i>Changhau</i> <i>Şehri</i>	<i>Fenyuan</i> <i>Ülkesi</i>	<i>Puli</i> <i>Şehri</i>	<i>Hongmao</i> <i>Well</i>
1. Bulanıklık	1,0000	-0,3333	-3,6666	1,0000	-1,6666
2. pH Değeri	1,0000	0,8751	0,9286	0,9714	0,9571
3. Klorür	1,0000	-2,5000	1,0000	-3,1000	-3,0833
4. Sülfat	1,0000	-2,5000	-0,9500	1,0000	-7,1000
5. Amonyak	1,0000	0,0000	-44,0000	1,0000	-12,0000
6. Toplam Sertlik	1,0000	-1,5588	0,4706	1,0000	-2,9811
7. Demir Oranı	1,0000	-2,0000	0,0000	1,0000	-12,0000
8. Basil Sayısı	1,0000	-0,0833	-9,9872	1,0000	0,8301

GİA' nın hesaplama adımlarından biri olan normalizasyon işlemi hesaplaması Hsia Metoduna ve Chang Metoduna göre farklıdır. Bu farklılığı göstermek amacı ile yapılan örnek ve hesaplamalar sonucu elde edilen değerler Tablo III.7'da ve Tablo III.8'de açıkça görülmektedir.

Örnek III.1.1.4.7.2: Örnekte Tayvandaki beş hava yolu şirketleri sunulmuştur. Bunlar, Çin Hava Yolları, Evergreen Hava Yolları, Uzak Doğu Hava Taşımacılığı, Trans Asya Hava Yolları, Mandarin Hava Yolları'dır. İlk olarak, onaylanmış değerler (P) ve kabul edilmiş değerler (E) için servis kalitesinin farkı tablo da listelenmiştir. Veri işleminden sonraki sonuçlar da tablo III.9'de ve III.10'da listelenmiştir [Wen,2004].

Tablo III. 9 Onaylanmış Değerler (P) ve Kabul Edilmiş Değerler (E) için Servis Kalitesinin Farkı

<i>Değerlendirme Faktörü ve Hava Yolları Şirketleri</i>	<i>Çin Hava Yolları</i>	<i>Evergreen Hava Yolları</i>	<i>Uzak Doğu Hava Taşımacılığı</i>	<i>Trans Asya Hava Yolları</i>	<i>Mandarin Hava Yolları</i>
Uçuş Güvenliği	1,11	0,88	1,53	1,27	1,47
Hostesin Tutumu	0,19	0,44	1,29	0,79	0,74
Saha Çalışanının Tututumu	0,78	1,23	1,79	1,46	1,65
Dakiklik	1,17	1,48	1,61	1,26	2,79
Uçak Koltuğunun Konforu	1,06	1,12	2,16	1,41	1,47
Zaman Çizelgesine Uygunluk	1,11	1,21	1,22	1,22	2,06
Rezervasyon Uygunluğu	0,78	1,05	1,41	1,50	1,41
Uçağın Kliması	0,67	0,70	1,59	0,85	0,88
Bilet Satın Almanın Uygunluğu	0,97	0,32	0,46	1,09	0,38
Seyahatin Uygunluğu	0,39	0,50	0,87	1,09	0,66

Tablo III. 10 Veri İşleminde Sonrası

<i>Değerlendirme Faktörü ve Hava Yolları</i>	<i>Maksimum</i>	<i>Minimum</i>
Uçuş Güvenliği	1,53	0,88
Hostesin Tutumu	1,29	0,19
Saha Çalışanının Tutumu	1,79	0,78
Dakiklik	2,79	1,17
Uçak Koltuğunun Konforu	2,16	1,06
Zaman Çizelgesine Uygunluk	2,06	1,11
Rezervasyon Uygunluğu	1,50	0,78
Uçağın Kliması	1,59	0,67
Bilet Satın Almanın Uygunluğu	1,09	0,32
Seyahatin Uygunluğu	1,09	0,39

Örnekte analiz faktörü uçuş güvenliğidir ve en küçük en iyi metodu kullanılmıştır.

1. Hsia'nın Metodu:

(1) Çin Hava Yolları:
$$x_1^*(1) = \frac{(1,53 - 1,11)}{(1,53 - 0,88)} = \frac{0,42}{0,65} = 0,6462$$

(2) Evergreen Hava Yolları:
$$x_2^*(1) = \frac{(1,53 - 0,88)}{(1,53 - 0,88)} = \frac{0,65}{0,65} = 1$$

(3) Uzak Doğu Hava Taşımacılığı:
$$x_3^*(1) = \frac{(1,53 - 1,53)}{(1,53 - 0,88)} = \frac{0,00}{0,65} = 0,0000$$

(4) Trans Asya Hava Yolları:
$$x_4^*(1) = \frac{(1,53 - 1,27)}{(1,53 - 0,88)} = \frac{0,26}{0,65} = 0,4000$$

(5) Mandarin Hava Yolları:
$$x_5^*(1) = \frac{(1,53 - 1,47)}{(1,53 - 0,88)} = \frac{0,06}{0,65} = 0,0923$$

1. Chang'in Metodu:

(1) Çin Hava Yolları: $x_1^*(1) = -\frac{1,11}{0,88} + 2 = 0,7386$

(2) Evergreen Hava Yolları: $x_2^*(1) = -\frac{0,88}{0,88} + 2 = 1,0000$

(3) Uzak Doğu Hava Taşımacılığı: $x_3^*(1) = -\frac{1,53}{0,88} + 2 = 0,2614$

(4) Trans Asya Hava Yolları: $x_4^*(1) = -\frac{1,27}{0,88} + 2 = 0,5568$

(5) Mandarin Hava Yolları: $x_5^*(1) = -\frac{1,47}{0,88} + 2 = 0,3295$

Final sonuçları tablo III.11 ve tablo III.12 de listelenmiştir.

Tablo III. 11 Servis Kalitesinde Onaylanmış Değerler (P) ve Kabul Edilmiş Değerler (E) için (Hsia'nın Metoduna göre) Farkın Sonuçları

<i>Değerlendirme Faktörü ve Hava Yolları Şirketleri</i>	<i>Çin Hava Yolları</i>	<i>Evergreen Hava Yolları</i>	<i>Uzak Doğu Hava Taşımacılığı</i>	<i>Trans Asya Hava Yolları</i>	<i>Mandarin Hava Yolları</i>
Uçuş Güvenliği	0,6462	1,0000	0,0000	0,4000	0,0923
Hostesin Tutumu	1,0000	0,7727	0,0000	0,4545	0,5000
Saha Çalışanının Tutumu	1,0000	0,5545	0,0000	0,3267	0,1386
Dakiklik	1,0000	0,8086	0,7284	0,9444	0,0000
Uçak Koltuğunun Konforu	1,0000	0,9945	0,0000	0,6818	0,6273
Zaman Çizelgesine Uygunluk	1,0000	0,8842	0,8842	0,8842	0,0000
Rezervasyon Uygunluğu	1,0000	0,6250	0,1250	0,0000	0,1250
Uçağın Kliması	1,0000	0,9674	0,0000	0,8043	0,7717
Bilet Satın Almanın Uygunluğu	0,1558	1,0000	0,8182	0,0000	0,9221
Seyahatin Uygunluğu	1,0000	0,8429	0,3143	0,0000	0,6143

Tablo III. 12 Servis Kalitesinde Onaylanmış Değerler (P) ve Kabul Edilmiş Değerler (E) için (Chang'in Metoduna göre) Farkın Sonuçları

<i>Değerlendirme Faktörü ve Hava Yolları Şirketleri</i>	<i>Çin Hava Yolları</i>	<i>Evergreen Hava Yolları</i>	<i>Uzak Doğu Hava Taşımacılığı</i>	<i>Trans Asya Hava Yolları</i>	<i>Mandarin Hava Yolları</i>
Uçuş Güvenliği	0,7386	1,0000	0,2614	0,5568	0,3295
Hostesin Tutumu	1,0000	3,1579	4,7875	2,1589	1,8948
Saha Çalışanının Tututu	1,0000	0,4231	0,2949	0,1282	0,1154
Dakiklik	1,0000	0,7351	0,6240	0,9231	0,3846
Uçak Koltuğunun Konforu	1,0000	0,9434	0,0377	0,6698	0,3585
Zaman Çizelgesine Uygunluk	1,0000	0,9099	0,9009	0,9009	0,1441
Rezervasyon Uygunluğu	1,0000	0,6358	0,1923	0,0769	0,1923
Uçağın Kliması	1,0000	0,9552	0,3731	0,7313	0,6866
Bilet Satın Almanın Uygunluğu	1,0313	1,0000	0,5625	1,4063	0,8125
Seyahatin Uygunluğu	1,0000	0,7179	0,2308	0,7949	0,3076

Örnek III.1.1.2.7.3 orijinal veriler tablo III.13’de listelenmiştir [Wen,2004].

Tablo III. 13 Orijinal veriler

<i>Sıra ve Bölüm</i>	<i>k=1</i>	<i>k=2</i>	<i>k=3</i>	<i>k=4</i>	<i>k=5</i>	<i>k=6</i>
Referans x_0	1.000	1.100	2.000	2.250	3.000	4.000
Gözlem x_1	1.000	1.166	1.834	2.000	2.340	3.000
Gözlem x_2	1.000	1.125	1.075	1.375	1.625	1.750
Gözlem x_3	1.000	1.000	0.700	0.800	0.900	1.200

Analiz adımları:

1. Orijinal veri karşılaştırılabilirliği sağlar. Böylece veri proseslerine gerek duymayız.
2. $\Delta_{01}(k) = |x_0(k) - x_1(k)|$, her bir veri aşağıda listelenmiştir.

$i = 1,2,3, \dots,6$ olduğunda,

$$(1) \Delta_{01}(1) = 0.000 \quad \Delta_{01}(2) = 0.066 \quad \Delta_{01}(3) = 0.166$$

$$\Delta_{01}(4) = 0.250 \quad \Delta_{01}(5) = 0.660 \quad \Delta_{01}(6) = 1.000$$

$$(2) \Delta_{02}(1) = 0.000 \quad \Delta_{02}(2) = 0.025 \quad \Delta_{02}(3) = 0.925$$

$$\Delta_{02}(4) = 0.875 \quad \Delta_{02}(5) = 1.375 \quad \Delta_{02}(6) = 2.250$$

$$(3) \Delta_{03}(1) = 0.000 \quad \Delta_{03}(2) = 0.100 \quad \Delta_{03}(3) = 1.300$$

$$\Delta_{03}(4) = 1.450 \quad \Delta_{03}(5) = 2.100 \quad \Delta_{03}(6) = 2.800$$

$$(1) \Delta_{01} = (0.000, 0.066, 0.166, 0.250, 0.660, 1.000)$$

$$(2) \Delta_{02} = (0.000, 0.025, 0.925, 0.875, 1.375, 2.250)$$

$$(3) \Delta_{03} = (0.000, 0.100, 1.300, 1.450, 2.100, 2.800)$$

Elde ederiz.

3. En büyük değer 2.800 ve en küçük değer 0.000

$$(1) \max. |x_0(k) - x_1(k)| = \Delta_{01}(6) = 1.000$$

$$(2) \max. |x_0(k) - x_2(k)| = \Delta_{02}(6) = 2.250$$

$$(3) \max. |x_0(k) - x_3(k)| = \Delta_{03}(6) = 2.800$$

$$(4) \max. |x_0(k) - x_1(k)| = \Delta_{01}(1) = 0.000$$

$$(5) \max. |x_0(k) - x_2(k)| = \Delta_{02}(1) = 0.000$$

$$(6) \max. |x_0(k) - x_3(k)| = \Delta_{03}(1) = 0.000$$

4. $\zeta=0.5$ alınarak

5. Deng'in formülünü kullanarak,

$$(4) \text{ İlişkisel katsayı formülü: } \gamma(x_i(k), x_j(k)) = \frac{\Delta_{min.} + \zeta \Delta_{max.}}{\Delta_{ij}(k) + \zeta \Delta_{max.}}$$

$$(5) \text{ Max. Ve min. değerleri : } \gamma(x_0(k), x_1(k)) = \frac{0 + (0.5)x(2.8)}{\Delta_{01}(k) + (0.5)x(2.8)} \text{ yerine}$$

koyduğumuzda,

$$(a) \gamma(x_0(1), x_1(1)) = 1.0000$$

$$\gamma(x_0(2), x_1(2)) = 0.9549$$

$$\gamma(x_0(3), x_1(3)) = 0.8939$$

$$\gamma(x_0(4), x_1(4)) = 0.8484 \quad \gamma(x_0(5), x_1(5)) = 0.6796 \quad \gamma(x_0(6), x_1(6)) = 0.5833$$

$$(b) \gamma(x_0(1), x_2(1)) = 1.0000$$

$$\gamma(x_0(2), x_2(2)) = 0.9824$$

$$\gamma(x_0(3), x_2(3)) = 0.6021$$

$$\gamma(x_0(4), x_2(4)) = 0.6153 \quad \gamma(x_0(5), x_2(5)) = 0.5045 \quad \gamma(x_0(6), x_2(6)) = 0.3855$$

$$(c) \gamma(x_0(1), x_3(1)) = 1.0000$$

$$\gamma(x_0(2), x_3(2)) = 0.9333$$

$$\gamma(x_0(3), x_3(3)) = 0.5185$$

$$\gamma(x_0(4), x_3(4)) = 0.4912 \quad \gamma(x_0(5), x_3(5)) = 0.4000 \quad \gamma(x_0(6), x_3(6)) = 0.3333$$

(2) gri ilişkisel derece formülü: $\gamma(x_0, x_i) = \sum_{k=1}^6 \gamma(x_0(k), x_i(k))$,

$$\begin{aligned} \gamma(x_0, x_1) &= \frac{1}{6}(1 + 0.9549 + 0.8939 + 0.8484 + 0.6796 + \\ (a) \quad &0.5833) = 0.8266 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma(x_0, x_2) &= \frac{1}{6}(1 + 0.9824 + 0.6021 + 0.6153 + 0.5045 + \\ (b) \quad &0.3835) = 0.6813 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma(x_0, x_3) &= \frac{1}{6}(1 + 0.9333 + 0.5185 + 0.4912 + 0.4000 + \\ (c) \quad &0.3333) = 0.6127 \end{aligned}$$

(3) Rank sıralaması: ilişkisel dereceye bağlı olarak sıralama,

$$\gamma(x_0, x_1) > \gamma(x_0, x_2) > \gamma(x_0, x_3)$$

Örnek III.1.1.4.7.4' deki veriler ile Örnek III.1.1.4.7.2' deki veriler aynıdır. Ancak, Örnek III.1.1.4.7.2 GİA' da sadece normalizasyon adımını gösterilirken, Örnek III.1.1.4.7.4' de GİA' da gri ilişkisel derecelerin hesaplanmasına kadar olan adımlar gösterilmektedir.

Örnek III.1.1.4.7.4 Örnekte Tayvandaki beş hava yolu şirketleri sunulmuştur. Bunların isimleri, Çin Hava Yolları, Evergreen Hava Yolları, Uzak Doğu Hava Taşımacılığı, Trans Asya Hava Yolları, Mandarin Hava Yolları'dır. İlk olarak, onaylanmış değerler (P) ve kabul edilmiş değerler (E) için tablo III.14 da müşteri servisinin farkı listelenmiştir. Daha sonra, veri işleminden sonraki sonuçlar da tablo III.15 listelenmiştir [Wen,2004].

