

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BULANIK KÜME UZANTILARININ SÜREÇ YETERLİLİĞİ
ÜZERİNE ETKİSİNİN ANALİZİ

Selin YALÇIN

DOKTORA TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. İhsan KAYA

Mayıs, 2022

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BULANIK KÜME UZANTILARININ SÜREÇ YETERLİLİĞİ ÜZERİNE
ETKİSİNİN ANALİZİ**

Selin YALÇIN tarafından hazırlanan tez çalışması 11.05.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İhsan KAYA
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. İhsan KAYA, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Alev TAŞKIN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Özge Nalan BİLİŞİK, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Emre ÇEVİKCAN, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ufuk CEBECİ, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. İhsan KAYA sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “Bulanık Küme Uzantılarının Süreç Yeterliliği Üzerine Etkisinin Analizi” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Selin YALÇIN

İmza



Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 119K408 numaralı projesi ile desteklenmiştir.



Aileme

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca tüm bilgi ve birikimini büyük bir sabır ile aktaran, bu zorlu süreçte tüm içtenliği ile desteğini üzerimden eksik etmeyen, disiplinli ve sevecen tavırlarıyla kendisini örnek aldığım çok değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. İhsan KAYA'ya sonsuz teşekkür ederim. Tez izleme komitemde yer alan bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım hocalarım sayın Prof. Dr. Alev TAŞKIN ve sayın Prof. Dr. Emre ÇEVİKCAN'a teşekkürlerimi sunarım. Hayatımın her alanında beni destekleyen aileme de teşekkür ederim.

Selin YALÇIN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	ix
KISALTMA LİSTESİ	x
ŞEKİL LİSTESİ	xi
TABLO LİSTESİ	xvii
ÖZET	xviii
ABSTRACT	xx
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Orijinal Katkı	3
2 BULANIK MANTIK	5
2.1 Bulanık Mantığın Tanımı	5
2.2 Bulanık Kümeler	7
2.2.1 Bulanık Kümelerin Temel Özellikleri	8
2.2.2 Bulanık Kümelerde Mantıksal İşlemler	11
2.2.3 Bulanık Kümelerde Üyelik Fonksiyonları	13
2.2.4 Bulanık Kümelerde Durulaştırma	17
3 SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİ	22
3.1 Süreç Yeterlilik Analizinin Tanımı	22
3.2 Süreç Yeterlilik İndeksleri	24
3.2.1 C_p Süreç Yeterlilik İndeksi	25
3.2.2 C_{pk} Süreç Yeterlilik İndeksi	27
3.2.3 C_{pm} Süreç Yeterlilik İndeksi	29
3.2.4 C_{pmk} Süreç Yeterlilik İndeksi	30
3.2.5 C_a Süreç Yeterlilik İndeksi	31
3.2.6 C_{pp} Süreç Yetersizlik İndeksi	32
3.2.7 Gürbüz Süreç Yeterlilik İndeksleri	33

4 LİTERATÜR TARAMASI	35
4.1 Bulanık Süreç Yeterlilik Analizi ile İlgili Literatür Taraması	35
5 BULANIK KÜME UZANTILARI	48
5.1 Bulanık Küme Uzantılarının Tarihçesi	48
5.2 Tip-2 Bulanık Kümeler	48
5.3 Tereddütlü Bulanık Kümeler	52
5.4 Sezgisel Bulanık Kümeler	53
5.5 Pisagor Bulanık Kümeler	57
5.6 Küresel Bulanık Kümeler	65
5.7 Nötrosofik Kümeler	67
6 NÖTROSOFİK KÜMELERİN SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİ ÜZERİNE ETKİLERİ	78
6.1 Nötrosofik Kümeler Kullanılarak Süreç Yeterlilik İndekslerinin Geliştirilmesi	78
6.1.1 Spesifikasyon Limitlerinin Tek Değerli Nötrosofik Sayı Olma Durumu.....	79
6.1.2 Spesifikasyon Limitlerinin Esnek Tek Değerli Nötrosofik Sayı Olma Durumu.....	87
6.1.3 Spesifikasyon Limitlerinin Daha Esnek Tek Değerli Nötrosofik Sayı Olma Durumu	94
6.1.4 Örnek Uygulama	102
6.1.5 Nötrosofik Süreç Yeterlilik İndekslerinin Değerlendirilmesi	114
6.2 Nötrosofik Kümeler Kullanılarak Sürecin Spesifikasyon Limitleri Dışında Kalma Olasılığının Hesaplanması	115
6.2.1 Spesifikasyon Limitlerinin Tek Değerli Nötrosofik Sayı Olma Durumu.....	115
6.2.2 Spesifikasyon Limitlerinin Esnek Tek Değerli Nötrosofik Sayı Olma Durumu.....	134
6.2.3 Spesifikasyon Limitlerinin Daha Esnek Tek Değerli Nötrosofik Sayı Olma Durumu	144
6.2.4 Sürecin Tek Değerli Nötrosofik Spesifikasyon Limitleri Dışında Kalma Olasılığının Değerlendirilmesi	154
7 PİSAGOR BULANIK KÜMELERİN SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİ ÜZERİNE ETKİLERİ	155

7.1 Pisagor Bulanık Kümeler Kullanılarak Süreç Yeterlilik İndekslerinin Geliştirilmesi	155
7.1.1 Klasik Yöntemle Pisagor Bulanık Süreç Yeterlilik İndeksleri	156
7.1.2 Min-Max Yöntemiyle Pisagor Bulanık Süreç Yeterlilik İndeksleri	178
7.1.3 Pisagor Bulanık Kümelerde Netleştirme Yöntemi.....	198
7.1.4 Örnek Uygulama	200
7.1.5 Pisagor Bulanık Süreç Yeterlilik İndekslerinin Değerlendirilmesi	220
8 SONUÇ VE ÖNERİLER	221
KAYNAKÇA	224
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	246



SİMGE LİSTESİ

$\mu_{\tilde{A}}(x)$	Bulanık $\tilde{A}$ Kümesinin Üyelik Fonksiyonu
$\tilde{\tilde{C}}_p$	Nötrosofik Süreç Potansiyel Yeterlilik İndeksi
$\tilde{\tilde{C}}_{pk}$	Nötrosofik Süreç Performans İndeksi
$\tilde{\tilde{C}}_{pm}$	Nötrosofik Taguchi Yeterlilik İndeksi
$\tilde{\tilde{C}}_{pmk}$	Nötrosofik Üçüncü Nesil Süreç Yeterlilik Oranı
$\mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x)$	Nötrosofik $\tilde{\tilde{A}}$ Sayısının Doğruluk Fonksiyonu
$v_{\tilde{\tilde{A}}}(x)$	Nötrosofik $\tilde{\tilde{A}}$ Sayısının Kararsızlık Fonksiyonu
$\lambda_{\tilde{\tilde{A}}}(x)$	Nötrosofik $\tilde{\tilde{A}}$ Sayısının Yanlılık Fonksiyonu
s^2	Örneklem Varyansı
$\tilde{C}_p$	Pisagor Bulanık Süreç Potansiyel Yeterlilik İndeksi
$\tilde{C}_{pk}$	Pisagor Bulanık Süreç Performans İndeksi
$\tilde{C}_{pm}$	Pisagor Bulanık Taguchi Yeterlilik İndeksi
$\tilde{C}_{pmk}$	Pisagor Bulanık Üçüncü Nesil Süreç Yeterlilik Oranı
$\mu_{\tilde{P}}(x)$	Pisagor Bulanık $\tilde{P}$ Sayısının Üye olma Fonksiyonu
$v_{\tilde{P}}(x)$	Pisagor Bulanık $\tilde{P}$ Sayısının Üye Olmama Fonksiyonu
μ	Süreç Ortalaması
σ	Standart Sapma
T	Sürecin Hedef Değeri
$\mu_{\tilde{\tilde{A}}}$	Tip-2 $\tilde{\tilde{A}}$ Bulanık Kümesinin Üyelik Fonksiyonu

KISALTMA LİSTESİ

ASL	Alt Spesifikasyon Limiti
KÇY	Kusurlu Çıktı Yüzdesi
KBK	Küresel Bulanık Kümeler
NSs	Neutrosophic Sets
NPCIs	Neutrosophic Process Capability Indices
NK	Nötrosofik Kümeler
NSYİ	Nötrosofik Süreç Yeterlilik İndeksleri
PBK	Pisagor Bulanık Kümeler
PBSYİ	Pisagor Bulanık Süreç Yeterlilik İndeksleri
PÜBS	Pisagor Üçgen Bulanık Sayı
PYBS	Pisagor Yamuk Bulanık Sayı
PCA	Process Capability Analysis
PCIs	Process Capability Indices
PFSs	Pythagorean Fuzzy Sets
PFPCIs	Pythagorean Fuzzy Process Capability Indices
SBK	Sezgisel Bulanık Kümeler
SLs	Specification Limits
SYA	Süreç Yeterlilik Analizi
SYİ	Süreç Yeterlilik İndeksleri
TNÜNS	Tek Değerli Üçgen Nötrosofik Sayılar
TDNS	Tek Değerli Nötrosofik Sayı
TBK	Tereddütlü Bulanık Kümeler
TNYNS	Tek Değerli Yamuk Nötrosofik Sayılar
T2BK	Tip-2 Bulanık Kümeler
ÜBS	Üçgen Bulanık Sayı
ÜSL	Üst Spesifikasyon Limiti
YBS	Yamuk Bulanık Sayı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Klasik ve bulanık kümenin grafiksel gösterimi	8
Şekil 2.2	Normal ve normal olmayan bulanık küme	9
Şekil 2.3	α -kesim ve zayıf α -kesim kümesi	10
Şekil 2.4	Dışbükey bir bulanık küme	11
Şekil 2.5	İki bulanık kümenin birleşimi	12
Şekil 2.6	İki bulanık kümenin kesişimi	12
Şekil 2.7	Bir bulanık kümenin tümleyeni	13
Şekil 2.8	Bir bulanık kümenin kapsayıcı	13
Şekil 2.9	A Üçgen bulanık sayısı	14
Şekil 2.10	A Yamuk bulanık sayısı	15
Şekil 2.11	Gauss üyelik fonksiyonu	16
Şekil 2.12	Sigmoid üyelik fonksiyonu	16
Şekil 2.13	Genelleştirilmiş çan üyelik fonksiyonu	17
Şekil 2.14	S Üyelik Fonksiyonu	17
Şekil 2.15	En büyük üyelik ilkesi yöntemiyle durulaştırma	18
Şekil 2.16	Sentroid yöntemiyle durulaştırma	18
Şekil 2.17	Ağırlıklı ortalama yöntemiyle durulaştırma	19
Şekil 2.18	Ortalama en büyük üyelik yöntemiyle durulaştırma	20
Şekil 2.19	Toplamların merkezi yöntemiyle durulaştırma	20
Şekil 2.20	En büyük alanın merkezi yöntemiyle durulaştırma	21
Şekil 2.21	En büyük ilk veya son üyelik derecesi yöntemiyle durulaştırma	21
Şekil 3.1	Altı sigmanın normal dağılım grafiğinde gösterimi	23
Şekil 3.2	Farklı μ ve σ değerlerine ait normal dağılım grafiği	25
Şekil 3.3	Spesifikasyon limitleri dışındaki uygunsuz çıktıların yüzdesi	27
Şekil 3.4	C_p ve C_{pk} süreç yeterlilik indeksleri	28
Şekil 4.1	Süreç yeterlilik analizinde bulanık küme uzantıları kullanılarak yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı	45
Şekil 4.2	Bulanık olarak ele alınan parametreler	45

Şekil 4.3 Bulanık süreç yeterlilik analizi çalışmalarında kullanılan bulanık küme türleri.....	46
Şekil 4.4 Bulanık süreç yeterlilik analizi çalışmalarındaki uygulama alanları.....	46
Şekil 5.1 Bulanık küme uzantıları	48
Şekil 5.2 Yamuk aralık tip-2 bulanık kümesinin üyelik fonksiyonları	50
Şekil 5.3 ÜSBS için üye olma ve üye olmama fonksiyonları	55
Şekil 5.4 YSBS için üye olma ve üye olmama fonksiyonları	56
Şekil 5.5 SBS ve PBS uzaylarının karşılaştırılması	59
Şekil 5.6 PÜBS için doğruluk ve yanlışlık üyelik fonksiyonları	64
Şekil 6.1 TDÜN olarak <i>ASL</i> ve <i>ÜSL</i> 'nin üyelik fonksiyonları.....	80
Şekil 6.2 TDYN olarak <i>ASL</i> ve <i>ÜSL</i> 'nin üyelik fonksiyonları	80
Şekil 6.3 TDÜN olarak <i>Cp</i> indeksinin üyelik fonksiyonları	81
Şekil 6.4 TDYN olarak <i>Cp</i> indeksinin üyelik fonksiyonları	82
Şekil 6.5 TDÜN olarak <i>Cpk</i> indeksinin üyelik fonksiyonları.....	83
Şekil 6.6 TDYN olarak <i>Cpk</i> indeksinin üyelik fonksiyonları	84
Şekil 6.7 TDÜN olarak <i>Cpm</i> indeksinin üyelik fonksiyonları	84
Şekil 6.8 TDYN olarak <i>Cpm</i> indeksinin üyelik fonksiyonları	85
Şekil 6.9 TDÜN olarak <i>Cpmk</i> indeksinin üyelik fonksiyonları	86
Şekil 6.10 TDYN olarak <i>Cpmk</i> indeksinin üyelik fonksiyonları	87
Şekil 6.11 Esnek TDÜN olarak <i>ASL</i> ve <i>ÜSL</i> 'nin üyelik fonksiyonları	88
Şekil 6.12 Esnek TDYN olarak <i>ASL</i> ve <i>ÜSL</i> 'nin üyelik fonksiyonları	88
Şekil 6.13 Esnek TDÜN olarak <i>Cp</i> indeksinin üyelik fonksiyonları	89
Şekil 6.14 Esnek TDYN olarak <i>Cp</i> indeksinin üyelik fonksiyonları	89
Şekil 6.15 Esnek TDÜN olarak <i>Cpk</i> indeksinin üyelik fonksiyonları.....	90
Şekil 6.16 Esnek TDYN olarak <i>Cpk</i> indeksinin üyelik fonksiyonları	91
Şekil 6.17 Esnek TDÜN olarak <i>Cpm</i> indeksinin üyelik fonksiyonları	92
Şekil 6.18 Esnek TDYN olarak <i>Cpm</i> indeksinin üyelik fonksiyonları	93
Şekil 6.19 Esnek TDÜN olarak <i>Cpmk</i> indeksinin üyelik fonksiyonları	93
Şekil 6.20 Esnek TDYN olarak <i>Cpmk</i> indeksinin üyelik fonksiyonları	94
Şekil 6.21 Daha esnek TDÜN olarak <i>ASL</i> ve <i>ÜSL</i> 'nin üyelik fonksiyonları.....	95
Şekil 6.22 Daha esnek TDYN olarak <i>ASL</i> ve <i>ÜSL</i> 'nin üyelik fonksiyonları	95

Şekil 6.23 Daha esnek TDÜN olarak Cp indeksinin üyelik fonksiyonları	96
Şekil 6.24 Daha esnek TDYN olarak Cp indeksinin üyelik fonksiyonları.....	97
Şekil 6.25 Daha esnek TDÜN olarak Cpk indeksinin üyelik fonksiyonları	98
Şekil 6.26 Daha esnek TDYN olarak Cpk indeksinin üyelik fonksiyonları	99
Şekil 6.27 Daha esnek TDÜN olarak Cpm indeksinin üyelik fonksiyonları	99
Şekil 6.28 Daha esnek TDYN olarak Cpm indeksinin üyelik fonksiyonları	100
Şekil 6.29 Daha esnek TDÜN olarak $Cpmk$ indeksinin üyelik fonksiyonları	101
Şekil 6.30 Daha esnek TDYN olarak $Cpmk$ indeksinin üyelik fonksiyonları	102
Şekil 6.31 Üretilen dişlinin ebatları	103
Şekil 6.32 TDÜN olarak tanımlanan ASL 'nin (α, β, φ) kesimleri.....	116
Şekil 6.33 TDÜN olarak tanımlanan $ÜSL$ 'nin (α, β, φ) kesimleri.....	116
Şekil 6.34 TDYN olarak tanımlanan ASL 'nin (α, β, φ) kesimleri	120
Şekil 6.35 TDYN olarak tanımlanan $ÜSL$ 'nin (α, β, φ) kesimleri	120
Şekil 6.36 TDÜN olarak tanımlanan ASL 'nin (α, β, φ) kesimleri.....	124
Şekil 6.37 TDÜN olarak tanımlanan $ÜSL$ 'nin (α, β, φ) kesimleri.....	124
Şekil 6.38 TDÜN olarak tanımlanan PNL, d değeri	124
Şekil 6.39 TDÜN olarak tanımlanan PNr, d değeri	125
Şekil 6.40 TDYN olarak tanımlanan ASL 'nin (α, β, φ) kesimleri	129
Şekil 6.41 TDYN olarak tanımlanan $ÜSL$ 'nin (α, β, φ) kesimleri.....	129
Şekil 6.42 TDYN olarak tanımlanan PNL, d değeri	129
Şekil 6.43 TDYN olarak tanımlanan PNr, d değeri.....	130
Şekil 6.44 Esnek TDÜN olarak tanımlanan ASL 'nin (α, β, φ) kesimleri	134
Şekil 6.45 Esnek TDÜN olarak tanımlanan $ÜSL$ 'nin (α, β, φ) kesimleri	134
Şekil 6.46 Esnek TDÜN olarak tanımlanan PNL, d değeri.....	135
Şekil 6.47 Esnek TDÜN olarak tanımlanan PNr, d değeri	135
Şekil 6.48 Esnek TDYN olarak tanımlanan ASL 'nin (α, β, φ) kesimleri.....	139
Şekil 6.49 Esnek TDYN olarak tanımlanan $ÜSL$ 'nin (α, β, φ) kesimleri.....	139
Şekil 6.50 Esnek TDYN olarak tanımlanan PNL, d değeri	140
Şekil 6.51 Esnek TDYN olarak tanımlanan PNr, d değeri.....	140
Şekil 6.52 Daha esnek TDÜN olarak tanımlanan ASL 'nin (α, β, φ) kesimleri....	144
Şekil 6.53 Daha esnek TDÜN olarak tanımlanan $ÜSL$ 'nin (α, β, φ) kesimleri....	144

Şekil 6.54 Daha esnek TDÜN olarak tanımlanan PNL, d değeri	145
Şekil 6.55 Daha esnek TDÜN olarak tanımlanan PNr, d değeri.....	145
Şekil 6.56 Daha esnek TDYN olarak tanımlanan ASL 'nin (α, β, φ) kesimleri	149
Şekil 6.57 Daha esnek TDYN olarak tanımlanan $ÜSL$ 'nin (α, β, φ) kesimleri	149
Şekil 6.58 Daha esnek TDYN olarak tanımlanan PNL, d değeri	150
Şekil 6.59 Daha esnek TDYN PNr, d değeri	150
Şekil 7.1 PÜB olarak ASL ve $ÜSL$ 'nin üyelik fonksiyonları.....	157
Şekil 7.2 PÜB olarak μ_p ve σ 'nın üyelik fonksiyonları	157
Şekil 7.3 PÜB olarak T 'nin üyelik fonksiyonları	157
Şekil 7.4 PYB olarak ASL ve $ÜSL$ 'nin üyelik fonksiyonları	158
Şekil 7.5 PYB olarak μ_p ve σ 'nın üyelik fonksiyonları.....	158
Şekil 7.6 PYB olarak T 'nin üyelik fonksiyonları.....	158
Şekil 7.7 PÜB olarak Cp indeksinin üyelik fonksiyonları	159
Şekil 7.8 PYB olarak Cp indeksinin üyelik fonksiyonları	160
Şekil 7.9 PÜB olarak Cpk indeksinin üyelik fonksiyonları	161
Şekil 7.10 PYB olarak Cpk indeksinin üyelik fonksiyonları	162
Şekil 7.11 PÜB olarak Cpm indeksinin üyelik fonksiyonları	163
Şekil 7.12 PYB olarak Cpm indeksinin üyelik fonksiyonları	164
Şekil 7.13 PÜB olarak $Cpmk$ indeksinin üyelik fonksiyonları	166
Şekil 7.14 PYB olarak $Cpmk$ indeksinin üyelik fonksiyonları	167
Şekil 7.15 Esnek PÜB olarak ASL ve $ÜSL$ 'nin üyelik fonksiyonları.....	168
Şekil 7.16 Esnek PÜB olarak μ_p ve σ 'nın üyelik fonksiyonları	168
Şekil 7.17 Esnek PÜB olarak T 'nin üyelik fonksiyonları	168
Şekil 7.18 Esnek PYB olarak ASL ve $ÜSL$ 'nin üyelik fonksiyonları	169
Şekil 7.19 Esnek PYB olarak μ_p ve σ 'nın üyelik fonksiyonları	169
Şekil 7.20 Esnek PYB olarak T 'nin üyelik fonksiyonları.....	169
Şekil 7.21 Esnek PÜB olarak Cp indeksinin üyelik fonksiyonları	170
Şekil 7.22 Esnek PYB olarak Cp indeksinin üyelik fonksiyonları	171
Şekil 7.23 Esnek PÜB olarak Cpk indeksinin üyelik fonksiyonları	172
Şekil 7.24 Esnek PYB olarak Cpk indeksinin üyelik fonksiyonları	173
Şekil 7.25 Esnek PÜB olarak Cpm indeksinin üyelik fonksiyonları	174

Şekil 7.26 Esnek PYB olarak C_{pm} indeksinin üyelik fonksiyonları	175
Şekil 7.27 Esnek PÜB olarak C_{pmk} indeksinin üyelik fonksiyonları.....	177
Şekil 7.28 Esnek PYB olarak C_{pmk} indeksinin üyelik fonksiyonları	178
Şekil 7.29 Min-Max yöntemiyle PÜB olarak ASL ve $ÜSL$ 'nin üyelik fonksiyonları	179
Şekil 7.30 Min-Max yöntemiyle PÜB olarak μ_p ve σ 'nın üyelik fonksiyonları ...	179
Şekil 7.31 Min-Max yöntemiyle PÜB olarak T 'nin üyelik fonksiyonları	180
Şekil 7.32 Min-Max yöntemiyle PYB olarak ASL ve $ÜSL$ 'nin üyelik fonksiyonları	180
Şekil 7.33 Min-Max yöntemiyle PYB olarak μ_p ve σ 'nın üyelik fonksiyonları ..	180
Şekil 7.34 Min-Max yöntemiyle PYB olarak T 'nin üyelik fonksiyonları.....	181
Şekil 7.35 Min-Max yöntemiyle PÜB olarak C_p indeksinin üyelik fonksiyonları	181
Şekil 7.36 Min-Max yöntemiyle PYB olarak C_p indeksinin üyelik fonksiyonları	182
Şekil 7.37 Min-Max yöntemiyle PÜB olarak C_{pk} indeksinin üyelik fonksiyonları	183
Şekil 7.38 Min-Max yöntemiyle PYB olarak C_{pk} indeksinin üyelik fonksiyonları	184
Şekil 7.39 Min-Max yöntemiyle PÜB olarak C_{pm} indeksinin üyelik fonksiyonları	185
Şekil 7.40 Min-Max yöntemiyle PYB olarak C_{pm} indeksinin üyelik fonksiyonları	185
Şekil 7.41 Min-Max yöntemiyle PÜB olarak C_{pmk} indeksinin üyelik fonksiyonları	186
Şekil 7.42 Min-Max yöntemiyle PYB olarak C_{pmk} indeksinin üyelik fonksiyonları	187
Şekil 7.43 Min-Max yöntemiyle esnek PÜB olarak ASL ve $ÜSL$ 'nin üyelik fonksiyonları	188
Şekil 7.44 Min-Max yöntemiyle esnek PÜB olarak μ_p ve σ 'nın üyelik fonksiyonları	188
Şekil 7.45 Min-Max yöntemiyle esnek PÜB olarak T 'nin üyelik fonksiyonları ..	188
Şekil 7.46 Min-Max yöntemiyle esnek PYB olarak ASL ve $ÜSL$ 'nin üyelik fonksiyonları	189

Şekil 7.47 Min-Max yöntemiyle esnek PÜB olarak μ_p ve σ 'nın üyelik fonksiyonları	189
Şekil 7.48 Min-Max yöntemiyle esnek PYB olarak T 'nin üyelik fonksiyonları...	190
Şekil 7.49 Min-Max yöntemiyle esnek PÜB olarak C_p indeksinin üyelik fonksiyonları	190
Şekil 7.50 Min-Max yöntemiyle esnek PYB olarak C_p indeksinin üyelik fonksiyonları	191
Şekil 7.51 Min-Max yöntemiyle esnek PÜB olarak C_{pk} indeksinin üyelik fonksiyonları	192
Şekil 7.52 Min-Max yöntemiyle esnek PYB olarak C_{pk} indeksinin üyelik fonksiyonları	193
Şekil 7.53 Min-Max yöntemiyle esnek PÜB olarak C_{pm} indeksinin üyelik fonksiyonları	194
Şekil 7.54 Min-Max yöntemiyle esnek PYB olarak C_{pm} indeksinin üyelik fonksiyonları	195
Şekil 7.55 Min-Max yöntemiyle esnek PÜB olarak C_{pmk} indeksinin üyelik fonksiyonları	196
Şekil 7.56 Min-Max yöntemiyle esnek PYB olarak C_{pmk} indeksinin üyelik fonksiyonları	197

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1	<i>Cp</i> değerleri ve kalite seviyeleri	27
Tablo 3.2	<i>Cpk</i> değerleri ve kalite seviyeleri	29
Tablo 3.3	<i>Cpmk</i> değerleri ve kalite seviyeleri	31
Tablo 3.4	<i>Ca</i> değerleri ve karşılık gelen μ aralığı	32
Tablo 3.5	<i>Cpp</i> değerleri ve kalite seviyeleri	33
Tablo 4.1	Bulanık süreç yeterlilik analizi çalışmalarının değerlendirilmesi	41
Tablo 6.1	TDNS olarak elde edilen NSYİ değerleri.....	106
Tablo 6.2	Esnek TDNS olarak elde edilen NSYİ değerleri	109
Tablo 6.3	Daha esnek TDNS olarak elde edilen NSYİ değerleri.....	114
Tablo 6.4	TDÜN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri	117
Tablo 6.5	TDYN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri	121
Tablo 6.6	TDÜN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri	126
Tablo 6.7	TDYN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri	131
Tablo 6.8	Esnek TDÜN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri	136
Tablo 6.9	Esnek TDYN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri	141
Tablo 6.10	Daha esnek TDÜN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri.....	146
Tablo 6.11	Daha esnek TDYN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri.....	151
Tablo 7.1	PBS olarak elde edilen PBSYİ değerleri	206
Tablo 7.2	Esnek PBS olarak elde edilen PBSYİ değerleri	212
Tablo 7.3	Min-Max yöntemiyle PBS olarak elde edilen PBSYİ değerleri.....	215
Tablo 7.4	Min-Max yöntemiyle esnek PBS olarak elde edilen PBSYİ değerleri	219

Bulanık Küme Uzantılarının Süreç Yeterliliği Üzerine Etkisinin Analizi

Selin YALÇIN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. İhsan KAYA

Süreç yeterlilik analizi (SYA), bir sürecin önceden belirlenen spesifikasyon limitlerini karşılama kabiliyetinin istatistiksel olarak ölçülmesidir. İşletmelerin istenilen kalitede çıktı üretebilmeleri için sürecin yeterliliğini düzenli olarak analiz etmeleri ve çıkan sonuçları doğru yorumlamaları gerekmektedir. Süreç yeterlilik indeksleri (SYİ), sürecin kalitesinin iyileştirilebilmesini sağlayan önemli tekniklerden biridir. SYİ'nin doğru tanımlanmaması durumunda hatalı sonuçlarla karşılaşmaktadır. Spesifikasyon limitleri (SL), ortalama (μ) ve varyans (σ^2) gibi SYİ'nin temel parametrelerinin uzman değerlendirmeleri, zaman, maliyet, örnek alma zorluğu ve süreç içerisindeki diğer belirsizlikler nedeniyle kesin değerlerden ziyade bulanık küme ve uzantılarının sağladığı esneklikten yararlanılarak tanımlanması, SYİ'nin daha hassas ve daha fazla bilgi içeren sonuçlar vermesine imkân sağlamaktadır.

Bulanık küme uzantıları belirsiz, eksik ve tutarsız bilgi içeren durumların modellenmesinde önemli bir yere ve yeteneğe sahiptir. Bu tez çalışması kapsamında, bulanık küme uzantılarının süreç yeterliliğini ölçmede yaygın olarak kullanılan C_p , C_{pk} , C_{pm} ve C_{pmk} indeksleri üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. İlk

aşamada nôtrosofik kümeler (NK) kullanılarak spesifikasyon limitlerinin nôtrosofik olma durumu incelenmiş ve nôtrosofik süreç yeterlilik indeksleri (NSYİ) $(\tilde{C}_p)$, $(\tilde{C}_{pk})$, $(\tilde{C}_{pm})$ ve $(\tilde{C}_{pmk})$ türetilmiştir. NSYİ doğruluk, kararsızlık ve yanlışlık üyelik fonksiyonlarıyla ifade edildiğinden sürecin tüm olası değerlerini içermektedir. Bu geniş bilgi yelpazesi, süreç mühendislerinin süreci takip etmesini kolaylaştırmaktadır. Sürecin değerlendirilmesinde de daha fazla esneklik sağlamaktadır. Bu esneklikten yararlanarak sürecin spesifikasyon limitleri dışına çıkma olasılığı NK yardımıyla hesaplanmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında aynı zamanda, Pisagor bulanık kümeler (PBK) kullanılarak SYİ'nin temel parametreleri tanımlanmış ve Pisagor bulanık süreç yeterlilik indeksleri (PBSYİ) $(\tilde{C}_p)$, $(\tilde{C}_{pk})$, $(\tilde{C}_{pm})$ ve $(\tilde{C}_{pmk})$ türetilmiştir. PBSYİ üye olma ve üye olmama fonksiyonlarını içerdiğinden süreç hakkında daha fazla bilgi sahibi olunmasına ve daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

Böylece, literatürde henüz ele alınmayan NK ve PBK ile SYİ üzerine analiz eksikliği giderilmeye çalışılmıştır. SYİ'nin tek bir üyelik fonksiyonu yerine birden fazla üyelik fonksiyonuyla tanımlanması, sürecin daha geniş ve daha esnek bir şekilde değerlendirilmesine imkân sağlamıştır. Elde edilen sonuçlar, bu yaklaşımların daha fazla bilgi içerdiği ve daha esnek yapıda olduğunu ortaya koymuştur. Bu da, bulanık küme uzantılarının süreç yeterliliğinin analiz edilmesinde etkili bir yaklaşım olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Süreç yeterlilik analizi, süreç yeterlilik indeksi, nôtrosofik kümeler, Pisagor bulanık kümeler

Analysis for Effects of Fuzzy Set Extensions on Process Capability

Selin YALÇIN

Department of Industrial Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Supervisor: Prof. Dr. İhsan KAYA

Process capability analysis (PCA) is a statistical measurement for the ability of a process to meet predetermined specification limits (SLs). Companies should regularly analyze the capability of the process and interpret results obtained correctly to produce output with desired quality. Process capability indices (PCIs) are one of the most used the techniques that enable to improve the quality of the process. The results may be incorrect if the PCIs are not defined properly. Defining of main parameters of PCIs such as SLs, mean (μ) and variance (σ^2) by using the flexible of fuzzy set extensions rather than precise values due to uncertainty, time, cost, inspector's hesitancy and sampling difficulty is valuable for PCIs to contain more sensitive and more information.

Fuzzy set extensions have an important role in modelling the case that include uncertainty, incomplete and inconsistent information. In the thesis, the effects of fuzzy set extensions on the indices C_p , C_{pk} , C_{pm} and C_{pmk} that are widely used to calculate the capability of the process are analyzed. Firstly, PCA has been analyzed based on neutrosophic sets (NSs). For this aim, SLs have been re-considered by defining on NSs. PCIs have been re-formulated with respect to NSs and the

neutrosophic indices $(\tilde{\check{C}}_p)$, $(\tilde{\check{C}}_{pk})$, $(\tilde{\check{C}}_{pm})$ and $(\tilde{\check{C}}_{pmk})$ have been derived. As a result, the neutrosophic process capability indices (NPCIs) have been obtained. These indices have also been applied and confirmed on some numerical examples based on real case. The NPCIs show all possible values of PCIs with functions of truth, indeterminacy and falsity. This wide range of information makes it easy for quality inspectors to follow the process. The calculation of PCIs by neutrosophic numbers provides more flexibility and more sensitiveness on the PCA. Taking advantage of this flexibility, the probability of the process going outside of SLs has also calculated by using NSs.

Additionally, in this study, the main parameters of PCIs have been also analyzed by using Pythagorean fuzzy sets (PFSs) and Pythagorean fuzzy process capability indices (PFPCIs) $(\tilde{C}_p)$, $(\tilde{C}_{pk})$, $(\tilde{C}_{pm})$ and $(\tilde{C}_{pmk})$ have been derived. Since the PFPCIs are defined by membership and non-membership functions, they provides wider knowledge about capability of process and to obtain more realistic results.

The effects of NSs and PFSs on PCIs haven't analyzed in the literature. Thus, this deficiency has been eliminated. Defining PCIs with more than one membership function instead of an only one membership function is enable to evaluate the process more broadly more flexibility. The results obtained that these approaches contain more information and more flexible. It is shown that fuzzy set extensions to be an effective approach on PCA.

Keywords: Process capability analysis, process capability index, neutrosophic sets, Pythagorean fuzzy sets

1.1 Literatür Özeti

Süreç yeterlilik analizi (SYA), bir üretim sürecinin ürün gereksinimlerine veya spesifikasyon limitlerine göre nasıl performans gösterdiğinin analiz edilmesini sağlayan istatistiksel yöntemdir [1]. Kalite kontrolör, veri toplama sırasında süreç hakkındaki değerlendirmelerini tam anlamıyla ifade edememekte veya tereddütte kalabilmektedir. Süreç içerisinde ölçüm sisteminden ya da kalite kontrolör faktöründen kaynaklı bir takım belirsizlikler yaşanabilmektedir. Bu belirsizlikler nedeniyle süreç parametrelerinin kesin sayılarla tanımlanması, süreç performans değerlendirmesinde etkili sonuçlar vermemektedir. Belirsizlik içeren karmaşık problemlerin modellenmesinde bulanık kümeler kullanılmaktadır. Bazı durumlarda belirsizliğin modellenmesinde bulanık kümelerin revize edilmesi daha uygun olmaktadır. Literatürde bulanık kümelerin çeşitli uzantıları yer almaktadır. Tip-2 bulanık kümeler, tereddütlü bulanık kümeler, Pisagor bulanık kümeler, nütrosifik kümeler bulanık küme uzantılarındanır. Bulanık küme uzantıları belirsizliğin modellenmesindeki avantajlarından dolayı bazı çalışmalarda kullanılmıştır. Kaya ve Çolak [2] bulanık süreç yeterlilik analizi (BSYA) üzerine yapılan çalışmaları incelemişlerdir. Bu çalışmaların büyük çoğunluğunun tip-1 bulanık kümeler (geleneksel bulanık kümeler) üzerine olduğu sonucuna varmışlardır. Bulanık küme uzantıları kullanılarak yapılan çalışmaların literatürde oldukça sınırlı sayıda olduğu görülmüştür. Yalçın ve Kaya [3] spesifikasyon limitlerini nütrosifik kümelerle tanımlayarak nütrosifik $\tilde{C}_{pm}$ ve $\tilde{C}_{pmk}$ indekslerini literatüre kazandırmışlardır. Chen ve Hung [4] spesifikasyon limitlerinin tip-2 bulanık kümeler olduğu durumda, $\widetilde{C''_{pp}}$ bulanık süreç yetersizlik indeksini önermişlerdir. Haktanır ve Kahraman [5] sezgisel bulanık kümelerin (SBK) bir uzantısı olan Pentagor bulanık kümeleri geliştirerek C_p ve C_{pk} indekslerine uygulamışlardır. Haktanır ve Kahraman [6] cerrahi maske üretiminde kullanılan iki makinenin süreç yeterlilik analizini Pentagor bulanık $\tilde{C}_p$

ve $\tilde{C}_{pk}$ indeksleriyle incelemişlerdir. Aslam ve Albassam [7] nötrosofik istatististiği kullanarak bir  rneklem  planı sunmuşlardır. Nötrosofik ortalama ve standart sapmayı dikkate alarak $\hat{C}_{Npk}$ indeksini geliştirmişlerdir. Nötrosofik istatistiklere dayanan  rneklem  planı ile klasik istatistiklere dayanan  rneklem  planını karşılaştırmışlardır. Hesamian ve Akbari [8] spesifikasyon limitlerini (SL), süreç ortalamasını (μ) ve hedef değeri (T), SBK yardımıyla tanımlayarak $\hat{C}_{pm}$ indeksini hesaplamışlardır. Kahraman vd. [9] spesifikasyon limitlerinin SBK kullanılarak tanımlanması durumunda, $\tilde{C}_p$, $\tilde{C}_{pk}$ ve $\tilde{C}_{pm}$ indekslerini elde etmişlerdir. Parchami vd. [10] süreç yeterliliğini hesaplamak için spesifikasyon limitlerini aralık tip-2 bulanık k m lerle tanımlayarak $\tilde{\tilde{C}}_p$, $\tilde{\tilde{C}}_{pk}$ ve $\tilde{\tilde{C}}_{pm}$ indekslerini geliştirmişlerdir. Cao vd. [11] çok değişkenli süreç yeterlilik indeksini SBK yardımıyla hesaplamışlardır. Senvar ve Kahraman [12] normal olmayan süreçlerin yeterliliğini analiz edebilmek için aralık tip-2 bulanık k m leri kullanarak $\tilde{\tilde{C}}_p$ ve $\tilde{\tilde{C}}_{pk}$ indekslerini geliştirmişlerdir. Bölüm 4'te BSYA  zerine yapılan çalışmalar detaylıca incelenmiştir. Bu tez çalışmasında, literatürden farklı olarak bulanık küme uzantılarının süreç yeterliliği üzerine etkileri analiz edilmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Gerçek hayat problemlerinin büyük çoğunluğunda belirsizlik durumu h kimdir ve geleneksel yaklaşımlar bu durumda başarılı olamamaktadır. Bir ürünün spesifikasyon limitlerinin belirlenmesinde rol oynayan kalite denetçilerinin düşünce yapısının sübjektif olması veya üretimde her bir süreçten elde edilen numunelerin kalite kontrolü yapılırken, ölçüm değerlerindeki belirsizlikten ya da kontrolör faktöründen kaynaklanan bazı ölçüm hataları nedeniyle sürecin etkin olarak analiz ve takibi yapılamamaktadır. Tip-1 bulanık k m ler (geleneksel bulanık k m ler), yeterli bilgiye sahip olunmaması durumunda, kalite denetçilerinin görüşlerinin tam olarak aktarılamamasına veya süreç hakkında yeterli bilgiye sahip olunamamasına neden olabilmektedir. Bu k m ler belirsizliği modellemede çok etkin araçlar olmasına rağmen bazı durumlarda yetersiz kalabilmekte ve/veya modelleme için daha etkin araçlara ihtiyaç

duyabilmektedirler. Bu durumu ortadan kaldırmak amacıyla spesifikasyon limitleri insanın düşünce yapısına en yakın ve belirsizliği modellemede diğer kümelerle göre daha başarılı olan NK kullanılarak tanımlandığında ürünün süreci hakkında daha esnek, daha gerçekçi ve daha doğru kararlar vermemizi sağlamaktadır. NK'nin belirsizliği tanımlamadaki üç aşamalı gösteriminin daha etkin ve detaylı sonuçlar verebileceği düşünülmektedir. Kalite denetçileri, spesifikasyon limitlerini tanımlarken doğruluk üyelik derecesinin yanında kararsızlık ve yanlışlık üyelik derecelerini de belirttiği için sübjektifliği minimum seviyeye indirerek SYA'nın etkinliğinin artmasına sebep olmaktadır. Böylelikle, spesifikasyon limitleri dışında kalan kusurlu ürün sayısının azaltılması da sağlanmaktadır. Bununla beraber, süreç parametrelerinin Pisagor bulanık kümeler (PBK) kullanılarak analiz edilmesi de sürecin yeterliliğinin değerlendirilmesinde yarar sağlayacaktır. Süreç parametrelerinin PBK olarak tanımlanması, belirsizliğin azalmasına ve SYA'nın daha doğru sonuçlar vermesine neden olmaktadır. Bu kapsamda tez çalışması dâhilinde SYA'nın etkinlik ve verimlilik değerlerinin daha da artırılması ve süreç belirsizliğinin daha iyi bir şekilde modele katılabilmesi için nütrosifik ve Pisagor bulanık kümeler kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir.

1.3 Orijinal Katkı

Bulanık küme uzantılarıyla geliştirilen süreç yeterlilik indekslerinin geleneksel süreç yeterlilik indekslerine göre daha esnek olması gerçek hayat problemlerinde uygulama kolaylığı sağlamakta, süreç yeterliliği hakkında daha çok bilgi içermesi gerçekçi analizlerin yapılabilmesine imkân tanımakta ve kalite denetçilerinin süreç parametrelerini tanımlarken sübjektif düşünce yapısından dolayı oluşabilecek belirsizliği daha iyi modellemesiyle ortadan kaldırılmasını sağlamaktadır. Böylelikle, sürecin spesifikasyon limitlerinin dışında kalma olasılığı azalacaktır. Bu durum, hatalı ürün sayısının azalmasına ve süreç çıktılarının daha fazla miktarda istenilen spesifikasyon limitleri arasında üretilmesine imkân sağlamaktadır. Spesifikasyon limitleri, müşterinin beklentilerini karşılayacak bir ürünün üretilmesi için önceden belirlenen bir takım kurallardır. Ölçüm sisteminin farklı olması, ölçüm aletlerinin hassasiyeti ya da kontrolör faktöründen

kaynaklı ölçüm hatalarının olduğu durumlarda, sürecin spesifikasyon limitlerinin kesin değerlerle hesaplanması sürecin yeterliliğini doğru analiz etmemizi zorlaştıracaktır. İnsan düşünce yapısından kaynaklı belirsizliğin meydana geldiği durumlarda insanın düşünce yapısını modellemede tip-1 bulanık kümelere göre daha başarılı olan bulanık küme uzantılarının süreç parametrelerinin tanımlanmasında kullanılması SYA'ya esneklik, hassasiyet ve gerçeklik kazandırmıştır. Bu kapsamda henüz literatürde uygulama alanı bulmamış olan nötrosifik ve Pisagor bulanık kümelerin kullanılması önemli bir akademik orjinallik sağlayacaktır.



2.1 Bulanık Mantığın Tanımı

Günlük hayatta bir şeyi tanımlarken veya herhangi bir olayı açıklarken kullandığımız ifadeler bulanıklık içermektedir. Uzun, kısa, yaşlı, genç, parçalı bulutlu, çok sıcak, az şekerli kahve gibi ifadeler bulanıklık kavramına örnek olarak gösterilebilir. Bulanık ifadeler, kesinlik içermezler. İnsan beyni, belirsizlik ve kesinlik içermeyen olaylar karşısında bulanık ifadeleri sıkça kullanmaktadır [13]. Bu sebeple, insanın aldığı kararları kesin sayısal değerlerle ifade etmek mümkün olmamaktadır. İnsan kararlarının modellenmesi yapılırken sözel ifadeleri kullanmak modelin daha gerçekçi olmasını sağlamakta ve doğruluğunu arttırmaktadır. Bulanık mantığı diğer sistemlerden ayıran en önemli özellik sözel olarak ifade edilmesini sağlayan değişkenlerin kullanılmasına olanak sağlamasıdır [14]. Belirsizliğin günlük yaşantımızda çok fazla yer alması matematikçilerin matematiksel olarak belirsizliğin ifade edilmesi üzerinde çalıştıkları önemli bir konu haline gelmiştir. Matematikçilerin belirsizlik kavramına bu denli önem vermelerinin sonucu olarak bulanık küme kuramı ortaya atılmıştır. Önceleri genellikle belirsizlik olasılık yöntemleri ile incelenmektedir. 1960'lı yıllarda kullanılan olasılık yöntemleri tekrardan gözden geçirilmiş ve bazı eleştiriler yapılmıştır. Bu eleştiriler ışığında, olasılık yöntemleri yerine kullanılabilecek yöntemlerin geliştirilebilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Bulanık küme kuramı, daha önceki çalışmalara alternatif olarak ortaya çıkmıştır [15].

Zadeh [16] tarafından önerilen bulanık küme teorisi, bulanıklık ve belirsizlik durumlarının dilsel olarak ifade edilebilmesini sağlamıştır [17]. Belirsizlik, karmaşıklık, tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına bulanık kaynaklar denilmektedir. Bulanık mantık, bu tür belirsizlik içeren ve kesin olmayan bilgilere

dayanarak tutarlı ve doğru sonuçlar vermeyi sağlayan düşünce ve karar mekanizmasıdır [18].

Bulanık mantıkta yer alan her bir ifadenin $[0,1]$ arasında belli bir dereceleyle tanımlanması, her şeyin derecelendirilebilmesi, bir mantıksal sistemin bulanık hale getirilebilmesi, kesin karar verme yerine yaklaşık karar vermenin söz konusu olması, bulanık çıkarımların sözel ifadelerde tanımlanan kurallarla yapılması, kavramsal olarak anlaşılması kolay ve esnek bir yapıya sahip olması, uzmanların deneyimlerini dikkate alması, matematiksel olarak tanımlanması zor olan sistemler için uygun bir yapıya sahip olması bulanık mantığın temel özelliklerindendir. Bulanık mantığın avantajları olarak insanın düşünce yapısına yakın görülmesi, sözel ifadelerin kullanılmasına olanak sağlaması, gerekli kurallar ve kararların minimum seviyede olması, anlaşılabilir ve basit olmasından dolayı çözülmesi zor problemlerin çözülmesini sağlaması, bilgi gösteriminin kolay olması, sistemin tasarımına başlanmadan önce çok fazla bilgiye gerek olmadığından prototip oluşturmanın kolay olması gibi özellikler gösterilebilmektedir. Bulanık mantığın dezavantajları olarak ise kullanılan kuralların mutlaka alanında uzman kişilerin deneyimlerine bağlı kalınarak tanımlanması, bulanık sistemden model geliştirmenin zor olması, prototip oluşturmak kolay ancak kullanılmadan önce ince ayarlar ve benzetimler yapılmasının gerekli olması, üyelik fonksiyonlarının seçimi belli bir yöntemle değil deneme-yanılma yöntemiyle yapılması gibi özellikler gösterilebilmektedir [19].

Bulanık mantık birçok uygulama alanında kullanılmaktadır. Matsushia, Nissan, Mitsubishi, Sony gibi şirketler bulanık yöntemleri ürünlerinde uygulamışlardır. Yıkama gereken çamaşırları değerlendirerek uygun olan deterjanı ve yıkama şeklini seçebilen çamaşır makineleri, merceklerini otomatik olarak belirleyen video kameralar, bulunduğu ortamın durumu ve kirliliğine göre motor gücünü değiştiren elektrikli süpürgeler, ekranın parlaklık, kontrast ve rengini ayarlayabilen televizyonlar, ortam koşullarını değerlendirerek en iyi performansı sunan klima cihazları üretilmiştir [17]. Doğrusal ve doğrusal olmayan

programlama, dinamik programlama, oyun teorisi, çok amaçlı karar verme ve şebeke analizi gibi problemlerin çözümünde de kullanılmaktadır [20].

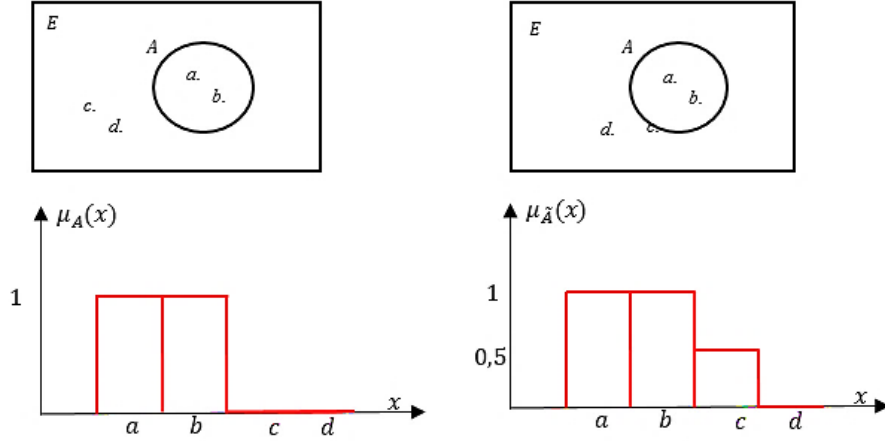
2.2 Bulanık Kümeler

Bulanık küme teorisi, belirsizliğin hâkim olduğu ortamlarda doğru karar vermeyi sağlayan belirsiz veya kesinlik içermeyen karar süreçlerine matematiksel olarak bir kesinlik kazandıran yöntemlerin bütünüdür. Bulanık küme teorisinin amacı, belirsizlik içeren, tanımlanması güç olan kavramlara üyelik derecesi atanması yoluyla bu kavramların belirlilik kazanmasını sağlamaktır [15].

Bulanık küme teorisinin kullanım alanı ilk olarak yapay zekâ olmuştur. İlerleyen dönemlerde yöneylem araştırması, uzman sistemler, kontrol teorisi, sinir ağları, bulanık kontrol teorisi, yönetim bilimi, istatistik gibi birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Bulanık küme teorisinin avantajları, belirsizlik ve kesinliğin olmadığı problemlerde iyi bir çözüm aracı olarak görülmekte, uygulama alanına insan faktörünün dâhil olmasıyla kişisel önyargıların ve belirsizliklerin yer aldığı durumlarda klasik olarak tanımlanan matematiksel modellemelerden daha esnek ve güvenli olması olarak ifade edilebilir. Bulanık küme teorisinin dezavantajları, üyelik fonksiyonlarının oluşumu açık olmamasından dolayı daha basit fonksiyonların birleşimi ve istatistiksel veri kullanımı önerilmekte, farklı tanımlar farklı durumlarda geçerli olduğu için tanımların seçimi her zaman tam olarak uygun olmamaktadır şeklinde ifade edilebilir [20].

Küme kavramı, iyi bir şekilde tanımlanmış nesneler topluluğuna denilmektedir. Kümeyi oluşturan her bir nesne küme elemanı olarak ifade edilmektedir. Kümeler, klasik kümeler veya bulanık kümeler olarak iki grupta incelenebilmektedir. x elemanı, E evrensel kümesinin bir üyesi olsun. A klasik bir kümeysen, matematiksel olarak gösterimi $\forall x \in E: \mu_A(x) \in \{0,1\}$ şeklindedir. Klasik kümelerde her bir küme elemanlarının o kümeye ait olup olmadığı kesin olarak bilinir. Her bir elemanın ilgili kümeye aitliği 0 veya 1 değeri ile ifade edilmektedir. $\mu_A(x)$, üyelik fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. $\tilde{A}$ bulanık bir kümeysen matematiksel olarak gösterimi $\forall x \in E: \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1]$ şeklindedir. Bulanık kümelerde her bir küme elemanının ilgili kümeye aitliği $[0,1]$ sürekli aralığında değer almaktadır. Bulanık kümelerin

üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}(x)$, E evrensel kümesine ait bir x elamanın $\tilde{A}$ bulanık kümesine ait olma derecesini ifade etmektedir [20]. Şekil 2.1’de klasik ve bulanık kümenin grafiksel olarak gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.1 Klasik ve bulanık kümenin grafiksel gösterimi [21]

2.2.1 Bulanık Kümelerin Temel Özellikleri

Bulanık kümeler, klasik kümelerin genişletilmiş halidir. Klasik kümelerde olduğu gibi bulanık kümelerde temel özelliklere sahiptir. Bulanık kümelerin bazı temel özellikleri aşağıdaki gibidir [20], [22]-[25]:

Eşitlik: $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ gibi iki bulanık kümenin birbirine eşit olabilmesi için üyelik fonksiyonlarının E evrensel kümesinde tanımlı elemanları için aynı üyelik derecesine sahip olması gerekmektedir. Başka bir deyişle, her iki bulanık kümenin elemanları ve üyelik dereceleri aynı olmalıdır. Matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir [23]:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{B}}(x), \forall x \in E \leftrightarrow \tilde{A} \equiv \tilde{B} \quad (2.1)$$

Kapsama: $\tilde{B}$ bulanık kümesi, $\tilde{A}$ bulanık kümesini kapsıyorsa, $\tilde{A}$ bulanık kümesi, $\tilde{B}$ bulanık kümesinin bir alt kümesi ise matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir [23]:

$$\tilde{A} \subseteq \tilde{B} = \{\forall x \in E | \mu_{\tilde{A}}(x) \leq \mu_{\tilde{B}}(x)\} \quad (2.2)$$

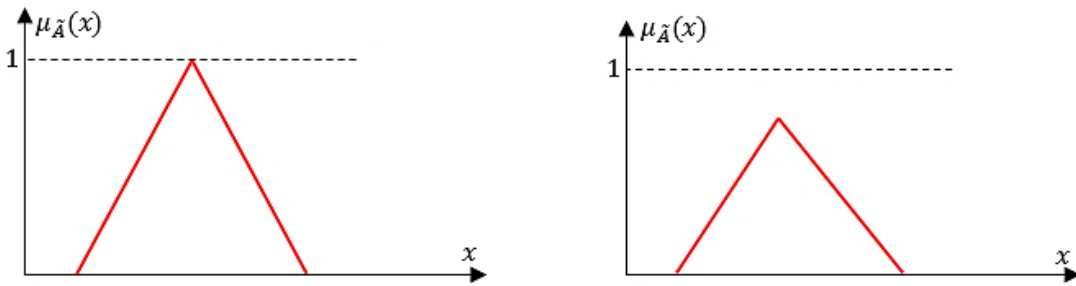
Yükseklik: Bulanık bir kümenin üyelik fonksiyonunun en büyük üyelik derecesi bulanık kümenin yüksekliğini belirlemektedir. Matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir [24]:

$$hgt(\tilde{A}) = \sup(\mu_{\tilde{A}}(x)), \quad \forall x \in E \quad (2.3)$$

Eşitlik 2.3'deki *sup* kelimesi *en büyük* anlamında kullanılmıştır [20].

Normallik: En az bir tane üyelik derecesi en yüksek değer olan 1'e eşitse normal bulanık kümedir. Yüksekliği 1 değerinden küçük olan kümelere normal olmayan bulanık küme denir. Şekil 2.2'de normal ve normal olmayan bulanık kümelere örnek gösterilmiştir. Matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir [22]:

$$hgt(\tilde{A}) = \sup[\mu_{\tilde{A}}(x)] = 1, \quad \forall x \in E \quad (2.4)$$



Şekil 2.2 Normal ve normal olmayan bulanık küme [22]

Destek Kümesi: $\tilde{A}$ bulanık kümesinde 0'dan büyük üyelik derecesine sahip olan elemanların oluşturduğu kümeye $\tilde{A}$ bulanık kümesinin destek kümesi denir. Matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir [23]:

$$Supp(\tilde{A}) = \{x | \mu_{\tilde{A}}(x) > 0, x \in E\} \quad (2.5)$$

Kernel Kümesi: $\tilde{A}$ bulanık kümesinde üyelik derecesi 1 olan elemanların bir araya getirilerek oluşturulduğu kümeye kernel kümesi denir. Matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir [20]:

$$Kernel(\tilde{A}) = \{x \in E | \mu_{\tilde{A}}(x) = 1\} \quad (2.6)$$

Sınır Kümesi: $\tilde{A}$ bulanık kümesine kısmen üye olan elemanların bir araya getirilerek oluşturulduğu kümeye sınır kümesi denir. Matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir [20]:

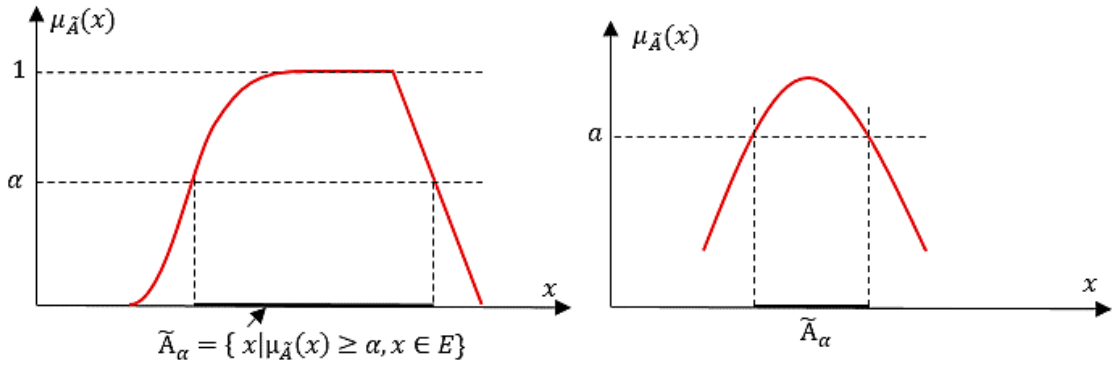
$$Sınır(\tilde{A}) = \{x \in E | 0 < \mu_{\tilde{A}}(x) < 1\} \quad (2.7)$$

Merkez: $\tilde{A}$ bulanık kümesinin üyelik fonksiyonunun maksimum değeri sonlu bir sayıysa bu kümede yer alan elemanların ortalama değeri, $\tilde{A}$ bulanık kümesinin merkezini vermektedir. $\tilde{A}$ bulanık kümesinin ortalama değeri sonsuza eşitse üyelik fonksiyonunun en yüksek değere ulaştığı noktalar arasından en büyük veya en küçük olan noktaya merkez denir [20].

α -Kesim Kümesi: $\tilde{A}$ bulanık kümesinin üyelik dereceleri α değerine eşit veya daha büyük elemanlarından oluşan kümeye denir. $\tilde{A}$ bulanık kümesinin α -kesimi aşağıdaki gibi ifade edilir [23], [25]:

$$\tilde{A}_\alpha = \{x | \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha, x \in E\} \quad (2.8)$$

$\tilde{A}_\alpha = \{x \in E | \mu_{\tilde{A}}(x) > \alpha\}$ bu kümeye güçlü α -kesim kümesi denir [25]. Şekil 2.3'de α -kesim kümelerine örnek gösterilmiştir.

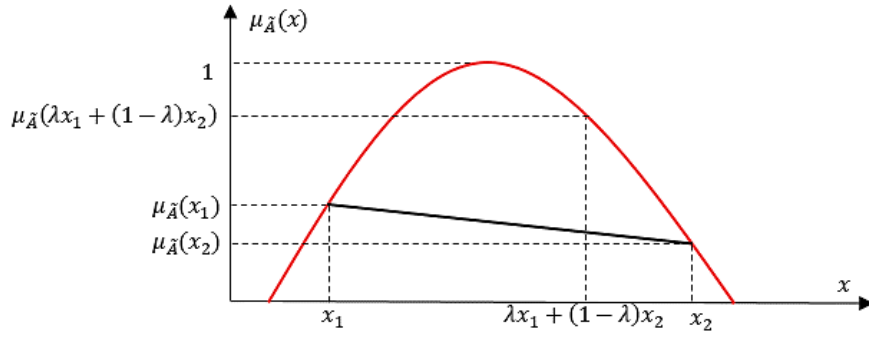


Şekil 2.3 α -kesim ve zayıf α -kesim kümesi [23]

Dışbükeylik: $\tilde{A}$ bulanık kümesinin her α -kesim kümesi dışbükeyse $\tilde{A}$ dışbükey bir kümedir. Matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir [25]:

$$\mu_{\tilde{A}}[\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2] \geq \min[\mu_{\tilde{A}}(x_1), \mu_{\tilde{A}}(x_2)], x_1, x_2 \in E, \lambda \in [0,1] \quad (2.9)$$

Şekil 2.4'de dışbükey bulanık kümeye örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Dışbükey bir bulanık küme [23]

Kardinalite: E kümesinde sonlu bir $\tilde{A}$ bulanık kümesinin kardinalitesi, küme elemanların üyelik derecelerinin toplamıyla ifade edilir. Matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir [25]:

$$|\tilde{A}| = \sum_{x \in E} \mu_{\tilde{A}}(x) \quad (2.10)$$

Eşitlik 2.10'daki $\tilde{A}$ 'nın göreceli kardinalitesi $\|\tilde{A}\| = \frac{|\tilde{A}|}{N}$ şeklinde tanımlanır.