Tablo III. 14 Onaylanmış Değerler (P) ve Kabul Edilmiş Değerler (E) için Müşteri Servisi Farkının Gerçek Verileri

<i>Değerlendirme Faktörü ve Hava Yolları Şirketleri</i>	<i>Çin Hava Yolları</i>	<i>Evergreen Hava Yolları</i>	<i>Uzak Doğu Hava Taşımacılığı</i>	<i>Trans Asya Hava Yolları</i>	<i>Mandarin Hava Yolları</i>
Uçuş Güvenliği	-1,11	-0,88	-1,53	-1,27	-1,47
Hostesin Tutumu	-0,19	-0,44	-1,29	-0,79	-0,74
Saha Çalışanının Tutumu	-0,78	-1,23	-1,79	-1,46	-1,65
Dakiklik	-1,17	-1,48	-1,61	-1,26	-2,79
Uçak Koltuğunun Konforu	-1,06	-1,12	-2,16	-1,41	-1,47
Zaman Çizelgesine Uygunluk	-1,11	-1,21	-1,22	-1,22	-2,06
Rezervasyon Uygunluğu	-0,78	1,05	-1,41	-1,50	-1,41
Uçağın Kliması	-0,67	-0,70	-1,59	-0,85	-0,88
Bilet Satın Almanın Uygunluğu	-0,97	-0,32	-0,46	-1,09	-0,38
Seyahatin Uygunluğu	-0,39	-0,50	-0,87	-1,09	-0,66

Tablo III. 15 Onaylanmış Değerler (P) ve Kabul Edilmiş Değerler (E) için Müşteri Servisinin Farkı

<i>Değerlendirme Faktörü ve Hava Yolları Şirketleri</i>	<i>Çin Hava Yolları</i>	<i>Evergreen Hava Yolları</i>	<i>Uzak Doğu Hava Taşımacılığı</i>	<i>Trans Asya Hava Yolları</i>	<i>Mandarin Hava Yolları</i>
Uçuş Güvenliği	1,11	0,88	1,53	1,27	1,47
Hostesin Tutumu	0,19	0,44	1,29	0,79	0,74
Saha Çalışanının Tutumu	0,78	1,23	1,79	1,46	1,65
Dakiklik	1,17	1,48	1,61	1,26	2,79
Uçak Koltuğunun Konforu	1,06	1,12	2,16	1,41	1,47
Zaman Çizelgesine Uygunluk	1,11	1,21	1,22	1,22	2,06
Rezervasyon Uygunluğu	0,78	1,05	1,41	1,50	1,41
Uçağın Kliması	0,67	0,70	1,59	0,85	0,88
Bilet Satın Almanın Uygunluğu	0,97	0,32	0,46	1,09	0,38
Seyahatin Uygunluğu	0,39	0,50	0,87	1,09	0,66

Tablo III. 16 Veri İşlemi

<i>Değerlendirme Faktörü ve Hava Yolları</i>	<i>Maksimum</i>	<i>Minimum</i>
Uçuş Güvenliği	1,53	0,88
Hostesin Tutumu	1,29	0,19
Saha Çalışanının Tutumu	1,79	0,78
Dakiklik	2,79	1,17
Uçak Koltuğunun Konforu	2,16	1,06
Zaman Çizelgesine Uygunluk	2,06	1,11
Rezervasyon Uygunluğu	1,50	0,78
Uçağın Kliması	1,59	0,67
Bilet Satın Almanın Uygunluğu	1,09	0,32
Seyahatin Uygunluğu	1,09	0,39

Referans Seri:	$x_0 = 0,88;0,19;0,78;1,17;1,06;1,11;0,78;0,67;0,32;0,39$
Çin Hava Yolları:	$x_1 = 1,11;0,19;0,78;1,17;1,06;1,11;0,78;0,67;0,97;0,36$
Evergreen Hava Yolları:	$x_2 = 0,88;0,44;1,23;1,48;1,12;1,21;1,05;0,70;0,32;0,50$
Uzak Doğu Hava Taşımacılığı:	$x_3 = 1,53;1,29;1,79;1,61;2,16;1,22;1,41;1,59;0,46;0,87$
Trans Asya Hava Yolları:	$x_4 = 1,27;0,79;1,46;1,26;1,41;1,22;1,50;0,85;1,09;1,09$
Mandarin Hava Yolları:	$x_5 = 1,47;0,74;1,65;2,79;1,47;2,06;1,41;0,88;0,38;0,66$

3. Her bir değer , $\Delta_{oi}(k) = |x_0(k) - x_i(k)|$ kullanılarak aşağıda listelenmiştir:

$$i = 1,2,3,4,5 \quad k = 1,2,3,\dots,10$$

- (1) $\Delta_{01}(1) = 0,230 \quad \Delta_{01}(2) = 0,000 \quad \Delta_{01}(3) = 0,000 \quad \Delta_{01}(4) = 0,000 \quad \Delta_{01}(5) = 0,660$
 $\Delta_{01}(6) = 0,000 \quad \Delta_{01}(7) = 0,000 \quad \Delta_{01}(8) = 0,000 \quad \Delta_{01}(9) = 0,650 \quad \Delta_{01}(10) = 0,000$
- (2) $\Delta_{02}(1) = 0,230 \quad \Delta_{02}(2) = 0,250 \quad \Delta_{02}(3) = 0,450 \quad \Delta_{02}(4) = 0,310 \quad \Delta_{02}(5) = 0,0060$
 $\Delta_{02}(6) = 0,100 \quad \Delta_{02}(7) = 0,270 \quad \Delta_{02}(8) = 0,030 \quad \Delta_{02}(9) = 0,000 \quad \Delta_{02}(10) = 0,110$
- (3) $\Delta_{03}(1) = 0,650 \quad \Delta_{03}(2) = 1,100 \quad \Delta_{03}(3) = 1,010 \quad \Delta_{03}(4) = 0,500 \quad \Delta_{03}(5) = 1,160$
 $\Delta_{03}(6) = 0,110 \quad \Delta_{03}(7) = 0,630 \quad \Delta_{03}(8) = 0,210 \quad \Delta_{03}(9) = 0,060 \quad \Delta_{03}(10) = 0,270$
- (4) $\Delta_{04}(1) = 0,390 \quad \Delta_{04}(2) = 0,600 \quad \Delta_{04}(3) = 0,680 \quad \Delta_{04}(4) = 0,090 \quad \Delta_{04}(5) = 0,350$
 $\Delta_{04}(6) = 0,110 \quad \Delta_{04}(7) = 0,720 \quad \Delta_{04}(8) = 0,180 \quad \Delta_{04}(9) = 0,770 \quad \Delta_{04}(10) = 0,770$
- (5) $\Delta_{05}(1) = 0,590 \quad \Delta_{05}(2) = 0,550 \quad \Delta_{05}(3) = 0,870 \quad \Delta_{05}(4) = 1,620 \quad \Delta_{05}(5) = 0,410$
 $\Delta_{05}(6) = 0,950 \quad \Delta_{05}(7) = 0,630 \quad \Delta_{05}(8) = 0,210 \quad \Delta_{05}(9) = 0,060 \quad \Delta_{05}(10) = 0,270$

Aşağıdaki sonuçları elde ederiz:

- (1) $\Delta_{01} = (0,230;0,000;0,000;0,000;0,660;0,000;0,000;0,000;0,650;0,000)$
- (2) $\Delta_{02} = (0,000;0,250;0,450;0,310;0,060;0,100;0,270;0,030;0,000;0,100)$
- (3) $\Delta_{03} = (0,650;1,100;1,010;0,500;1,160;0,110;0,630;0,210;0,060;0,270)$
- (4) $\Delta_{04} = (0,390;0,600;0,680;0,090;0,350;0,110;0,720;0,180;0,770;0,700)$
- (5) $\Delta_{05} = (0,590;0,550;0,870;1,620;0,410;0,950;0,630;0,210;0,060;0,270)$

4. Maksimum eşit 1,620; minimum eşit 0,000

$$(1) \max |x_0(k) - x_1(k)| = \Delta_{01}(5) = 0,660, (2) \max |x_0(k) - x_2(k)| = \Delta_{02}(3) = 0,450$$

$$(3) \max |x_0(k) - x_3(k)| = \Delta_{03}(2) = 1,100, (4) \max |x_0(k) - x_4(k)| = \Delta_{03}(9) = 0,770$$

$$(5) \max |x_0(k) - x_5(k)| = \Delta_{03}(4) = 0,162, (6) \min |x_0(k) - x_1(k)| = \Delta_{01}(1) = 0,000$$

$$(7) \min |x_0(k) - x_2(k)| = \Delta_{02}(1) = 0,000, (8) \min |x_0(k) - x_3(k)| = \Delta_{03}(6) = 0,110$$

$$(9) \min |x_0(k) - x_4(k)| = \Delta_{03}(3) = 0,090, (10) \min |x_0(k) - x_5(k)| = \Delta_{05}(9) = 0,060$$

5. $i = 1,2,3,4,5$ de $\bar{\Delta}_{0i} = \left\{ \frac{1}{10} \sum_{k=1}^{10} \Delta_{0i}(k) \right\}$ hesaplaması

$$\bar{\Delta}_{01} = \frac{(0,230 + 0,000 + 0,000 + 0,000 + 0,660 + 0,000 + 0,000 + 0,000 + 0,650 + 0,000)}{10} = 0,154$$

$$\bar{\Delta}_{02} = \frac{(0,000 + 0,250 + 0,450 + 0,310 + 0,060 + 0,100 + 0,270 + 0,030 + 0,000 + 0,110)}{10} = 0,158$$

$$\bar{\Delta}_{03} = \frac{(0,650 + 1,100 + 1,010 + 0,500 + 1,160 + 0,110 + 0,630 + 0,210 + 0,060 + 0,270)}{10} = 0,706$$

$$\bar{\Delta}_{04} = \frac{(0,390 + 0,600 + 0,680 + 0,090 + 0,350 + 0,110 + 0,720 + 0,180 + 0,770 + 0,700)}{10} = 0,459$$

$$\bar{\Delta}_{05} = \frac{(0,590 + 0,550 + 0,870 + 1,620 + 0,410 + 0,950 + 0,630 + 0,210 + 0,060 + 0,270)}{10} = 0,616$$

6. Esas formüle dayanarak, gri ilişkisel derecenin hesaplanması

$$\gamma(x_0, x_1) = \frac{\Delta_{\min} + \Delta_{\max}}{\Delta_{01} + \Delta_{\max}} = \frac{0,000 + 1,620}{0,154 + 1,620} = 0,9132$$

$$\gamma(x_0, x_2) = \frac{\Delta_{\min} + \Delta_{\max}}{\Delta_{02} + \Delta_{\max}} = \frac{0,000 + 1,620}{0,158 + 1,620} = 0,9111$$

$$\gamma(x_0, x_3) = \frac{\Delta_{\min} + \Delta_{\max}}{\Delta_{03} + \Delta_{\max}} = \frac{0,000 + 1,620}{0,706 + 1,620} = 0,6965$$

$$\gamma(x_0, x_4) = \frac{\Delta_{\min} + \Delta_{\max}}{\Delta_{04} + \Delta_{\max}} = \frac{0,000 + 1,620}{0,459 + 1,620} = 0,7792$$

$$\gamma(x_0, x_5) = \frac{\Delta_{\min} + \Delta_{\max}}{\Delta_{05} + \Delta_{\max}} = \frac{0,000 + 1,620}{0,616 + 1,620} = 0,7245$$

7. Rankın rankı: İlişkisel dereceye göre sıralaması:

$$\gamma(x_0, x_1) > \gamma(x_0, x_2) > \gamma(x_0, x_4) > \gamma(x_0, x_5) > \gamma(x_0, x_3)$$

Çin Hava Yolları>Evergreen Hava Yolları>Trans Asya Hava Yolları>Mandarin Hava Yolları>Uzak Doğu Hava Taşımacılığı

Tayvanda, çoğu kişi Evergreen Hava Yollarının Çin Hava Yollarından daha iyi olduğunu düşünüyor. İki şirket arasında çok fark yoktur. Eğer Çin Hava Yolları ve Evergren Hava Yolları ile Mandarin Hava Yolları ve Uzak Doğu Hava Taşımacılığı karşılaştırsak, uçağın yirmi yılın gerisinde kaldığı görülür [Wen, 2004].

Örnek III.1.1.4.7.5: 9 farklı ürün (K_{1-9}) içinde belirlenmiş 10 teknik özelliğe (A_{1-10}) göre en iyi ürünün seçim örneği verilebilir. 10 farklı ürün özelliğinin her biri 1-10 skalasında her bir telefon için değerlendirilmiş ve tablo III.17'deki sonuçlara ulaşılmıştır. 1 değeri kraterden alınan en kötü değeri gösterirken, 10 değeri en iyi değeri göstermektedir [Üstümşık, 2007].

Ürün seçim kriterleri aşağıda belirtilmiştir.

A_1 : Dayanıklılık

A_2 : Sağlamlık

A_3 : Ergonomiklik

A_4 : Kalite

A_5 : Estetik

A_6 : Taşınabilirlik

A_7 : Fonksiyonellik

A_8 : Garanti Süresi

A_9 : Satış sonrası servis

A_{10} : Erişilebilirlik

Tablo III. 17 Kriterlere göre Alternatif Ürünlere Verilen Değerler

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}
K_1	9	7	7	7	3	5	3	5	1	1
K_2	7	9	7	7	3	5	3	5	1	1
K_3	1	5	3	1	9	3	1	3	1	1
K_4	1	5	1	1	9	3	1	3	1	3
K_5	5	5	5	5	7	9	7	7	5	3
K_6	3	5	1	1	3	3	1	9	7	5
K_7	1	5	1	1	3	3	1	9	7	5
K_8	7	5	7	5	5	5	3	3	1	7
K_9	5	7	5	7	5	5	3	5	1	7

1. Adımda belirtilen referans serisi her kriterdeki en büyük değerler alınarak oluşturulmuştur $x_0 = (9,9,7,7,9,9,7,9,9,7)$ (tablo III.18)

Tablo III. 18 Ürünlerin kriterlerden aldığı değerler ve referans serisi

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}
Referans Serisi	9	9	7	7	9	9	7	9	9	7
K₁	9	7	7	7	3	5	3	5	1	1
K₂	7	9	7	7	3	5	3	5	1	1
K₃	1	5	3	1	9	3	1	3	1	1
K₄	1	5	1	1	9	3	1	3	1	3
K₅	5	5	5	5	7	9	7	7	5	3
K₆	3	5	1	1	3	3	1	9	7	5
K₇	1	5	1	1	3	3	1	9	7	5
K₈	7	5	7	5	5	5	3	3	1	7
K₉	5	7	5	7	5	5	3	5	1	7

2. adımda referans seri ve veriler normalize edilmiştir. Daha büyük daha iyi durumu kullanıldığı için tablo III.17'daki veriler formül III.2'ye göre tablo III.19'e dönüştürülmüştür.

Tablo III. 19 Daha büyük daha iyi durumuna göre normalize edilmiş matris

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}
Referans Serisi	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K₁	1,00	0,5	1,00	1,00	0	0,33	0,33	0,33	0	0
K₂	0,75	1,00	1,00	1,00	0	0,33	0,33	0,33	0	0
K₃	0	0	0,33	0	1,00	0	0	0	0	0
K₄	0	0	0	0	1,00	0	0	0	0	0,33
K₅	0,50	0	0,67	0,67	0,67	1,00	1,00	0,67	0,50	0,33
K₆	0,25	0	0	0	0	0	0	1,00	0,75	0,67
K₇	0	0	0,33	0,33	0	0	0	0,67	1,00	0,67
K₈	0,75	0	1,00	0,67	0,33	0,33	0,33	0	0	1,00
K₉	0,50	0,50	0,67	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0	1,00

Tablo III.18'de referans serisi, K_1 ve K_2 için normalizasyon işlemleri aşağıdaki gibidir; referans serisi normalize işlemleri;

$$x_0(1) = \frac{9-1}{9-1} = 1 ; x_0(2) = \frac{9-5}{9-5} = 1 ; x_0(3) = \frac{7-1}{7-1} = 1 ; x_0(4) = \frac{7-1}{7-1} = 1$$

$$x_0(5) = \frac{9-3}{9-3} = 1 ; x_0(6) = \frac{9-3}{9-3} = 1 ; x_0(7) = \frac{7-1}{7-1} = 1 ; x_0(8) = \frac{9-3}{9-3} = 1$$

$$x_0(9) = \frac{9-1}{9-1} = 1 ; x_0(10) = \frac{7-1}{7-1} = 1$$

K_1 için normalize işlemleri;

$$x_1(1) = \frac{9-1}{9-1} = 1 ; x_1(2) = \frac{7-5}{9-5} = 0,5 ; x_1(3) = \frac{7-1}{7-1} = 1 ; x_1(4) = \frac{7-1}{7-1} = 1 ;$$

$$x_1(5) = \frac{3-3}{9-3} = 0 ; x_1(6) = \frac{5-3}{9-3} = 0,33 ; x_1(7) = \frac{3-1}{7-1} = 0,33 ;$$

$$x_1(8) = \frac{5-3}{9-3} = 0,33 ; x_1(9) = \frac{1-1}{9-1} = 0 ; x_1(10) = \frac{1-1}{7-1} = 0$$

K_2 için normalize işlemleri;

$$x_2(1) = \frac{7-1}{9-1} = 0,75 ; x_2(2) = \frac{9-5}{9-5} = 0 ; x_2(3) = \frac{7-1}{7-1} = 1 ; x_2(4) = \frac{7-1}{7-1} = 1$$

$$x_2(5) = \frac{3-3}{9-3} = 0 ; x_2(6) = \frac{5-3}{9-3} = 0,33 ; x_2(7) = \frac{3-1}{7-1} = 0,33$$

$$x_2(8) = \frac{5-3}{9-3} = 0,33 ; x_2(9) = \frac{1-1}{9-1} = 0 ; x_2(10) = \frac{1-1}{7-1} = 0$$

3. adımda normalize edilmiş değerler ile referans serisi arasındaki uzaklıklar hesaplanır. Formül III.9'a göre tablo III.20' de uzaklık matrisi oluşturulur.

Tablo III. 20 Normalize edilmiş veriler ile referans serisi arasındaki uzaklık matrisi

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}
Referans Serisi	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K_1	0	0,50	0	0	1,00	0,67	0,67	0,67	1,00	1,00
K_2	0,25	0	0	0	1,00	0,67	0,67	0,67	1,00	1,00
K_3	1,00	1,00	0,67	1,00	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K_4	1,00	1,00	0	1,00	0	1,00	1,00	1,00	1,00	0,67
K_5	0,50	1,00	0,67	0,33	0,33	0	0	0,33	0,50	0,67
K_6	0,75	1,00	0	1,00	1,00	1,00	1,00	0	0,25	0,33
K_7	1,00	1,00	0,33	0,67	1,00	1,00	1,00	0,33	0	0,33
K_8	0,25	1,00	1,00	0,33	0,67	0,67	0,67	1,00	1,00	0
K_9	0,50	0,50	0,67	0	0,67	0,67	0,67	0,67	1,00	0

Tablo II.20' deki K_1 , K_2 ile referans serisi arasındaki uzaklıklar formül III.7 kullanılarak hesaplanmıştır.

K_1 için uzaklığın hesaplanması;

$$\Delta_{01}(1) = |1 - 1| = 0 ; \quad \Delta_{01}(2) = |1 - 0,5| = 0,5 ; \quad \Delta_{01}(3) = |1 - 1| = 0$$

$$\Delta_{01}(4) = |1 - 1| = 0 ; \quad \Delta_{01}(5) = |1 - 0| = 1 ; \quad \Delta_{01}(6) = |1 - 0,33| = 0,67$$

$$\Delta_{01}(7) = |1 - 0,33| = 0,67 ; \quad \Delta_{01}(8) = |1 - 0,33| = 0,67 ; \quad \Delta_{01}(9) = |1 - 0| = 1$$

$$\Delta_{01}(10) = |1 - 0| = 1$$

K_2 için uzaklığın hesaplanması;

$$\Delta_{02}(1) = |1 - 0,75| = 0,25 ; \Delta_{02}(2) = |1 - 1| = 0 ; \Delta_{02}(3) = |1 - 1| = 0 ;$$

$$\Delta_{02}(4) = |1 - 1| = 0 ; \Delta_{02}(6) = |1 - 0| = 1 ; \Delta_{02}(6) = |1 - 0,33| = 0,67 ;$$

$$\Delta_{02}(7) = |1 - 0,33| = 0,67 ; \Delta_{02}(8) = |1 - 0,33| = 0,67 ; \Delta_{02}(9) = |1 - 0| = 1$$

$$\Delta_{02}(10) = |1 - 0| = 1$$

4. adımda her mobil telefonun gri ilişkisel katsayısı formül III.7'ye göre hesaplanmış ve tablo III.21'deki gri ilişkisel katsayı matrisi oluşturulmuştur.

Tablo III. 21 Gri İlişkisel Katsayı Matrisi

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	Öncelik
F ₁	0,173	0,135	0,135	0,096	0,058	0,135	0,096	0,096	0,058	0,019	
K ₁	1,000	0,678	1,000	1,000	0,500	0,599	0,599	0,599	0,500	0,500	0,757
K ₂	0,800	1,000	1,000	1,000	0,500	0,599	0,599	0,599	0,500	0,500	0,767
K ₃	0,500	0,500	0,599	0,500	1,000	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,542
K ₄	0,500	0,500	0,500	0,500	1,000	0,500	0,500	0,500	0,500	0,599	0,531
K ₅	0,667	0,500	0,752	0,752	0,752	1,000	1,000	0,752	0,667	0,599	0,753
K ₆	0,571	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	1,000	0,800	0,752	0,581
K ₇	0,500	0,500	0,599	0,599	0,500	0,500	0,500	0,752	1,000	0,752	0,581
K ₈	0,800	0,500	1,000	0,752	0,599	0,599	0,599	0,500	0,500	1,000	0,682
K ₉	0,667	0,667	0,752	1,000	0,599	0,599	0,599	0,599	0,500	0,500	1,000

Tablo III.21'deki K_1 ve K_2 için gri ilişki katsayısı hesaplanmasında kullanılan işlemler;

$$\xi = 1 ; \Delta_{\min} = 0 ; \Delta_{\max} = 1$$

K_1 için gri ilişkisel katsayısının hesaplanması;

$$\varepsilon(x_0(1), x_1(1)) = \frac{0+1.1}{0+1.1} = 1.0000 ; \quad \varepsilon(x_0(2), x_1(2)) = \frac{0+1.1}{0,5+1.1} = 0,6777$$

$$\varepsilon(x_0(3), x_1(3)) = \frac{0+1.1}{0+1.1} = 1.0000 ; \quad \varepsilon(x_0(4), x_1(4)) = \frac{0+1.1}{0+1.1} = 1.0000$$

$$\varepsilon(x_0(5), x_1(5)) = \frac{0+1.1}{1+1.1} = 0,5000 ; \quad \varepsilon(x_0(6), x_1(6)) = \frac{0+1.1}{0,67+1.1} = 0,5988$$

$$\varepsilon(x_0(7), x_1(7)) = \frac{0+1.1}{0,67+1.1} = 0,5988 ; \quad \varepsilon(x_0(8), x_1(8)) = \frac{0+1.1}{0,67+1.1} = 0,5988$$

$$\varepsilon(x_0(9), x_1(9)) = \frac{0+1.1}{1+1.1} = 0,5000 ; \quad \varepsilon(x_0(10), x_1(10)) = \frac{0+1.1}{1+1.1} = 0,5000$$

K_2 için gri ilişkisel katsayısının hesaplanması;

$$\varepsilon(x_0(1), x_2(1)) = \frac{0+1.1}{0,25+1.1} = 0,8000 ; \quad \varepsilon(x_0(2), x_2(2)) = \frac{0+1.1}{0+1.1} = 1,0000$$

$$\varepsilon(x_0(3), x_2(3)) = \frac{0+1.1}{0+1.1} = 1,0000 ; \quad \varepsilon(x_0(4), x_2(4)) = \frac{0+1.1}{0+1.1} = 1,0000$$

$$\varepsilon(x_0(5), x_2(5)) = \frac{0+1.1}{1+1.1} = 0,5000 ; \quad \varepsilon(x_0(6), x_2(6)) = \frac{0+1.1}{0,67+1.1} = 0,5988$$

$$\varepsilon(x_0(7), x_2(7)) = \frac{0+1.1}{0,67+1.1} = 0,5988 ; \quad \varepsilon(x_0(8), x_2(8)) = \frac{0+1.1}{0,67+1.1} = 0,5988$$

$$\varepsilon(x_0(9), x_2(9)) = \frac{0+1.1}{1+1.1} = 0,5000 ; \quad \varepsilon(x_0(10), x_2(10)) = \frac{0+1.1}{1+1.1} = 0,5000$$

6. adımda K_i 'ler için gri ilişkisel dereceler formül III.11' e göre hesaplanmıştır.

K₁ için;

$$\gamma(x_0, x_1) = (1.0,1731) + (0,6777.0,1346) + (1.0,1346) + (1.0,0962) + (0,5.0,0577) + (0,5988.0,1346) + (0,5988.0,0962) + (0,5988.0,0962) + (0,5.0,0577) + (0,5.0,0192) = 0,7567$$

K₂ için;

$$\gamma(x_0, x_2) = (0,8.0,1731) + (1.0,1346) + (1.0,1346) + (1.0,0962) + (0,5.0,0577) + (0,5988.0,1346) + (0,5988.0,0962) + (0,5988.0,0962) + (0,5.0,0577) + (0,5.0,0192) = 0,7669$$

Ürünler	Gri İlişkisel Derece
K ₁	0,7567
K ₂	0,7669
K ₃	0,5421
K ₄	0,5307
K ₅	0,7526
K ₆	0,5826
K ₇	0,5807
K ₈	0,6816
K ₉	0,6809

Ürünler için gri ilişkisel derecenin büyüklüğü K₂> K₁> K₅> K₈> K₉> K₆> K₇> K₃> K₄ olarak belirlenir. Gri ilişkisel derecenin büyüklüğü ürün K_i'nin referans seriye benzerliğinin bir göstergesidir. Referans seri kriterlerden alınan en iyi değerlere göre oluşturulmuş ideal (en iyi) ürün özelliklerini göstermektedir. Bu nedenle gri ilişkisel derecenin büyüklüğü kriterlerden en iyi değer alan ürünü belirtmektedir. Belirlenmiş kriterler bazından en iyi ürün K₂ en kötü ürün K₄'dür.

III.2. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN MATERYALLER ve ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Deneysel çalışma süresince hem deneyin gerçekleştirilmesi hem de deney sonrası ölçümlerin yapılıp sonuçların sayısal veya grafiksel olarak okunması için tezgahlar ve ölçüm cihazları aşağıda sunulmuştur.

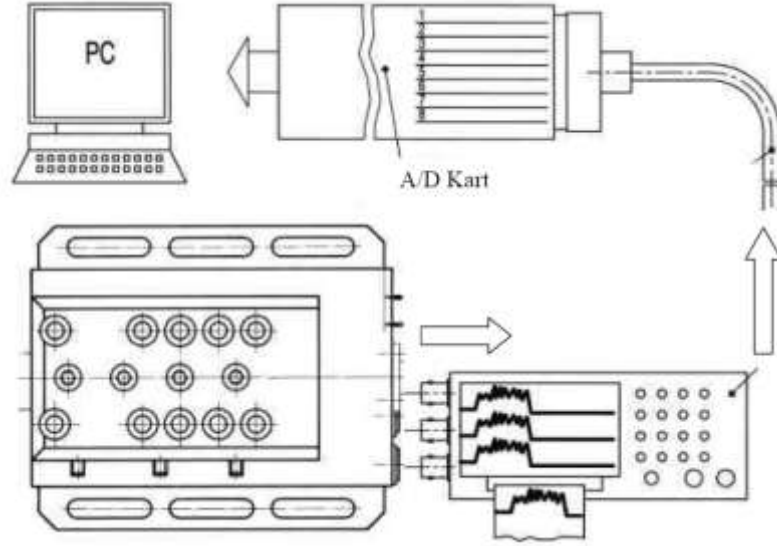
III. 2. 1. CNC Torna Tezgahı



Şekil III. 7 JOHN FORD TC 35 CNC Torna Tezgahı

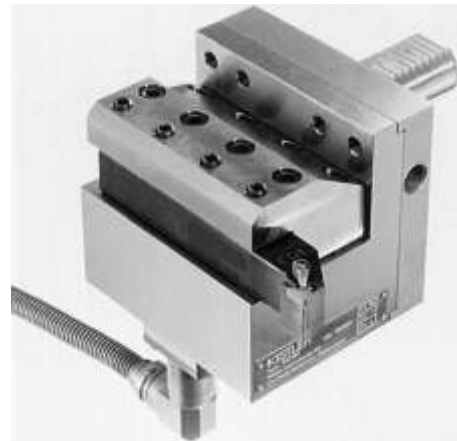
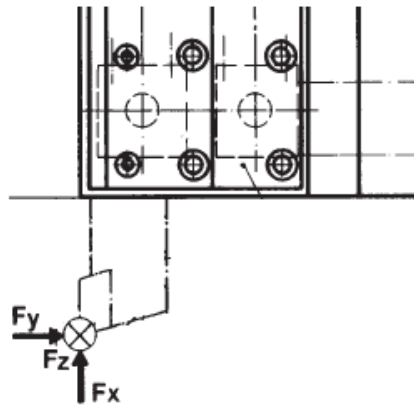
Deneysel çalışmaların yapıldığı JOHN FORD TC 35 CNC Torna Tezgahının özellikleri şu şekildedir: Maksimum çevirme çapı 500mm, maksimum işleme çapı 350mm, iş mili devri 30-3500 rev/min, motor gücü 20 HP, ayna çapı 250 mm, ayna delik çapı 75 mm, yataklar arası mesafe 810 mm, 1/1000 mm hassasiyetinde iki boyutlu(x-z), yüksek yüzey kalitesinde CNC Fanuc 0T x-z aksenlidir.

III. 2. 2. Kesme Kuvvetlerin Ölçülmesi



Şekil III. 8 Dinamometre-Amplifikatör-Kart-Bilgisayar Çevrimi

KISTLER 9121 dinamometre ile kuvvet ölçümleri için deney setini oluşturan elemanlar sırasıyla; (x), (y) ve (z) yönlerinde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerini ölçen kuvvet sensörü, kuvvet sensöründen (x), (y) ve (z) yönlerinde gelen voltaj sinyallerini ayrı ayrı değerlendiren amplifikatör, PC bilgisayara adapte edilmiş analog bilgileri dijitale çeviren (A/D) veri toplama kartından meydana gelmektedir.



Şekil III. 9 KISTLER 9121 Dinamometre (Kuartz Kristali) ve Kuvvetlerin Yönleri

Dinamometre, taban plakasının referans yüzeyi ile vidalanarak hizalanmıştır. Vidalar aylan ile sıkıldıktan sonra gönye ile doğrulukları kontrol edilmiştir. Dinamometre CNC Torna Tezghasına bağlandıktan sonra, kesme işleminde

kullanılacak takım tutucuda dinamometre üzerine iş parçası işleme eksenine doğrultusunda takılmıştır. İşleme esnasındaki rijitlik için bağlanan takım tutucunun dinamometre dışında kalan boyu mümkün olduğunca kısa tutulmuştur.



Şekil III. 10 Dinamometreye kesici uçun bağlanması ve işleme

III.2.3. Titreşim Ölçülmesi

Brüel & Kjør Vibro firmasının üretimi olan VibroTest 60, titreşim ölçüm, analiz ve yerinde balans yapan modüller, gelişmiş, el tipi cihazdır. Dönel elemanlı makinaların titreşim ölçümlerinde, yerinde dengeleme işlemlerinde ve kestirimci bakım çalışmalarında komple çözüm sunmak üzere tasarlanmıştır. Modüler yapısı sayesinde kullanıcıya düşük maliyetli bir opsiyon ile başlama ve ileride ilgili modülü yükleyerek cihazın yeteneklerini geliştirme olanağı sağlamaktadır.

Titreşim ölçüm cihazları ortalama değer hesaplayabilen veya sadece anlık değer ölçebilen olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

Ayrıntılı titreşim analizi isteniyorsa, frekans analizi yapabilen modeller tercih edilmelidir. Frekans analizinde kullanılan yöntem FFT (sabit bant genişliği) veya CPB (sabit oranlı bant genişliği) olarak seçilebilmektedir.



Şekil III. 11 Schenck VibroTest60, El Tipi Çift Kanallı Titreşim Ölçüm, Analiz Cihazı ve Ekipmanları

Titreşim ölçümleri çok çeşitli konulara yönelik olarak yapılmaktadır. Titreşim ölçümü yapabilmek için gerekli ilk şart bir titreşim ölçüm cihazı ve probudur. Çoğu zaman cihaz beraberinde bir kalibratör kullanılması da gerekli olmaktadır.

VibroTest 60, PCMCIA kartlarını kullanan bellek yapısı sayesinde veri kaydedilmesi ve hızlı veri transferasyonu sağlanmaktadır. Karttaki veriler VibroReport (Bilgisayar Programı) kullanılarak kolayca bilgisayara aktarılmaktadır. VibroTest 60 'ın bağımsız bir FFT ölçüm cihazı olarak kullanılması halinde yapılan tüm ölçümleri bilgisayara transfer ederek, gerek cihaz içerisindeki datayı bilgisayar ortamında saklamak gerekse yazıcı çıkışı almak için kullanılan VibroReport, Windows tabanlı programdır.



Şekil III. 12 Schenck VibroTest60 Cihazı

Tornalama işlemine başlamadan önce mıknatıslı olan prob, hem probun hem de katerin mıknatıslanan yüzeyleri iyice temizlendikten sonra takılmıştır. Tornalama işlemi esnasında istenen titreşim dataları kaydedilmiştir.



Şekil III. 13 Schenck VibroTest60 Cihazının Bağlanması ve Titreşim Ölçümü

III.2.4. Yüzey Pürüzlüğünün Ölçülmesi

Mitutoyo SurfTest-211 kolay taşınabilir bir yüzey pürüzlülük ölçüm cihazıdır. Pürüzlülük parametrelerinin basit ve hızlı bir şekilde tespit edilmesi için oldukça kullanışlıdır. Farklı ölçüm problemlerinin çözümü için farklı problar ve adaptörler seçime sunulmuştur.



Şekil III. 14 Mitutoyo SurfTest S211 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Aleti

İşlenmiş yüzeylerin pürüzlülük ölçümüne başlamadan önce, SurfTest cihazı ölçülecek yüzeye paralel bir şekilde konumlandırılmıştır. Su terazisi yardımıyla pürüzlülük cihazının doğrusalığı kontrol edilmiştir. Böylece ölçüm hassasiyet sağlanmıştır.



Şekil III. 15 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümlerinin Yapılması

III. 2. 5. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kesici Uçlar

Deneysel çalışma için VBMT SUMITOMO marka kaplamalı elmas uçlar kullanılmıştır. Uçlar 35 derecelik uç açısında ve 5 derecelik boşluk açısında olup 0,4 mm uç radyüsüne sahiptirler.