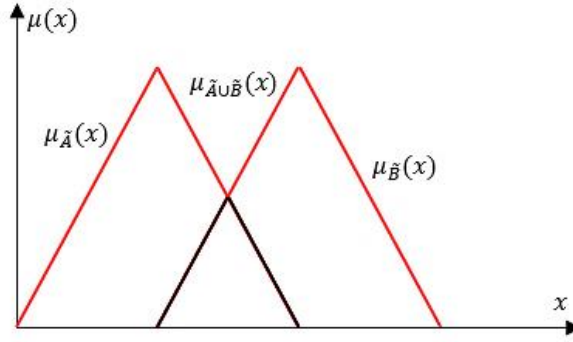
2.2.2 Bulanık Kümelerde Mantıksal İşlemler

Bulanık kümelerde işlemler üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanmaktadır. Bulanık kümelerde kullanılan birleşim, kesişim, tümleyen ve kapsama gibi temel işlemler aşağıdaki gibidir [17], [22], [26]:

Birleşim: İki farklı bulanık küme arasında mantık bağlaçlarından olan veya'lama işlemine birleşim denilmektedir. İki kümenin de kapsadığı dayanak değişkeni değerlerinin tümünün çıkarımında bulunulmasıdır. İki bulanık kümenin birleşiminde küme elemanlarının üyelik derecelerinin en büyüklenmesi kuralı geçerlidir [17]. Matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir [22], [26]:

$$\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \max(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)) = \mu_{\tilde{A}}(x) \vee \mu_{\tilde{B}}(x), \quad \forall x \in E \quad (2.11)$$

Şekil 2.5'de iki bulanık kümenin birleşimine örnek gösterilmiştir.

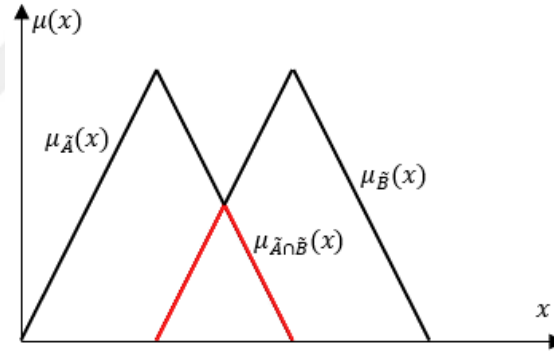


Şekil 2.5 İki bulanık kümenin birleşimi [17]

Kesişim: İki farklı bulanık küme arasında mantık bağlaçlarından olan ve'leme işlemine kesişim denilmektedir. İki bulanık kümenin kesişiminde küme elemanlarının üyelik derecelerinin en küçüklenmesi kuralı geçerlidir [17]. Matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir [22], [26]:

$$\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \min(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)) = \mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(x), \quad \forall x \in E \quad (2.12)$$

Şekil 2.6'da iki bulanık kümenin kesişimine örnek gösterilmiştir.

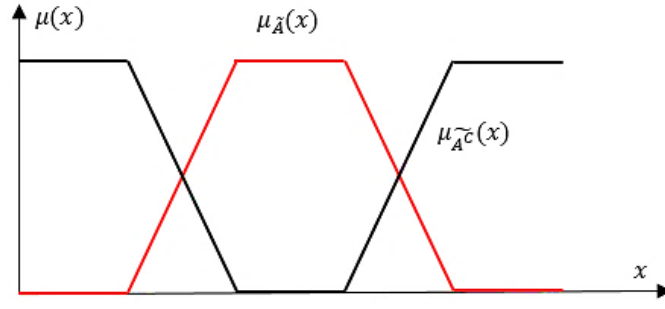


Şekil 2.6 İki bulanık kümenin kesişimi [17]

Tümleyen: Bir bulanık kümenin değil'lenmesi, küme elemanlarının üyelik derecelerinin 1'den çıkarılması anlamına gelmektedir. $\tilde{A}$ bulanık kümesinin tümleyeni $\tilde{A}^c$ şeklinde gösterilmektedir. Matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir [17], [26]:

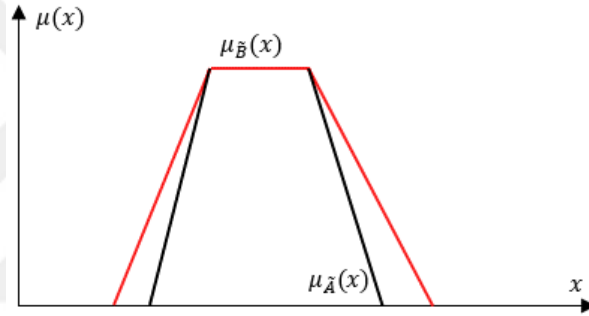
$$\mu_{\tilde{A}^c}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x), \quad \forall x \in E \quad (2.13)$$

Şekil 2.7'de bir bulanık kümenin tümleyenine örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Bir bulanık kümenin tümleyeni [17]

Kapsama: $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ iki bulanık küme arasında $\mu_{\tilde{A}}(x) \leq \mu_{\tilde{B}}(x), x \in E$ ilişkisi varsa $\tilde{B}$ bulanık kümesi, $\tilde{A}$ bulanık kümesini kapsamaktadır. $\tilde{A} \subseteq \tilde{B}$ şeklinde ifade edilmektedir. $\tilde{A}$ bulanık kümesi, $\tilde{B}$ bulanık kümesinin bir alt kümesidir [17]. Şekil 2.8’de bulanık kümelerde kapsamaya örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Bir bulanık kümenin kapsayıcı [17]

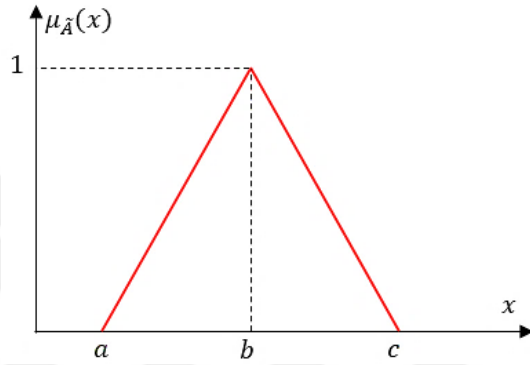
2.2.3 Bulanık Kümelerde Üyelik Fonksiyonları

Üyelik fonksiyonu kümedeki elemanların değerleriyle değişebilen 0 ile 1 arasında değer alan karakteristik fonksiyona denilmektedir [18]. Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonu $\forall x \in E: \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1]$ şeklinde tanımlanmaktadır. Üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasında birçok yöntem kullanılmaktadır. Üyelik fonksiyonlarının istenildiği gibi seçilebilmesi bulanık küme teorisinin esnekliğini göstermektedir [19]. Bulanık sayılar da bulanık kümeler gibi üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanmaktadır. Üyelik fonksiyonu çeşidi kadar bulanık sayı çeşidi bulunmaktadır [23]. Literatürde sıklıkla kullanılan üyelik fonksiyonları ve bulanık sayılar aşağıdaki gibidir [22], [26]-[30]:

Üçgen Üyelik Fonksiyonu: $\tilde{A} = (a, b, c)$ olarak tanımlanan üçgen bulanık sayının (ÜBS) üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir [27], [28]:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & x > c \end{cases} \quad (2.14)$$

Eşitlik 2.14'de a en küçük olası değeri, b en olası değeri ve c en büyük olası değeri ifade etmektedir. Şekil 2.9'da ÜBS grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.9 $\tilde{A}$ Üçgen bulanık sayısı [28]

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ iki ÜBS olarak tanımlandığında, aritmetik işlemler aşağıdaki gibidir:

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \oplus (b_1, b_2, b_3) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (2.15)$$

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \ominus (b_1, b_2, b_3) = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1) \quad (2.16)$$

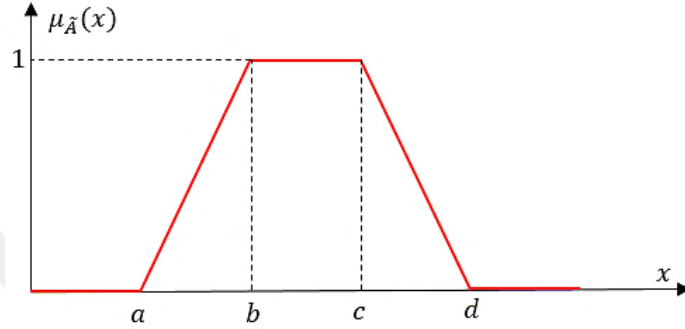
$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \otimes (b_1, b_2, b_3) = (a_1 x b_1, a_2 x b_2, a_3 x b_3) \quad (2.17)$$

$$\tilde{A} \oslash \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \oslash (b_1, b_2, b_3) = (a_1/b_3, a_2/b_2, a_3/b_1) \quad (2.18)$$

Yamuk Üyelik Fonksiyonu: $\tilde{A} = (a, b, c, d)$ olarak tanımlanan yamuk bulanık sayının (YBS) üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir [27]:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & x > d \end{cases} \quad (2.19)$$

Şekil 2.10'da YBS grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.10 $\tilde{A}$ Yamuk bulanık sayısı [27]

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3, b_4)$ iki YBS olarak tanımlandığında, aritmetik işlemler aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} \tilde{A} \oplus \tilde{B} &= (a_1, a_2, a_3, a_4) \oplus (b_1, b_2, b_3, b_4) \\ &= (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4) \end{aligned} \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned} \tilde{A} \ominus \tilde{B} &= (a_1, a_2, a_3, a_4) \ominus (b_1, b_2, b_3, b_4) \\ &= (a_1 - b_4, a_2 - b_3, a_3 - b_2, a_4 - b_1) \end{aligned} \quad (2.21)$$

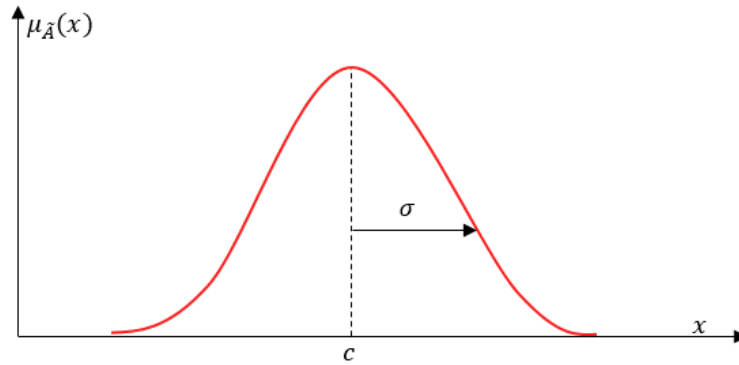
$$\begin{aligned} \tilde{A} \otimes \tilde{B} &= (a_1, a_2, a_3, a_4) \otimes (b_1, b_2, b_3, b_4) \\ &= (a_1 \times b_1, a_2 \times b_2, a_3 \times b_3, a_4 \times b_4) \end{aligned} \quad (2.22)$$

$$\begin{aligned} \tilde{A} \oslash \tilde{B} &= (a_1, a_2, a_3, a_4) \oslash (b_1, b_2, b_3, b_4) \\ &= (a_1/b_4, a_2/b_3, a_3/b_2, a_4/b_1) \end{aligned} \quad (2.23)$$

Gauss Üyelik Fonksiyonu: Gauss üyelik fonksiyonu c ve σ parametreleriyle tanımlanmaktadır. Eşitlik 2.24'deki gibi ifade edilir [22]:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-c}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.24)$$

Eşitlik 2.24'deki c merkezi ve σ genişliği ifade etmektedir. Şekil 2.11'de Gauss üyelik fonksiyonunun grafiği gösterilmiştir.

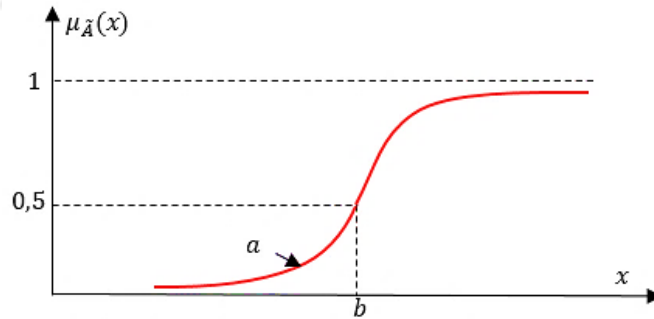


Şekil 2.11 Gauss üyelik fonksiyonu [22]

Sigmoid Üyelik Fonksiyonu: Sigmoid üyelik fonksiyonu a ve b parametreleriyle tanımlanmaktadır. Eşitlik 2.25'deki gibi ifade edilir [26], [29]:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \frac{1}{1 + \exp[-a(x - b)]} \quad (2.25)$$

Şekil 2.12'de sigmoid üyelik fonksiyonunun grafiği gösterilmiştir.

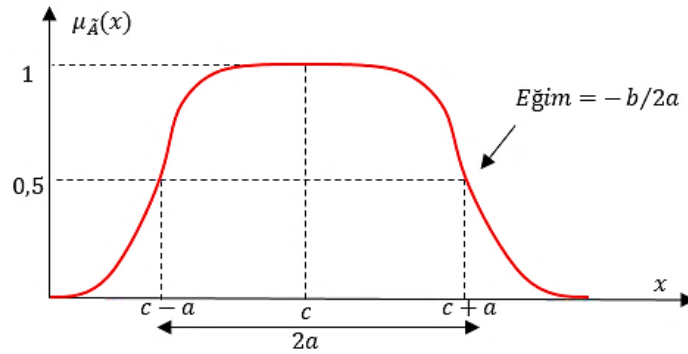


Şekil 2.12 Sigmoid üyelik fonksiyonu [29]

Genelleştirilmiş Çan Üyelik Fonksiyonu: Genelleştirilmiş çan üyelik fonksiyonu a , b ve c parametreleriyle tanımlanmaktadır. Eşitlik 2.26'daki gibi ifade edilir [29]:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c}{b} \right|^{2b}} \quad (2.26)$$

Eşitlik 2.26'da a genişliği, c merkezi ve b eğimi ifade etmektedir. Şekil 2.13'de genelleştirilmiş çan üyelik fonksiyonunun grafiği gösterilmiştir.

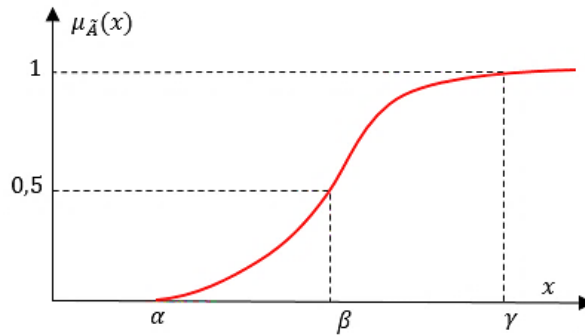


Şekil 2.13 Genelleştirilmiş çan üyelik fonksiyonu [29]

S üyelik fonksiyonu: *S* üyelik fonksiyonu a ve β parametreleriyle tanımlanmaktadır. Eşitlik 2.27'deki gibi ifade edilir [30]:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \alpha \\ 2(x - \alpha)^2 / (\gamma - \alpha)^2, & \alpha \leq x \leq \beta \\ 1 - 2(x - \gamma)^2 / (\gamma - \alpha)^2, & \beta \leq x \leq \gamma \\ 1, & x \geq \gamma \end{cases} \quad (2.27)$$

Eşitlik 2.27'de $\beta = (\alpha + \gamma)/2$ 'dir. Şekil 2.14'de *S* üyelik fonksiyonunun grafiği gösterilmiştir.



Şekil 2.14 *S* Üyelik Fonksiyonu [30]

2.2.4 Bulanık Kümelerde Durulaştırma

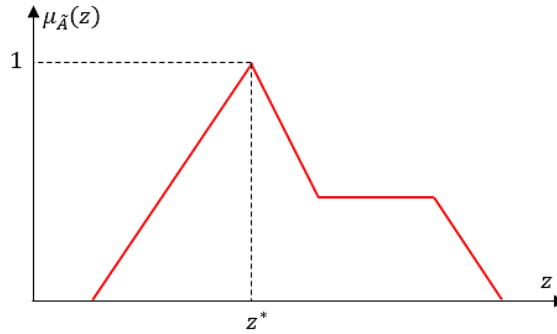
Durulaştırma işlemi bulanık sayılarla elde edilen bulanık çıktı kümelerinin üyelik fonksiyonları aracılığıyla kesin değere dönüştürülmesidir. Durulaştırma, bulanıklaştırma işleminin tam tersidir. Bulanık çıktı kümelerini kesin değerlere

dönüştürmek için kullanılan çeşitli durulaştırma yöntemleri bulunmaktadır. Literatürde sıklıkla kullanılan yöntemler aşağıdaki gibidir [17], [31]-[32]:

En Büyük Üyelik İlkesi Yöntemi: Yükseklik yöntemi olarak da bilinen yöntem çıkarımı yapılacak bulanık kümedeki en yüksek üyelik derecesine sahip elemandır. Matematiksel gösterimi eşitlik 2.28'deki gibidir [31]:

$$\mu_{\tilde{A}}(z^*) \geq \mu_{\tilde{A}}(z); \forall z \in Z \quad (2.28)$$

Şekil 2.15'de en büyük üyelik ilkesi yöntemi grafiksel olarak gösterilmiştir.

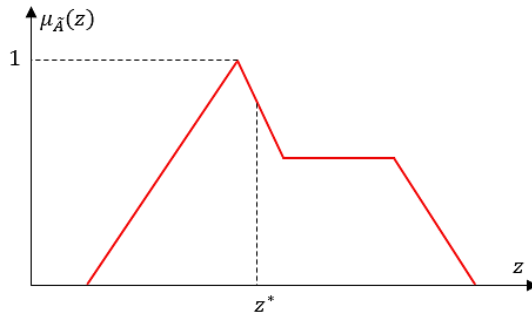


Şekil 2.15 En büyük üyelik ilkesi yöntemiyle durulaştırma [31]

Sentroid Yöntemi: Ağırlık merkezi olarak adlandırılan yöntem durulaştırma yöntemleri arasında en yaygın olarak kullanılmaktadır. Matematiksel gösterimi eşitlik 2.29'daki gibidir [32]:

$$z^* = \frac{\int \mu_{\tilde{A}}(z) z dz}{\int \mu_{\tilde{A}}(z) dz} \quad (2.29)$$

Şekil 2.16'da sentroid yöntemi grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Sentroid yöntemiyle durulaştırma [32]

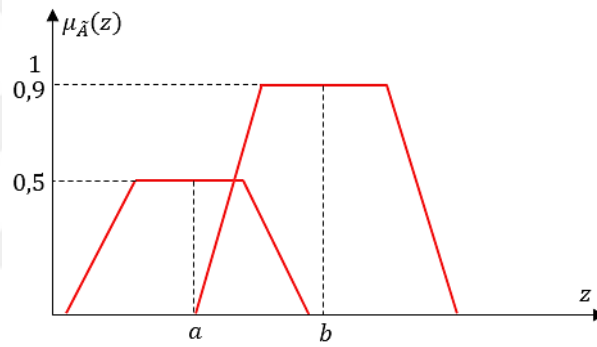
Ağırlıklı Ortalama Yöntemi: Elde edilen çıktıdaki her üyelik fonksiyonunun en büyük üyelik değeriyle ağırlıklandırılmasıdır. Matematiksel gösterimi eşitlik 2.30'daki gibidir [31]:

$$z^* = \frac{\sum \mu_{\tilde{A}}(\bar{z}) \bar{z}}{\sum \mu_{\tilde{A}}(\bar{z})} \quad (2.30)$$

Örnek olarak, Şekil 2.17'de gösterilen iki fonksiyon durulaştırılmış değer için aşağıdaki genel form ortaya çıkmaktadır.

$$z^* = \frac{a(0,5) + b(0,9)}{0,5 + 0,9}$$

Yöntem simetrik üyelik fonksiyonlarıyla sınırlı olduğundan a ve b değerleri ilgili şekillerin ortalamalarıdır.

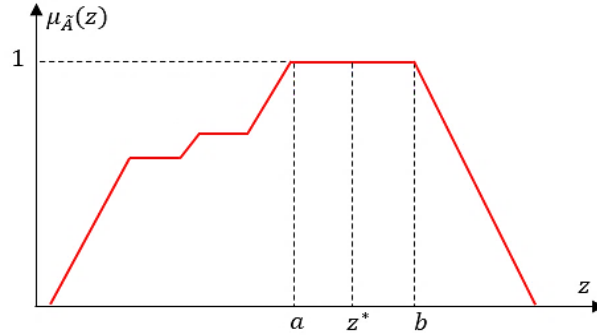


Şekil 2.17 Ağırlıklı ortalama yöntemiyle durulaştırma [31]

Ortalama En Büyük Üyelik Yöntemi: En büyüklerin ortası olarak da adlandırılan yöntem, en büyük üyelik ilkesi yöntemine benzemekle birlikte en büyük üyeliğin tek bir tepe noktası olması gerekmez. Bazı durumlarda tek bir tepe noktasının yerine birden fazla tepe noktasının yer aldığı düz bir plato kısmı bulunabilir. Bu durumda yöntem sıklıkla kullanılmaktadır. Matematiksel gösterimi eşitlik 2.31'deki gibidir [17], [31]:

$$z^* = \frac{a + b}{2} \quad (2.31)$$

Eşitlik 2.31'deki a ve b değerleri tepe noktalarının başlangıç ve bitiş değerlerini ifade etmektedir. Şekil 2.18'de ortalama en büyük üyelik yöntemi grafiksel olarak gösterilmiştir.

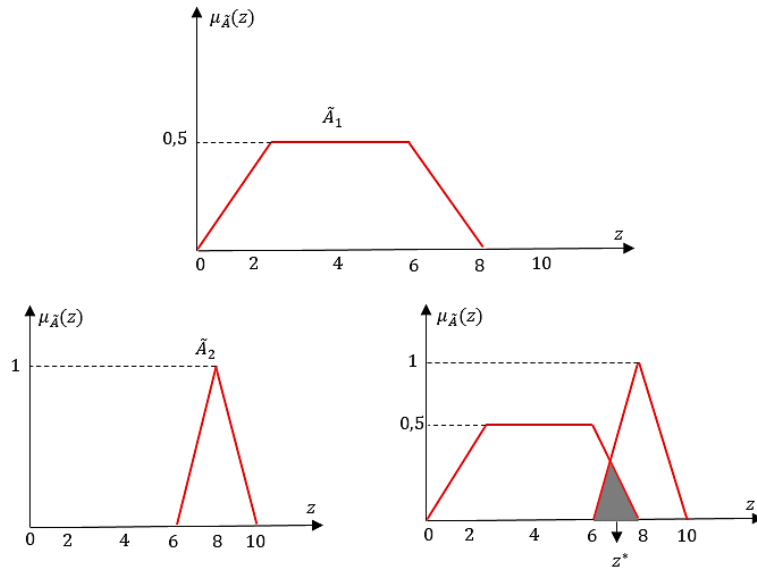


Şekil 2.18 Ortalama en büyük üyelik yöntemiyle durulaştırma [22]

Toplamların Merkezi Yöntemi: İki bulanık kümenin birleşimi yerine cebirsel işlemleri ele alınmaktadır. Matematiksel gösterimi eşitlik 2.32'deki gibidir [17]:

$$z^* = \frac{\int_z \bar{z} \sum_{k=1}^n \mu_{\tilde{A}_k}(z) dz}{\int_z \sum_{k=1}^n \mu_{\tilde{A}_k}(z) dz} \quad (2.32)$$

Eşitlik 2.32'de $\bar{z}$ değeri, ilgili her fonksiyonun ağırlık merkezine olan uzaklığını ifade etmektedir. Şekil 2.19'da toplamların merkezi yöntemi grafiksel olarak gösterilmiştir.

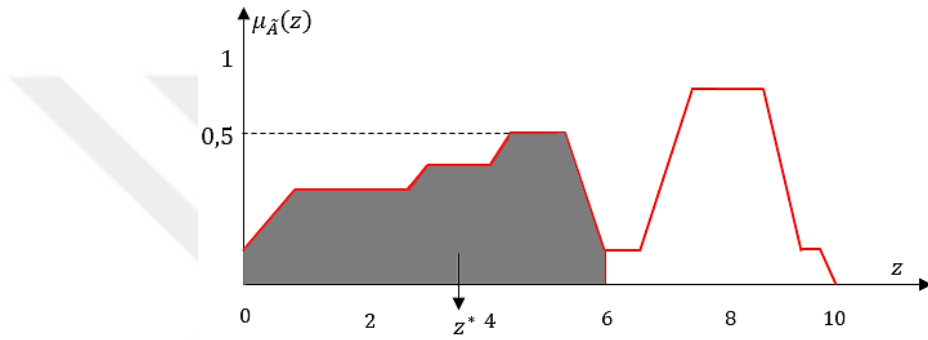


Şekil 2.19 Toplamların merkezi yöntemiyle durulaştırma [17]

En Büyük Alanın Merkezi Yöntemi: Bulanık çıkarım kümesinin en az iki dışbükey alt bulanık kümesi varsa, en büyük alana sahip dışbükey bulanık kümenin ağırlık merkezi durulaştırma işleminde kullanılmaktadır. Matematiksel gösterimi eşitlik 2.33'deki gibidir [32]:

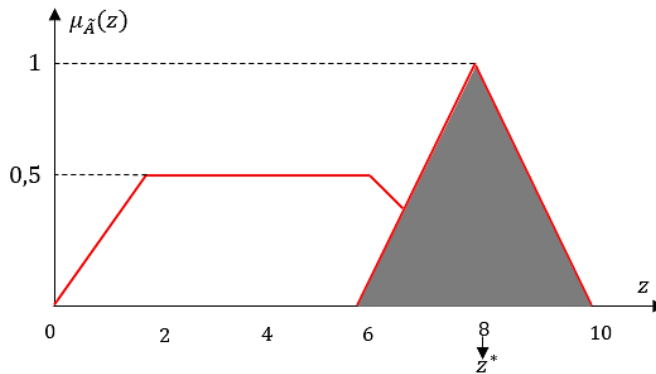
$$z^* = \frac{\int \mu_{\tilde{A}_m}(z) z dz}{\int \mu_{\tilde{A}_m}(z) dz} \quad (2.33)$$

Eşitlik 2.33'de $\tilde{A}_m$ değeri, en büyük alana sahip dışbükey bölgedir. Şekil 2.20'de en büyük alanın merkezi yöntemi grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.20 En büyük alanın merkezi yöntemiyle durulaştırma [32]

En Büyük İlk veya Son Üyelik Derecesi Yöntemi: Tüm bulanık küme çıktılarının birleşiminde en büyük üyelik derecesine sahip olan ilk veya son bulanık küme değeri durulaştırılmış değer olarak belirlenmektedir [17]. Şekil 2.21'de en büyük ilk veya son üyelik derecesi yöntemi grafiksel olarak gösterilmiştir.

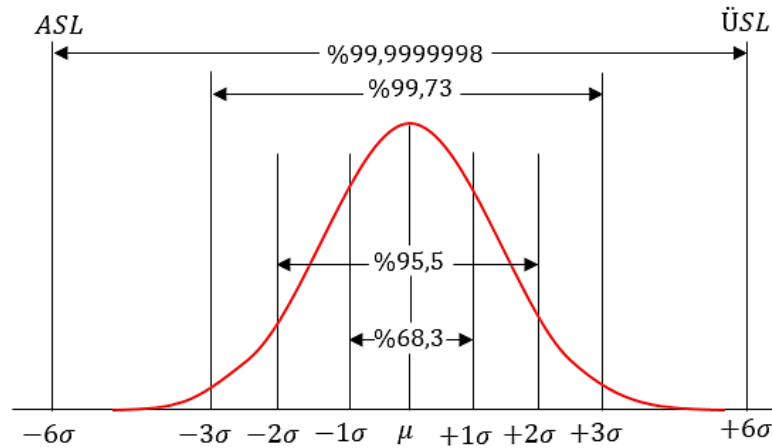


Şekil 2.21 En büyük ilk veya son üyelik derecesi yöntemiyle durulaştırma [17]

3.1 Süreç Yeterlilik Analizinin Tanımı

Süreç yeterlilik analizi (SYA), sürecin içerisinde oluşan değişkenliğin istatistiksel olarak analiz edilmesidir. SYA, sürecin faaliyetlerini geliştirmek, sürecin değişkenliğini ölçmek, değişkenlikleri spesifikasyon limitleri ile değerlendirip değişkenliğin azaltılmasını sağlamak, yeni ekipmanlar için performans gereksinimlerini değerlendirmek, sürecin hangi toleranslar arasında kalabileceğini belirlemek, ürünün kalitesinin geliştirilmesinde sürekli iyileştirmeyi sağlamak, kusurlu parçaların üretilmesini engellemek, sürecin analiz edilmesi için alınan örnekler arasındaki sınırların tanımlanmasını sağlamak, önceliklerin belirlenmesine yardımcı olmak gibi amaçlarla kullanılmaktadır [33]. Süreç yeterliliği, bir sürecin önceden belirlenen spesifikasyon limitlerini karşılama yeteneğidir. Sürecin yeterliliğin bilinmesi, sürecin gelecekte istenen istekleri karşılayıp karşılamayacağı hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlamaktadır. Değişkenlik sürece etki ederek sürecin spesifikasyon limitleri dışında kalmasına sebep olmaktadır. Süreçteki değişkenliğin azaltılmasıyla sürecin kontrol altına alınması kalitenin iyileştirilmesine ve gelecekte süreç performansı hakkında gerçekçi öngörüler yapılabilmesine imkân sağlamaktadır. Sürecin kontrol altında olması her zaman müşterinin veya tasarımcının belirlediği spesifikasyon limitlerinin arasında olacağı anlamına gelmemektedir. Sürecin spesifikasyon limitleri arasında olması, süreç çıktılarının istenilen kalitede olacağını göstermektedir. Kontrol limitleri sürecin kontrol altında olup olmadığını test ederken spesifikasyon limitleri müşterinin süreçten ne istediği veya beklentisinin ne olduğunu ifade etmektedir. Bir başka ifadeyle, müşterinin sesidir. Spesifikasyon limitleri istekleri, kontrol limitleri ise gerçekleri söylemektedir [34].