Şekil III. 16 Deneysel Çalışmada kullanılan Uçlar

III. 2. 6. Deneysel Çalışmada Kullanılan Katerler ve İş Parçası

Kullanılan takım tutucular, SVJCR özelliğinde olup TAKIMSAŞ tarafından özel imal edilmişlerdir. Vida ile sıkma sistemine göre olan sağ takım tutucuların uç açısı 35 derece, yanaşma açısı 93 derece, uç serbestlik açısı 7 derecedir. Takım tutucuların malzemeleri AISI 2344, AISI 4140 ve AISI 4340' dır. Bu üç farklı malzemeye göre imal edilmiş takım tutucular her bir malzeme için 42 HRC, 45 HRC ve 47 HRC' ye göre sertleştirilmiştir. Böylece her malzeme için 3 farklı sertlikte takım tutucular yapılmış ve 9 farklı takım tutucu elde edilmiştir.

Sıkma Tipi	Uç Tipi	Yanaşma Açısı	Boşluk Açısı	Kesme Yönü
S	V	J	C	R

Şekil III. 17 Dış Tornalama Takımları için ISO Kodlaması

Deneyisel çalışmada iş parçası olarak da AISI 4140 özellikli ıslah çeliği kullanılmıştır.

Deney Setinde kullanılan AISI 2344, AISI 4140 ve AISI 4340 malzemelerinin kimyasal ve mekaniksel özellikleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo III. 22 AISI 2344 Çelik Malzemesinin Kimyasal Özellikleri

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
0,38	0,35	1,16	0,024	0,015	4,84	0,25
Cu	Mo	Al	Ti	V	W	Co
0,13	1,20	0,026	0,01	0,93	0,09	0,015

Tablo III. 23 AISI 4140 Çelik Malzemesinin Kimyasal Özellikleri

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0,38-0,45	<0,40	0,60-0,90	<0,025	<0,035	0,90-1,20	<0,30
Mo	Al	Cu	V	W	Ti	
0,15-0,30	<0,06	<0,30	<0,10	<0,15	<0,03	

Tablo III. 24 AISI 4340 Çelik Malzemesinin Kimyasal Özellikleri

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0,38-0,43	0,15-0,35	0,60-0,80	<0,035	<0,040	0,70-0,90	1,65-2,00
Mo	Al	Cu	V	W	Nb	Sn+Ti+As
0,20-0,30	0,020-0,050	<0,30	<0,05	<0,20	<0,02	<0,050

III. 3. DENEY DÜZENEĞİ

Bu bölümde bahsedilen materyaller (CNC Torna) kullanılarak, iş parçası Şekil III.18’de görülen düzende tornalama işlemine tabi tutulmuştur. Tornalama esnasında oluşan kuvvetler dinamometre ile ölçülerek bilgisayar ekranından, sonuçlar sayısal olarak okunmuş ve kaydedilmiştir. Her üç ekseninde (Şekil II.3) meydana gelen kuvvetler ölçülmüştür ve yapılan kuvvet ölçümlerinde, ortalama kuvvetler dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. İşlenmiş parça yüzeylerin pürüzlülükleri her bir parça için üçer kere ölçülerek ortalamaları alınmıştır. İşleme esnasında kullanılan takım tutucular ve elde edilen işlenmiş parçalar Şekil III.19’ da verilmiştir.



Şekil III. 18 Deney Düzeneği



Şekil III. 19 Deneyde Kullanılan Takım Tutucular ve İşlenmiş Parçalar

IV. BÖLÜM

IV. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

IV.1. KESME KUVVETİ, TİTREŞİM VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜM SONUÇLARI

Deneysel çalışmamız esnasında her işlemede kesme kuvveti ölçümü için Kistler Dinamometre ve titreşim ölçümü için de VibroTest Ölçüm Cihazı kullanılmıştır. İşlemeden sonra her bir numunenin yüzey pürüzlülüğü değerleri de SurfTest cihazı ile büyük bir hassasiyetle ölçülmüştür. AISI 4140 çeliğinin tornalaması esnasında oluşan bileşke kuvvet (N) sonuçları, maksimum ortalama titreşim (hertz) sonuçları ve her bir numunenin yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Tablo IV.1 de sıra ile gösterilmektedir.

Tablo IV. 1 AISI 4140 Malzemesi için Titreşim, Kesme Kuvveti, ve Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri

<i>Deney No</i>	<i>Takım Tutucusu Sertliği</i>	<i>İlerleme Miktarı</i>	<i>Takım Tutucusu Malzeme</i>	<i>Titreşim (Hertz)</i>	<i>Kesme Kuvveti (N)</i>	<i>Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)</i>
1	1	1	1	0,1098	300	0,990
2	1	2	2	0,0644	281	3,460
3	1	3	3	0,1024	336	8,100
4	2	1	3	0,1959	270	1,060
5	2	2	1	0,0223	295	3,800
6	2	3	2	0,0887	372	8,150
7	3	1	2	0,0928	290	0,990
8	3	2	3	0,0950	270	3,220
9	3	3	1	0,0929	343	8,200

IV. 2. ÖLÇÜM SONUÇLARININ GRİ İLİŞKİSEL ANALİZİ

Deney çalışmasının değerlendirilmesi Gri İlişkisel Analizi Yöntemi kullanılmaktadır. Elle hazırladığımız Excel tabloları ile çözümler gerçekleştirilmiştir. Böylece dokuz farklı takım tutucusu içinden üç ölçüm değerine (kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü) göre en ideal takım tutucusunun belirlenmesi sağlanmıştır. GİA Yöntemine göre yapılan değerlendirme aşağıda sırası ile anlatılmıştır:

Titreşim, Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğü için en ideal değerler en küçük değerlerdir. Bu nedenle 1. adımda belirtilen referans serisi her kriterdeki en küçük değer alınarak oluşturulmuştur. $x_0 = [0,0223, 270, 0,990]$ (Tablo IV.2)

Tablo IV. 2 Takım Tutucularının Aldığı Değerler ve Referans Serisi

<i>Deney No</i>	<i>Titreşim (Hertz)</i>	<i>Kesme Kuvveti (N)</i>	<i>Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)</i>
Referans Serisi	0,0223	270	0,990
1	0,1098	300	0,990
2	0,0644	281	3,460
3	0,1024	336	8,100
4	0,1959	270	1,060
5	0,0223	295	3,800
6	0,0887	372	8,150
7	0,0928	290	0,990
8	0,0950	270	3,220
9	0,0929	343	8,200
Maksimum	0,1959	372	8,200
Minimum	0,0223	270	0,990

2. adımda referans serisi ve diğer veriler normalize edilmiştir. Daha düşük daha iyi durumu kullanıldığı için Tablo IV.2 deki veriler formül III.3'e göre normalize edilmiş ve Tablo IV.3 e dönüşmüştür.

Tablo IV. 3 Daha Düşük Daha İyi Durumuna Göre Normalize Edilmiş Matris

<i>Deney No</i>	<i>Titreşim (Hertz)</i>	<i>Kesme Kuvveti (N)</i>	<i>Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)</i>
Referans Serisi	1,0000	1,0000	1,0000
1	0,4960	0,7059	1,0000
2	0,7575	0,8922	0,6574
3	0,5386	0,3529	0,0139
4	0,0000	1,0000	0,9903
5	1,0000	0,7549	0,6103
6	0,6175	0,0000	0,0069
7	0,5939	0,8039	1,0000
8	0,5812	1,0000	0,6907
9	0,5933	0,2843	0,0000
Maksimum	1,0000	1,0000	1,0000
Minimum	0,0000	0,0000	0,0000

Tablo IV.3' deki referans serisinin normalizasyon işlemleri aşağıdaki gibidir.

$$x_0(t) = \frac{0,1959 - 0,0223}{0,1959 - 0,0223} = 1$$

$$x_0(kk) = \frac{372 - 270}{372 - 270} = 1$$

$$x_0(yp) = \frac{8,20 - 0,99}{8,20 - 0,99} = 1$$

3. adımda normalize edilmiş değerler ile referans serisi arasındaki uzaklıklar hesaplanır. Formül III.7. göre Tablo IV.4' deki uzaklık matrisi oluşturulur.

Tablo IV. 4 Normalize Edilmiş Veriler ile Referans Serisi Arasındaki Uzaklık Matrisi

<i>Deney No</i>	<i>Titreşim (Hertz)</i>	<i>Kesme Kuvveti (N)</i>	<i>Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)</i>
Referans Serisi	1	1	1
1	0,5040	0,2941	0,0000
2	0,2425	0,1078	0,3426
3	0,4614	0,6471	0,9861
4	1,0000	0,0000	0,0097
5	0,0000	0,2451	0,3897
6	0,3825	1,0000	0,9931
7	0,4061	0,1961	0,0000
8	0,4188	0,0000	0,3093
9	0,4067	0,7157	1,0000

Aşağıda Tablo IV.4'deki 1 numaralı deney ile referans serisi arasındaki uzaklıklar formül III.7 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\Delta_{01}(t) = |1 - 0,4960| = 0,5040$$

$$\Delta_{01}(kk) = |1 - 0,7059| = 0,2941 \quad \Delta_{01}(yp) = |1 - 1| = 0$$

4. adımda her bir takım tutucusu için gri ilişkisel katsayısı formül III.6 ' ya göre hesaplanmış ve Tablo IV.5' deki gri ilişkisel katsayı matrisi oluşmuştur.

Tablo IV. 5 Gri İlişkisel Katsayı Matrisi

<i>Deney No</i>	<i>Titreşim (Hertz)</i>	<i>Kesme Kuvveti (N)</i>	<i>Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)</i>
1	0,4980	0,6296	1,0000
2	0,6734	0,8226	0,5934
3	0,5201	0,4359	0,3364
4	0,3333	1,0000	0,9810
5	1,0000	0,6711	0,5620
6	0,5666	0,3333	0,3349
7	0,5518	0,7183	1,0000
8	0,5442	1,0000	0,6178
9	0,5515	0,4113	0,3333

Tablo IV.5'deki 1 numaralı deney için gri ilişkisel katsayı hesaplamasında kullanılan işlemler aşağıda verilmiştir;

$$\xi = 0,5 \quad ; \quad \Delta_{\min} = 0 \quad ; \quad \Delta_{\max} = 1$$

$$\varepsilon_{\xi} = \frac{0 + 0,5 \cdot 1}{0,5040 + 0,5 \cdot 1} = 0,4980$$

$$\varepsilon_{\eta} = \frac{0 + 0,5 \cdot 1}{0,2985 + 0,5 \cdot 1} = 0,6262$$

$$\varepsilon_{\rho} = \frac{0 + 0,5 \cdot 1}{0 + 0,5 \cdot 1} = 1$$

5. adımdaki takım tutucular için gri ilişkisel derecenin hesaplanması formül III.10'a göre yapılmıştır. Aşağıda 1. Takım tutucusu için yapılan hesaplama verilmiştir.

$$\gamma_{\xi} = \frac{1}{3} (0,4980 + 0,6262 + 1) = 0,7081$$

Bütün takım tutucular için gri dereceler ve gri ilişkisel derece büyüklük sıralaması Tablo IV.6'da gösterilmiştir. Deneylere göre gri ilişkisel derecelerinin büyüklükleri; **4.Deney>7.Deney>5.Deney>8.Deney>1.Deney>2.Deney>9.Deney>3.Deney>6.Deney** olarak belirlenir.

Gri ilişkisel derecenin büyüklüğü referans seriye benzerliğinin bir göstergesidir. Referans seri kriterlerden alınan en iyi değerlere göre oluşturulmuş optimum değerleri göstermektedir. Bu nedenle Gri İlişkisel Derecenin büyüklüğü yapılan deneyler içinde, en ideal parametrelere sahip deney numarasını yani, takım tutucusunu göstermektedir. Gri İlişkisel Derece sıralamasına göre, kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü değerleri için en ideal parametreler 4. Deneyde elde edilmiştir. Böylece en ideal parametreler 0,1mm ilerleme miktarı ile SAE/AISI 4340 malzeme özelliğine sahip ve 45HRC sertliğine getirilmiş takım tutucusudur.

Tablo IV. 6 Gri İlişkisel Derece ve Sıralaması

<i>Deney No</i>	<i>Takım Tutucusunun Sertliği</i>	<i>İlerleme Miktarı</i>	<i>Takım Tutucusunun Malzemesi</i>	<i>Gri Derece</i>	<i>GİA göre Sıralama</i>
1	42	0,1	2344	0,7092	5
2	42	0,2	4140	0,6965	6
3	42	0,3	4340	0,4308	8
4	45	0,1	4340	0,7714	1
5	45	0,2	2344	0,7443	3
6	45	0,3	4140	0,4116	9
7	47	0,1	4140	0,7567	2
8	47	0,2	4340	0,7207	4
9	47	0,3	2344	0,4320	7

Bulunan deneysel sonuçlar L9 ortogonal dizinine göre hesaplanarak TabloIV.7 deki değerler elde edilmiştir. GİA Yöntemine göre en büyük değer en iyi değerdir. Bu duruma göre TabloIV.7'yi değerlendirecek olursak, kırmızı renkle işaretli olan değerlerin en ideal parametreleri gösterdiğini söyleyebiliriz. Ayrıca, kesme faktörlerindeki maksimum ve minimum değerler arasında farkına bakarak tornalama işlemi esnasında en etkin parametrenin ilerleme miktarı ve en az etkisi olan parametrenin de takım tutucusunun malzemesi olduğu görülmektedir.

Tablo IV. 7 GİA Yönteminde Elde Edilen Sonuçların L9 Ortogonal Dizine Göre Hesaplanması

<i>Kesme Faktörleri</i>	<i>Seviye 1</i>	<i>Seviye 2</i>	<i>Seviye 3</i>	<i>Maks.-Min.</i>
Takım Tutucusunun Sertliği (HRc)	0,6122	0,6425	0,6365	0,0303
İlerleme Miktarı (mm/dev)	0,7458	0,7205	0,4248	0,3210
Takım Tutucusunun Malzemesi	0,6285	0,6216	0,6410	0,0194

Tablo IV.7’de elde edilen değerler yerine asıl parametre değerleri konacak olursa Tablo IV.8 elde edilmektedir. Tablo IV.8’e göre 0,1mm ilerleme miktarı, SAE/AISI4340 takım tutucusu malzemesi ve 45HRc sertlik değerleri en ideal parametreler olarak yorumlanabilir.

Tablo IV. 8 GİA Yöntemine göre En İdeal Parametre Tayini

<i>Kesme Faktörleri</i>	<i>Seviye 1</i>	<i>Seviye 2</i>	<i>Seviye 3</i>
Takım Tutucusunun Sertliği (HRc)	42	45	47
İlerleme Miktarı (mm/dev)	0,1	0,2	0,3
Takım Tutucusunun Malzemesi	2344	4140	4340

IV. 3. ÖLÇÜM SONUÇLARININ VARYANS ANALİZİ (ANOVA)

Yapılan deneysel çalışmada, kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü değerlerine etkisi olabileceği düşünülen birden fazla parametre kullanılmıştır. Bu parametrelerin her birinin birden fazla seviyesi vardır. Bu durumda, elde edilen değerler için, deneysel çalışmada kullanılan değişkenlerin etki oranlarının saptanması oldukça önemlidir. Böylece deneysel çalışma sonuçları daha iyi anlaşılabilir ve yorumlanabilir.

GİA Yöntemine göre elde ettiğimiz değerler Microsoft Office Excel’de Varyans Analizine göre hazırlanan tablolar ile değerlendirilmiş ve sonuçlar TabloIV.9’da sunulmuştur.

Tablo IV. 9 GİA Yöntemine göre Parametre Tayini

	Serbestlik Derecesi	Ortalama Değerler			Karelerin Toplamı	Ortalama Karelerin Toplamı	Faktör Etkisi %	F
		1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye				
T.T. Sertliği	2	0,6122	0,6425	0,6365	0,002	0,001	0,79 %	1,10
İlerleme Miktarı	2	0,7458	0,7205	0,4248	0,191	0,096	98,19 %	136,48
T.T. Malzeme	2	0,6285	0,6216	0,6410	0,001	0,0003	0,30 %	0,41
Hata	2				0,001	0,001	0,72 %	
Toplam	8				0,195		100,00 %	

Kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğünün oluşmasında en etkili faktör, %98,19 ile ilerleme miktarıdır ve bu değerlerinin oluşumuna etkisi en az olan faktör ise % 0,41’ lik oran ile takım tutucusunun malzemesidir. F dağılışı hipotezine göre yapılan varyans analizinde, 0.05 α düzeyine göre tablo değerleri kullanılmıştır. Güven aralığı % 95 seçilmiştir. Buna göre, $F_{0,05,2,8} = 4,46$ olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, takım tutucusunun malzemesinin ve sertliğinin kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü oluşumuna istatistiksel ve fiziksel etkisi olduğu görülmektedir.

IV. 4. ÖLÇÜM SONUÇLARINA GÖRE PARAMETRELERİN BELİRLENMESİNDE AKSİYOMİK TASARIMIN BİLGİ AKSİYOMU UYGULAMASI

GİA gibi birçok çoklu karar verme yöntemleri vardır ve onlardan birisi de Aksiyomatik Tasarım Metodudur. Yaptığımı çalışmada Aksiyomatik Tasarımın Bilgi Aksiyomu uygulamasından yararlandık. Aksiyomatik Tasarıma göre, bilgi içeriğini hesaplamak için kesin değerlere ihtiyaç vardır. Bu amaç doğrultusunda TabloIV.1’de bulunan kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü değerleri kullanılacaktır.

Aksiyomatik Tasarıma göre, en küçük bilgi içeriğine sahip alternatif en iyi tasarımıdır. TabloIV.1 ‘den çıkarılan tüm veriler Microsoft Office Excel programında hesaplanmış ve TabloIV.10’da Bilgi Aksiyomuna göre listelenmiştir. Excel’deki hesaplamada elde edilen sonuçlar, kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü için değerlendirildiğinde en ideal parametrelerin 2. deneyde sağlandığı görülmüştür. Aksiyomatik Tasarımın Bilgi aksiyomuna göre sıralama aşağıdaki gibidir:

2.Deney>7.Deney>5.Deney>8.Deney>1.Deney>4.Deney>3.Deney>9.Deney>
6.Deney

Tablo IV. 10 Bilgi aksiyomuna göre uygulama sonuçları

<i>Deney No</i>	<i>T.T. Sertliği</i>		<i>İlerleme Miktarı</i>		<i>T.T. Malzeme si</i>		<i>Titreşim</i>	<i>Kesme Kuvveti</i>	<i>Yüzey Pürüzlülüğü</i>	<i>Toplam Bilgi İçeriği (ΣI)</i>	<i>Aksiyomatik Tasarıma Göre Sıralama</i>
1	1	42	1	0,1	1	2344	0,1098	300	0,990	0,341	5
2	1	42	2	0,2	2	4140	0,0644	281	3,460	0,188	1
3	1	42	3	0,3	3	4340	0,1024	336	8,100	1,604	7
4	2	45	1	0,1	3	4340	0,1959	270	1,060	1,000	6
5	2	45	2	0,2	1	2344	0,0223	295	3,800	0,212	3
6	2	45	3	0,3	2	4140	0,0887	372	8,150	2,132	9
7	3	47	1	0,1	2	4140	0,0928	290	0,990	0,203	2
8	3	47	2	0,2	3	4340	0,0950	270	3,220	0,271	4
9	3	47	3	0,3	1	2344	0,0929	343	8,200	1,678	8

IV. 5. ÖLÇÜM SONUÇLARINA GÖRE PARAMETRELERİN BELİRLENMESİNDE TAGUCHİ UYGULAMASI

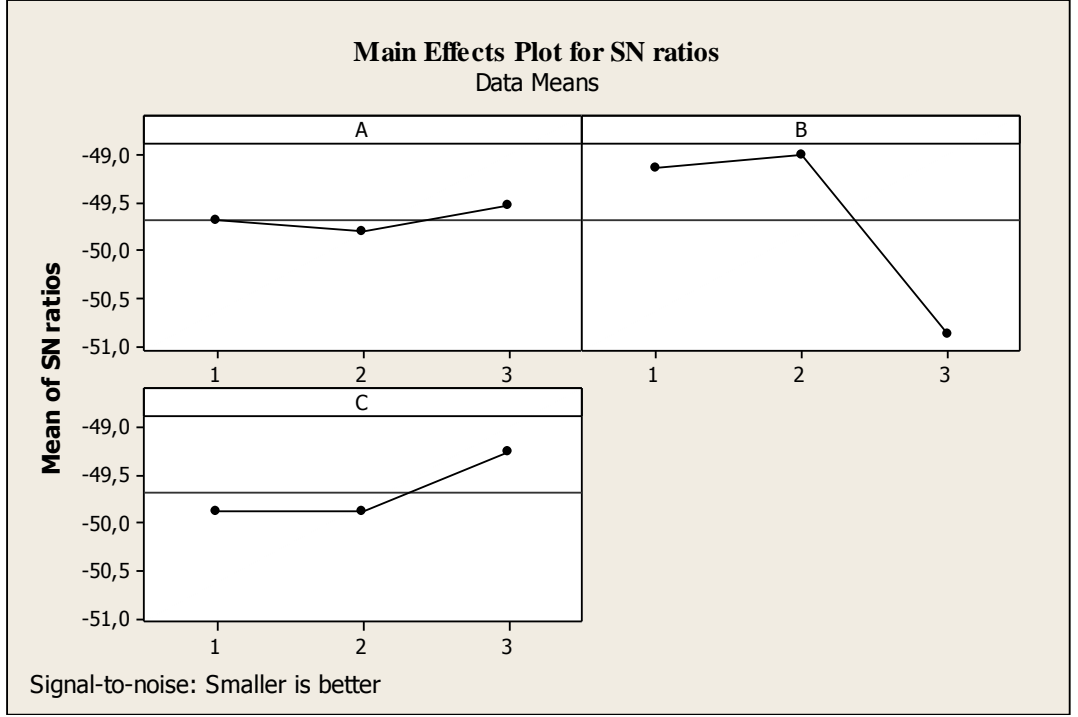
Birçok karar verme yöntemi vardır. Bunlardan biri de Taguchi Metodudur. Bu metod Deney Tasarımı aşamasında faydalanılabilecek bir araçtır. Bu bölümde, Deneyin tasarım aşamasında Taguchi Metodu kullanılmıştır. Taguchi Metoduna göre, kalite karakteristiğini belirlerken, ölçülecek kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü oranlarının en az olması istenir. Bu nedenle, deneyler sonucunda ulaşılmaması beklenen kalite değerlerinden, en küçük en iyidir prensibi uygulanmıştır.

IV. 5.1 Kesme Kuvveti Sonuçlarına Göre Parametrelerin Seçimi

Kesme Kuvvetinin optimizasyonu için, Taguchi Metodunun Kalite karakteristiklerinden en küçük en iyidir prensibi kullanılmıştır. Tablo IV.11’de belirlenen parametreler sonucu oluşan kesme kuvvetlerinin S/N oranları görülmektedir. Tornalanması prosesinde ölçülen maksimum kesme kuvveti 372 N iken minimum Kesme kuvveti ise 270 N olmuştur. Şekil IV.2’de de sinyal gürültü (S/N) oranları grafiksel gösterimle sunulmuştur.

Tablo IV. 11 Her Bir Faktör İçin Kesme Kuvveti Değerlerinin S/N Oranları

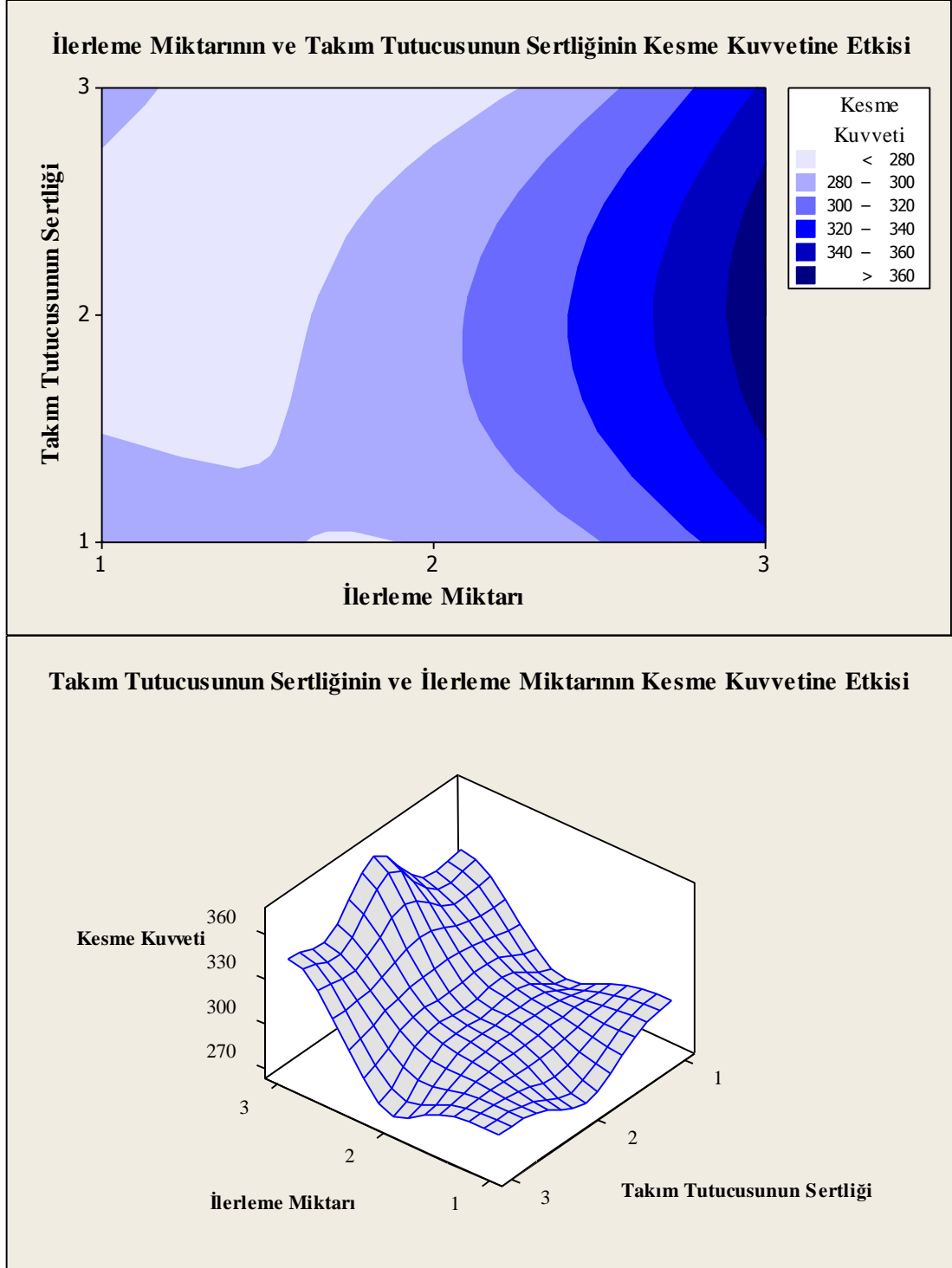
<i>Deney No</i>	<i>Takım Tutucusunun Sertliği (HRC)</i>		<i>İlerleme Miktarı (mm)</i>		<i>Takım Tutucusunun Malzemesi</i>		<i>Kesme Kuvveti (N)</i>	<i>S/N Oranı</i>
1	1	42	1	0,1	1	2344	300	-49.5501
2	1	42	2	0,2	2	4140	281	-48.9854
3	1	42	3	0,3	3	4340	336	-50.5217
4	2	45	1	0,1	3	4340	270	-48.6414
5	2	45	2	0,2	1	2344	295	-49.3983
6	2	45	3	0,3	2	4140	372	-51.4028
7	3	47	1	0,1	2	4140	290	-49.2421
8	3	47	2	0,2	3	4340	270	-48.6237
9	3	47	3	0,3	1	2344	343	-50.7114



Şekil IV. 1 Sinyal Gürültü Oranları

Şekil IV.2'ye göre; A, takım tutucusunun sertliğini; B, ilerleme miktarını; C, takım tutucusunun malzemesini göstermektedir. En küçük en ideal durumuna göre uygulanan Taguchi Deneysel Tasarımına göre, 8. deneyde kullanmış olduğumuz A3, B2 ve C3 parametreleri en uygun parametrelerdir.

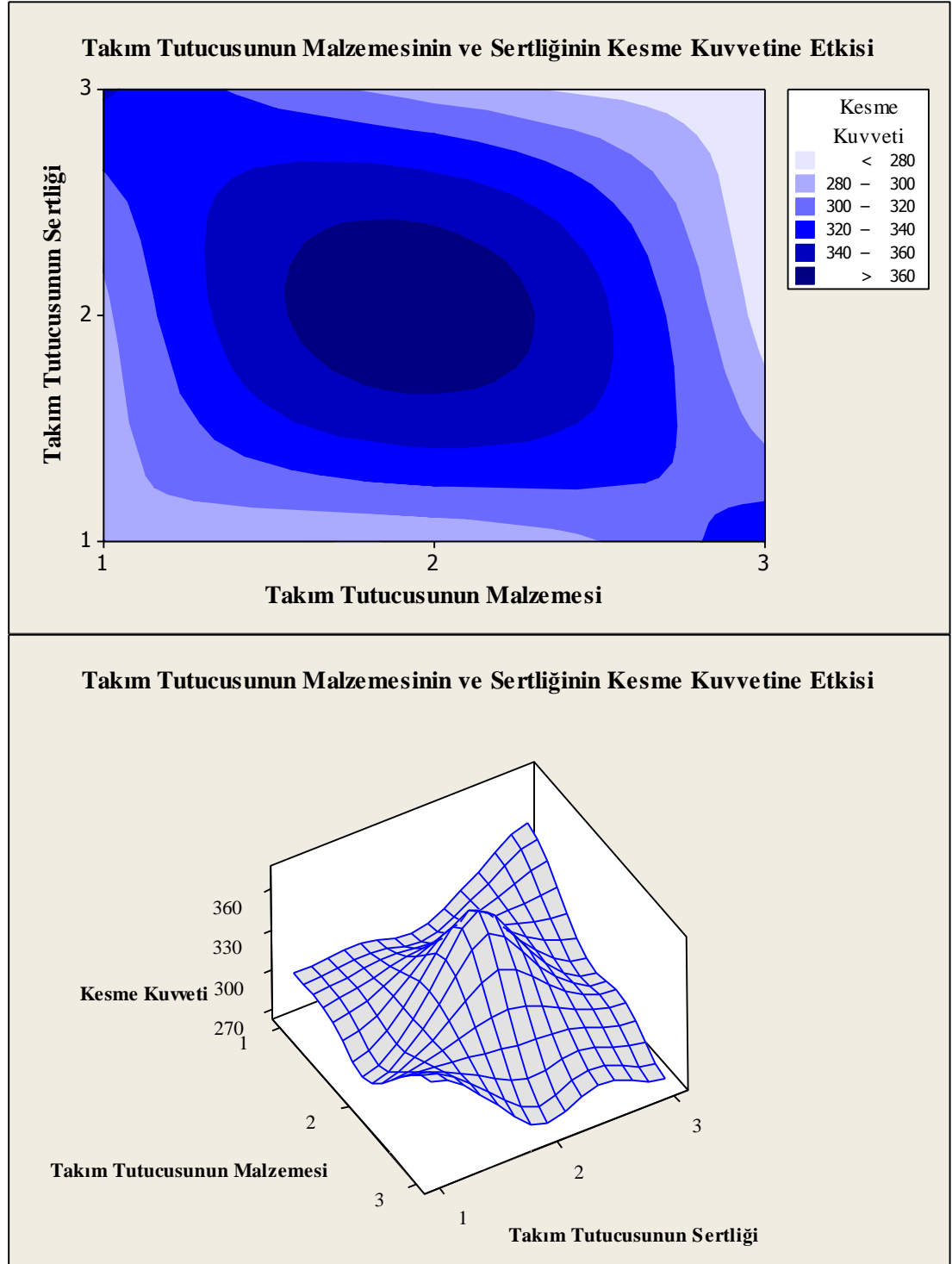
SAE/AISI4140 malzemesinin tornalaması ile ilerleme miktarının ve takım tutucusunun sertliğinin, yüzeyde meydana gelen kesme kuvvetine etkisi grafiksel olarak Şekil IV.3'de sunulmuştur.