SYA'nın yapılabilmesi için sürecin kontrol altında ve normal dağılıma sahip olması gerekmektedir. Süreç yeterlilik ölçütü olarak genellikle altı sigma (6σ) kullanılmaktadır. Altı sigma, müşterinin istekleri ve gereksinimleri doğrultusunda ürün veya hizmet üretebilmek için geliştirilen, üretim süreçleri içerisindeki değişkenliğin azaltılmasını sağlayarak sürecin daha kaliteli hale gelmesini hedefleyen bir metodolojidir. Sigma (σ), istatistikte standart sapmayı göstermek için kullanılan bir sembol olmakla birlikte ortalamadan bir standart sapmayı temsil etmektedir. Değişkenlik miktarı standart sapmayla belirlenmektedir. Değişkenliğin artması demek standart sapmanın da artması demektir. Altı sigmanın esas amacı, değişkenliğin azaltılmasını sağlayarak düşük standart sapma elde etmektir. Standart sapmanın düşük olması müşteriye sunulan ürün veya hizmetin müşteri beklentilerini karşıladığı anlamını taşımaktadır. Müşteri memnuniyetinin ve süreç kalitesinin artması maliyetlerde azalmayı da beraberinde getirmektedir. Altı sigma esasen süreç yeterlilik çalışmalarından gelmekte ve üretim süreçlerinin spesifikasyon limitleri dâhilinde üretim yapabilme kapasitesini tanımlamaktadır. Altı sigma toleranslarında çalışan bir sürecin çıktılarında, her bir milyonda 3,4 hata oluşma ihtimali olduğu kabul edilmektedir. μ merkezinden 6σ kadar sağa sola gidildiğinde süreç çıktılarının hatasız olma oranı %99,9999998 olmaktadır. Şekil 3.1'de altı sigma normal dağılım grafiğinde gösterilmiştir. Eğrinin alt ve üst limitleri dışında kalan alanlar hata veya kusur olarak nitelendirilmektedir [35].

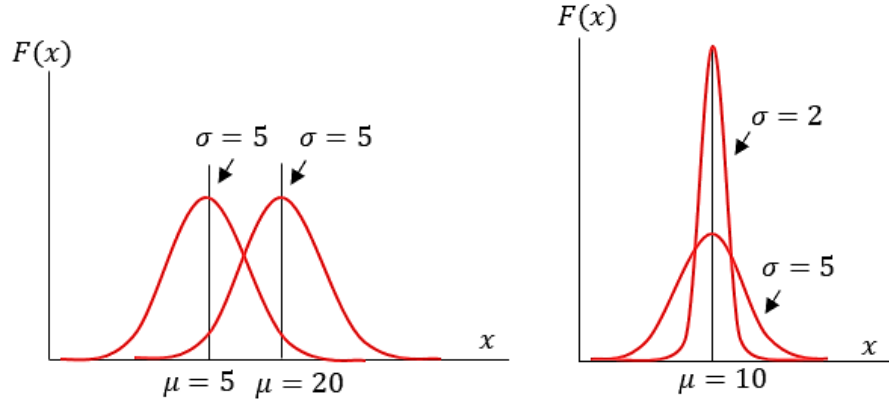


Şekil 3.1 Altı sigmanın normal dağılım grafiğinde gösterimi [36]

Sürecin yeterliliğinin analiz edilmesinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında yaygın olarak kullanılan histogram, olasılık grafikleri, deney tasarımı, kontrol diyagramları ve süreç yeterlilik indeksleridir. Kontrol diyagramları, önceden belirlenen kontrol limitlerine göre üretimden alınan örneklerden elde edilen ölçümlerin zamana bağlı değişimlerinin gösterildiği grafiğe denilmektedir [37]. Histogram, olasılık grafiği ve süreç yeterlilik indeksleri potansiyel sürecin yeterliliği hakkında bilgi vermemektedir. Bu yöntemler, süreç performansını özetlemekte fakat sürecin kontrol altında olup olmadığını incelemeyi için süreç içindeki değişkenlikleri azaltmayı veya kaldırmayı amaç edinmemişlerdir. Kontrol diyagramları ise değişkenliğin nedenlerini tespit ederek değişkenlerin ortadan kaldırılmasını sağlamaktadır [33].

3.2 Süreç Yeterlilik İndeksleri

İstatistiksel süreç kontrol teknikleri, gerekli süreç kontrolünü gerçekleştirmede ve istenen hedef değer hakkındaki değişkenliği azaltmada önemli bir rol oynamaktadır. Sürecin performansının düzenli bir şekilde ölçülmesine ihtiyaç duyulması, süreç yeterlilik indekslerinin yaygın olarak kullanılmasına neden olmuştur. Süreç yeterlilik indeksleri (SYİ), bir sürecin önceden belirlenmiş spesifikasyon limitlerini karşılayabilme kabiliyetini ölçmektedir [38]. Süreç yeterliliğinin doğru olarak ölçülebilmesi için sürecin istikrarlılığının sağlanması, normal dağılıma sahip olması ve süreç içinde özel değişkenlerin olmaması gerekmektedir. Şekil 3.2’de sürecin ölçülebilmesi için önemli olan normal dağılımın iki parametresi farklı değerler aldığı anda ortaya çıkan durum gösterilmiştir. Normal dağılım eğrisinde μ simetri merkezini, σ yaygınlığını göstermektedir. Sürecin yalnızca ortalama μ ve standart sapması σ kullanılarak sürecin değerlendirilmesi yanıltıcı olmaktadır. Bu sebeple, sürecin ortalama ve standart sapması spesifikasyon limitleriyle birlikte ilişkilendirilerek değerlendirilmesi gerekmektedir [39].



Şekil 3.2 Farklı μ ve σ değerlerine ait normal dağılım grafiği [39]

Her sürecin kendine özgü farklı koşulları ve gereksinimleri vardır. Bu gereksinim ve koşullar tek bir indeks ile hesaplanamaması nedeniyle çeşitli süreç yeterlilik indeksleri geliştirilmiştir [40].

3.2.1 C_p Süreç Yeterlilik İndeksi

Kane [41] tarafından ilk süreç yeterlilik indeksi C_p tanımlanmıştır. C_p indeksi, spesifikasyon genişliğinin süreç yayılmasına oranı olarak tanımlanır. Spesifikasyon genişliği, müşteri ve/veya ürün gereksinimlerini temsil eder. Süreç değişkenliği ile ilgilenir. Süreç değişkenliği çok büyükse, C_p değeri de küçüktür. Sürecin kapasitesinin yeterli olmadığını gösterir. Sürecin potansiyel yeterliliğini ölçmektedir. C_p indeksi aşağıdaki gibi hesaplanır [42]-[43]:

$$C_p = \frac{\text{İzin verilen süreç genişliği}}{\text{Gerçek süreç genişliği}} = \frac{\bar{USL} - ASL}{6\sigma} \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.1’de üst spesifikasyon limiti $\bar{USL}$, alt spesifikasyon limiti ASL ve sürecin standart sapması σ ile ifade edilmektedir.

Uygulamalarda, süreç standart sapması σ her zaman bilinmemektedir. σ ’nin tahmin edilebilmesi için örnek standart sapma s kullanılmaktadır. C_p indeksinin tahminleyicisi eşitlik 3.2’deki gibi hesaplanır [44]:

$$\hat{C}_p = \frac{\bar{USL} - ASL}{6\hat{\sigma}} \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.1 ve 3.2 sürecin hem üst hem de alt spesifikasyon limitlerine aynı anda sahip olduğunu varsaymaktadır. Süreç tek bir spesifikasyon limitine sahipse tek taraflı süreç yeterlilik indeksleri C_{pu} ve C_{pl} kullanılmaktadır. Süreç sadece üst spesifikasyon limitine sahipse eşitlik 3.3, süreç sadece alt spesifikasyon limitine sahipse eşitlik 3.4'deki gibi tanımlanır [44]:

$$C_{pu} = \frac{\bar{USL} - \mu}{3\sigma} \quad (3.3)$$

$$C_{pl} = \frac{\mu - ASL}{3\sigma} \quad (3.4)$$

Tahmin yaparken oluşan değişkenlik nedeniyle, yüksek bir olasılıkla doğru C_p 'yi içeren güven aralığını oluşturmak oldukça önemlidir. C_p 'nin $\%100(1 - \alpha)$ güven aralığı aşağıdaki gibi ifade edilir [43]:

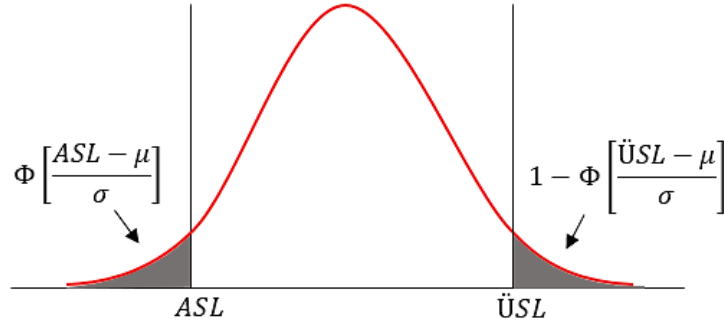
$$\left[\sqrt{\frac{\chi_{n-1,1-\alpha/2}^2}{n-1}} \hat{C}_p, \sqrt{\frac{\chi_{n-1,\alpha/2}^2}{n-1}} \hat{C}_p \right] \quad (3.5)$$

Eşitlik 3.5'deki $\chi_{n-1,1-\alpha/2}^2$ ve $\chi_{n-1,\alpha/2}^2$ $n - 1$ serbestlik derecesine sahip ki-kare dağılımı $1 - \alpha/2$ alt ve $\alpha/2$ üst limit değerleridir.

Çift taraflı spesifikasyon limitlerine sahip olan süreçler için spesifikasyon limitleri dışında kalan kusurlu çıktıların yüzdesi (KÇY) $\% KÇY = 1 - F(\bar{USL}) + F(ASL)$ şeklinde hesaplanır. $F(\cdot)$, kümülatif dağılım fonksiyonudur. Sürecin normal dağılıma uyduğu varsayımına göre $\% KÇY$ aşağıdaki gibi ifade edilebilir [43]:

$$\% KÇY = 1 - \Phi\left(\frac{\bar{USL} - \mu}{\sigma}\right) + \Phi\left(\frac{ASL - \mu}{\sigma}\right) \quad (3.6)$$

Eşitlik 3.6'daki $\Phi(\cdot)$, standart normal dağılımın kümülatif dağılım fonksiyonudur. Şekil 3.3'de kusurlu çıktıların yüzdesi grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Spesifikasyon limitleri dışındaki uygunsuz çıktıların yüzdesi [43]

$C_p \geq 2,00$ olduğunda, süreç sadece 0,002 ppm'lik bir kusur oranına sahiptir. Süreç kapasitesi süper mükemmeldir. $1,67 \leq C_p < 2,00$ aralığı sürecin kusur oranının 0,54 ppm olduğunu ifade eder ve süreç kapasitesi mükemmeldir. Mükemmellik uç noktadır. $1,33 \leq C_p < 1,67$ aralığı süreç kapasitesinin tatmin edici olduğunu, $1,00 \leq C_p < 1,33$ aralığı sürecin izlenmesi gereken bir kusur üretme tehlikesini, $0,67 \leq C_p < 1,00$ aralığı sürecin üretim toleransına göre yeterli olmadığını, $C_p < 0,67$ aralığı süreç yeterliliğinin çok zayıf olduğunu ve üretim hattının derhal üretimi durdurması gerektiğini gösterir. Tablo 3.1'de C_p değerlerine göre kalite seviyeleri gösterilmiştir.

Tablo 3.1 C_p değerleri ve kalite seviyeleri [45]

Kalite Seviyesi	C_p Değerleri
Süper Mükemmel	$2,00 \leq C_p$
Mükemmel	$1,67 \leq C_p < 2,00$
Tatmin Edici	$1,33 \leq C_p < 1,67$
Yeterli	$1,00 \leq C_p < 1,33$
Yetersiz	$0,67 \leq C_p < 1,00$
Zayıf	$C_p < 0,67$

3.2.2 C_{pk} Süreç Yeterlilik İndeksi

C_p indeksi sürecin merkezlenmesini hesaba katmamaktadır. Bu nedenle, gerçek süreç performansına dair herhangi bir bilgi içermemektedir. Süreç ortalamasının hedef değerden sapmasını hesaplayabilmek için bazı indeksler geliştirilmiştir. C_{pk} indeksi süreç varyansının büyüklüğünü ve sürecin hedef değerden ne kadar saptığını hesaba katmaktadır. C_{pk} indeksi aşağıdaki gibi tanımlanır [43]:

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}) = \min\left(\frac{\bar{USL} - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - ASL}{3\sigma}\right) \quad (3.7)$$

Eşitlik 3.7’de süreç ortalaması μ ile ifade edilmektedir.

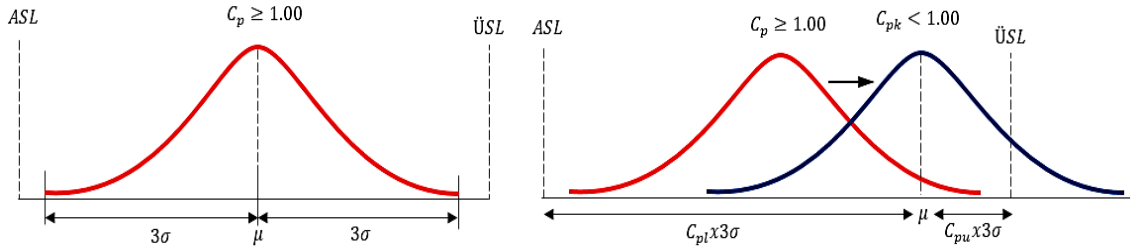
C_{pk} indeksinin tahminleyicisi ($\hat{C}_{pk}$) aşağıdaki gibi hesaplanır [44]:

$$\hat{C}_{pk} = \min(\hat{C}_{pu}, \hat{C}_{pl}) = \min\left(\frac{\bar{USL} - \hat{\mu}}{3\hat{\sigma}}, \frac{\hat{\mu} - ASL}{3\hat{\sigma}}\right) \quad (3.8)$$

Eğer kalite karakteristiği normal dağılmışsa, C_{pk} indeksi için %100(1 - α) güven aralığı aşağıdaki gibi hesaplanır [44]:

$$\begin{aligned} \hat{C}_{pk} \left[1 - Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{9n\hat{C}_{pk}^2} + \frac{1}{2(n-1)}} \right] &\leq C_{pk} \\ &\leq \hat{C}_{pk} \left[1 + Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{9n\hat{C}_{pk}^2} + \frac{1}{2(n-1)}} \right] \end{aligned} \quad (3.9)$$

Süreç ortalaması spesifikasyon limitlerinin orta noktasına konumlandıysa, sürecin yeterlilik analizini hesaplayabilmek için C_p indeksi ile beraber C_{pk} indeksi de kullanılmalıdır [46]. Şekil 3.4’de C_p ve C_{pk} indeksleri birlikte gösterilmiştir.



Şekil 3.4 C_p ve C_{pk} süreç yeterlilik indeksleri [46]

C_{pl} ve C_{pu} indeksleri alt ve üst spesifikasyon limitindeki süreç yeterliliğini hesaplayarak sürecin hedef değer olarak adlandırılan spesifikasyon limitlerinin ortasında merkezlenip merkezlenmediğini belirler. Süreçlerin çoğunda süreç ortalamasının spesifikasyon genişliğinin tam ortasında hedef değerde merkezlenmesi oldukça güçtür. Süreç ortalamasının hedef değerden kayması

süreç çıktılarının spesifikasyon limitlerine daha yakın üretileceği ve kusurlu süreç çıktı oranının artacağı anlamına gelmektedir. Bu sebeple, sürecin hedef değerden kaymasının en az olacak şekilde üretim yapılması istenmektedir. C_p ve C_{pk} değerinin en az 1,33'ten büyük olması önerilmektedir [47]. Tablo 3.2'de C_{pk} değerlerine göre kalite seviyeleri gösterilmiştir.

Tablo 3.2 C_{pk} değerleri ve kalite seviyeleri [48]

Kalite Seviyesi	C_{pk} Değerleri
Süper	$2,00 \leq C_{pk}$
Mükemmel	$1,67 \leq C_{pk} < 2,00$
Tatmin Edici	$1,33 \leq C_{pk} < 1,67$
Yeterli	$1,00 \leq C_{pk} < 1,33$
Yetersiz	$C_{pk} < 1,00$

3.2.3 C_{pm} Süreç Yeterlilik İndeksi

C_p ve C_{pk} indeksleri müşterilerin gereksinimlerini karşılayamamanın maliyetini hesaba katmamaktadır. G. Taguchi, bir ürünün özelliklerinden birinin müşterinin ideal değerinden (T) sapmasının ürün değerindeki kaybına odaklanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Hsiang ve Taguchi [49] C_{pm} indeksini geliştirmişlerdir. Taguchi indeksi olarakta adlandırılan C_{pm} , hata kayıplarının karesi olarak tanımlanır [43]. Aynı zamanda, σ değeri sıfıra yaklaştığında C_{pk} indeksi büyük değerler almaktadır. Bu da, C_{pk} indeksinin merkezlenme ölçüsü olarak kullanılması durumunda doğru sonuçlar vermeyeceğini ÜSL – ASL aralığı için ortalamanın yeri hakkında da gerçek bir bilgi elde edilemeyeceğini göstermektedir [44]. Bu problemi ortadan kaldıran C_{pm} indeksi aşağıdaki gibi tanımlanır [43]:

$$C_{pm} = \frac{\bar{USL} - ASL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} = \frac{\bar{USL} - ASL}{6\tau} = \frac{d}{3\tau} \quad (3.10)$$

Eşitlik 3.10'da spesifikasyon genişliğinin yarım uzunluğu $d = \frac{\bar{USL} - ASL}{2}$ ve $\tau^2 = \sigma^2 + (\mu - T)^2 = E[(X - T)^2]$ eşitliği süreç ortalamasına göre sürecin değişkenliğini ve süreç ortalamasının hedef değerden sapmasını içerir.

Boyles [50] C_{pm} indeksinin tahminleyicisini ($\hat{C}_{pm}$) aşağıdaki gibi hesaplamıştır [43]:

$$\hat{C}_{pm} = \frac{d}{3\sqrt{s_n^2 + (\bar{x} - T)^2}} \quad (3.11)$$

Eşitlik 3.11'de örnek ortalaması $\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i/n$ ve örnek varyansı $s_n^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2/n$ 'dir.

C_{pm} 'nin %100(1 - α) yaklaşık güven aralığı aşağıdaki gibi ifade edilir [51]:

$$\left[\hat{C}_{pm}\sqrt{\chi_{\hat{f},\alpha/2}^2/\hat{f}}, \hat{C}_{pm}\sqrt{\chi_{\hat{f},1-\alpha/2}^2/\hat{f}} \right] \quad (3.12)$$

Eşitlik 3.12'de $\hat{f}$ serbestlik derecesine sahip ki-kare dağılımında $\hat{f} = n(1 + \delta)^2/(1 + 2\delta)$, $\delta = (\bar{x} - T)^2/\hat{\sigma}^2$ ve $\hat{\sigma}^2 = S^2(n - 1)/n$ 'dir.

3.2.4 C_{pmk} Süreç Yeterlilik İndeksi

Pearn vd. [52] C_p , C_{pk} ve C_{pm} indekslerinin özelliklerini içeren C_{pmk} indeksini geliştirmişlerdir. C_{pmk} indeksi, süreç ortalamasının hedef değerden sapması ve/veya süreç değişkenliğinin artması durumunda uyarı vermesini sağlamak amacıyla geliştirilen bir indekstir. Üçüncü nesil yeterlilik indeksi olarak da adlandırılan C_{pmk} indeksi aşağıdaki gibi tanımlanır [43]:

$$C_{pmk} = \min \left\{ \frac{\bar{USL} - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - ASL}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right\} = \frac{d - |\mu - m|}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (3.13)$$

Eşitlik 3.13'de hedef değer T ve alt ve üst spesifikasyon limitleri arasındaki orta nokta $m = \frac{\bar{USL} + ASL}{2}$ dir.

Normal dağılım gösteren ve kontrol altına alınmış bir süreç için Pearn vd. [52] C_{pmk} indeksinin tahminleyicisini ($\hat{C}_{pmk}$) aşağıdaki gibi tanımlamışlardır:

$$\hat{C}_{pmk} = \min \left\{ \frac{\bar{USL} - \bar{x}}{3\sqrt{s_n^2 + (\bar{x} - T)^2}}, \frac{\bar{x} - ASL}{3\sqrt{s_n^2 + (\bar{x} - T)^2}} \right\}$$

$$= \frac{d - |\bar{x} - T|}{3\sqrt{s_n^2 + (\bar{x} - T)^2}} \quad (3.14)$$

Chen ve Hsu [53] C_{pmk} indeksi için asimptotik bir $\%100(1 - \alpha)$ güven aralığını aşağıdaki gibi türetmişlerdir [54]:

$$\hat{C}_{pmk} \pm Z_{\alpha/2} \frac{\hat{\sigma}_{pmk}}{\sqrt{n}} \quad (3.15)$$

Eşitlik 3.15’de $\hat{\sigma}_{pmk}^2 = \left[\frac{1}{9(1+\delta^2)} + \frac{2\delta}{3(1+\delta^2)^{3/2}} \right] \hat{C}_{pmk} + \frac{72\delta^2 + d\left(\frac{m^4}{s_n^4} - 1\right)}{72(1+\delta^2)^2} \hat{C}_{pmk}^2$, $m^4 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^4}{n}$ ve $\delta = \frac{(\bar{x} - T)}{s_n}$ olarak hesaplanır.

Tablo 3.3’de C_{pmk} değerlerine göre kalite seviyeleri gösterilmiştir.

Tablo 3.3 C_{pmk} değerleri ve kalite seviyeleri [55]

Kalite Seviyesi	C_{pmk} Değerleri
Süper	$2,00 \leq C_{pmk}$
Mükemmel	$1,50 \leq C_{pmk} < 2,00$
Tatmin Edici	$1,33 \leq C_{pmk} < 1,50$
Yeterli	$1,00 \leq C_{pmk} < 1,33$
Yetersiz	$C_{pmk} < 1,00$

SYİ’de süreç çıktısı, hedef değere ne kadar yakınsa ve süreç yayılımı ne kadar küçükse, süreç o kadar yeterlidir. Süreç yeterlilik indeksinin değeri ne kadar büyükse, süreç o kadar yeterlidir [43].

3.2.5 C_a Süreç Yeterlilik İndeksi

Doğruluk indeksi olarak adlandırılan C_a spesifikasyon genişliğine göre sürecin merkezlenmesinin derecesini ölçmek için tasarlanmıştır. Süreç ortalaması, spesifikasyon genişliğinin orta noktasından sapması durumunda kullanıcıyı uyarmaktadır. C_a indeksi aşağıdaki gibi tanımlanır [43]:

$$C_a = 1 - \frac{|\mu - m|}{d} \quad (3.16)$$

Pearn vd. [56] C_a indeksinin tahminleyicisini ($\hat{C}_a$) aşağıdaki gibi tanımlamışlardır [43]:

$$\hat{C}_a = 1 - \frac{|\bar{x} - m|}{d} \quad (3.17)$$

C_a indeksi için %100(1 - α) güven aralığı aşağıdaki gibi hesaplanır [43]:

$$\hat{C}_a - \frac{z_{\alpha/2}}{3\sqrt{n}\hat{C}_p}, \hat{C}_a + \frac{z_{\alpha/2}}{3\sqrt{n}\hat{C}_p} \quad (3.18)$$

Tablo 3.4’de farklı C_a değerlerine karşılık gelen μ değişim aralığı gösterilmiştir.

Tablo 3.4 C_a değerleri ve karşılık gelen μ aralığı [43]

C_a Değerleri	μ Aralığı
$C_a = 1,00$	$\mu = m$
$0,75 < C_a < 1,00$	$0 < \mu - m < d/4$
$0,50 < C_a < 0,75$	$d/4 < \mu - m < d/2$
$0,25 < C_a < 0,50$	$d/2 < \mu - m < 3d/4$
$0,00 < C_a < 0,25$	$3d/4 < \mu - m < d$
$C_a = 0,00$	$\mu = ASL$ veya $\mu = ÜSL$
$C_a < 0,00$	$\mu < ASL$ veya $\mu > ÜSL$

3.2.6 C_{pp} Süreç Yetersizlik İndeksi

Greenwich ve Jahr-Schaffrath [57] mevcut süreç yeterlilik indekslerinden daha basit ve hassasiyet bakımından daha uygun olan C_{pp} süreç yetersizlik indeksini geliştirmişlerdir. C_{pp} indeksi, sürecin kesinliği ve doğruluğu arasında bir ayrım yapmakla birlikte Chan vd. [58] tarafından ele alınan C_{pm} indeksinin genel bir biçimi olan C_{pm}^* indeksinin dönüştürülmüş halidir.

$$C_{pp} = \frac{1}{C_{pm}^{*2}} = \left(\frac{\sigma}{D}\right)^2 + \left(\frac{\mu - T}{D}\right)^2 \quad (3.19)$$

Eşitlik 3.19’da $D = \min\{(\bar{ÜSL} - T)/3, (T - ASL)/3\}$ ’dir.

$C_{ip} = (\sigma/D)^2$ ve $C_{ia} = [(\mu - T)/D]^2$ olarak tanımlanır. Buna göre, C_{pp} indeksi $C_{pp} = C_{ip} + C_{ia}$ şeklinde ifade edilebilir. C_{ip} , spesifikasyon limitine göre sürecin değişkenliğini ölçtüğü için belirsizlik (kesin olmama) indeksi olarak da adlandırılır. C_{ia} , göreceli sürecin sapmasını ölçmesinden dolayı hata (doğru

olmama) indeksi denir. $C_{ip} = 1/(C_p)^2$ ve $C_{ia} = 9(1 - C_a)^2$ şeklinde matematiksel olarak ifade edilebilir. C_p ve C_a sürecin yeterliliğinin analiz edilmesinde kullanılan temel süreç yeterlilik indeksleridir [59]. μ ve σ parametreleri bilinmediğinde, n büyüklüğünde bir örnekten C_{pp} indeksi tahmin edilebilmektedir. C_{pp} indeksinin yansız ve tutarlı nokta tahmincisi aşağıdaki gibidir [58]:

$$\hat{C}_{pp} = \frac{\hat{\sigma}^2}{D^2} \quad (3.20)$$

Eşitlik 3.20’de $\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}$ dir.

Tablo 3.5’de farklı C_{pp} değerlerine göre kalite seviyeleri gösterilmiştir.