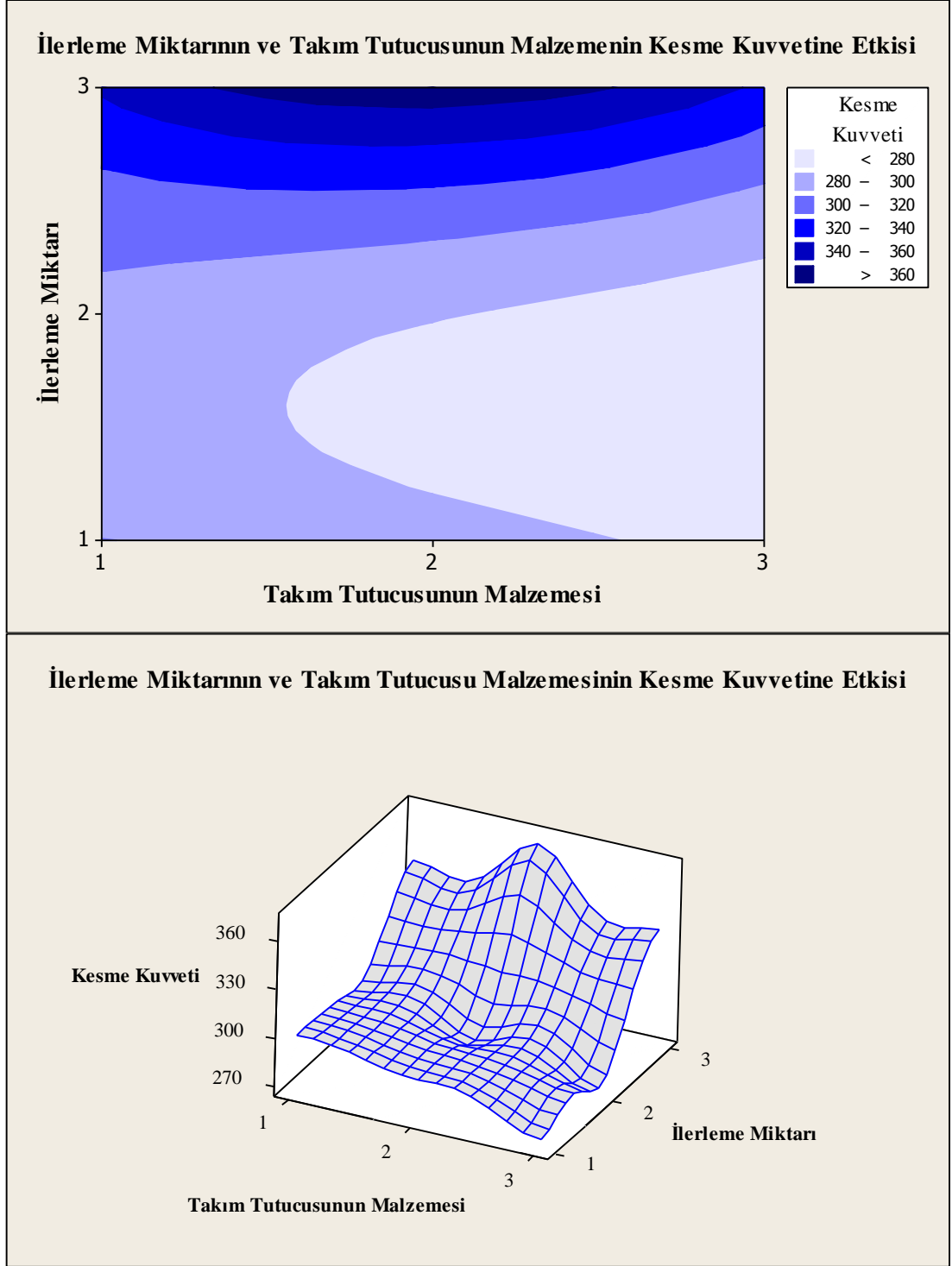
Şekil IV. 2 Sertlik ve İlerlemenin Kesme Kuvvetine Etkisi

Şekil IV.3'deki grafiklerden de anlaşıldığı gibi en yüksek kesme kuvveti; takım tutucusunun sertliğinin 45HRc ve ilerleme miktarının 0,3mm olduğunda elde edilir. Aynı parametrelerle en düşük kesme kuvveti ise, 45HRc sertliğindeki takım ve 0,1mm ilerleme ile elde edildiği grafiklerde açıkça görülmektedir. Aynı şekilde, Şekil IV.4' de takım tutucusunun malzemesinin ile sertliğinin kesme kuvvetine etkisi

ve Şekil IV.5’de ilerleme miktarı ile takım tutucusunun malzemesinin kesme kuvveti üzerindeki etkisi grafiksel olarak sunulmuştur.



Şekil IV. 3 A ve C'nin Kesme Kuvvetine Etkisi



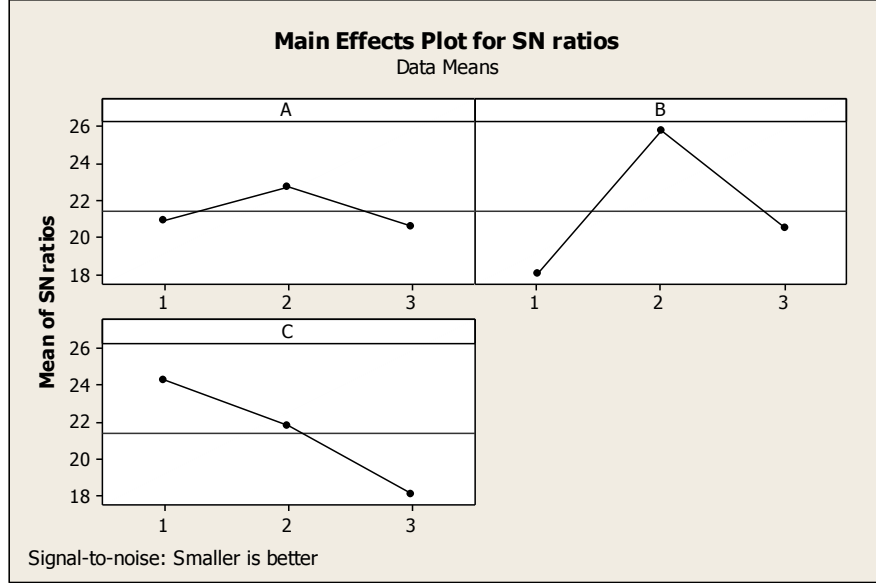
Şekil IV. 4 Bve C'nin Kesme Kuvvetine Etkisi

IV. 5. 2 Titreşim Sonuçlarına Göre Parametrelerin Seçimi

Titreşimin optimizasyonu için, Taguchi Metodunun Kalite karakteristiklerinden en küçük en iyidir prensibi kullanılmıştır. Tablo IV.12 de belirlenen parametreler sonucu oluşan titreşim değerlerinin S/N oranları görülmektedir. Tormalama prosesinde ölçülen maksimum titreşim değeri 0,1959 hertz iken minimum titreşim değeri de 0,0223hertz olmuştur. Şekil IV.16'da da sinyal gürültü (S/N) oranları grafiksel gösterimle sunulmuştur.

Tablo IV. 12 Her Bir Faktör İçin Titreşim Değerlerinin S/N Oranları

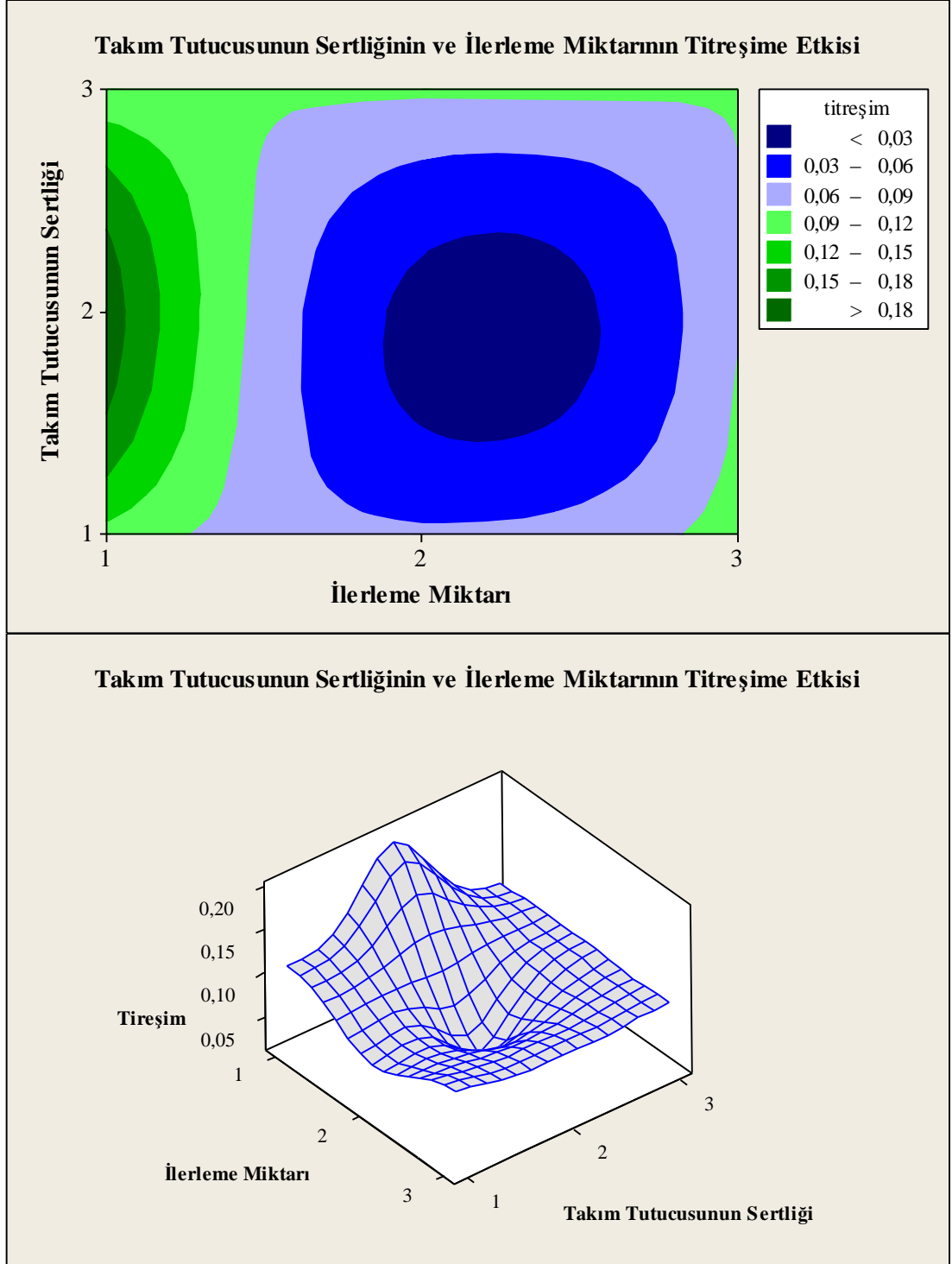
<i>Deney No</i>	<i>Takım Tutucusunun Sertliği (HRc)</i>		<i>İlerleme Miktarı (mm)</i>		<i>Takım Tutucusunun Malzemesi</i>		<i>Titreşim (Hertz)</i>	<i>S/N Oranı</i>
1	1	42	1	0,1	1	2344	0.1098	19.18795
2	1	42	2	0,2	2	4140	0.0644	23.82228
3	1	42	3	0,3	3	4340	0.1024	19.794
4	2	45	1	0,1	3	4340	0.1959	14.15931
5	2	45	2	0,2	1	2344	0.0223	33.0339
6	2	45	3	0,3	2	4140	0.0887	21.04153
7	3	47	1	0,1	2	4140	0.0928	20.64904
8	3	47	2	0,2	3	4340	0.095	20.44553
9	3	47	3	0,3	1	2344	0.0929	20.63969



Şekil IV. 5 Sinyal Gürültü Oranları

Şekil IV.6'ye göre; A, takım tutucusunun sertliğini; B, ilerleme miktarını; C, takım tutucusunun malzemesini göstermektedir. En küçük en ideal durumuna göre uygulanan Taguchi Deney Tasarımına göre, A2, B2 ve C1 optimum parametreler olarak verilebilir. Bu durum 5. deneyde kullandığımız verilerde bulunmaktadır.

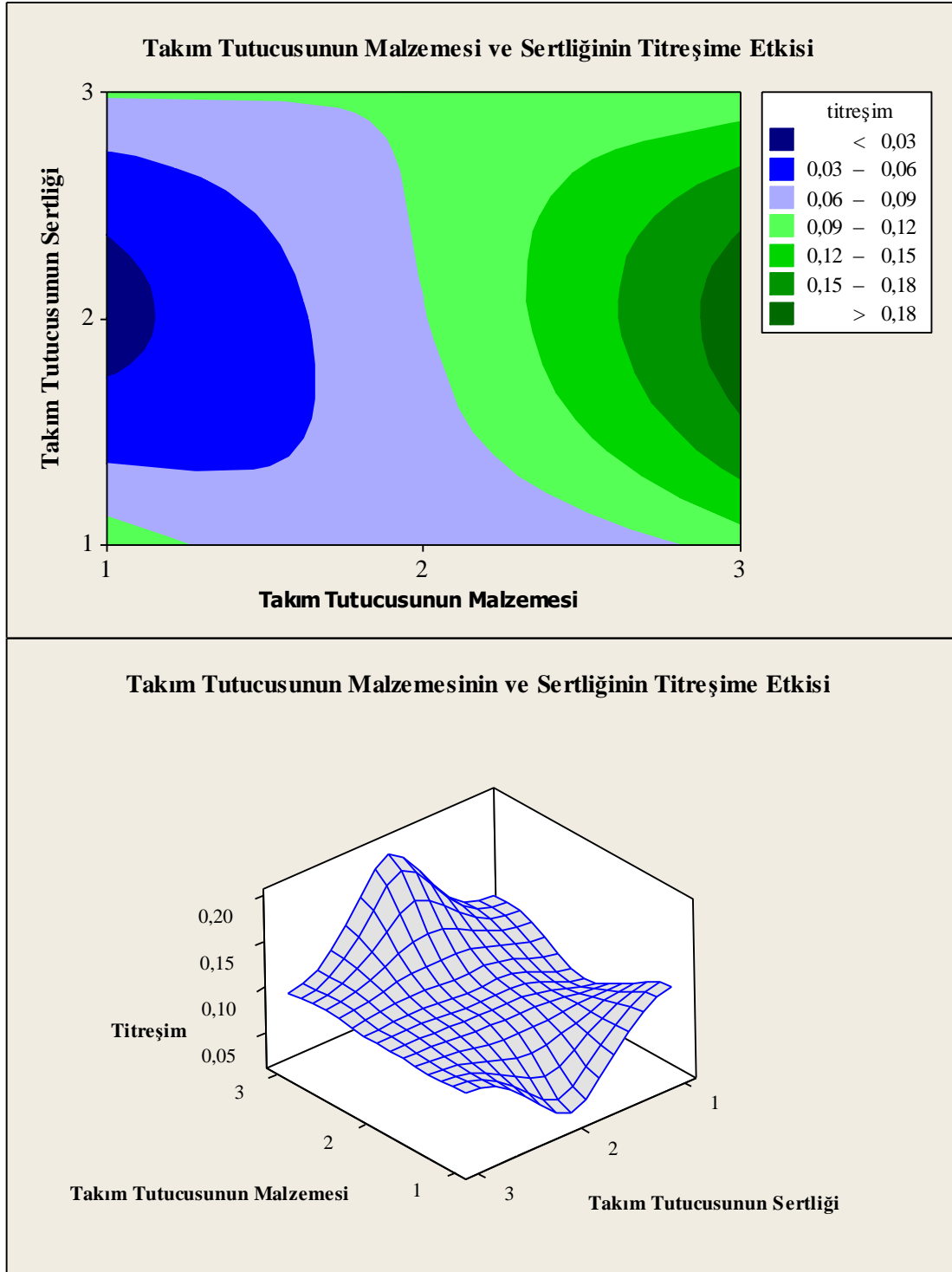
SAE/AISI4140 malzemesinin tornalaması ile ilerleme miktarının ve takım tutucusunun sertliğinin, meydana gelen titreşime etkisi grafiksel olarak Şekil IV.7'da sunulmuştur.

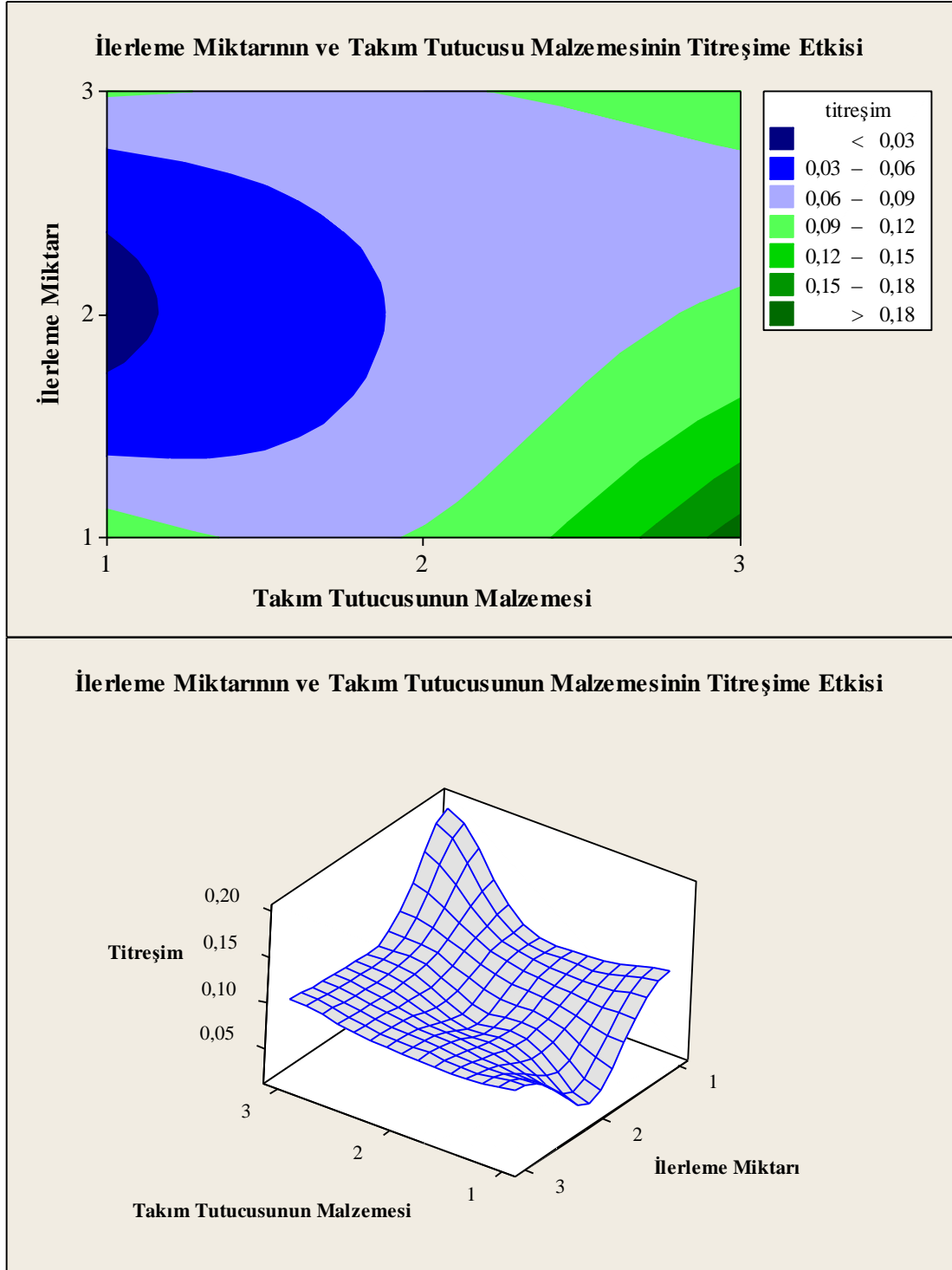


Şekil IV. 6 A ve B'nin Titreşim'e Etkisi

Şekil IV.7'ye göre, en yüksek titreşim değeri; takım tutucusunun sertliğinin 45HRc ve ilerleme miktarının 0,1mm olduğunda elde edildiği görülür. Aynı şekle bakarak, en düşük titreşim değerinin, 45HRc sertliğindeki takım ve 0,2mm ilerleme ile elde edildiği söylenebilir. Benzer grafikler, Şekil IV.4' de takım tutucusunun malzemesinin ile sertliğinin kesme kuvvetine etkisi için ve Şekil IV.5'de ilerleme

miktarı ile takım tutucusunun malzemesinin kesme kuvveti üzerindeki etkisi için verilmiştir.