Tablo 3.5 C_{pp} değerleri ve kalite seviyeleri [60]

Kalite Seviyesi	C_{pmk} Değerleri
Süper	$0,25 \leq C_{pp}$
Mükemmel	$0,25 < C_{pp} \leq 0,44$
Tatmin Edici	$0,44 < C_{pp} \leq 0,56$
Yeterli	$0,56 < C_{pp} \leq 1,00$
Yetersiz	$C_{pp} < 1,00$

3.2.7 Gürbüz Süreç Yeterlilik İndeksleri

Süreç parametreleri arasında korelasyon olması durumunda süreç yeterliliğinin geleneksel SYİ kullanılarak analiz edilmesi elde edilen sonuçların hatalı olmasına sebep olacaktır. SYA’nın doğru yorumlanabilmesi için süreç parametreleri arasındaki korelasyon dikkate alınarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Süreç içerisinde korelasyonun olup olmadığının tespit edilebilmesinde regresyon analizi kullanılmaktadır. Regresyon analizi, bağımlı bir değişkenin bağımsız değişkenlerle ilişkisini inceleyen istatistiksel bir yöntemdir. İki değişken arasındaki lineer ilişkinin regresyon modeli aşağıdaki gibidir [61]-[63]:

$$\hat{Y}_i = a + b(x_i - \bar{x}) + \varepsilon_i, \quad 1, 2, \dots, n \quad (3.21)$$

Eşitlik 3.21’de Y bağımlı değişken, x bağımsız değişken, a doğrunun Y eksenini kestiği nokta, b doğrunun eğimi ve ε hata değeridir. a değerinin tahmini $\hat{a} = \bar{y}$ şeklindedir. b değerinin tahmini ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i(x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.22)$$

Lineer regresyon analizinde varyans $\hat{\sigma}_c^2$ aşağıdaki gibi tahmin edilir:

$$\hat{\sigma}_c^2 = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n [y_i - \hat{a} - \hat{b}(x_i - \bar{x})]^2 \quad (3.23)$$

Regresyon analizinde lineer olmayan, kübik, logaritmik gibi diğer modellerin tercih edilmesi durumunda varyans $\hat{\sigma}_c^2$ aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\hat{\sigma}_c^2 = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n [y_i - \hat{y}_i]^2 \quad (3.24)$$

Birçok süreç korelasyon içermektedir. Sürecin değişkenliğini azaltmak için korelasyonları içeren çeşitli bileşenler analiz edilmelidir. Prasad ve Bramorski [63] süreçte yer alan korelasyonu dikkate alarak SYİ'yi aşağıdaki gibi tanımlamışlardır:

$$\hat{C}_{pc} = \frac{\ddot{U}SL - ASL}{6\hat{\sigma}_c} \quad (3.25)$$

$$\hat{C}_{plc} = \frac{\mu - ASL}{3\hat{\sigma}_c} \quad (3.26)$$

$$\hat{C}_{puc} = \frac{\ddot{U}SL - \mu}{3\hat{\sigma}_c} \quad (3.27)$$

$$\hat{C}_{pkc} = \hat{C}_{pc} - \frac{|m - \mu|}{3\hat{\sigma}_c} \quad (3.28)$$

4.1 Bulanık Süreç Yeterlilik Analizi ile İlgili Literatür Taraması

Bu bölümde literatürde bulanık küme teorisinden yararlanarak süreç yeterlilik analizi (SYA) üzerine yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Yalçın ve Kaya [3] spesifikasyon limitlerini nütrosifik kümeler yardımıyla tanımlayarak nütrosifik $\tilde{C}_{pm}$ ve $\tilde{C}_{pmk}$ indekslerini elde etmişlerdir. Aslam ve Albassam [7] sürecin ortalama ve standart sapmasını nütrosifik istatistikten yararlanarak tanımlamışlardır. Nütrosifik istatistiklere dayanan örnekleme planı ve $\hat{C}_{Npk}$ indeksini geliştirmişlerdir. Darestani vd. [64] ölçüm cihazlarının yeterliliğinin değerlendirilmesinde bulanık sayıları kullanarak C_g ve C_{gk} indekslerini hesaplamışlardır. Ganji ve Gildeh [65] spesifikasyon limitlerinin kesin değerlerle ifade edilemediği durumda sürecin yeterliliğini ölçebilmek için yeni yöntemler geliştirmişlerdir. Hesamian vd. [66] kontrol diyagramlarını, süreç yeterliliğini ve hipotez testlerini gözlem değerleri, ortalama, varyans ve kontrol limitlerini bulanık olarak hesaplamışlardır. Momeni vd. [67] spesifikasyon limitleri ve ölçüm değerleri bulanık olduğunda, C_{pk} indeksini tahmin etmek için parametrik olmayan bir yaklaşım önermişlerdir. Hesamian ve Akbari [68] normal dağılıma sahip olmayan belirsiz gözlem değerleri, spesifikasyon limitleri ve hedef değeri ele alarak bulanık SYİ'yi incelemişlerdir. Sierra vd. [69] verilerin normal dağılım göstermediği ve spesifikasyon limitlerinin kesin sayılarla ifade edilemediği durumlarda SYİ'yi tahmin etmek için yeni bir yöntem önermişlerdir. Darestani ve Nasiri [70] spesifikasyon limitleri ve ölçüm değerlerini bulanık sayı olarak $\tilde{C}_{pm}$, $\tilde{C}_{pmk}$, $\tilde{P}_p$ ve $\tilde{P}_{pk}$ indekslerini geliştirmişlerdir. Bidabadi vd. [71] ölçüm hatalarını göz önünde bulundurarak bulanık çok değişkenli süreç yetersizlik indeksini analiz etmişlerdir. Ganji ve Gildeh [72] asimetrik tolerans aralığına sahip süreçler için $\tilde{C}_{pk}'''$ ve $\tilde{C}_{pmk}'''$ indekslerini geliştirilmiştir. Sheng ve Cheng [73] SYİ'nin güven

aralıklarını oluşturmak için bulanık küme teorisi ve Buckley'in bulanık tahmin yaklaşımına dayalı bir yöntem önermişlerdir. Ganji ve Gildeh [74] bulanık mantığın çok değişkenli süreç yeterlilik vektörü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Ganji ve Gildeh [75] Buckley'in yaklaşımını kullanarak süreç yetersizlik indeksini bulanıklaştırmışlardır. Ganji ve Gildeh [76] spesifikasyon limitleri ve hedef değerin bulanık sayılarla ifade edildiği durumda çok değişkenli SYİ'nin bulanık formülasyonlarını geliştirmişlerdir. Abdolshah [77] gözlem değerlerinin belirsiz olması durumunda L_e ve L'_e indekslerini incelemiştir. Parchami [78] spesifikasyon limitlerinin bulanık sayılarla ifade edildiği durumda $\tilde{C}_p$ indeksini test etmiştir. Hipotezleri test ederken çalışma karakteristik eğrisinden yararlanmıştır. Ganji ve Gildeh [79] spesifikasyon limitleri, hedef değer ve süreçten toplanan verilerin kesin olmadığı durumda bulanık çok değişkenli süreç yeterlilik vektörünü incelemişlerdir. Parchami vd. [80] bulanık verilerle üretim sürecinin yeterliliğini tahmin etmek için Juran ve Taguchi süreç yeterlilik indekslerinin genelleştirilmiş formunu önermişlerdir. Senvar ve Kahraman [81] Clements' yöntemini kullanarak normal dağılıma uygun olmayan verilerde sürecin yeterliliğini analiz edebilmek için bulanık SYİ'yi geliştirmişlerdir. Wu vd. [82] bulanık küme teorisiyle C_{pm} indeksini birlikte ele alarak tedarikçi seçim problemine aşama aşama bir atama prosedürü önermişlerdir. Kaya [60] ÜBS ve YBS'yi kullanarak $\tilde{C}_{pp}$ indeksini geliştirmiştir. Bir inşaat firmasının tedarikçi alternatiflerinin değerlendirilmesinde $\tilde{C}_{pp}$ indeksini kullanmıştır. Kershavarzi ve Abooi [83] sürekli üretim sürecini analiz etmek için bulanık kontrol diyagramları ve SYİ'den yararlanmışlardır. Abdolshah [84] C_{pk} indeksi ve Taguchi kayıp fonksiyonunu içeren yeni bir süreç yeterlilik indeksi geliştirmiştir. Parchami ve Mashinchi [85] spesifikasyon limitlerinin bulanık olduğu durumda Taguchi indeksinin genelleştirilmiş formuna farklı çeşitlerde güven aralıkları tanımlamışlardır. Grau [86] spesifikasyon limitleri, gözlem ve hedef değerlerinin bulanık olduğu süreçler için $\tilde{C}_p''(u, v)$ indeksini incelemiştir. Süreç performansının değerlendirilmesi için kritik değerler ve p değerlerini temel alarak üç karar test kuralını geliştirmiştir. Kaya ve Baracli [87] asimetrik toleranslara sahip C_{pp}'' indeksini bulanık küme teorisini kullanarak analiz etmişlerdir. Shu ve Wu [88]

bulanık gözlem değerleriyle C_{pm} indeksinin bulanık tahminini elde etmek için bir yöntem önermişlerdir. Khodaygan ve Movahhedy [89] normal dağılıma sahip olmayan asimetrik toleranslara sahip mekanik montajlarda bir üretim sürecinin montaj spesifikasyonlarını karşılamadaki başarısını değerlendirmek için bulanık yaklaşımı temel alan yeni bir SYA yöntemi önermişlerdir. Gildeh ve Moradi [90] bulanık tolerans bölgesini baz alan çok değişkenli süreç yeterlilik indeksini geliştirmişlerdir. Gildeh ve Asghari [91] spesifikasyon limitleri ve hedef değeri ÜBS yardımıyla tanımlayarak $\tilde{C}_{pm}$ indeksi için bulanık güven aralığı elde etmişlerdir. Gildeh ve Asghari [92] C_{pi} indeksi için bir güven aralığı oluşturmuşlardır. $\tilde{C}_{pi}$ indeksini tedarikçi seçim problemine uygulamışlardır. Kaya [93] spesifikasyon limitleri, ortalama, varyans ve hedef değeri bulanık formda alarak $\tilde{C}_{pp}$ indeksini türetmiştir. Kaya ve Kahraman [94] asimetrik toleranslara sahip SYİ'ye daha fazla bilgi ve esneklik kazandırmak için bulanık küme teorisini kullanmışlardır. Zhao [95] sürecin hedef değerini bulanık ortamda minimax yöntemiyle belirlemiştir. Minimax yöntemi, sürecin hedef değerini ve süreç yeterlilik indeksini temel alan bir yöntemdir. Parchami vd. [96] süreç yeterliliğini ölçebilmek için $\tilde{C}_{pm}$ indeksinin genelleştirilmiş formunu geliştirmişlerdir. Spesifikasyon limitlerini bulanık olarak genelleştirilmiş $\tilde{C}_{pm}$ indeksi için bir güven aralığı önermişlerdir. Kaya ve Kahraman [97] C_p , C_{pk} , C_{pm} , C_{pmk} ve C_a indekslerinin bulanık formülasyonlarını geliştirmişlerdir. Abdolshah vd. [98] C_{pmk} indeksinin üyelik fonksiyonunu bulanık gözlemlerin α -kesimlerine dayanarak elde etmişlerdir. $\tilde{C}_{pmk}$ indeksinin performansını diğer bulanık indekslerle karşılaştırmışlardır. Ugurlu ve Kaya [99] seyahat yolcu sürelerine odaklanarak çok modlu seyahatte güvenilirlik düzeyini ölçmek için bulanık SYİ'yi kullanmışlardır. Kaya ve Kahraman [100] temel hava kirliliği göstergelerini bulanıklık altında analiz edilmişlerdir. Hava kirliliği göstergelerinin bulanık uygunsuzluk oranlarını da hesaplamışlardır. Kaya ve Kahraman [101] bulanık ölçüm değerlerini kullanarak bulanık kontrol diyagramlarını geliştirmişlerdir. C_p ve C_{pk} indekslerini bulanık ortamda incelemişlerdir. Ramezani vd. [102] spesifikasyon limitlerini bulanık sayılarla tanımlayarak $\tilde{C}_{pm}$ indeksi için çeşitli bulanık güven bölgeleri

tanımlamışlardır. Kahraman ve Kaya [103] ortalama, varyans, spesifikasyon limitleri ve hedef değer parametrelerini bulanık alarak $\tilde{C}_{pp}$ indeksini hesaplamışlardır. Kahraman vd. [104] asimetrik toleranslara sahip C''_{pmk} indeksinin bulanık formülasyonunu geliştirmişlerdir. Liao ve Wu [105] C_{pp} indeksinin tahminleyicisini bulanık ortamda analiz etmişlerdir. Ortalama ve varyans için bir güven aralığı kümesi oluşturmuşlardır. Süreç performansını değerlendirmek için kritik değerler ve bulanık p değerlerine bağlı yöntem geliştirmişlerdir. Kaya ve Kahraman [106] SYİ'yi bulanık normal dağılım yaklaşımını kullanarak incelemişlerdir. Spesifikasyon limitleri, ortalama ve varyansı bulanık alarak önerdikleri yöntemi üretim alanına uygulamışlardır. Kaya ve Kahraman [61] kalite karakteristikleri arasındaki ilişkiyi ele alarak bulanık gürbüz SYİ'yi hesaplamışlardır. Kahraman ve Kaya [107] spesifikasyon limitleri, ortalama ve varyansı bulanık sayılarla tanımlayarak bulanık SYİ'yi altı sigma yaklaşımında geliştirmişlerdir. C_a indeksini de bulanıklık altında analiz etmişlerdir. Chen vd. [108] $\tilde{C}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonunu bulanık gözlem değerlerinin α -kesimlerine dayanarak oluşturmuşlardır. Parchami vd. [109] spesifikasyon limitlerini bulanık ortamda doğrusal ve üstel olarak ele almışlardır. Geliştirdikleri $\tilde{C}_p$, $\tilde{C}_{pk}$, $\tilde{C}_{pm}$ ve $\tilde{C}_{pmk}$ indekslerinin geçerliliğini uygulamalı olarak göstermişlerdir. Kaya ve Kahraman [110] alternatif tedarikçiler arasından en iyi tedarikçiyi belirlemek için $\tilde{C}_a$ indeksini kullanmışlardır. Parchami ve Mashinchi [111] spesifikasyon limitlerinin bulanık olduğu durumu ele alarak yeni bulanık SYİ'yi geliştirmişlerdir. Shu ve Wu [112] S_{pk} indeksinin tahminleyicisi için bulanık küme teorisini kullanarak yeni bir yöntem ele almışlardır. Wu [113] Buckley'in yaklaşımını kullanarak C_{pk} tahminleyicisi için bir güven aralığı kümesi elde etmiştir. Süreç performansının değerlendirilmesi için bulanık kritik değerler ve bulanık p değerlerine bağlı yeni yöntem önermiştir. Kahraman ve Kaya [114] kuraklığın etkilerini değerlendirmek için İstanbul'un baraj doluluk oranlarını C_p , C_{pk} ve C_a indeksleriyle hesaplamışlardır. Spesifikasyon limitleri ve ortalamayı bulanık sayılarla tanımlayarak sürecin yeterliliğini $\tilde{C}_a$ indeksiyle analiz etmişlerdir. Kaya ve Kahraman [115] hava kirliliğini analiz etmede SYİ'yi kullanarak yeni bir

yöntem önermişlerdir. Bulanık SYİ'nin üyelik fonksiyonlarını altı sigma yaklaşımıyla ele almışlardır. Kaya ve Kahraman [116] spesifikasyon limitlerinin bulanık sayılarla tanımlanması durumunda bulanık SYİ'yi öğrenme sürecine uygulamışlardır. Kaya ve Kahraman [117] İstanbul'un hava kirliliğini SYİ yardımıyla analiz etmişlerdir. Hava kirliliğinin tahmin edilmesinde kullanılan parametrelerin arasındaki ilişkiler dikkate alınarak gürbüz SYİ'yi hesaplamışlardır. Parchami vd. [118] spesifikasyon limitleri bulanık sayılarla ifade edildiğinde, $\tilde{C}_p$ indeksi için bulanık güven aralığını bulmuşlardır. Chen ve Chen [119] süreç yeterliliğini bulanık çıkarsama yaklaşımıyla değerlendiren bir yöntem geliştirmişlerdir. Hsu ve Shu [120] Taguchi indeksinin bulanık tahminleyicisini elde etmek için bulanık sayıların vektörel yaklaşımını kullanmışlardır. Süreç yeterliliğinin değerlendirilmesinde kritik değer ve bulanık p değerini içeren iki bulanık çıkarsama yöntemini değerlendirmişlerdir. Parchami ve Mashinchi [121] C_p , C_{pk} ve C_{pm} indekslerinin bulanık tahminleyicilerini elde etmek için Buckley'in tahmin yaklaşımını kullanarak bir algoritma önermişlerdir. Parchami vd. [122] $\tilde{C}_p$ indeksi için $100(1 - \alpha)\%$ bulanık güven aralığını geliştirmişlerdir. Tsai ve Chen [123] C_p indeksi için hipotez testi yaklaşımını ele almışlardır. Parchami vd. [124] spesifikasyon limitlerini bulanık olarak $\tilde{C}_p$, $\tilde{C}_{pk}$, $\tilde{C}_{pm}$ ve $\tilde{C}_{pmk}$ indekslerini incelemişlerdir. Parchami vd. [125] spesifikasyon limitlerinin bulanık olduğu durumda $\tilde{C}_p$ indeksi için bulanık güven aralığı tanımlamışlardır. Chen vd. [126] bulanık çıkarsama yöntemiyle süreç yeterlilik indeksini incelemişlerdir. Chen vd. [127] C_{pm} indeksine dayanan alternatifler arasından en uygun tedarikçinin seçilmesi için bir bulanık çıkarsama yöntemi önermişlerdir. Lee [128] gözlem değerleri bulanık olduğunda, C_{pk} indeksini dilsel değişkenlerle analiz etmiştir. Lee vd. [129] süreç yeterlilik indeksinin en yüksek değerini elde etmek için sürecin toleranslarını ele alarak yeni bir model önermişlerdir. Yongting [130] sürecin kalitesinin ölçülebilmesi için C_p indeksini bulanık olarak ele almıştır. Kaya ve Çolak [2] BSYA üzerine yapılan çalışmaları inceleyerek en sık kullanılan indekslerin sırasıyla $\tilde{C}_p$, $\tilde{C}_{pk}$, $\tilde{C}_{pm}$ ve $\tilde{C}_{pmk}$ olduğu sonucuna varmışlardır. Bulanık küme uzantılarından olan tip-2 bulanık kümeler ve sezgisel bulanık kümeler

üzerine sınırlı sayıda çalışma yapıldığı da görülmektedir. Literatürde BSYA üzerine yapılan çalışmalar detaylıca incelenerek SYİ hesaplanırken hangi parametrelerin bulanık olarak ele alındığı incelenmiştir. Tablo 4.1’de bulanık süreç parametreleri gösterilmiştir. Şekil 4.1’de bulanık küme uzantıları kullanılarak SYA konusunda yapılmış çalışmaların yıllara göre dağılım grafiği özetlenmiştir. Şekil 4.2’de bulanıklaştırılan süreç parametrelerinin yüzdelik değerleri grafik şeklinde sunulmuştur. Şekil 4.3’de BSYA üzerine yapılan çalışmalarda kullanılan bulanık küme türlerinin dağılımı verilmiştir. Şekil 4.4’de BSYA üzerine yapılan çalışmaların uygulama alanlarına göre dağılım grafiği gösterilmiştir.



Tablo 4.1 Bulanık süreç yeterlilik analizi çalışmalarının değerlendirilmesi

Yıl	Yazar	Küme Türleri	Bulanık Olarak Ele Alınan Parametreler							Uygulama Alanı
			ASL/ÜSL	T	$\mu/\bar{X}$	$\sigma^2/s^2/\sigma/s$	X_i	Uygunsuzluk Oranı	Diğer	
2022	Yalçın ve Kaya [3]	Nötrosofik	✓							Üretim
2022	Haktanır ve Kahraman [6]	Pentagor	✓		✓	✓				Üretim
2021	Chen ve Hung [4]	Tip-2	✓		✓	✓	✓			Üretim
2021	Darestani vd. [64]	Tip-1	✓		✓	✓	✓			Üretim
2020	Haktanır ve Kahraman [5]	Pentagor	✓		✓	✓				Üretim
2020	Bidabadi vd. [71]	Tip-1	✓	✓	✓	✓				Üretim
2020	Ganji ve Gildeh [65]	Tip-1	✓						✓	Üretim
2019	Hesamian ve Akbari [8]	Sezgisel	✓	✓	✓					Üretim
2019	Momeni vd. [67]	Tip-1	✓		✓	✓	✓	✓		Üretim
2019	Aslam ve Albassam [7]	Nötrosofik			✓	✓	✓			Üretim
2019	Hesamian vd. [66]	Tip-1	✓		✓	✓	✓			Üretim
2018	Hesamian ve Akbari [68]	Tip-1	✓	✓			✓		✓	Üretim
2017	Sierra vd. [69]	Tip-1	✓						✓	Sayısal Örnek
2017	Ganji ve Gildeh [72]	Tip-1	✓	✓	✓	✓				Üretim
2017	Parchami vd. [10]	Tip-2	✓					✓		Üretim
2017	Kahraman vd. [9]	Sezgisel	✓							Üretim
2016	Sheng ve Cheng [73]	Tip-1			✓	✓				Sayısal Örnek
2016	Ganji ve Gildeh [74]	Tip-1	✓	✓	✓	✓	✓	✓		Üretim
2016	Ganji ve Gildeh [75]	Tip-1			✓	✓				Üretim
2016	Ganji ve Gildeh [76]	Tip-1	✓	✓				✓		Üretim
2016	Darestani ve Nasiri [70]	Tip-1	✓	✓	✓	✓	✓			Üretim
2015	Abdolshah [77]	Tip-1			✓	✓	✓			Üretim
2015	Parchami [78]	Tip-1	✓							Sayısal Örnek
2015	Ganji ve Gildeh [79]	Tip-1	✓	✓	✓	✓	✓	✓		Üretim

Tablo 4.1 Bulanık süreç yeterlilik analizi çalışmalarının değerlendirilmesi (devamı)

Yıl	Yazar	Küme Türleri	Bulanık Olarak Ele Alınan Parametreler						Uygulama Alanı	
			ASL/ÜSL	T	$\mu/\bar{X}$	$\sigma^2/s^2/\sigma/s$	X_i	Uygunsuzluk Oranı	Diğer	
2016	Cao vd. [11]	Sezgisel					✓	✓		Üretim
2014	Parchami vd. [80]	Tip-1	✓		✓	✓	✓			Üretim
2014	Senvar ve Kahraman [81]	Tip-1	✓						✓	Sayısal Örnek
2014	Senvar ve Kahraman [12]	Tip-2	✓						✓	Sayısal Örnek
2014	Wu vd. [82]	Tip-1			✓	✓	✓			Tedarikçi Seçimi
2014	Kaya [60]	Tip-1	✓	✓	✓	✓				Tedarikçi Seçimi
2013	Keshavarzi ve Abooie [83]	Tip-1	✓	✓	✓	✓	✓			Üretim
2013	Parchami ve Mashinchi [85]	Tip-1	✓							Üretim
2013	Grau [86]	Tip-1	✓	✓	✓	✓	✓			Üretim
2013	Gildeh ve Angoshtari [131]	Tip-1					✓			Üretim
2012	Kaya ve Baracli [87]	Tip-1	✓	✓	✓	✓				Üretim
2012	Shu ve Wu [88]	Tip-1					✓	✓		Üretim
2012	Khodaygan ve Movahhedy [89]	Tip-1			✓	✓	✓			Üretim
2012	Gildeh ve Moradi [90]	Tip-1	✓					✓		Üretim
2012	Gildeh ve Asghari [91]	Tip-1	✓	✓	✓		✓		✓	Sayısal Örnek
2011	Gildeh ve Asghari [92]	Tip-1		✓	✓		✓		✓	Tedarikçi Seçimi
2011	Kaya [93]	Tip-1	✓	✓	✓	✓				Üretim
2011	Kaya ve Kahraman [94]	Tip-1	✓	✓	✓	✓				Üretim
2011	Zhao [95]	Tip-1		✓						Sayısal Örnek
2011	Parchami vd. [96]	Tip-1	✓							Teorik
2011	Kaya ve Kahraman [97]	Tip-1	✓	✓	✓	✓				Üretim
2011	Abdolshah vd. [98]	Tip-1			✓	✓	✓			Üretim
2011	Ugurlu ve Kaya [99]	Tip-1	✓							Güvenilirlik

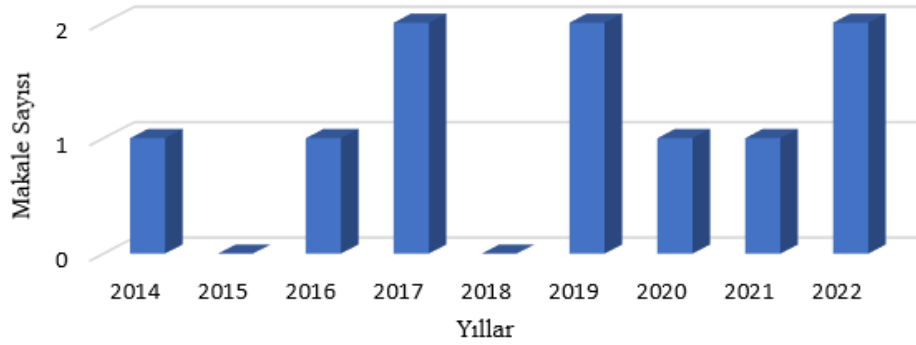
Tablo 4.1 Bulanık süreç yeterlilik analizi çalışmalarının değerlendirilmesi (devamı)

Yıl	Yazar	Küme Türleri	Bulanık Olarak Ele Alınan Parametreler							Uygulama Alanı
			ASL/ÜSL	T	$\mu/\bar{X}$	$\sigma^2/s^2/\sigma/s$	X_i	Uygunsuzluk Oranı	Diğer	
2011	Kaya ve Kahraman [100]	Tip-1	✓		✓	✓		✓		Risk Değerlendirme
2011	Kaya ve Kahraman [101]	Tip-1	✓		✓	✓	✓			Üretim
2011	Ramezani ve Mashinchi [102]	Tip-1	✓							Sayısal Örnek
2011	Kahraman ve Kaya [103]	Tip-1	✓	✓	✓	✓				Üretim
2010	Kahraman vd. [104]	Tip-1	✓	✓	✓	✓				Üretim
2010	Liao ve Wu [105]	Tip-1			✓	✓				Sayısal Örnek
2010	Kaya ve Kahraman [106]	Tip-1	✓		✓	✓		✓		Üretim
2010	Kaya ve Kahraman [61]	Tip-1	✓			✓				Üretim
2010	Kahraman ve Kaya [107]	Tip-1	✓		✓	✓		✓		Üretim
2010	Chen vd. [108]	Tip-1			✓	✓	✓			Üretim
2010	Parchami vd. [109]	Tip-1	✓							Üretim
2010	Kaya ve Kahraman [110]	Tip-1	✓		✓					Tedarikçi Seçimi
2010	Parchami ve Mashinchi [111]	Tip-1	✓							Üretim
2010	Shu ve Wu [112]	Tip-1					✓			Üretim
2009	Wu [113]	Tip-1			✓	✓				Üretim
2009	Kahraman ve Kaya [114]	Tip-1	✓		✓					Risk Değerlendirme
2009	Kaya ve Kahraman [115]	Tip-1			✓	✓				Risk Değerlendirme
2009	Kaya ve Kahraman [117]	Tip-1	✓			✓				Risk Değerlendirme
2008	Kaya ve Kahraman [116]	Tip-1	✓							Öğrenme Süreci
2008	Parchami vd. [118]	Tip-1	✓							Teorik
2008	Hsu ve Shu [120]	Tip-1			✓	✓		✓		Üretim
2007	Parchami ve Mashinchi [121]	Tip-1			✓	✓				Sayısal Örnek
2006	Parchami vd. [122]	Tip-1	✓							Sayısal Örnek

Tablo 4.1 Bulanık süreç yeterlilik analizi çalışmalarının değerlendirilmesi (devamı)

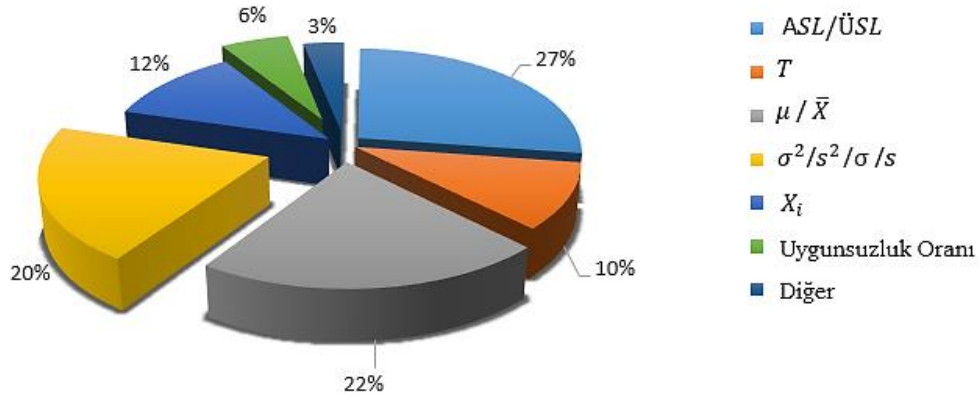
Yıl	Yazar	Küme Türleri	Bulanık Olarak Ele Alınan Parametreler						Uygulama Alanı	
			$ASL/ÜSL$	T	$\mu/\bar{X}$	$\sigma^2/s^2/\sigma/s$	X_i	Uygunsuzluk Oranı	Diğer	
2006	Tsai ve Chen [123]	Tip-1			✓	✓				Üretim
2005	Parchami vd. [124]	Tip-1	✓							Sayısal Örnek
2005	Parchami vd. [125]	Tip-1	✓							Sayısal Örnek
2001	Lee [128]	Tip-1	✓	✓	✓	✓				Teorik
1999	Lee vd. [129]	Tip-1	✓							Üretim
1996	Yongting [130]	Tip-1	✓							Üretim

Tablo 4.1’de verilen bilgiler grafik yardımıyla analiz edilerek BSYA üzerine yapılan çalışmalar detaylı bir biçimde incelenmiştir.



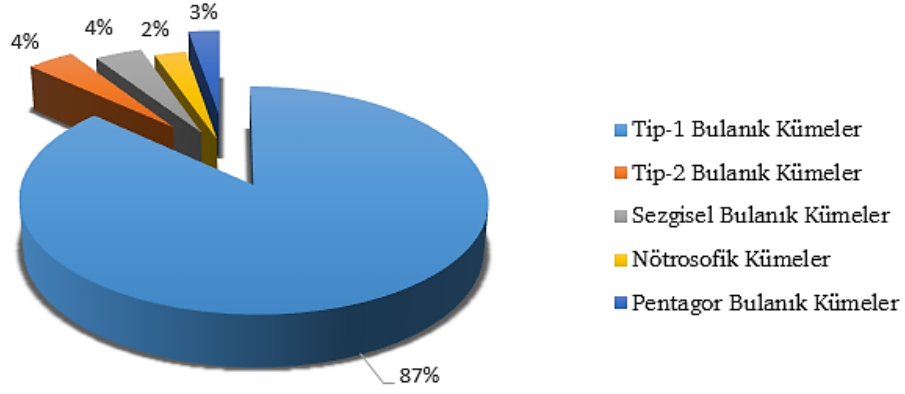
Şekil 4.1 Süreç yeterlilik analizinde bulanık küme uzantıları kullanılarak yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı

SYA üzerine yapılan çalışmalarda bulanık küme uzantılarının sınırlı sayıda kullanıldığı sonucuna varılmıştır. Tablo 4.1’de de görüldüğü üzere, çalışmalar ağırlıklı olarak tip-1 (geleneksel) bulanık kümelerle yapılmıştır. Bu tez kapsamında yapılan çalışma literatüre katkı sağlamaktadır.



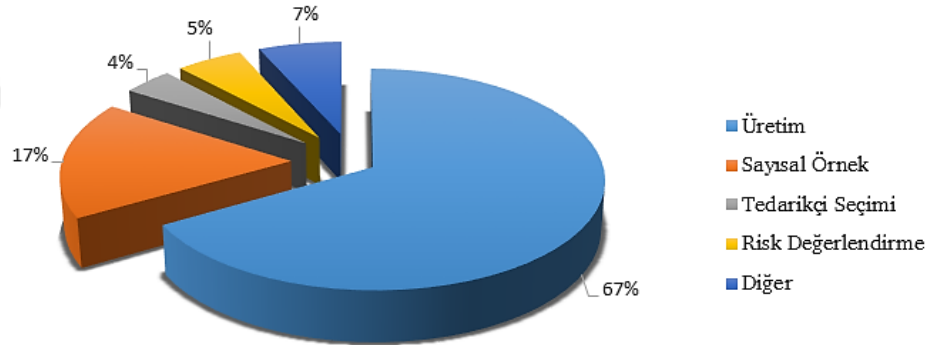
Şekil 4.2 Bulanık olarak ele alınan parametreler

SYA’nın temelini oluşturan süreç parametreleri arasından %27 oranıyla spesifikasyon limitlerinin sıklıkla bulanık olarak çalışmalarda ele alındığı görülmektedir. Spesifikasyon limitini %22 ve %20 oranıyla sürecin ortalaması ve standart sapması takip etmektedir. Bu çalışmada bulanık küme uzantıları kullanılarak ele alınan kusurlu süreç çıktı yüzdelerinin %6 oranıyla sınırlı sayıda incelendiği ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.3 Bulanık süreç yeterlilik analizi çalışmalarında kullanılan bulanık küme türleri

BSYA üzerine yapılan çalışmalarda tip-1 (geleneksel) bulanık kümelerin %87'lik dilimle en fazla kullanıldığı ortaya çıkmıştır. Şekil 4.3 detaylıca incelendiğinde, bu tez kapsamında ele alınan Pisagor bulanık kümeler ile herhangi bir çalışmanın yapılmadığı görülmektedir. Diğer bulanık küme uzantılarının da toplamda %13'lük dilimle sınırlı sayıda çalışıldığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.4 Bulanık süreç yeterlilik analizi çalışmalarındaki uygulama alanları

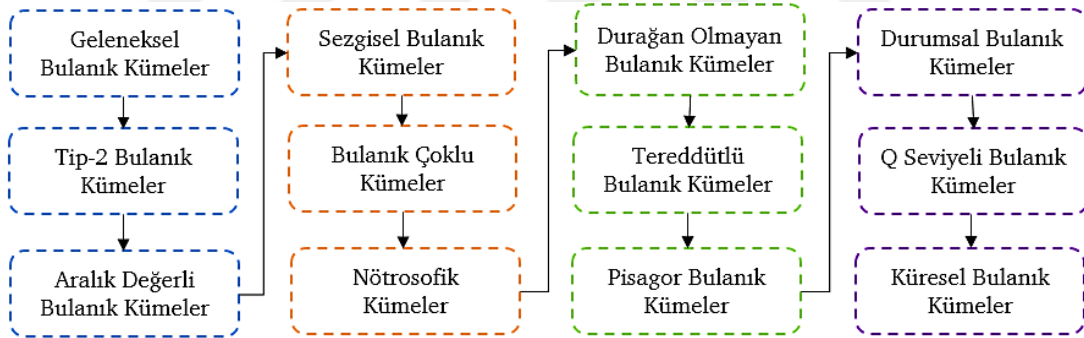
BSYA'nın ağırlıklı olarak üretim alanında uygulandığı görülmektedir. SYA'nın spesifikasyon limitleri dâhilinde süreç içerisindeki değişimin boyutunu hesaplayarak sürecin kalitesinin iyileştirmesinde önemli bir rol oynadığı çıkan sonuçlarda da görülmektedir. Bulanık küme ve uzantılarının sağladığı avantajların diğer alanlara da uygulanması süreçteki etkinlik ve verimliliğin artırılması açısından önem taşımaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, literatürdeki eksiklikler tespit edilerek SYA ile elde edilen sonuçların daha hassas, daha esnek ve daha fazla bilgi içermesini sağlamak amacıyla henüz literatürde incelenmeyen NK ve PBK kullanılmıştır. NK'nin insanın düşünce yapısına daha yakın olması, uygulama kolaylığı sağlaması ve belirsizliği modellemesindeki başarısıyla önemli bir yer tutmaktadır. PBK'nin esnek tanımlama imkânı sağlaması ve bulanık kümelerle göre daha fazla bilgi içermesi belirsizliği daha iyi temsil etmesini sağlamaktadır. Literatürde SYA konusundaki eksiklikler bulanık küme uzantılarının sağladığı avantajlardan yararlanılarak giderilmeye çalışılmıştır.



5.1 Bulanık Küme Uzantılarının Tarihçesi

Zadeh [16] bulanık kümeleri literatüre kazandırdığından beri belirsizlikle başa çıkmak için birçok farklı bulanık küme uzantıları geliştirilmiştir. Bulanık kümeler belirsizliğin olduğu bazı durumlarda problemlerin çözümünde yetersiz kalmaktadır. Bu durum çeşitli bulanık küme uzantılarının ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bu bölümde, literatürde sıklıkla kullanılan tip-2 bulanık kümeler (T2BK), tereddütlü bulanık kümeler (TBK), sezgisel bulanık kümeler (SBK), Pisagor bulanık kümeler (PBK), küresel bulanık kümeler (KBK) ve nütrosifik kümeler (NK) ele alınmıştır. Şekil 5.1’de bulanık küme ve uzantılarının kronolojik sıralaması yer almaktadır.



Şekil 5.1 Bulanık küme uzantıları [132]

5.2 Tip-2 Bulanık Kümeler

Zadeh [133] tip-1 (geleneksel) bulanık kümelerin bir uzantısı olarak tip-2 bulanık kümeleri (T2BK) geliştirmiştir. Tip-1 bulanık kümelerin üyelik dereceleri kesin değerlere sahipken tip-2 bulanık kümelerin üyelik dereceleri bulanık değerlere sahiptir. Üyelik derecelerinin kesin olarak belirlenemediği ve bu noktada belirsizliğin olduğu durumlarda T2BK kullanılmaktadır. Tip-1 bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları iki boyutluyken T2BK’nin üyelik fonksiyonları üç boyutludur.

Üçüncü boyut daha fazla esneklik kazandırdığı için belirsizliğin daha iyi ifade edilebilmesini sağlamıştır [134].

T2BK ile ilgili bazı temel tanımlar aşağıdaki gibidir [135]:

Tanım 5.1. X evrenindeki bir $\tilde{A}$ tip-2 bulanık kümesi, tip-2 üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}$ ile aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\tilde{A} = \left\{ \left((x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u) \right) \mid \forall x \in X, \forall u \in J_X \subseteq [0, 1], 0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x, u) \leq 1 \right\} \quad (5.1)$$

$J_X, [0, 1]$ aralığında bir aralığı simgelemektedir. Ayrıca, $\tilde{A}$ tip-2 bulanık kümesi aşağıdaki şekilde de gösterilebilir:

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_X} \mu_{\tilde{A}}(x, u) / (x, u) \quad (5.2)$$

$J_X \subseteq [0, 1]$ ve $\iint$ tüm kabul edilebilir x ve u üzerindeki birleşimleri ifade etmektedir.

Tanım 5.2. $\tilde{A}$, tip-2 üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}$ ile X evreninde temsil edilen bir tip-2 bulanık küme olsun. Eğer tüm $\mu_{\tilde{A}}(x, u) = 1$ ise $\tilde{A}$ tip-2 bulanık kümesine, aralık tip-2 bulanık kümesi denilmektedir. Bir $\tilde{A}$ aralık tip-2 bulanık kümesi, tip-2 bulanık kümesinin özel bir hali olarak aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_X} 1 / (x, u) \quad (5.3)$$

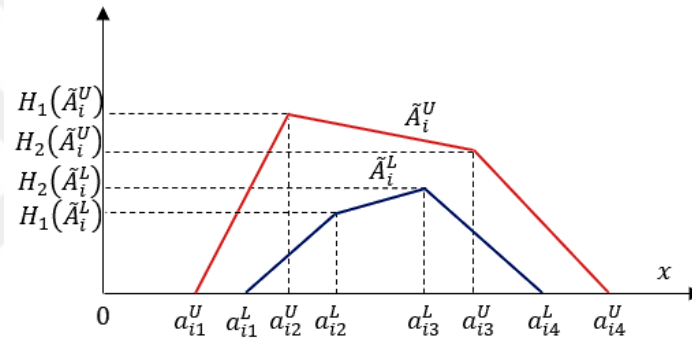
$J_X \subseteq [0, 1]$ 'dir.

Tanım 5.3. Bir aralık tip-2 bulanık kümesinin üst ve alt üyelik fonksiyonları tip-1 üyelik fonksiyonlarıdır. Chen ve Lee [135] bulanık çok kriterli grup karar verme problemlerini daha esnek ve daha gerçekçi bir şekilde ele alabilmek için aralık tip-2 bulanık kümeleri içeren bir yöntem sunmuşlardır. Bu yöntemde, aralık T2BK'nin referans noktaları, üst ve alt üyelik fonksiyonlarının yükseklikleri aralık T2BK'yi karakterize etmek için kullanılmıştır. Bu bölümde, daha geniş kapsayıcılığı olan

ve daha fazla hassaslık sağlayan YBS ele alınmıştır. Şekil 5.2’de gösterilen bir yamuk aralık T2BK’nin matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$\tilde{\tilde{A}}_i = (\tilde{A}_i^U, \tilde{A}_i^L) = \left(\left(a_{i1}^U, a_{i2}^U, a_{i3}^U, a_{i4}^U; H_1(\tilde{A}_i^U), H_2(\tilde{A}_i^U) \right), \left(a_{i1}^L, a_{i2}^L, a_{i3}^L, a_{i4}^L; H_1(\tilde{A}_i^L), H_2(\tilde{A}_i^L) \right) \right) \quad (5.4)$$

$\tilde{A}_i^U$ ve $\tilde{A}_i^L$ tip-1 bulanık kümelerdir. $\tilde{\tilde{A}}_i$ aralık T2BK’nin $a_{i1}^U, a_{i2}^U, a_{i3}^U, a_{i4}^U, a_{i1}^L, a_{i2}^L, a_{i3}^L, a_{i4}^L$ referans noktalarıdır. $H_j(\tilde{A}_i^U)$, $1 \leq j \leq 2$ iken $\tilde{A}_i^U$ üst yamuk üyelik fonksiyonundaki $a_{i(j+1)}^U$ elemanın üyelik değeridir. $H_j(\tilde{A}_i^L)$, $1 \leq j \leq 2$ iken $\tilde{A}_i^L$ alt yamuk üyelik fonksiyonundaki $a_{i(j+1)}^L$ elemanın üyelik değeridir. $H_1(\tilde{A}_i^U) \in [0,1]$, $H_2(\tilde{A}_i^U) \in [0,1]$, $H_1(\tilde{A}_i^L) \in [0,1]$, $H_2(\tilde{A}_i^L) \in [0,1]$ ve $1 \leq i \leq n$ ’dir.



Şekil 5.2 Yamuk aralık tip-2 bulanık kümesinin üyelik fonksiyonları [135]

Tanım 5.4. $\tilde{\tilde{A}}_1$ ve $\tilde{\tilde{A}}_2$ yamuk aralık T2BK olmak üzere, yamuk aralık T2BK arasındaki aritmetik işlemler aşağıdaki gibidir:

$$\tilde{\tilde{A}}_1 = (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) = \left(\left(a_{11}^U, a_{12}^U, a_{13}^U, a_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U) \right), \left(a_{11}^L, a_{12}^L, a_{13}^L, a_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L) \right) \right) \quad (5.5)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_2 = (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) = \left(\left(a_{21}^U, a_{22}^U, a_{23}^U, a_{24}^U; H_1(\tilde{A}_2^U), H_2(\tilde{A}_2^U) \right), \left(a_{21}^L, a_{22}^L, a_{23}^L, a_{24}^L; H_1(\tilde{A}_2^L), H_2(\tilde{A}_2^L) \right) \right) \quad (5.6)$$

$$\begin{aligned}
\tilde{\tilde{A}}_1 \oplus \tilde{\tilde{A}}_2 &= (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) \oplus (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) \\
&= \left(\begin{pmatrix} a_{11}^U + a_{21}^U, a_{12}^U + a_{22}^U, a_{13}^U + a_{23}^U, a_{14}^U + a_{24}^U; \\ \min(H_1(\tilde{A}_1^U), H_1(\tilde{A}_2^U)), \min(H_2(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_2^U)) \end{pmatrix}, \right. \\
&\quad \left. \begin{pmatrix} a_{11}^L + a_{21}^L, a_{12}^L + a_{22}^L, a_{13}^L + a_{23}^L, a_{14}^L + a_{24}^L; \\ \min(H_1(\tilde{A}_1^L), H_1(\tilde{A}_2^L)), \min(H_2(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_2^L)) \end{pmatrix} \right) \quad (5.7)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\tilde{\tilde{A}}_1 \ominus \tilde{\tilde{A}}_2 &= (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) \ominus (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) \\
&= \left(\begin{pmatrix} a_{11}^U - a_{24}^U, a_{12}^U - a_{23}^U, a_{13}^U - a_{22}^U, a_{14}^U - a_{21}^U; \\ \min(H_1(\tilde{A}_1^U), H_1(\tilde{A}_2^U)), \min(H_2(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_2^U)) \end{pmatrix}, \right. \\
&\quad \left. \begin{pmatrix} a_{11}^L - a_{24}^L, a_{12}^L - a_{23}^L, a_{13}^L - a_{22}^L, a_{14}^L - a_{21}^L; \\ \min(H_1(\tilde{A}_1^L), H_1(\tilde{A}_2^L)), \min(H_2(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_2^L)) \end{pmatrix} \right) \quad (5.8)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\tilde{\tilde{A}}_1 \otimes \tilde{\tilde{A}}_2 &= (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) \otimes (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) \\
&= \left(\begin{pmatrix} a_{11}^U x a_{21}^U, a_{12}^U x a_{22}^U, a_{13}^U x a_{23}^U, a_{14}^U x a_{24}^U; \\ \min(H_1(\tilde{A}_1^U), H_1(\tilde{A}_2^U)), \min(H_2(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_2^U)) \end{pmatrix}, \right. \\
&\quad \left. \begin{pmatrix} a_{11}^L x a_{21}^L, a_{12}^L x a_{22}^L, a_{13}^L x a_{23}^L, a_{14}^L x a_{24}^L; \\ \min(H_1(\tilde{A}_1^L), H_1(\tilde{A}_2^L)), \min(H_2(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_2^L)) \end{pmatrix} \right) \quad (5.9)
\end{aligned}$$

$$kx\tilde{\tilde{A}}_1 = \left(\begin{pmatrix} kxa_{11}^U, kxa_{12}^U, kxa_{13}^U, kxa_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U) \\ kxa_{11}^L, kxa_{12}^L, kxa_{13}^L, kxa_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L) \end{pmatrix} \right), \quad k > 0 \quad (5.10)$$

$$\frac{\tilde{\tilde{A}}_1}{k} = \left(\begin{pmatrix} \frac{1}{k}xa_{11}^U, \frac{1}{k}xa_{12}^U, \frac{1}{k}xa_{13}^U, \frac{1}{k}xa_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U) \\ \frac{1}{k}xa_{11}^L, \frac{1}{k}xa_{12}^L, \frac{1}{k}xa_{13}^L, \frac{1}{k}xa_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L) \end{pmatrix} \right), \quad k > 0 \quad (5.11)$$

Tanım 5.5. $\tilde{\tilde{A}}_i$ yamuk aralık T2BK'nin sıralama değeri $Rank(\tilde{\tilde{A}}_i)$ aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}
Rank(\tilde{A}_i) = & M_1(\tilde{A}_i^U) + M_1(\tilde{A}_i^L) + M_2(\tilde{A}_i^U) + M_2(\tilde{A}_i^L) + M_3(\tilde{A}_i^U) \\
& + M_3(\tilde{A}_i^L) \\
& - \frac{1}{4} (S_1(\tilde{A}_i^U) + S_1(\tilde{A}_i^L) + S_2(\tilde{A}_i^U) + S_2(\tilde{A}_i^L) + S_3(\tilde{A}_i^U) \\
& + S_3(\tilde{A}_i^L) + S_4(\tilde{A}_i^U) + S_4(\tilde{A}_i^L)) + H_1(\tilde{A}_i^U) + H_1(\tilde{A}_i^L) \\
& + H_2(\tilde{A}_i^U) + H_2(\tilde{A}_i^L)
\end{aligned} \tag{5.12}$$

$1 \leq p \leq 3$ iken a_{ip}^j ve $a_{i(p+1)}^j$ elemanlarının ortalaması $M_p(\tilde{A}_i^j) = \frac{(a_{ip}^j + a_{i(p+1)}^j)}{2}$, $1 \leq q \leq 3$ iken a_{iq}^j ve $a_{i(q+1)}^j$ elemanlarının standart sapması $S_q(\tilde{A}_i^j) = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{k=q}^{q+1} (a_{ik}^j - \frac{1}{2} \sum_{k=q}^{q+1} a_{ik}^j)^2}$, $a_{i1}^j, a_{i2}^j, a_{i3}^j, a_{i4}^j$ elemanlarının standart sapması $S_4(\tilde{A}_i^j) = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{k=1}^4 (a_{ik}^j - \frac{1}{4} \sum_{k=1}^4 a_{ik}^j)^2}$ olarak hesaplanır. $1 \leq p \leq 2$ $j \in \{U, L\}$ $1 \leq i \leq n$ iken $H_p(\tilde{A}_i^j)$, $\tilde{A}_i^j$ yamuk üyelik fonksiyonunda $a_{i(p+1)}^j$ elemanın üyelik değerini ifade eder.

5.3 Tereddütlü Bulanık Kümeler

Torra [136] ve Torra ve Narukawa [137] bulanık kümelerin bir uzantısı olarak tereddütlü bulanık kümeleri (TBK) önermişlerdir. TBK, karar vericinin üyelik derecesini belirlemede tereddüt ettiği durumlarda kullanılmaktadır. Bir elemanın üyelik derecesinin $[0,1]$ aralığında olası birçok değer alabilmesidir [136]-[138].

TBK ile ilgili bazı temel tanımlar aşağıdaki gibidir [136], [138]-[139]:

Tanım 5.6. X sabit bir küme olsun. X üzerindeki bir tereddütlü bulanık kümenin matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir [138]:

$$E = \{(x, h_E(x)) | x \in X\} \tag{5.13}$$

$h_E(x)$, $x \in X$ elemanın E kümesine olası üyelik derecesini gösteren $[0,1]$ aralığında değerler alan bir kümedir.

Tanım 5.7. Tereddütlü bulanık küme olan h 'nin sınırları aşağıdaki gibidir [136]:

$$h^-(x) = \min h(x) \quad (5.14)$$

$$h^+(x) = \max h(x) \quad (5.15)$$

$h^-(x)$ alt sınırı ve $h^+(x)$ üst sınırı ifade etmektedir.

Tanım 5.8. h 'nin tümleyeni h^c aşağıdaki gibi hesaplanır [136]:

$$h^c = \cup_{\gamma \in h} \{1 - \gamma\} \quad (5.16)$$

Tanım 5.9. Tereddütlü bulanık küme olan h , h_1 ve h_2 ile ilgili bazı temel işlemler aşağıdaki gibidir [139]:

$$h^\lambda = \cup_{\gamma \in h} \{\gamma^\lambda\} \quad (5.17)$$

$$\lambda h = \cup_{\gamma \in h} \{1 - (1 - \gamma)^\lambda\} \quad (5.18)$$

$$h_1 \cup h_2 = \cup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \max\{\gamma_1, \gamma_2\} \quad (5.19)$$

$$h_1 \cap h_2 = \cup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \min\{\gamma_1, \gamma_2\} \quad (5.20)$$

$$h_1 \oplus h_2 = \cup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \{\gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_1 \gamma_2\} \quad (5.21)$$

$$h_1 \otimes h_2 = \cup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \{\gamma_1 \gamma_2\} \quad (5.22)$$

5.4 Sezgisel Bulanık Kümeler

Atanassov [140] bulanık kümeler üye olmama derecesini ekleyerek sezgisel bulanık küme (SBK) teorisini geliştirmiştir. SBK'nin daha fazla bilgi içermesi, belirsizliği geleneksel bulanık küme teorisine göre daha iyi ifade edebilmesini sağlamaktadır.

SBK'nin bazı temel tanımları aşağıdaki gibidir:

Tanım 5.10. X boş olmayan bir küme olsun. X üzerindeki bir $\tilde{A}$ sezgisel bulanık kümesi aşağıdaki gibi ifade edilir [140]-[141]:

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x), \nu_{\tilde{A}}(x)) | x \in X\} \quad (5.23)$$

$\mu_{\tilde{A}}(x): X \rightarrow [0,1]$ üyelik derecesini ve $v_{\tilde{A}}(x): X \rightarrow [0,1]$ üye olmama derecesini ifade eden iki fonksiyondur. $\forall x \in X$ için $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x) + v_{\tilde{A}}(x) \leq 1$ koşulunun sağlanması gerekir.

x elemanının $\tilde{A}$ sezgisel bulanık kümesine ait olup olmamasının tereddüt derecesi aşağıdaki gibi hesaplanır:

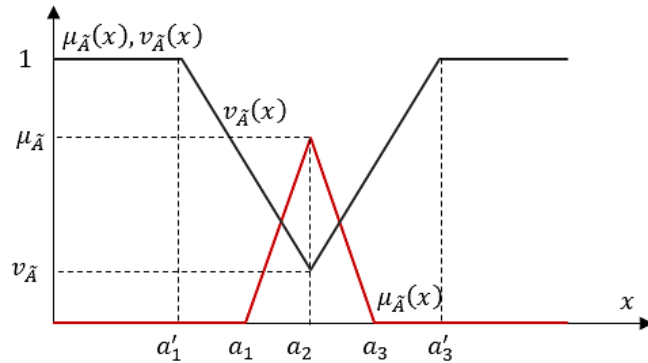
$$\pi_{\tilde{A}}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x) - v_{\tilde{A}}(x) \quad (5.24)$$

Tanım 5.11. $a'_1 \leq a_1 \leq a_2 \leq a_3 \leq a'_3$ ve $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x) + v_{\tilde{A}}(x) \leq 1$ sağlanması koşuluyla $\mathbb{R}$ üzerinde tanımlı sezgisel bulanık kümenin bir alt kümesi olan üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ve üye olmama fonksiyonu $v_{\tilde{A}}(x)$ ile ifade edilen üçgen sezgisel bulanık sayı (ÜSBS) $\tilde{A} = \langle (a_1, a_2, a_3; \mu_{\tilde{A}}), (a'_1, a_2, a'_3; v_{\tilde{A}}) \rangle$ şeklinde tanımlanır. ÜSBS için üye olma ve üye olmama fonksiyonları aşağıdaki gibidir [142]:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{(x - a_1)}{(a_2 - a_1)} \mu_{\tilde{A}}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{(a_3 - x)}{(a_3 - a_2)} \mu_{\tilde{A}}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.25)$$

$$v_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{(a_2 - x) + (x - a'_1) v_{\tilde{A}}}{(a_2 - a'_1)}, & a'_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{(x - a_2) + (a'_3 - x) v_{\tilde{A}}}{(a'_3 - a_2)}, & a_2 \leq x \leq a'_3 \\ 1, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.26)$$

Şekil 5.3'de ÜSBS için üye olma ve üye olmama fonksiyonları gösterilmiştir.



Şekil 5.3 ÜSBS için üye olma ve üye olmama fonksiyonları [142]

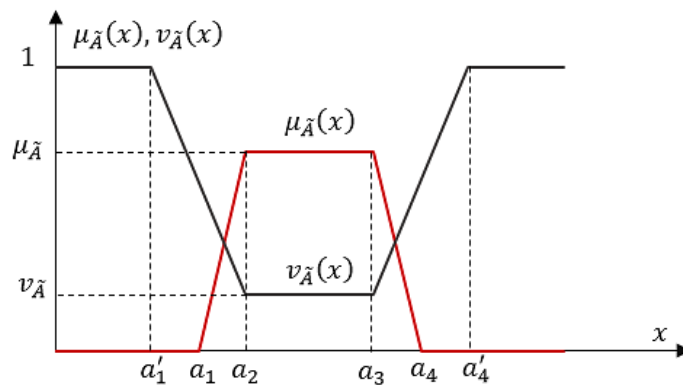
$a_1 = a'_1$ ve $a_3 = a'_3$ değerleri birbirlerine eşit olduğunda, ÜSBS $\tilde{A} = \langle (a_1, a_2, a_3); \mu_{\tilde{A}}, v_{\tilde{A}} \rangle$ formuna indirgenir.

Tanım 5.12. $a'_1 \leq a_1 \leq a_2 \leq a_3 \leq a_4 \leq a'_4$ ve $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x) + v_{\tilde{A}}(x) \leq 1$ sağlanması koşuluyla $\mathbb{R}$ üzerinde tanımlı sezgisel bulanık kümenin bir alt kümesi olan üye olma fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ve üye olmama fonksiyonu $v_{\tilde{A}}(x)$ ile ifade edilen yamuk sezgisel bulanık sayı (YSBS) $\tilde{A} = \langle (a_1, a_2, a_3, a_4; \mu_{\tilde{A}}), (a'_1, a_2, a_3, a'_4; v_{\tilde{A}}) \rangle$ şeklinde tanımlanır. YSBS için üye olma ve üye olmama fonksiyonları aşağıdaki gibidir [142]:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{(x - a_1)}{(a_2 - a_1)} \mu_{\tilde{A}}, & a_1 \leq x < a_2 \\ w_{\tilde{A}}, & a_2 \leq x < a_3 \\ \frac{(a_4 - x)}{(a_4 - a_3)} \mu_{\tilde{A}}, & a_3 \leq x < a_4 \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.27)$$

$$v_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{((a_2 - x) + (x - a'_1)v_{\tilde{A}})}{(a_2 - a'_1)}, & a'_1 \leq x \leq a_2 \\ u_{\tilde{A}}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{(x - a_3) + (a'_4 - x)v_{\tilde{A}}}{(a'_4 - a_3)}, & a_3 \leq x \leq a'_4 \\ 1, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.28)$$

Şekil 5.4'de YSBS için üye olma ve üye olmama fonksiyonları gösterilmiştir.



Şekil 5.4 YSBS için üye olma ve üye olmama fonksiyonları [142]

$a_1 = a'_1$ ve $a_4 = a'_4$ değerleri birbirlerine eşit olduğunda, YSBS $\tilde{A} = \langle (a_1, a_2, a_3, a_4); \mu_{\tilde{A}}, v_{\tilde{A}} \rangle$ formuna indirgenir.

Tanım 5.13. $\tilde{A} = \langle (a_1, a_2, a_3; \mu_{\tilde{A}}), (a'_1, a'_2, a'_3; v_{\tilde{A}}) \rangle$ ve $\tilde{B} = \langle (b_1, b_2, b_3; \mu_{\tilde{B}}), (b'_1, b'_2, b'_3; v_{\tilde{B}}) \rangle$ iki ÜSBS arasındaki aritmetik işlemler aşağıdaki gibidir [142]:

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = \langle (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3; \min(\mu_{\tilde{A}}, \mu_{\tilde{B}})), (a'_1 + b'_1, a'_2 + b'_2, a'_3 + b'_3; \max(v_{\tilde{A}}, v_{\tilde{B}})) \rangle \quad (5.29)$$

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = \langle (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1; \min(\mu_{\tilde{A}}, \mu_{\tilde{B}})), (a'_1 - b'_3, a'_2 - b'_2, a'_3 - b'_1; \max(v_{\tilde{A}}, v_{\tilde{B}})) \rangle \quad (5.30)$$

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = \langle (a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3; \min(\mu_{\tilde{A}}, \mu_{\tilde{B}})), (a'_1 b'_1, a'_2 b'_2, a'_3 b'_3; \max(v_{\tilde{A}}, v_{\tilde{B}})) \rangle \quad (5.31)$$

$$\tilde{A} \oslash \tilde{B} = \langle (a_1/b_3, a_2/b_2, a_3/b_1; \min(\mu_{\tilde{A}}, \mu_{\tilde{B}})), (a'_1/b'_3, a'_2/b'_2, a'_3/b'_1; \max(v_{\tilde{A}}, v_{\tilde{B}})) \rangle \quad (5.32)$$

Tanım 5.14. $\tilde{A} = \langle (a_1, a_2, a_3, a_4; \mu_{\tilde{A}}, v_{\tilde{A}}) \rangle$ ve $\tilde{B} = \langle (b_1, b_2, b_3, b_4; \mu_{\tilde{B}}, v_{\tilde{B}}) \rangle$ iki YSBS ve $\gamma \neq 0$ herhangi bir reel sayı olsun. İki YSBS arasındaki aritmetik işlemler aşağıdaki gibidir [143]:

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = \langle (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4; \mu_{\tilde{A}} \wedge \mu_{\tilde{B}}, v_{\tilde{A}} \vee v_{\tilde{B}}) \rangle \quad (5.33)$$

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = \langle (a_1 - b_4, a_2 - b_3, a_3 - b_2, a_4 - b_1; \mu_{\tilde{A}} \wedge \mu_{\tilde{B}}, v_{\tilde{A}} \vee v_{\tilde{B}}) \rangle \quad (5.34)$$

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = \langle (a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3, a_4 b_4; \mu_{\tilde{A}} \wedge \mu_{\tilde{B}}, v_{\tilde{A}} \vee v_{\tilde{B}}) \rangle \quad (5.35)$$

$$\tilde{A} \oslash \tilde{B} = \langle (a_1/b_4, a_2/b_3, a_3/b_2, a_4/b_1; \mu_{\tilde{A}} \wedge \mu_{\tilde{B}}, v_{\tilde{A}} \vee v_{\tilde{B}}) \rangle \quad (5.36)$$

$$\gamma \tilde{A} = \begin{cases} (\gamma a_1, \gamma a_2, \gamma a_3, \gamma a_4; \mu_{\tilde{A}}, v_{\tilde{A}}) & \gamma > 0 \\ (\gamma a_4, \gamma a_3, \gamma a_2, \gamma a_1; \mu_{\tilde{A}}, v_{\tilde{A}}) & \gamma < 0 \end{cases} \quad (5.37)$$

$$\tilde{A}^\gamma = \begin{cases} (a_1^\gamma, a_2^\gamma, a_3^\gamma, a_4^\gamma; \mu_{\tilde{A}}, v_{\tilde{A}}) & \gamma > 0 \\ (a_4^\gamma, a_3^\gamma, a_2^\gamma, a_1^\gamma; \mu_{\tilde{A}}, v_{\tilde{A}}) & \gamma < 0 \end{cases} \quad (5.38)$$

$$\tilde{A}^{-1} = \langle (1/a_4, 1/a_3, 1/a_2, 1/a_1; \mu_{\tilde{A}} \wedge v_{\tilde{A}}) \rangle \quad (5.39)$$

Tanım 5.15. $\tilde{A} = \langle (a_1, a_2, a_3; \mu_{\tilde{A}}), (a'_1, a'_2, a'_3; v_{\tilde{A}}) \rangle$ ÜSBS için üye olma ve üye olmama fonksiyonlarının α -kesimleri aşağıdaki gibidir [142]:

$$\tilde{A}_+^\alpha = \left[\frac{\alpha}{\mu_{\tilde{A}}} (a_2 - a_1) + a_1, a_3 - \frac{\alpha}{\mu_{\tilde{A}}} (a_3 - a_2) \right], \alpha \in [0, \mu_{\tilde{A}}] \quad (5.40)$$

$$\tilde{A}_-^\alpha = \left[\frac{(a_2 - a'_1 v_{\tilde{A}}) - (a_2 - a'_1) \alpha}{1 - v_{\tilde{A}}}, \frac{(a'_3 - a_2) \alpha - (a'_3 v_{\tilde{A}} - a_2)}{1 - v_{\tilde{A}}}, \alpha \in [v_{\tilde{A}}, 1] \right] \quad (5.41)$$

Tanım 5.16. $\tilde{A} = \langle (a_1, a_2, a_3); \mu_{\tilde{A}}, v_{\tilde{A}} \rangle$ ÜSBS için üye olma fonksiyonunun α -kesimi ve üye olmama fonksiyonunun β -kesimi aşağıdaki gibidir [143]:

$$L_{\tilde{A}}(\alpha), R_{\tilde{A}}(\alpha) = \left[\frac{(\mu_{\tilde{A}} - \alpha) a_1 + \alpha a_2}{\mu_{\tilde{A}}}, \frac{(\mu_{\tilde{A}} - \alpha) a_3 + \alpha a_2}{\mu_{\tilde{A}}} \right] \quad (5.42)$$

$$L'_{\tilde{A}}(\beta), R'_{\tilde{A}}(\beta) = \left[\frac{(1 - \beta) a_2 + (\beta - v_{\tilde{A}}) a_1}{1 - v_{\tilde{A}}}, \frac{(1 - \beta) a_2 + (\beta - v_{\tilde{A}}) a_3}{1 - v_{\tilde{A}}} \right] \quad (5.43)$$

Tanım 5.17. Herhangi bir ÜSBS veya YSBS için (α, β) -kesimleri $\alpha \in [0, \mu_{\tilde{A}}]$, $\beta \in [v_{\tilde{A}}, 1]$ ve $0 \leq \alpha + \beta \leq 1$ olması koşuluyla aşağıdaki gibi tanımlanır [144]:

$$\tilde{A}_{\alpha, \beta} = [\tilde{A}_\alpha \cap \tilde{A}_\beta] \quad (5.44)$$

Eşitlik 5.44'ün açılımı aşağıdaki gibidir:

$$\tilde{A}_{\alpha, \beta} = [A_L, A_R] \quad (5.45)$$

$$A_L = \max\{A_L(\alpha), A_L(\beta)\} \quad (5.46)$$

$$A_R = \min\{A_R(\alpha), A_R(\beta)\} \quad (5.47)$$

5.5 Pisagor Bulanık Kümeler

Atanassov [140] bulanık kümelerin bir uzantısı olarak hem üye olma hem de üye olmama fonksiyonlarıyla bulanıklığı ele alan sezgisel bulanık küme (SBK) teorisini geliştirmiştir. Ancak bu fonksiyonların üyelik derecelerinin toplamı 1'den küçük olmak zorundadır. Atanassov [141] Pisagor bulanık kümeleri ilk kez tip-2 sezgisel bulanık kümeler olarak önermiştir. Yager [145] üye olma ve üye olmama

fonksiyonlarıyla tanımlanan tip-2 sezgisel bulanık kümeleri geliştirmiş ve Pisagor bulanık kümeler (PBK) olarak adlandırmıştır [146]. PBK, üye olma ve üye olmama derecelerinin toplamının 1'den büyük olacak şekilde tanımlama yapılabilmesine izin vermektedir. Ancak bu üyelik derecelerinin karelerinin toplamı 1'den büyük olamaz. Yager bu durumu bir örnek ile ifade etmiştir: karar vericinin bir alternatifin üyeliğine verdiği destek $\frac{\sqrt{3}}{2}$ ve üyeliğe karşı verdiği destek ise $\frac{1}{2}$ 'dir. Bu iki değer toplamı 1'den büyük olduğu için SBK'nin kullanımı için uygun değildir fakat bu değerler $\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \leq 1$ koşulunu sağladığı için PBK'nin kullanımına uygundur. Bu durum, belirsizliğin modellenmesinde SBK'ye göre PBK'yi daha avantajlı kılmaktadır [147].