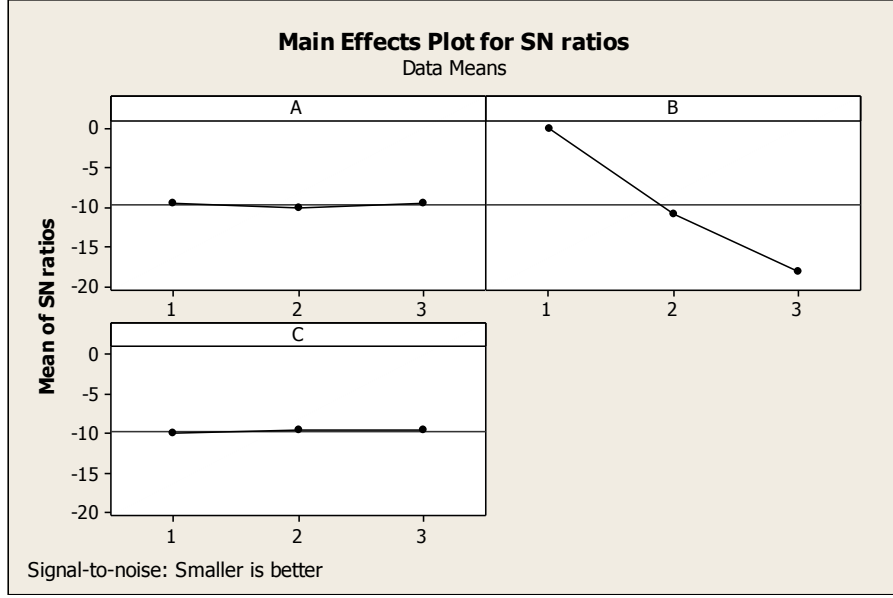
IV. 5. 3 Yüzey Pürüzlüğü Sonuçlarına Göre Parametrelerin Seçimi

Taguchi Deney Tasarımı'nda kalite karakteristiklerinin değerlendirilmesinde S/N oranları kullanılmaktadır.

Tablo IV. 13 Her Bir Faktör İçin Yüzey Pürüzlüğü Değerlerinin S/N Oranları

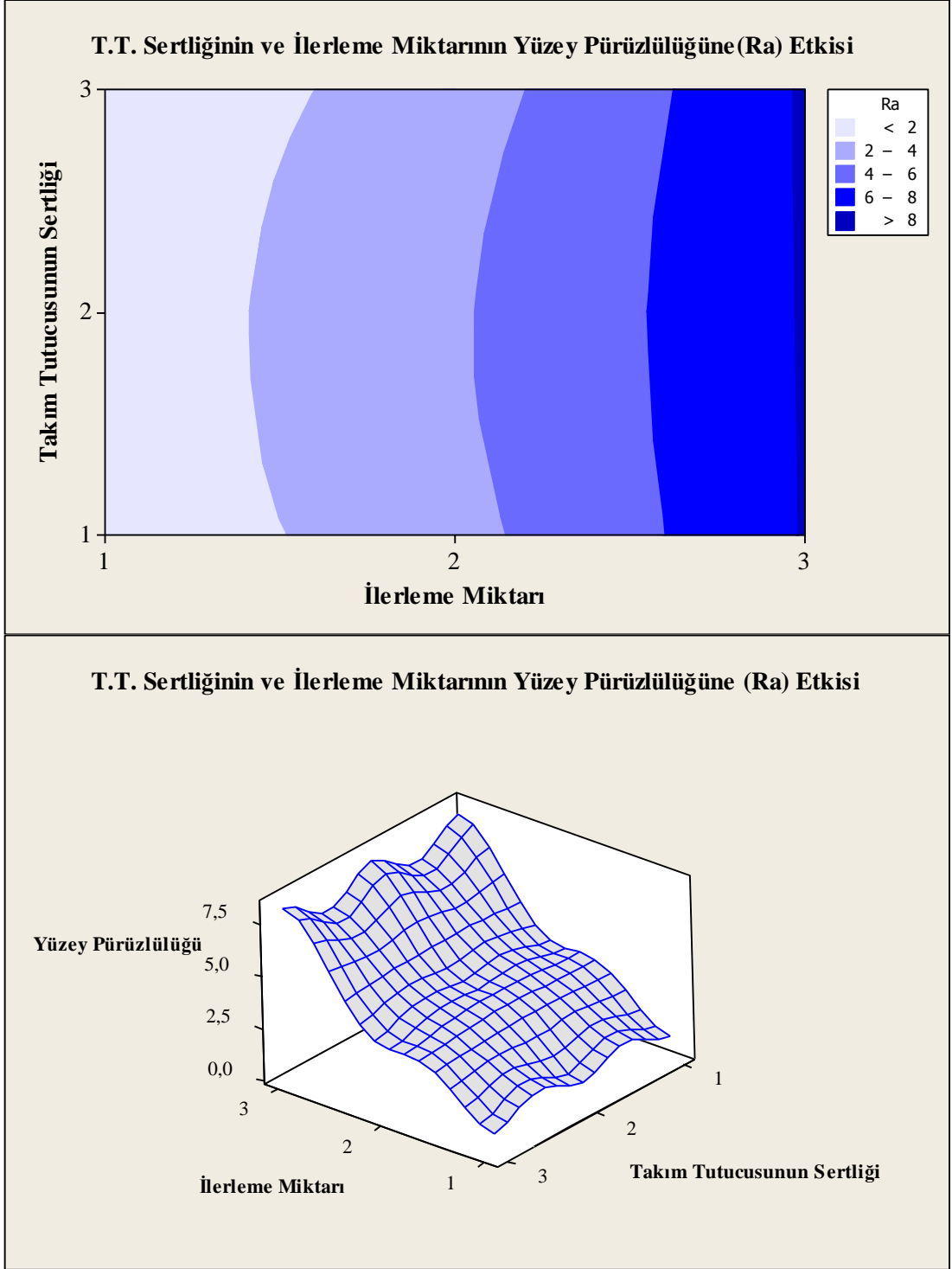
<i>Deney No</i>	<i>Takım Tutucusunun Sertliği (HRC)</i>		<i>İlerleme Miktarı (mm)</i>		<i>Takım Tutucusunun Malzemesi</i>		<i>Yüzey Pürüzlüğü (Ra)</i>	<i>S/N Oranı</i>
1	1	42	1	0,1	1	2344	0.99	0.087296
2	1	42	2	0,2	2	4140	3.46	-10.7815
3	1	42	3	0,3	3	4340	8.1	-18.1697
4	2	45	1	0,1	3	4340	1.06	-0.50612
5	2	45	2	0,2	1	2344	3.8	-11.5957
6	2	45	3	0,3	2	4140	8.15	-18.2232
7	3	47	1	0,1	2	4140	0.99	0.087296
8	3	47	2	0,2	3	4340	3.22	-10.1571
9	3	47	3	0,3	1	2344	8.2	-18.2763

Tornalama işlemi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ve S/N oranları Tablo da verilmiştir. Ölçülen maksimum yüzey pürüzlülüğü değeri 8,2 µm ve en küçük yüzey pürüzlülüğü değeri ise 0,99 µm olmuştur. Tablo IV.16' de faktörlerin her bir seviyesi için S/N değerleri görülmektedir.

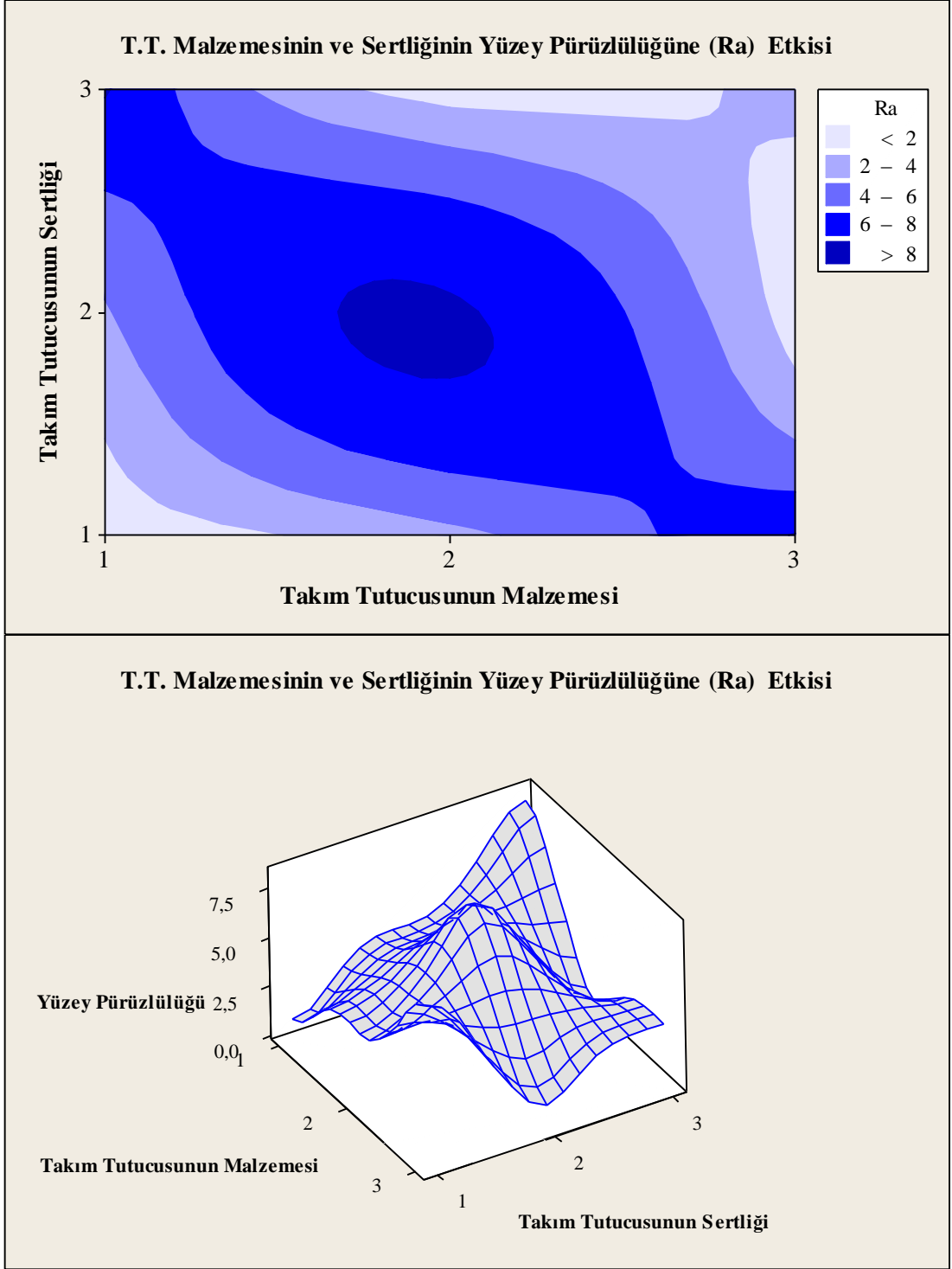


Şekil IV. 9 Sinyal Gürültü Oranları

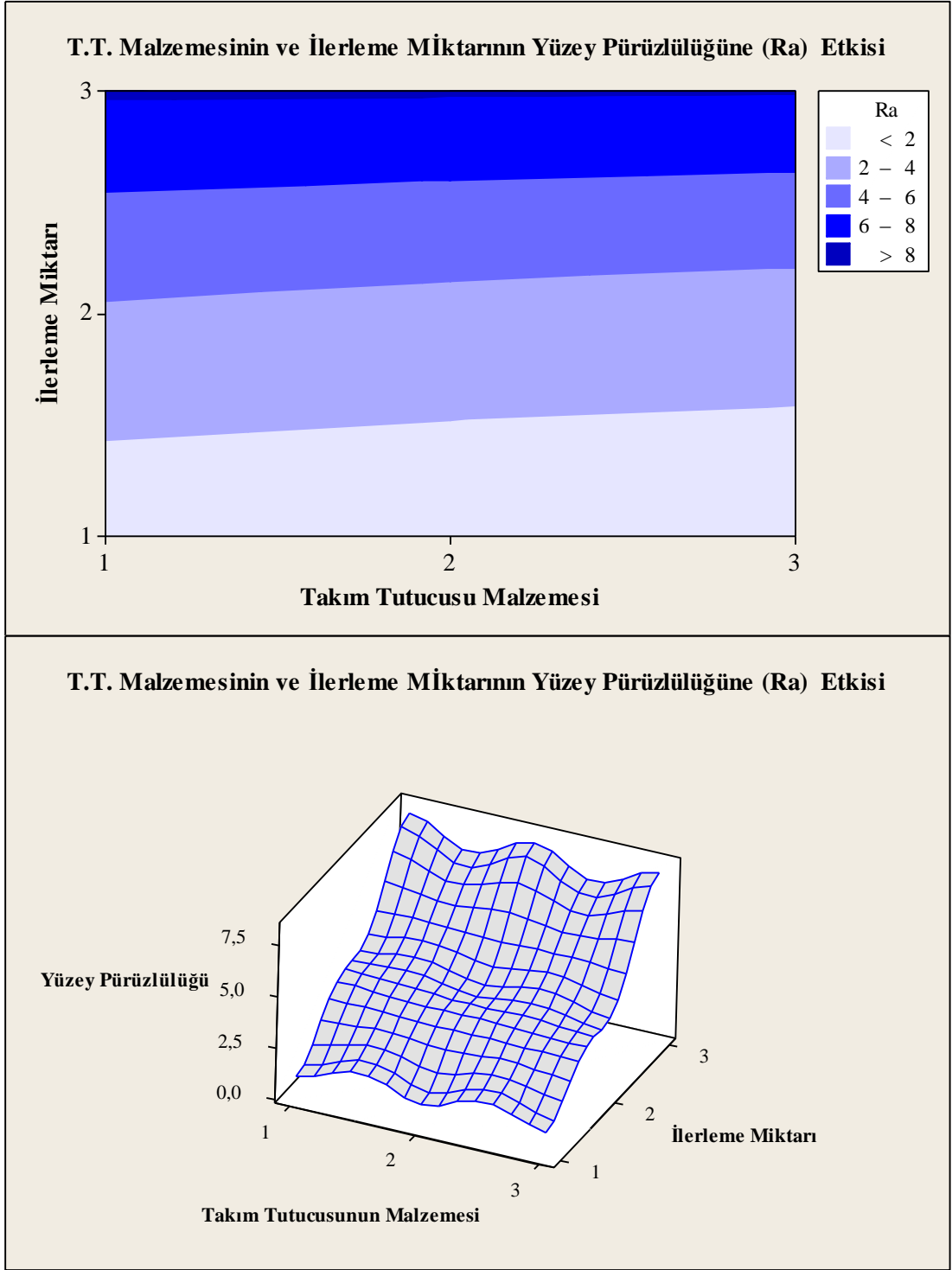
Şekil IV.10'a göre parametreler; A, takım tutucusunun sertliğini; B, ilerleme miktarını; C, takım tutucusunun malzemesi olarak gösterilmektedir. Bu deneysel çalışmada A ve C parametreleri için çok yakın değerler çıkmış ancak B parametresi için belirgin çıkmıştır. Buna göre A1 veya A3, B1, C3 Optimum parametreler olarak verilebilir. Parametrelerin yüzeyde pürüzlülük oluşumuna etkisi Şekil IV.11-Şekil IV.12 ve Şekil IV.13 de sunulmuştur.