PBK'nin bazı temel tanımları aşağıdaki gibidir:

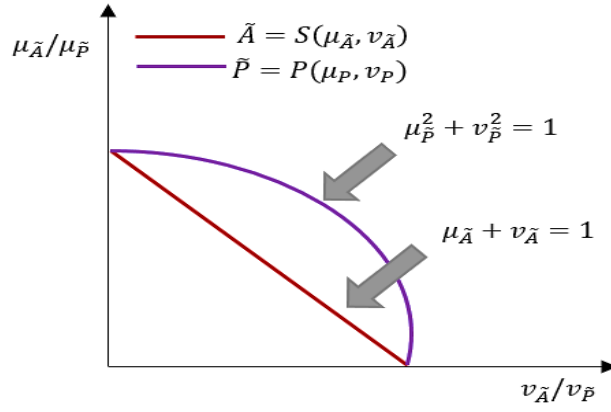
Tanım 5.18. X boş olmayan bir küme olsun. X üzerindeki bir $\tilde{P}$ Pisagor bulanık kümesi aşağıdaki gibi tanımlanır [145], [148]:

$$\tilde{P} = \{\langle x, P(\mu_{\tilde{P}}(x), v_{\tilde{P}}(x)) \rangle | x \in X\} \quad (5.48)$$

$\mu_{\tilde{P}}: X \rightarrow [0,1]$ üye olma derecesini ve $v_{\tilde{P}}: X \rightarrow [0,1]$ üye olmama derecesini ifade eder. $\forall x \in X$ için $0 \leq \left(\mu_{\tilde{P}}(x)\right)^2 + \left(v_{\tilde{P}}(x)\right)^2 \leq 1$ koşulunun sağlanması gerekir.

x elemanının $\tilde{P}$ Pisagor bulanık kümesine ait olup olmamasının tereddüt derecesi aşağıdaki gibidir:

$$\pi_{\tilde{P}}(x) = \sqrt{1 - \left(\mu_{\tilde{P}}(x)\right)^2 - \left(v_{\tilde{P}}(x)\right)^2} \quad (5.49)$$



Şekil 5.5 SBS ve PBS uzaylarının karşılaştırılması [148]

Şekil 5.5’de Pisagor üyelik derecelerinin uzayı sezgisel üyelik derecelerinin uzayından daha büyük olduğu görülmektedir [148].

Tanım 5.19. Pisagor yamuk bulanık sayı (PYBS) $\tilde{P} = \langle (p, q, r, s); \mu_{\tilde{P}}, v_{\tilde{P}} \rangle$ şeklinde tanımlanır [149].

Tanım 5.20. $\tilde{A} = \langle \mu_{\tilde{A}}, v_{\tilde{A}} \rangle$ ve $\tilde{B} = \langle \mu_{\tilde{B}}, v_{\tilde{B}} \rangle$ iki Pisagor bulanık sayı (PBS) ve $\lambda > 0$ olsun. İki PBS arasındaki aritmetik işlemler aşağıdaki gibidir [147]-[148]:

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = \left(\sqrt{\mu_{\tilde{A}}^2 + \mu_{\tilde{B}}^2 - \mu_{\tilde{A}}^2 \mu_{\tilde{B}}^2}, v_{\tilde{A}} v_{\tilde{B}} \right) \quad (5.50)$$

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = \left(\mu_{\tilde{A}} \mu_{\tilde{B}}, \sqrt{v_{\tilde{A}}^2 + v_{\tilde{B}}^2 - v_{\tilde{A}}^2 v_{\tilde{B}}^2} \right) \quad (5.51)$$

$$\lambda \tilde{A} = \left(\sqrt{1 - (1 - \mu_{\tilde{A}}^2)^\lambda}, v_{\tilde{A}}^\lambda \right) \quad (5.52)$$

$$\tilde{A}^\lambda = \left(\mu_{\tilde{A}}^\lambda, \sqrt{1 - (1 - v_{\tilde{A}}^2)^\lambda} \right) \quad (5.53)$$

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = \left(\sqrt{\frac{\mu_{\tilde{A}}^2 - \mu_{\tilde{B}}^2}{1 - \mu_{\tilde{B}}^2}}, \frac{v_{\tilde{A}}}{v_{\tilde{B}}} \right) \quad (5.54)$$

$\mu_{\tilde{A}} \geq \mu_{\tilde{B}}, v_{\tilde{A}} \leq \min \left\{ v_{\tilde{B}}, \frac{v_{\tilde{B}} \pi_{\tilde{A}}}{\pi_{\tilde{B}}} \right\}$ koşulu sağlanmalıdır.

$$\tilde{A} \odot \tilde{B} = \left(\frac{\mu_{\tilde{A}}}{\mu_{\tilde{B}}}, \sqrt{\frac{v_{\tilde{A}}^2 - v_{\tilde{B}}^2}{1 - v_{\tilde{B}}^2}} \right) \quad (5.55)$$

$\mu_{\tilde{A}} \leq \min \left\{ \mu_{\tilde{B}}, \frac{\mu_{\tilde{B}} \pi_{\tilde{A}}}{\pi_{\tilde{B}}} \right\}, v_{\tilde{A}} \geq v_{\tilde{B}}$ koşulu sağlanmalıdır.

Tanım 5.21. $\tilde{P}_1 = \left[(p_1, q_1, r_1, s_1); [M_{\tilde{P}_1}^l, M_{\tilde{P}_1}^u], [N_{\tilde{P}_1}^l, N_{\tilde{P}_1}^u] \right]$ ve $\tilde{P}_2 = \left[(p_2, q_2, r_2, s_2); [M_{\tilde{P}_2}^l, M_{\tilde{P}_2}^u], [N_{\tilde{P}_2}^l, N_{\tilde{P}_2}^u] \right]$ $M_{\tilde{P}_i}^l, M_{\tilde{P}_i}^u$ üye olma dereceleri ve $N_{\tilde{P}_i}^l, N_{\tilde{P}_i}^u$ üye olmama dereceleri ile tanımlanan iki aralık değerli PYBS ve $\lambda \geq 0$ olsun. İki aralık değerli PYBS arasındaki aritmetik işlemler aşağıdaki gibidir [149]-[150]:

$$\begin{aligned} & \tilde{P}_1 \oplus \tilde{P}_2 \\ &= \left[(p_1 + p_2, q_1 + q_2, r_1 + r_2, s_1 + s_2); \right. \\ & \quad \left. \left(\sqrt{(M_{\tilde{P}_1}^l)^2 + (M_{\tilde{P}_2}^l)^2 - (M_{\tilde{P}_1}^l)^2 (M_{\tilde{P}_2}^l)^2}, \sqrt{(M_{\tilde{P}_1}^u)^2 + (M_{\tilde{P}_2}^u)^2 - (M_{\tilde{P}_1}^u)^2 (M_{\tilde{P}_2}^u)^2} \right), (N_{\tilde{P}_1}^l N_{\tilde{P}_2}^l, N_{\tilde{P}_1}^u N_{\tilde{P}_2}^u) \right] \end{aligned} \quad (5.56)$$

$$\begin{aligned} & \tilde{P}_1 \otimes \tilde{P}_2 \\ &= \left[(p_1 p_2, q_1 q_2, r_1 r_2, s_1 s_2); \right. \\ & \quad \left. (M_{\tilde{P}_1}^l M_{\tilde{P}_2}^l, M_{\tilde{P}_1}^u M_{\tilde{P}_2}^u), \left(\sqrt{(N_{\tilde{P}_1}^l)^2 + (N_{\tilde{P}_2}^l)^2 - (N_{\tilde{P}_1}^l)^2 (N_{\tilde{P}_2}^l)^2}, \sqrt{(N_{\tilde{P}_1}^u)^2 + (N_{\tilde{P}_2}^u)^2 - (N_{\tilde{P}_1}^u)^2 (N_{\tilde{P}_2}^u)^2} \right) \right] \end{aligned} \quad (5.57)$$

$$\tilde{P}_1 \ominus \tilde{P}_2 = \left[(p_1 - s_2, q_1 - r_2, r_1 - q_2, s_1 - p_2); \right. \\ \left. \left(\sqrt{\frac{(M_{\tilde{P}_1}^l)^2 - (M_{\tilde{P}_2}^l)^2}{1 - (M_{\tilde{P}_2}^l)^2}}, \sqrt{\frac{(M_{\tilde{P}_1}^u)^2 - (M_{\tilde{P}_2}^u)^2}{1 - (M_{\tilde{P}_2}^u)^2}} \right), \left(\frac{N_{\tilde{P}_1}^l}{N_{\tilde{P}_2}^l}, \frac{N_{\tilde{P}_1}^u}{N_{\tilde{P}_2}^u} \right) \right] \quad (5.58)$$

$M_{\tilde{P}_1}^l \geq M_{\tilde{P}_2}^l, M_{\tilde{P}_1}^u \geq M_{\tilde{P}_2}^u, N_{\tilde{P}_1}^l \leq N_{\tilde{P}_2}^l$ ve $N_{\tilde{P}_1}^u \leq N_{\tilde{P}_2}^u, M_{\tilde{P}_2}^u \neq 1, N_{\tilde{P}_2}^l \neq 0,$
 $(M_{\tilde{P}_1}^u)^2 (N_{\tilde{P}_2}^u)^2 - (M_{\tilde{P}_2}^u)^2 (N_{\tilde{P}_1}^u)^2 \leq (N_{\tilde{P}_2}^u)^2 - (N_{\tilde{P}_1}^u)^2$ koşulu sağlanmalıdır.

$$\tilde{P}_1 \oslash \tilde{P}_2 = \left[\begin{array}{c} \left(\frac{p_1}{s_2}, \frac{q_1}{r_2}, \frac{r_1}{q_2}, \frac{s_1}{p_2} \right); \\ \left(\frac{M_{\tilde{P}_1}^l}{M_{\tilde{P}_2}^l}, \frac{M_{\tilde{P}_1}^u}{M_{\tilde{P}_2}^u} \right), \left(\sqrt{\frac{(N_{\tilde{P}_1}^l)^2 - (N_{\tilde{P}_2}^l)^2}{1 - (N_{\tilde{P}_2}^l)^2}}, \sqrt{\frac{(N_{\tilde{P}_1}^u)^2 - (N_{\tilde{P}_2}^u)^2}{1 - (N_{\tilde{P}_2}^u)^2}} \right) \end{array} \right] \quad (5.59)$$

$$M_{\tilde{P}_1}^l \leq M_{\tilde{P}_2}^l, M_{\tilde{P}_1}^u \leq M_{\tilde{P}_2}^u, N_{\tilde{P}_1}^l \geq N_{\tilde{P}_2}^l \quad \text{ve} \quad N_{\tilde{P}_1}^u \geq N_{\tilde{P}_2}^u, M_{\tilde{P}_2}^l \neq 0, N_{\tilde{P}_2}^u \neq 1, \\ (M_{\tilde{P}_1}^u)^2 (N_{\tilde{P}_2}^u)^2 - (M_{\tilde{P}_2}^u)^2 (N_{\tilde{P}_1}^u)^2 \geq (M_{\tilde{P}_1}^u)^2 - (M_{\tilde{P}_2}^u)^2 \text{ koşulu sağlanmalıdır.}$$

$$\begin{array}{c} \lambda \tilde{P}_1 \\ = \left[\begin{array}{c} (\lambda p_1, \lambda q_1, \lambda r_1, \lambda s_1); \\ \left(\sqrt{1 - \left(1 - (M_{\tilde{P}_1}^l)^2\right)^\lambda}, \sqrt{1 - \left(1 - (M_{\tilde{P}_1}^u)^2\right)^\lambda} \right), \left((N_{\tilde{P}_1}^l)^\lambda, (N_{\tilde{P}_1}^u)^\lambda \right) \end{array} \right] \end{array} \quad (5.60)$$

$$\begin{array}{c} \tilde{P}_1^\lambda \\ = \left[\begin{array}{c} (p_1^\lambda, q_1^\lambda, r_1^\lambda, s_1^\lambda); \\ \left((M_{\tilde{P}_1}^l)^\lambda, (M_{\tilde{P}_1}^u)^\lambda \right), \left(\sqrt{1 - \left(1 - (N_{\tilde{P}_1}^l)^2\right)^\lambda}, \sqrt{1 - \left(1 - (N_{\tilde{P}_1}^u)^2\right)^\lambda} \right) \end{array} \right] \end{array} \quad (5.61)$$

Tanım 5.20 ve 5.21'deki eşitlikler kullanılarak iki PYBS arasındaki aritmetik işlemler aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

Tanım 5.22. $\tilde{P}_1 = [(p_1, q_1, r_1, s_1); \mu_{\tilde{P}_1}, v_{\tilde{P}_1}]$ ve $\tilde{P}_2 = [(p_2, q_2, r_2, s_2); \mu_{\tilde{P}_2}, v_{\tilde{P}_2}]$ iki PYBS ve $\lambda \geq 0$ olsun. İki PYBS arasındaki aritmetik işlemler aşağıdaki gibidir [147]-[150]:

$$\tilde{P}_1 \oplus \tilde{P}_2 = \left[\begin{array}{c} (p_1 + p_2, q_1 + q_2, r_1 + r_2, s_1 + s_2); \\ \sqrt{(\mu_{\tilde{P}_1})^2 + (\mu_{\tilde{P}_2})^2 - (\mu_{\tilde{P}_1})^2 (\mu_{\tilde{P}_2})^2}, v_{\tilde{P}_1} v_{\tilde{P}_2} \end{array} \right] \quad (5.62)$$

$$\tilde{P}_1 \otimes \tilde{P}_2 = \left[\begin{array}{c} (p_1 x p_2, q_1 x q_2, r_1 x r_2, s_1 x s_2); \\ \mu_{\tilde{P}_1} \mu_{\tilde{P}_2}, \sqrt{(v_{\tilde{P}_1})^2 + (v_{\tilde{P}_2})^2 - (v_{\tilde{P}_1})^2 (v_{\tilde{P}_2})^2} \end{array} \right] \quad (5.63)$$

$$\tilde{P}_1 \ominus \tilde{P}_2 = \left[\begin{array}{c} (p_1 - s_2, q_1 - r_2, r_1 - q_2, s_1 - p_2); \\ \sqrt{\frac{(\mu_{\tilde{P}_1})^2 - (\mu_{\tilde{P}_2})^2}{1 - (\mu_{\tilde{P}_2})^2}}, \frac{v_{\tilde{P}_1}}{v_{\tilde{P}_2}} \end{array} \right] \quad (5.64)$$

$\mu_{\tilde{P}_1} \geq \mu_{\tilde{P}_2}$ ve $v_{\tilde{P}_1} \leq v_{\tilde{P}_2}$, $\mu_{\tilde{P}_2} \neq 1$, $v_{\tilde{P}_2} \neq 0$, $(\mu_{\tilde{P}_1})^2(v_{\tilde{P}_2})^2 - (\mu_{\tilde{P}_2})^2(v_{\tilde{P}_1})^2 \leq (v_{\tilde{P}_2})^2 - (v_{\tilde{P}_1})^2$ koşulu sağlanmalıdır.

$$\tilde{P}_1 \oslash \tilde{P}_2 = \left[\begin{array}{c} \left(\frac{p_1}{s_2}, \frac{q_1}{r_2}, \frac{r_1}{q_2}, \frac{s_1}{p_2} \right); \\ \frac{\mu_{\tilde{P}_1}}{\mu_{\tilde{P}_2}}, \sqrt{\frac{(v_{\tilde{P}_1})^2 - (v_{\tilde{P}_2})^2}{1 - (v_{\tilde{P}_2})^2}} \end{array} \right] \quad (5.65)$$

$\mu_{\tilde{P}_1} \leq \mu_{\tilde{P}_2}$ ve $v_{\tilde{P}_1} \geq v_{\tilde{P}_2}$, $\mu_{\tilde{P}_2} \neq 0$, $v_{\tilde{P}_2} \neq 1$, $(\mu_{\tilde{P}_1})^2(v_{\tilde{P}_2})^2 - (\mu_{\tilde{P}_2})^2(v_{\tilde{P}_1})^2 \geq (\mu_{\tilde{P}_1})^2 - (\mu_{\tilde{P}_2})^2$ koşulu sağlanmalıdır.

$$\lambda \tilde{P}_1 = \left[\begin{array}{c} (\lambda p_1, \lambda q_1, \lambda r_1, \lambda s_1); \\ \sqrt{1 - (1 - (\mu_{\tilde{P}_1})^2)^\lambda}, (v_{\tilde{P}_1})^\lambda \end{array} \right] \quad (5.66)$$

$$\tilde{P}_1^\lambda = \left[\begin{array}{c} (p_1^\lambda, q_1^\lambda, r_1^\lambda, s_1^\lambda); \\ (\mu_{\tilde{P}_1})^\lambda, \sqrt{1 - (1 - (v_{\tilde{P}_1})^2)^\lambda} \end{array} \right] \quad (5.67)$$

Tanım 5.23. $\tilde{P} = \langle (p, q, r, s); \mu_{\tilde{P}}, v_{\tilde{P}} \rangle$ PYBS olsun. PYBS için $s(\tilde{P})$ ile gösterilen skor fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır [149]:

$$s(\tilde{P}) = \frac{p + q + r + s}{4} (\mu_{\tilde{P}}^2 - v_{\tilde{P}}^2), s(\tilde{P}) \in [-1, 1] \quad (5.68)$$

Tanım 5.24. $\tilde{P} = \langle (p, q, r, s); \mu_{\tilde{P}}, v_{\tilde{P}} \rangle$ PYBS olsun. PYBS için $h(\tilde{P})$ ile gösterilen doğruluk fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır [149]:

$$h(\tilde{P}) = \frac{p + q + r + s}{4} (\mu_{\tilde{P}}^2 + v_{\tilde{P}}^2), h(\tilde{P}) \in [0,1] \quad (5.69)$$

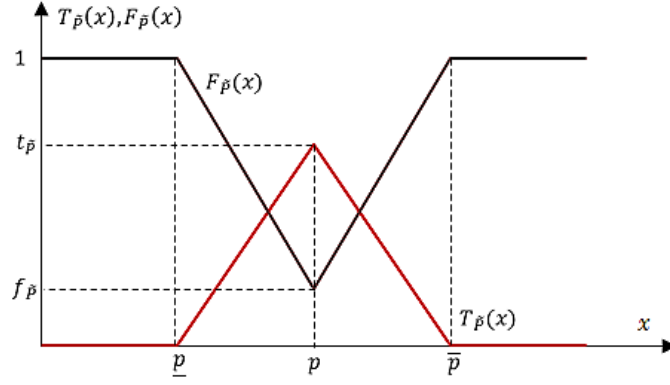
Tanım 5.25. $\mathbb{R}$ üzerinde bir PBK olarak tanımlanan doğruluk (üye olma) $T_{\tilde{P}}$ ve yanlışlık (üye olmama) $F_{\tilde{P}}$ üyelik fonksiyonları ile ifade edilen bir PÜBS $\tilde{P} = \left[\left(\underline{p}, p, \overline{p} \right); t_{\tilde{P}}, f_{\tilde{P}} \right]$ şeklinde tanımlanır. PÜBS doğruluk ve yanlışlık üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibidir [151]:

$$T_{\tilde{P}}(x) = \begin{cases} \frac{(x - \underline{p})}{(p - \underline{p})} t_{\tilde{P}}, & \underline{p} \leq x < p \\ t_{\tilde{P}}, & x = p \\ \frac{(\overline{p} - x)}{(\overline{p} - p)} t_{\tilde{P}}, & p < x \leq \overline{p} \\ 0, & x < \underline{p} \text{ veya } x > \overline{p} \end{cases} \quad (5.70)$$

$$F_{\tilde{P}}(x) = \begin{cases} \frac{p - x + f_{\tilde{P}}(x - \underline{p})}{(p - \underline{p})}, & \underline{p} \leq x < p \\ f_{\tilde{P}}, & x = p \\ \frac{x - p + f_{\tilde{P}}(\overline{p} - x)}{(\overline{p} - p)}, & p < x \leq \overline{p} \\ 1, & x < \underline{p} \text{ veya } x > \overline{p} \end{cases} \quad (5.71)$$

PÜBS'deki $t_{\tilde{P}}$ ve $f_{\tilde{P}}$ değerleri $T_{\tilde{P}}$ 'nin maksimum derecesi, $F_{\tilde{P}}$ 'nin minimum derecesi olarak tanımlanır. $t_{\tilde{P}} \in [0,1]$, $f_{\tilde{P}} \in [0,1]$ ve $0 \leq t_{\tilde{P}}^2 + f_{\tilde{P}}^2 \leq 1$ koşulları sağlanmalıdır. PÜBS'nin $\tilde{P} = \left[\left(\underline{p}, p, \overline{p} \right); t_{\tilde{P}}, f_{\tilde{P}} \right]$ güven ve güvensizlik seviyesini ifade etmek için $t_{\tilde{P}}$ ve $f_{\tilde{P}}$ parametreleri kullanılır.

Şekil 5.6'da PÜBS için doğruluk ve yanlışlık üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.



Şekil 5.6 PÜBS için doğruluk ve yanlışlık üyelik fonksiyonları [151]

Örnek 5.1. $\tilde{P} = [(2, 3, 4); 0,9,0,3]$ PÜBS olsun. $T_{\tilde{P}}$ 'nin maksimum derecesi 0,9 ve $F_{\tilde{P}}$ 'nin minimum derecesi 0,3 ile ifade edilir. $0 \leq 0,9^2 + 0,3^2 \leq 1$ koşulunu sağlamaktadır.

Tanım 5.26. $\tilde{Y} = [(\underline{\epsilon}, \epsilon, \bar{\epsilon}); t_{\tilde{Y}}, f_{\tilde{Y}}]$ ve $\tilde{\Omega} = [(\underline{\omega}, \omega, \bar{\omega}); t_{\tilde{\Omega}}, f_{\tilde{\Omega}}]$ iki PÜBS ve γ herhangi bir reel sayı olsun. İki PÜBS arasındaki aritmetik işlemler aşağıdaki gibidir [151]:

$$\tilde{Y} \oplus \tilde{\Omega} = [(\underline{\epsilon} + \underline{\omega}, \epsilon + \omega, \bar{\epsilon} + \bar{\omega}); \min\{t_{\tilde{Y}}, t_{\tilde{\Omega}}\}, \max\{f_{\tilde{Y}}, f_{\tilde{\Omega}}\}] \quad (5.72)$$

$$\tilde{Y} \ominus \tilde{\Omega} = [(\underline{\epsilon} - \bar{\omega}, \epsilon - \omega, \bar{\epsilon} - \underline{\omega}); \min\{t_{\tilde{Y}}, t_{\tilde{\Omega}}\}, \max\{f_{\tilde{Y}}, f_{\tilde{\Omega}}\}] \quad (5.73)$$

$$\tilde{Y} \otimes \tilde{\Omega}$$

$$= \begin{cases} [(\underline{\epsilon}x\underline{\omega}, \epsilon x \omega, \bar{\epsilon}x\bar{\omega}); \min\{t_{\tilde{Y}}, t_{\tilde{\Omega}}\}, \max\{f_{\tilde{Y}}, f_{\tilde{\Omega}}\}], & \tilde{Y} > 0, \tilde{\Omega} > 0 \\ [(\underline{\epsilon}x\bar{\omega}, \epsilon x \omega, \bar{\epsilon}x\underline{\omega}); \min\{t_{\tilde{Y}}, t_{\tilde{\Omega}}\}, \max\{f_{\tilde{Y}}, f_{\tilde{\Omega}}\}], & \tilde{Y} < 0, \tilde{\Omega} > 0 \\ [(\bar{\epsilon}x\bar{\omega}, \epsilon x \omega, \bar{\epsilon}x\bar{\omega}); \min\{t_{\tilde{Y}}, t_{\tilde{\Omega}}\}, \max\{f_{\tilde{Y}}, f_{\tilde{\Omega}}\}], & \tilde{Y} < 0, \tilde{\Omega} < 0 \end{cases} \quad (5.74)$$

$$\tilde{Y} \oslash \tilde{\Omega}$$

$$= \begin{cases} [(\underline{\epsilon} / \bar{\omega}, \epsilon / \omega, \bar{\epsilon} / \underline{\omega}); \min\{t_{\tilde{Y}}, t_{\tilde{\Omega}}\}, \max\{f_{\tilde{Y}}, f_{\tilde{\Omega}}\}], & \tilde{Y} > 0, \tilde{\Omega} > 0 \\ [(\bar{\epsilon} / \bar{\omega}, \epsilon / \omega, \underline{\epsilon} / \underline{\omega}); \min\{t_{\tilde{Y}}, t_{\tilde{\Omega}}\}, \max\{f_{\tilde{Y}}, f_{\tilde{\Omega}}\}], & \tilde{Y} < 0, \tilde{\Omega} > 0 \\ [(\bar{\epsilon} / \underline{\omega}, \epsilon / \omega, \underline{\epsilon} / \bar{\omega}); \min\{t_{\tilde{Y}}, t_{\tilde{\Omega}}\}, \max\{f_{\tilde{Y}}, f_{\tilde{\Omega}}\}], & \tilde{Y} < 0, \tilde{\Omega} < 0 \end{cases} \quad (5.75)$$

$$\gamma \tilde{\Omega} = \begin{cases} [(\gamma \underline{\omega}, \gamma \omega, \gamma \bar{\omega}); t_{\tilde{\Omega}}, f_{\tilde{\Omega}}], & \gamma > 0 \\ [(\gamma \bar{\omega}, \gamma \omega, \gamma \underline{\omega}); t_{\tilde{\Omega}}, f_{\tilde{\Omega}}], & \gamma < 0 \end{cases} \quad (5.76)$$

$$\tilde{Y}^{-1} = [(1/\bar{\epsilon}, 1/\epsilon, 1/\underline{\epsilon}); t_{\tilde{Y}}, f_{\tilde{Y}}] \quad (5.77)$$

Tanım 5.27. $\tilde{P} = \left[\left(\underline{p}, p, \overline{p} \right); t_{\tilde{P}}, f_{\tilde{P}} \right]$ PÜBS olsun. PÜBS'nin $E(\tilde{P})$ ile gösterilen beklenen değeri aşağıdaki gibi tanımlanır [151]-[152]:

$$E(\tilde{P}) = \frac{1}{8} \left[\left(\underline{p} + 2p + \overline{p} \right) x (1 + t_{\tilde{P}}^2 - f_{\tilde{P}}^2) \right] \quad (5.78)$$

Tanım 5.28. $\tilde{P} = \left[\left(\underline{p}, p, \overline{p} \right); t_{\tilde{P}}, f_{\tilde{P}} \right]$ PÜBS olsun. PÜBS'nin $Scor(\tilde{P})$ ile gösterilen skor fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır [151]:

$$Scor(\tilde{P}) = E(\tilde{P})x(t_{\tilde{P}}^2 - f_{\tilde{P}}^2) \quad (5.79)$$

Tanım 5.29. $\tilde{P} = \left[\left(\underline{p}, p, \overline{p} \right); t_{\tilde{P}}, f_{\tilde{P}} \right]$ PÜBS olsun. PÜBS'nin $Acc(\tilde{P})$ ile gösterilen kesinlik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır [151]:

$$Acc(\tilde{P}) = E(\tilde{P})x(t_{\tilde{P}}^2 + f_{\tilde{P}}^2) \quad (5.80)$$

Tanım 5.30. $\tilde{P} = \left[\left(\underline{p}, p, \overline{p} \right); t_{\tilde{P}}, f_{\tilde{P}} \right]$ ve $\tilde{Q} = \left[\left(\underline{q}, q, \overline{q} \right); t_{\tilde{Q}}, f_{\tilde{Q}} \right]$ iki PÜBS olsun. İki PÜBS arasındaki karşılaştırma skor ve kesinlik fonksiyonları kullanılarak aşağıdaki gibi yapılır [151]:

- i. Eğer $Scor(\tilde{P}) > Scor(\tilde{Q})$ ise $\tilde{P} > \tilde{Q}$,
- ii. Eğer $Scor(\tilde{P}) = Scor(\tilde{Q})$ ise
 - Eğer $Acc(\tilde{P}) = Acc(\tilde{Q})$ ise $\tilde{P} = \tilde{Q}$,
 - Eğer $Acc(\tilde{P}) > Acc(\tilde{Q})$ ise $\tilde{P} > \tilde{Q}$.