Şekil IV. 10 A ve B'nin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi



Şekil IV. 11 A ve C'nin Yüze Pürüzlülüğüne Etkisi



BÖLÜM V

V.DEĞERLENDİRMELER ve ÖNERİLER

V. 1. DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, tornalama işleminde çoklu performans karakteristikleri (kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü) için, en ideal (optimum) takım tutucusu Gri İlişkisel Analiz Yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla, farklı malzeme özelliklerine, ilerleme miktarına ve sertliklerine sahip 9 çeşit takım tutucusunun dış çap tornalama işlemindeki işleme kalitelerini incelemek için, işlenecek malzemenin çapı, kesme hızı, devir sayısı ve talaş derinliği sabit tutulmuştur.

Bu tezde, deneysel çalışma ve sonuçlarının yorumlanması için yapılan istatistiksel çalışma sonucunda aşağıdaki değerlendirme ve yorumlar yapılabilir.

SAE/AISI4140 malzemesinin tornalanması sürecinde, yüzey kalitesinin oluşmasında etkili faktörler GİA Yöntemine göre sırası ile ilerleme miktarı, takım tutucusunun sertliği ve takım tutucusunun malzemesi olarak bulunmuştur. Yüzey kalitesinin düzgünlüğü açısından ilerleme miktarının etkisi diğer iki faktöre göre çok belirgin olduğu tablolarda açıkça görülmektedir. İlerleme miktarı arttıkça işleme esnasında oluşan kesme kuvveti ve titreşim de artmaktadır. Böylece işlenen parçanın yüzey kalitesi de git gide kötüleşmektedir.

Gri İlişkisel Analizi Yöntemi, tornalama işleminde iş parçasında kesme kuvvetinin ve titreşimin minimize edilerek yüzey kalitesinin artması için en ideal parametrelerin (ilerleme miktarı, takım tutucusunun malzemesi ve takım tutucusunun sertliğinin) belirlenmesi sağlanmıştır. GİA Yöntemine göre en ideal takım tutucu 4.

deneyde 0,1mm ilerleme miktarı kullanan SAE/AISI4340 malzeme özelliğine sahip ve 45HRc sertliğine getirilmiş takım tutucudur. Deneyleerde kullanılan parametreler tablolar halinde yazılmıştır. GİA Yöntemine göre en ideal yüzey kalitesini sağlayan değerler sırası ile Tablo IV. 6' da verilmiştir. Buna göre değerler şöyledir: **0,7714 > 0,7567 > 0,7443 > 0,7207 > 0,7092 > 0,6965 > 0,4320 > 0,4308 > 0,4116**. En ideal yüzey kalitesi 4. deneyde elde edilmişken en kötü yüzey kalitesi de 6. deneyde elde edilmiştir.

GİA Yönteminin tutarlılığını ölçmek için ve de tornalama prosesinde kullanılan parametrelerin (ilerleme miktarı, takım tutucusunun malzemesi ve takım tutucusunun sertliğinin) kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü oluşumuna, etki derecesi belirlemek için Varyans Analizi (ANOVA) kullanılmıştır. F oranı ile bu parametrelerin hangilerinin istatistiksel açıdan kesme kuvveti, titreşim ve yüzeye etkisinin olduğu saptanmıştır. Varyans Analizi tablosuna göre kullanılan parametrelerin etki sıralaması GİA Yönteminde elde edilen etki sıralaması ile aynı olduğu görülmüştür. Buna göre yüzey kalitesi açısından en fazla etki ilerleme miktarı iken, en az etkisi olan takım tutucusunun malzemesidir.

Bu çalışmada deneyleerde elde edilen veriler Aksiyomatik Tasarım'la da çözülmüştür. Aksiyomatik Tasarımın Bilgi Aksiyomuna göre yapılan çözümde elde edilen sonuçlara göre en ideal yüzey kalitesini sağlayan deneyleer sırası Tablo IV. 10' gösterilmiştir. Hesaplamalarda elde edilen sonuçlara göre sıralama şöyledir: **0,188 < 0,203 < 0,212 < 0,271 < 0,341 < 1,000 < 1,604 < 1,678 < 2,132**. Aksiyomatik Tasarıma göre toplam bilgi içeriğindeki en küçük değer en ideal değerdir. Buna göre, en ideal yüzey kalitesi 2. Deneyde elde edilirken, en kötü yüzey kalitesini veren deney, 6. deneydir. Sonuçlar, bu tezde kullanılan GİA Yöntemi ile karşılaştırıldığında en optimum yüzey kalitesini sağlayan sıralamanın çok benzediği görülmüştür.

Bu tezde, parametrelerin kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini tek tek incelemek için Taguchi Yöntemi MİNİTAB programı kullanılarak başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Tornalama işleminde, kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin minimizasyonu için ilerleme miktarı ve takım

tutucusunun belirlenmesi Taguchi optimizasyon yöntemi kullanılarak başarı ile gerçekleştirilmiş ve şekiller yardımıyla görselleştirilmiştir.

Tez çalışmasında kullanılan GİA Yöntemi ve bu yöntemle karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla kullanılan Aksiyomatik Tasarım Yöntemi ve Taguchi Yönteminden faydalanılmıştır. Her üç yöntemden elde edilen sonuçlara göre, işlenen parçada en ideal yüzey kalitesini veren optimal değerler Tablo V.1’ de verilmiştir. Tablo V.1’ de Taguchi Yöntemine göre bulunan değerler, kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğüne göre sıralanmıştır. Yüzey pürüzlülüğünde elde edilen değer, deney çalışmamızda denenmemiştir.

Tablo V. 1 En İdeal Yüzey Kalitesini Veren Optimal Değerler

	<i>İlerleme Miktarı</i>	<i>T.T. Sertliği (HRc)</i>	<i>T.T. Malzemesi</i>
<i>GİA Yöntemi</i>	0,1	45	4340
<i>Aksiyomatik Tasarım Yöntemi</i>	0,2	42	4140
<i>Taguchi Yöntemi</i>	0,2	47	4340
	0,2	45	2344
	0,1	42	4140

Optimal yüzey kalitesi için üç yöntemle hesaplanan deneysel çalışma sonuçları birbirlerinden farklı çıkmıştır. Deneylerin birer kez tekrarlanmış olması sonucu bu farklılıkların meydana geldiği tahmin edilmektedir.

V. 2. ÖNERİLER

Bu çalışma ile dış tornalama işleminde, takım tutucu malzemesinin ve sertliklerinin (HRc) yüzey pürüzlülüğü titreşim ve kesme kuvvetlerine etkileri araştırılmıştır. Bu uygulamalarda, her bir deneyin 5-6 kez tekrarlanarak sonuçların ortalamaları üzerinden daha uygun sonuç elde edileceği bir gerçektir. Ancak, maliyet ve zaman oluşturması nedeniyle birer kez tekrarlanmıştır. GİA’ nin bu tür deneylerdeki performansını farklı yöntemlerle karşılaştırarak, tutarlılık ve güvenilirlik testleriyle de sınanması daha uygundur. Bu nedenle, GİA Yöntemi için Varyans Analizi çalışması yapılmıştır. Ayrıca, kesme kuvveti, titreşim ve yüzey

pürüzlülüğünden elde edilen veriler kullanılarak, GİA Yöntemi dışında diğer çok kriterli karar verme yöntemleri ile de çözümler yapılmış ve değerlendirilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, özellikle imalat sanayinde çalışan personeller ve de bu konuda çalışan akademisyenler için yararlı olabilecek bir çalışma olmuştur.

Bu tezde, yapılmamış ancak yapılabilecek birçok deneysel çalışma konusu bulunmaktadır. Bunlardan bazılarını şu şekilde sıralayabiliriz: İlerleme miktarı sabit tutularak; devir sayısı ve talaş derinliği değiştirilebilir. Talaş derinliği sabit tutularak; devir sayısı ve ilerleme miktarı değiştirilebilir. Devir sayısı sabit tutularak; ilerleme miktarı ve talaş derinliği değiştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Abbas, A.R.; Li, M.H.; Tai, K.C.: “Optimizing SUS 304 Wire Drawing Process by Grey Relational Analysis Utilizing Taguchi Method” *Journal of University of Science and Technology Beijing* 15 (6), December, (2008) 714.
- [2] Atakök, G.: “CNC Talaş Kaldırma İşlemlerinde Talaş Kırıcı Geometrisinin İlenebilirliğe Etkilerinin Deneysel ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi”, *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı, Makine Eğitimi Programı, İstanbul, (2008).
- [3] Bahar, E.M.: “Titreşim Sebepi Yüzey Kalitesi Üzerinde Takım Tutucu Modifikasyonlarının Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi, Ankara, (2006).
- [4] Bakır, B., “CNC Freze Tezgahlarında Kullanılan Karbür Parmak Freze Takımı Geometrisinin İşlenebilirliğe Etkilerinin İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı, Makine Eğitimi Programı, İstanbul, (2005).
- [5] Chan, J.W.K.: “Product End-Of-Life Options Selection: Grey Relational Analysis approach”, *International Journal of Production Research*, 46 (2008) 2889-2912.
- [6] Chang, S.C.; Lai, H.C.; Yu, H.C.: “A Variable P Value Rolling Grey Forecasting model for Taiwan Semiconductor Industry Production”, *Technological Forecasting and Social Change*, 72 (2005) 623-640.
- [7] Chen, C.N.; Ting, S.C.: “A study using the grey system theory to evaluate the importance of various service quality factors”, *The International Journal of Quality and Reliability Management*, 19 (6/7) (2002) 838-861.
- [8] Çay, İ.C.: “Tarım Traktörleri Sürücü Koltukları Titreşim Sönümleme Elemanları Üzerine Bir Araştırma”, *Doktora Tezi*, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı, Ankara, (2006).
- [9] Çaydaş, U.; Hasçalık, A.: “Use of The Grey Relational Analysis to Determine Optimum Laser Cutting Parameters With Multi-Performance Characteristics”, *Optics & Laser Technology* 40 (2008) 987–994.

- [10] Çevik, E., “Tornalama İşleminde Kesici Takım Ömrünün İyileştirilmesine Yönelik Alternatif Bir Yaklaşım”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2007).
- [11] Demiray, A.: “Makine Seçim Probleminin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemiyle Çözümü”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2007).
- [12] Hsu, L.C.; Wang, C.H.: “Forecasting Integrated Circuit Output using Multivariate Grey Model and Grey Relational Analysis”, *Expert Systems with Applications*, 36 (2009) 1403-1409.
- [13] Hsu, C.I.; Wen, Y.H.: “Application of Grey Theory and Multiobjective Programming Towards Airline Network Design”, *European Journal of Operational Research*, 127(1) (2000) 44-68.
- [14] Karagöl, T.: “AL 7075 Alaşım Malzemesinin DLC Kaplamalı Kesici Takımlarla CNC Torna Tezgahında İşlenebilirliği”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Makine Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye, (2008).
- [15] Kao, P.S.; Hocheng H.: “Optimization of Electrochemical Polishing of Stainless Steel by Grey Relational Analysis”, *Journal of Materials Processing Technology*, 140 (2003) 255-259.
- [16] Kuo, Y.; Yang T.; Huang, G.W.: “The Use of Grey Relational Analysis in Solving Multiple Attribute Decision-Making Problems”, *Computers & Industrial Engineerig*, 55 (2008) 80-93.
- [17] Lai, H.H.; Lin, Y.C.; Yeh, C.H.: “Form Design of Product Image Using Grey Relational Analysis and Neuralnetwork Models”, *Computers & Operations Research* 32 (2005) 2689–2711.
- [18] Lin, J.L.; Lin, C.L.: “The Use of The Orthogonal Array with Grey Relational Analysis to Optimize The Electrical Discharge Machining Process With Multiple Performance Characteristics”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 42 (2002) 237–244.
- [19] Lin, C. L.: “Use of the Taguchi Method and Grey Relational Analysis to Optimize Turning Operations with Multiple Performance Characteristics”, *Materials And Manufacturing Processes* 19 (2) (2004) 209–220.
- [20] Lin, J.L.; Lin, C.L.: “The Use of Grey-Fuzzy Logic for The Optimization of The Manufacturing Process”, *Journal of Materials Processing Technology*, 160 (2005) 9-14.

- [21] Lin, S.J.; Lu, I.J.; Lewis, C.: “Grey Relation Performance Correlations Among Economics, Energy Use and Carbon Dioxide Emission in Taiwan”, *Energy Policy*, 35 (2007) 1948-1955.
- [22] Liu, S.; Lin, Y.: “Grey Information: Theory and Practical Applications”, *Springer*, (2006) 11-21.
- [23] Lu, H.S.; Chang, C.K.; Hwang, N.C.; Chung, C.T.: “Grey Relational Analysis Coupled With Principal Component Analysis for Optimization Design of The Cutting Parameters in High-Speed End Milling”, *Journal of Materials Processing Technology* 209 (2009) 3808–3817.
- [24] Nas, E.: “Frezeleme İşleminde Kesici Uç Sayısının Titreşim ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi”, *Makine Eğitimi Anabilim Dalında Bilim Uzmanlığı Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Türkiye, (2008).
- [25] Palanikumar, K.; Karunamoorthy, L.; Karthikeyan, R.: “Multiple Performance Optimization of Machining Parameters on the Machining of GFRP Composites Using Carbide (K10) Tool”, *Materials and Manufacturing Processes*, 21 (2006) 846–852.
- [26] Pan, L.K.; Wang, C.C.; Wei, S.L.; Sher, H.F.: “Optimizing Multiple Quality Characteristics Via Taguchi Method-Based Grey Analysis” *Journal of Materials Processing Technology*, 182 (2007) 107-116.
- [27] Singh, P.N.; Raghukandan, K.; Pai B.C.: “Optimization by Grey Relational Analysis of EDM Parameters on Machining Al–10%SiC Composites”, *Journal of Materials Processing Technology*, 155–156 (2004) 1658–1661.
- [28] Song, Q.; Shepperd, M.; Mair, C.: “Using Grey Relational Analysis to Predict Software Effort With Small Data Sets”, *11th IEEE International Software Metrics Symposium*, Como Italy, 35 (2005).
- [29] Şan, S.: “Mikroalaşımli Çeliklerin İşlenebilirliğinin Takım Ömrü ve Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Değerlendirilmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, (2007).
- [30] Tekau, İ.: “Takım Tezgahlarındaki Kesici Takım Titreşiminin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi, Ankara, Ekim (2008).

- [31] Tosun N.: “Determination of Optimum Parameters for Multi-Performance Characteristics in Drilling by Using Grey Relational Analysis”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28 (2006) 450–455.
- [32] Tseng, M.L.: “Using Linguistic Preferences and Grey Relational Analysis to Evaluate The Environmental Knowledge Management Capacity” *Expert Systems with Applications*, (2010) 70–81.
- [33] Tzeng, C.J.; Lin, Y.H.; Yang, Y.K.; Jeng, M.C.: “Optimization of Turning Operations With Multiple Performance Characteristics Using The Taguchi Method and Grey Relational Analysis” *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (2009) 2753–2759.
- [34] Üstünişik, N.Z.: “Türkiye'deki İller ve Bölgeler Bazında Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması: Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ve Uygulaması”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği, *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, Haziran (2007).
- [35] Wang, C.C.L.; Chen, S.F.; Yuen, M.M.F.: “Fuzzy Part Family Formation Based on Grey Relational Analysis”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 18 (2001) 128–132.
- [36] Wei, G.-W.: “GRA Method for Multiple Attribute Decision Making With Incomplete Weight Information in Intuitionistic Fuzzy Setting”, *Knowledge-Based Systems*, 23 (2010) 243–247.
- [37] Wen, K.L.: “Grey Systems: Modeling and Prediction”, *YangSky Scientific Press, Tucson, USA*, (2004) 49-144.
- [38] Wu, C.C.; Chang, N.B.: “Grey Input-Output Analysis and Its Application for Environmental Cost Allocation”, *European Journal of Operational Research*, 145(1) (2003) 175-200.
- [39] Yang, Y.; Wang, S.; Hao, N.; Shen, X.; Qi, X.: “ On-Line Noise Source Identification Based On The Power Spectrum Estimation and Grey Relational Analysis” *Applied Acoustics*, 70 (2009) 493-497.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, soyadı : Esra YILMAZ
Uyruğu : T.C.
Dogum tarihi ve yeri : 16.05.1981/ İSTANBUL
e-mail : yilmazesraa@gmail.com

EĞİTİM

<u>Derece</u>	<u>Eğitim Birimi</u>	<u>Mezuniyet tarihi</u>
Lisans:	Marmara Üniversitesi T.E.F Tasarım ve Konstüksiyon Öğretmenliği	2004

YABANCI DİL

İngilizce