5.6 Küresel Bulanık Kümeler

Gündoğdu ve Kahraman [153] PBK ve NK'nin bir uzantısı olarak küresel bulanık kümeleri (KBK) geliştirmişlerdir. KBK, karar vericilerin tereddütlük derecesini üye ve üye olmama derecelerinden bağımsız olarak ifade edebilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda, üyelik dereceleri küresel bir düzlem üzerinde daha geniş tanımlanabilmektedir [154].

KBK'nin bazı temel tanımları aşağıdaki gibidir:

Tanım 5.31. U evreninde tanımlı bir $\tilde{A}_S$ küresel bulanık kümesi aşağıdaki gibi tanımlanır [155]:

$$\tilde{A}_S = \left\{ \left\langle u, \left(\mu_{\tilde{A}_S}(u), v_{\tilde{A}_S}(u), \pi_{\tilde{A}_S}(u) \right) \right\rangle \mid u \in U \right\} \quad (5.81)$$

$\forall u \in U$ için $\mu_{\tilde{A}_S}(u): U \rightarrow [0,1]$ üye olma derecesi, $v_{\tilde{A}_S}(u): U \rightarrow [0,1]$ üye olmama derecesi ve $\pi_{\tilde{A}_S}(u): U \rightarrow [0,1]$ tereddüt derecesidir. $0 \leq \mu_{\tilde{A}_S}^2(u) + v_{\tilde{A}_S}^2(u) + \pi_{\tilde{A}_S}^2(u) \leq 1$ koşulunun sağlanması gerekir.

Tanım 5.32. $\tilde{A}_S = (\mu_{\tilde{A}_S}, v_{\tilde{A}_S}, \pi_{\tilde{A}_S})$ ve $\tilde{B}_S = (\mu_{\tilde{B}_S}, v_{\tilde{B}_S}, \pi_{\tilde{B}_S})$ iki KBK olsun. $\tilde{A}_S$ ve $\tilde{B}_S$ arasındaki aritmetik işlemler aşağıdaki gibidir [155] :

$$\begin{aligned} \tilde{A}_S \oplus \tilde{B}_S = & \left\{ \left(\mu_{\tilde{A}_S}^2 + \mu_{\tilde{B}_S}^2 - \mu_{\tilde{A}_S}^2 \mu_{\tilde{B}_S}^2 \right)^{1/2}, v_{\tilde{A}_S} v_{\tilde{B}_S}, \left((1 - \mu_{\tilde{B}_S}^2) \pi_{\tilde{A}_S}^2 \right. \right. \\ & \left. \left. + (1 - \mu_{\tilde{A}_S}^2) \pi_{\tilde{B}_S}^2 - \pi_{\tilde{A}_S}^2 \pi_{\tilde{B}_S}^2 \right)^{1/2} \right\} \end{aligned} \quad (5.82)$$

$$\begin{aligned} \tilde{A}_S \otimes \tilde{B}_S = & \left\{ \mu_{\tilde{A}_S} \mu_{\tilde{B}_S}, (v_{\tilde{A}_S}^2 + v_{\tilde{B}_S}^2 - v_{\tilde{A}_S}^2 v_{\tilde{B}_S}^2)^{1/2}, \left((1 - v_{\tilde{B}_S}^2) \pi_{\tilde{A}_S}^2 \right. \right. \\ & \left. \left. + (1 - v_{\tilde{A}_S}^2) \pi_{\tilde{B}_S}^2 - \pi_{\tilde{A}_S}^2 \pi_{\tilde{B}_S}^2 \right)^{1/2} \right\} \end{aligned} \quad (5.83)$$

$$\begin{aligned} \lambda \tilde{A}_S = & \left\{ \left((1 - (1 - \mu_{\tilde{A}_S}^2)^\lambda)^{1/2}, v_{\tilde{A}_S}^\lambda, \left((1 - \mu_{\tilde{A}_S}^2)^\lambda \right. \right. \right. \\ & \left. \left. - (1 - \mu_{\tilde{A}_S}^2 - \pi_{\tilde{A}_S}^2)^\lambda \right)^{1/2} \right\}, \quad \lambda > 0 \end{aligned} \quad (5.84)$$

$$\begin{aligned} \tilde{A}_S^\lambda = & \left\{ \mu_{\tilde{A}_S}^\lambda, \left(1 - (1 - v_{\tilde{A}_S}^2)^\lambda \right)^{1/2}, \left((1 - v_{\tilde{A}_S}^2)^\lambda \right. \right. \\ & \left. \left. - (1 - v_{\tilde{A}_S}^2 - \pi_{\tilde{A}_S}^2)^\lambda \right)^{1/2} \right\}, \quad \lambda > 0 \end{aligned} \quad (5.85)$$

Tanım 5.33. KBK'nin karşılaştırılmasında kullanılan skor fonksiyonu $Scor(\tilde{A}_S)$ ve kesinlik fonksiyonu $Acc(\tilde{A}_S)$ aşağıdaki gibi tanımlanır [155]:

$$Scor(\tilde{A}_S) = (\mu_{\tilde{A}_S} - \pi_{\tilde{A}_S})^2 - (v_{\tilde{A}_S} - \pi_{\tilde{A}_S})^2 \quad (5.86)$$

$$Acc(\tilde{A}_S) = \mu_{\tilde{A}_S}^2 + v_{\tilde{A}_S}^2 + \pi_{\tilde{A}_S}^2 \quad (5.87)$$

Tanım 5.34. $\tilde{A}_S = (\mu_{\tilde{A}_S}, v_{\tilde{A}_S}, \pi_{\tilde{A}_S})$ ve $\tilde{B}_S = (\mu_{\tilde{B}_S}, v_{\tilde{B}_S}, \pi_{\tilde{B}_S})$ iki KBK olsun. $\tilde{A}_S < \tilde{B}_S$ olabilmesi için eşitlik 5.86 ve 5.87 kullanılarak aşağıdaki şartların sağlanması gerekir [155]:

- $Scor(\tilde{A}_S) < Scor(\tilde{B}_S)$ veya
- $Scor(\tilde{A}_S) = Scor(\tilde{B}_S)$ ve $Acc(\tilde{A}_S) < Acc(\tilde{B}_S)$.

5.7 Nötrosifik Kümeler

Zadeh [16] ilk olarak geleneksel bulanık küme teorisini ortaya atmıştır. Geleneksel bulanık kümeler yalnızca üyelik fonksiyonuna sahiptir. Atanassov [141] üye olmama fonksiyonunu ekleyerek, bulanık kümelerin bir uzantısı olan SBK teorisini geliştirmiştir. Üye olma ve üye olmama derecelerinin toplamı 1'den küçük olmak zorundadır. Yager [145] PBK teorisini geliştirerek üye olma ve üye olmama derecelerinin toplamının 1'den büyük olacak şekilde tanımlanabilmesine imkân sağlamakta fakat karelerinin toplamının 1'den büyük olmasına izin vermemektedir. PBK dolayısıyla belirsizlik içeren problemlerin modellenmesinde SBK'ye göre daha başarılıdır. Smarandache [156] insanın düşünce tarzını daha doğru yansıtmak için nötrosifik küme teorisini ortaya atmıştır. Nötrosifik kümeler (NK), doğruluk, kararsızlık ve yanlışlık üyelik fonksiyonlarıyla tanımlandığından belirsizliğin modellenmesinde önemli bir yere sahiptir. Bulanık kümelerin diğer uzantılarına kıyasla daha fazla esneklik sağlamaktadır. Gerçek hayat problemlerin çözümünde de kullanılmaktadır [157]. Wang vd. [158] NK'nin özel bir hali olan tek değerli nötrosifik kümeleri (TDNK) geliştirmişlerdir.

NK'nin bazı temel tanımları aşağıdaki gibidir:

Tanım 5.35. X evrensel bir küme olsun. X üzerindeki bir $\tilde{\tilde{A}}$ nötrosifik kümesi doğruluk üyelik fonksiyonu ($T_A(x)$), kararsızlık üyelik fonksiyonu ($I_A(x)$) ve yanlışlık üyelik fonksiyonu ($F_A(x)$) ile ifade edilir. $\tilde{\tilde{A}}$ nötrosifik kümesi aşağıdaki gibi tanımlanır [156], [159]:

$$\tilde{\tilde{A}} = \{ \langle x, (T_A(x), I(x), F_A(x)) \rangle : x \in X, T_A(x), I(x), F_A(x) \in]0^-, 1^+[\} \quad (5.88)$$

$0^- \leq T_A(x) + I_A(x) + F_A(x) \leq 3^+$ koşulu sağlanmalıdır.

Tanım 5.36. X evrensel bir küme olsun. X üzerindeki bir $\tilde{\tilde{A}}$ tek değerli nôtrosifik küme $T_A(x)$, $I_A(x)$ ve $F_A(x)$ üyelik fonksiyonları ile ifade edilir. $\tilde{\tilde{A}}$ tek değerli nôtrosifik küme aşağıdaki gibi tanımlanır [158]-[159]:

$$\tilde{\tilde{A}} = \{ \langle x, (T_A(x), I(x), F_A(x)) \rangle : x \in X, T_A(x), I(x), F_A(x) \in [0,1] \} \quad (5.89)$$

$0 \leq T_A(x) + I_A(x) + F_A(x) \leq 3$ koşulu sağlanmalıdır.

Tanım 5.37. $w_{\tilde{\tilde{A}}}, u_{\tilde{\tilde{A}}}, y_{\tilde{\tilde{A}}} \in [0,1]$ herhangi bir gerçek sayı olsun. $i = 1, 2, 3$ için $a_i, b_i, c_i, d_i \in \mathbb{R}$ ve $a_i \leq b_i \leq c_i \leq d_i$ olmak koşuluyla $\mathbb{R}$ gerçek sayılar kümesi üzerinde doğruluk üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{\tilde{A}}} : \mathbb{R} \rightarrow [0, w_{\tilde{\tilde{A}}}]$, kararsızlık üyelik fonksiyonu $v_{\tilde{\tilde{A}}} : \mathbb{R} \rightarrow [u_{\tilde{\tilde{A}}}, 1]$, yanlışlık üyelik fonksiyonu $\lambda_{\tilde{\tilde{A}}} : \mathbb{R} \rightarrow [y_{\tilde{\tilde{A}}}, 1]$ ile ifade edilen özel bir nôtrosifik küme olan tek değerli nôtrosifik sayı (TDNS) $\tilde{\tilde{A}} = \left\langle \left((a_1, b_1, c_1, d_1), w_{\tilde{\tilde{A}}} \right), \left((a_2, b_2, c_2, d_2), u_{\tilde{\tilde{A}}} \right), \left((a_3, b_3, c_3, d_3), y_{\tilde{\tilde{A}}} \right) \right\rangle$ şeklinde tanımlanır. TDNS için üyelik fonksiyonları $\mu_{\tilde{\tilde{A}}}$, $v_{\tilde{\tilde{A}}}$ ve $\lambda_{\tilde{\tilde{A}}}$ ise aşağıdaki gibidir [159]-[160]:

$$\mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x) \begin{cases} f_{\mu}^l(x) & a_1 \leq x < b_1 \\ w_{\tilde{\tilde{A}}} & b_1 \leq x < c_1 \\ f_{\mu}^r(x) & c_1 \leq x \leq d_1 \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.90)$$

$$v_{\tilde{\tilde{A}}}(x) \begin{cases} f_v^l(x) & a_2 \leq x < b_2 \\ u_{\tilde{\tilde{A}}} & b_2 \leq x < c_2 \\ f_v^r(x) & c_2 \leq x \leq d_2 \\ 1 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.91)$$

$$\lambda_{\tilde{\tilde{A}}}(x) \begin{cases} f_{\lambda}^l(x) & a_3 \leq x < b_3 \\ y_{\tilde{\tilde{A}}} & b_3 \leq x < c_3 \\ f_{\lambda}^r(x) & c_3 \leq x \leq d_3 \\ 1 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.92)$$

$f_\mu^l(a_1) = 0, f_\mu^l(b_1) = w_{\tilde{A}}, f_v^r(c_2) = u_{\tilde{A}}, f_v^r(d_2) = 1, f_\lambda^r(c_3) = y_{\tilde{A}}$ ve $f_\lambda^r(d_3) = 1$ olmak koşuluyla fonksiyonlar $f_\mu^l: [a_1, b_1] \rightarrow [0, w_{\tilde{A}}], f_v^r: [c_2, d_2] \rightarrow [u_{\tilde{A}}, 1], f_\lambda^r: [c_3, d_3] \rightarrow [y_{\tilde{A}}, 1]$ sürekli ve azalmayandır. $f_\mu^r(c_1) = w_{\tilde{A}}, f_\mu^r(d_1) = 0, f_v^l(a_2) = 1, f_v^l(b_2) = u_{\tilde{A}}, f_\lambda^l(a_3) = 1$ ve $f_\lambda^l(b_3) = y_{\tilde{A}}$ olmak koşuluyla fonksiyonlar $f_\mu^r: [c_1, d_1] \rightarrow [0, w_{\tilde{A}}], f_v^l: [a_2, b_2] \rightarrow [u_{\tilde{A}}, 1], f_\lambda^l: [a_3, b_3] \rightarrow [y_{\tilde{A}}, 1]$ sürekli ve artmayandır. Bir nütrosifik sayının doğruluk üyelik fonksiyonundaki alt ve üst limitlerini a_1 ve d_1 , ortalama aralığı $[b_1, c_1]$, kararsızlık üyelik fonksiyonundaki alt ve üst limitleri a_2 ve d_2 , ortalama aralığı $[b_2, c_2]$, yanlışlık üyelik fonksiyonundaki alt ve üst limitleri a_3 ve d_3 , ortalama aralığı $[b_3, c_3]$ ifade etmektedir. Maksimum doğruluk derecesi $w_{\tilde{A}}$, minimum kararsızlık derecesi $u_{\tilde{A}}$ ve minimum yanlışlık derecesi $y_{\tilde{A}}$ şeklinde tanımlanmaktadır.

Tanım 5.38. $\mathbb{R}$ gerçekte sayılar kümesi üzerinde tanımlı $\mu_{\tilde{A}}, v_{\tilde{A}}$ ve $\lambda_{\tilde{A}}$ üyelik fonksiyonları ile ifade edilen özel bir nütrosifik küme olan tek değerli yamuk nütrosifik sayı (TDYNS) $\tilde{A} = \langle (a, b, c, d); w_{\tilde{A}}, u_{\tilde{A}}, y_{\tilde{A}} \rangle$ şeklinde tanımlanır. TDYNS için üyelik fonksiyonları $\mu_{\tilde{A}}, v_{\tilde{A}}$ ve $\lambda_{\tilde{A}}$ aşağıdaki gibidir [159]-[160]:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} (x - a)w_{\tilde{A}}/(b - a) & a \leq x < b \\ w_{\tilde{A}} & b \leq x \leq c \\ (d - x)w_{\tilde{A}}/(d - c) & c < x \leq d \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.93)$$

$$v_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} (b - x + u_{\tilde{A}}(x - a))/(b - a) & a \leq x < b \\ u_{\tilde{A}} & b \leq x \leq c \\ (x - c + u_{\tilde{A}}(d - x))/(d - c) & c < x \leq d \\ 1 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.94)$$

$$\lambda_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} (b - x + y_{\tilde{A}}(x - a))/(b - a) & a \leq x < b \\ y_{\tilde{A}} & b \leq x \leq c \\ (x - c + y_{\tilde{A}}(d - x))/(d - c) & c < x \leq d \\ 1 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.95)$$

Tanım 5.39. $\mathbb{R}$ gerçekte sayılar kümesi üzerinde tanımlı doğruluk fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}$, kararsızlık üyelik fonksiyonu $v_{\tilde{A}}$, yanlışlık üyelik fonksiyonu $\lambda_{\tilde{A}}$ ile ifade edilen özel

bir n trosolik k me olan tek değerli   gen n trosolik sayı (TD NS) $\tilde{\tilde{A}} = \langle (a, b, c); w_{\tilde{\tilde{A}}}, u_{\tilde{\tilde{A}}}, y_{\tilde{\tilde{A}}} \rangle$  eklinde tanımlanır. TD NS için üyelik fonksiyonları $\mu_{\tilde{\tilde{A}}}$, $v_{\tilde{\tilde{A}}}$ ve $\lambda_{\tilde{\tilde{A}}}$ a ağıdaki gibidir [159]-[160]:

$$\mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x) = \begin{cases} (x-a)w_{\tilde{\tilde{A}}}/(b-a) & a \leq x < b \\ w_{\tilde{\tilde{A}}} & x = b \\ (c-x)w_{\tilde{\tilde{A}}}/(c-b) & b < x \leq c \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.96)$$

$$v_{\tilde{\tilde{A}}}(x) = \begin{cases} (b-x+u_{\tilde{\tilde{A}}}(x-a))/(b-a) & a \leq x < b \\ u_{\tilde{\tilde{A}}} & x = b \\ (x-b+u_{\tilde{\tilde{A}}}(c-x))/(c-b) & b < x \leq c \\ 1 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.97)$$

$$\lambda_{\tilde{\tilde{A}}}(x) = \begin{cases} (b-x+y_{\tilde{\tilde{A}}}(x-a))/(b-a) & a \leq x < b \\ y_{\tilde{\tilde{A}}} & x = b \\ (x-b+y_{\tilde{\tilde{A}}}(c-x))/(c-b) & b < x \leq c \\ 1 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.98)$$

Eğer $a \geq 0$ ve en az $c > 0$ ise $\tilde{\tilde{A}} = \langle (a, b, c); w_{\tilde{\tilde{A}}}, u_{\tilde{\tilde{A}}}, y_{\tilde{\tilde{A}}} \rangle$ sayısına $\tilde{\tilde{A}} > 0$ ile gösterilen pozitif TD NS denir. Benzer  ekilde, $c \leq 0$ ve en az $a < 0$ ise $\tilde{\tilde{A}} = \langle (a, b, c); w_{\tilde{\tilde{A}}}, u_{\tilde{\tilde{A}}}, y_{\tilde{\tilde{A}}} \rangle$ sayısına $\tilde{\tilde{A}} < 0$ ile gösterilen negatif TD NS denir.

Tanım 5.40. $\tilde{\tilde{A}} = \langle (a_1, b_1, c_1, d_1); w_{\tilde{\tilde{A}}}, u_{\tilde{\tilde{A}}}, y_{\tilde{\tilde{A}}} \rangle$ ve $\tilde{\tilde{B}} = \langle (a_2, b_2, c_2, d_2); w_{\tilde{\tilde{B}}}, u_{\tilde{\tilde{B}}}, y_{\tilde{\tilde{B}}} \rangle$ iki TDYNS ve $\gamma \neq 0$ herhangi bir gerçek sayı olsun. İki TDYNS arasındaki aritmetik i lemler a ağıdaki gibidir [159]:

$$\tilde{\tilde{A}} \oplus \tilde{\tilde{B}} = \langle (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2, d_1 + d_2); w_{\tilde{\tilde{A}}} \wedge w_{\tilde{\tilde{B}}}, u_{\tilde{\tilde{A}}} \vee u_{\tilde{\tilde{B}}}, y_{\tilde{\tilde{A}}} \vee y_{\tilde{\tilde{B}}} \rangle \quad (5.99)$$

$$\tilde{\tilde{A}} \ominus \tilde{\tilde{B}} = \langle (a_1 - d_2, b_1 - c_2, c_1 - b_2, d_1 - a_2); w_{\tilde{\tilde{A}}} \wedge w_{\tilde{\tilde{B}}}, u_{\tilde{\tilde{A}}} \vee u_{\tilde{\tilde{B}}}, y_{\tilde{\tilde{A}}} \vee y_{\tilde{\tilde{B}}} \rangle \quad (5.100)$$

$$\begin{aligned} & \tilde{\tilde{A}} \otimes \tilde{\tilde{B}} \\ &= \begin{cases} \langle (a_1 a_2, b_1 b_2, c_1 c_2, d_1 d_2); w_{\tilde{\tilde{A}}} \wedge w_{\tilde{\tilde{B}}}, u_{\tilde{\tilde{A}}} \vee u_{\tilde{\tilde{B}}}, y_{\tilde{\tilde{A}}} \vee y_{\tilde{\tilde{B}}} \rangle & d_1 > 0, d_2 > 0 \\ \langle (a_1 d_2, b_1 c_2, c_1 b_2, d_1 a_2); w_{\tilde{\tilde{A}}} \wedge w_{\tilde{\tilde{B}}}, u_{\tilde{\tilde{A}}} \vee u_{\tilde{\tilde{B}}}, y_{\tilde{\tilde{A}}} \vee y_{\tilde{\tilde{B}}} \rangle & d_1 < 0, d_2 > 0 \\ \langle (d_1 d_2, c_1 c_2, b_1 b_2, a_1 a_2); w_{\tilde{\tilde{A}}} \wedge w_{\tilde{\tilde{B}}}, u_{\tilde{\tilde{A}}} \vee u_{\tilde{\tilde{B}}}, y_{\tilde{\tilde{A}}} \vee y_{\tilde{\tilde{B}}} \rangle & d_1 < 0, d_2 < 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (5.101)$$

$$\begin{aligned} & \tilde{A} \oslash \tilde{B} \\ = & \begin{cases} \langle (a_1/d_2, b_1/c_2, c_1/b_2, d_1/a_2); w_{\tilde{A}} \wedge w_{\tilde{B}}, u_{\tilde{A}} \vee u_{\tilde{B}}, y_{\tilde{A}} \vee y_{\tilde{B}} \rangle & d_1 > 0, d_2 > 0 \\ \langle (d_1/d_2, c_1/c_2, b_1/b_2, a_1/a_2); w_{\tilde{A}} \wedge w_{\tilde{B}}, u_{\tilde{A}} \vee u_{\tilde{B}}, y_{\tilde{A}} \vee y_{\tilde{B}} \rangle & d_1 < 0, d_2 > 0 \\ \langle (d_1/a_2, c_1/b_2, b_1/c_2, a_1/d_2); w_{\tilde{A}} \wedge w_{\tilde{B}}, u_{\tilde{A}} \vee u_{\tilde{B}}, y_{\tilde{A}} \vee y_{\tilde{B}} \rangle & d_1 < 0, d_2 < 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (5.102)$$

$$\gamma \tilde{A} = \begin{cases} \langle (\gamma a_1, \gamma b_1, \gamma c_1, \gamma d_1); w_{\tilde{A}}, u_{\tilde{A}}, y_{\tilde{A}} \rangle & \gamma > 0 \\ \langle (\gamma d_1, \gamma c_1, \gamma b_1, \gamma a_1); w_{\tilde{A}}, u_{\tilde{A}}, y_{\tilde{A}} \rangle & \gamma < 0 \end{cases} \quad (5.103)$$

$$\tilde{A}^\gamma = \begin{cases} \langle (a_1^\gamma, b_1^\gamma, c_1^\gamma, d_1^\gamma); w_{\tilde{A}}, u_{\tilde{A}}, y_{\tilde{A}} \rangle & \gamma > 0 \\ \langle (d_1^\gamma, c_1^\gamma, b_1^\gamma, a_1^\gamma); w_{\tilde{A}}, u_{\tilde{A}}, y_{\tilde{A}} \rangle & \gamma < 0 \end{cases} \quad (5.104)$$

$$\tilde{A}^{-1} = \langle (1/d_1, 1/c_1, 1/b_1, 1/a_1); w_{\tilde{A}}, u_{\tilde{A}}, y_{\tilde{A}} \rangle \quad (\tilde{A} \neq 0) \quad (5.105)$$

Tanım 5.41. $\tilde{A} = \langle (a_1, b_1, c_1); w_{\tilde{A}}, u_{\tilde{A}}, y_{\tilde{A}} \rangle$ ve $\tilde{B} = \langle (a_2, b_2, c_2); w_{\tilde{B}}, u_{\tilde{B}}, y_{\tilde{B}} \rangle$ iki TDÜNS ve $\gamma \neq 0$ herhangi bir gerçektek sayı olsun. İki TDÜNS arasındaki aritmetik işlemler aşağıdaki gibidir [159]:

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = \langle (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2); w_{\tilde{A}} \wedge w_{\tilde{B}}, u_{\tilde{A}} \vee u_{\tilde{B}}, y_{\tilde{A}} \vee y_{\tilde{B}} \rangle \quad (5.106)$$

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = \langle (a_1 - a_2, b_1 - b_2, c_1 - c_2); w_{\tilde{A}} \wedge w_{\tilde{B}}, u_{\tilde{A}} \vee u_{\tilde{B}}, y_{\tilde{A}} \vee y_{\tilde{B}} \rangle \quad (5.107)$$

$$\begin{aligned} & \tilde{A} \otimes \tilde{B} \\ = & \begin{cases} \langle (a_1 a_2, b_1 b_2, c_1 c_2); w_{\tilde{A}} \wedge w_{\tilde{B}}, u_{\tilde{A}} \vee u_{\tilde{B}}, y_{\tilde{A}} \vee y_{\tilde{B}} \rangle & c_1 > 0, c_2 > 0 \\ \langle (a_1 c_2, b_1 b_2, c_1 a_2); w_{\tilde{A}} \wedge w_{\tilde{B}}, u_{\tilde{A}} \vee u_{\tilde{B}}, y_{\tilde{A}} \vee y_{\tilde{B}} \rangle & c_1 < 0, c_2 > 0 \\ \langle (c_1 c_2, b_1 b_2, a_1 a_2); w_{\tilde{A}} \wedge w_{\tilde{B}}, u_{\tilde{A}} \vee u_{\tilde{B}}, y_{\tilde{A}} \vee y_{\tilde{B}} \rangle & c_1 < 0, c_2 < 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (5.108)$$

$$\begin{aligned} & \tilde{A} \oslash \tilde{B} \\ = & \begin{cases} \langle (a_1/c_2, b_1/b_2, c_1/a_2); w_{\tilde{A}} \wedge w_{\tilde{B}}, u_{\tilde{A}} \vee u_{\tilde{B}}, y_{\tilde{A}} \vee y_{\tilde{B}} \rangle & c_1 > 0, c_2 > 0 \\ \langle (c_1/c_2, b_1/b_2, a_1/a_2); w_{\tilde{A}} \wedge w_{\tilde{B}}, u_{\tilde{A}} \vee u_{\tilde{B}}, y_{\tilde{A}} \vee y_{\tilde{B}} \rangle & c_1 < 0, c_2 > 0 \\ \langle (c_1/a_2, b_1/b_2, a_1/c_2); w_{\tilde{A}} \wedge w_{\tilde{B}}, u_{\tilde{A}} \vee u_{\tilde{B}}, y_{\tilde{A}} \vee y_{\tilde{B}} \rangle & c_1 < 0, c_2 < 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (5.109)$$

$$\gamma \tilde{A} = \begin{cases} \langle (\gamma a_1, \gamma b_1, \gamma c_1, \gamma d_1); w_{\tilde{A}}, u_{\tilde{A}}, y_{\tilde{A}} \rangle & \gamma > 0 \\ \langle (\gamma d_1, \gamma c_1, \gamma b_1, \gamma a_1); w_{\tilde{A}}, u_{\tilde{A}}, y_{\tilde{A}} \rangle & \gamma < 0 \end{cases} \quad (5.110)$$

$$\tilde{\tilde{A}}^\gamma = \begin{cases} \langle (a_1^\gamma, b_1^\gamma, c_1^\gamma); w_{\tilde{\tilde{A}}}, u_{\tilde{\tilde{A}}}, y_{\tilde{\tilde{A}}} \rangle & \gamma > 0 \\ \langle (c_1^\gamma, b_1^\gamma, a_1^\gamma); w_{\tilde{\tilde{A}}}, u_{\tilde{\tilde{A}}}, y_{\tilde{\tilde{A}}} \rangle & \gamma < 0 \end{cases} \quad (5.111)$$

$$\tilde{\tilde{A}}^{-1} = \langle (1/c_1, 1/b_1, 1/a_1); w_{\tilde{\tilde{A}}}, u_{\tilde{\tilde{A}}}, y_{\tilde{\tilde{A}}} \rangle \quad (\tilde{\tilde{A}} \neq 0) \quad (5.112)$$

İki NS arasında karşılaştırma yapabilmek için skor ve kesinlik fonksiyonları kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında aşağıda tanımlanan skor ve kesinlik fonksiyonları yardımıyla NS karşılaştırılmıştır.

Tanım 5.42. $\tilde{\tilde{A}} = \langle (a, b, c); w_{\tilde{\tilde{A}}}, u_{\tilde{\tilde{A}}}, y_{\tilde{\tilde{A}}} \rangle$ TDÜNS olsun. TDÜNS'nin skor fonksiyonu $S(\tilde{\tilde{A}})$ ve kesinlik fonksiyonu $H(\tilde{\tilde{A}})$ aşağıdaki gibi tanımlanır [161]:

$$S(\tilde{\tilde{A}}) = \frac{1}{12} (a + 2b + c)(2 + w_{\tilde{\tilde{A}}} - u_{\tilde{\tilde{A}}} - y_{\tilde{\tilde{A}}}) \quad (5.113)$$

$$H(\tilde{\tilde{A}}) = \frac{1}{12} (a + 2b + c)(2 + w_{\tilde{\tilde{A}}} - u_{\tilde{\tilde{A}}} + y_{\tilde{\tilde{A}}}) \quad (5.114)$$

Tanım 5.43. $\tilde{\tilde{A}} = \langle (a, b, c, d); w_{\tilde{\tilde{A}}}, u_{\tilde{\tilde{A}}}, y_{\tilde{\tilde{A}}} \rangle$ TDYNS olsun. TDYNS'nin skor fonksiyonu $S(\tilde{\tilde{A}})$ ve kesinlik fonksiyonu $H(\tilde{\tilde{A}})$ aşağıdaki gibi tanımlanır [162]-[163]:

$$S(\tilde{\tilde{A}}) = \frac{1}{12} (a + b + c + d)(2 + w_{\tilde{\tilde{A}}} - u_{\tilde{\tilde{A}}} - y_{\tilde{\tilde{A}}}) \quad (5.115)$$

$$H(\tilde{\tilde{A}}) = \frac{1}{12} (a + b + c + d)(2 + w_{\tilde{\tilde{A}}} - u_{\tilde{\tilde{A}}} + y_{\tilde{\tilde{A}}}) \quad (5.116)$$

Tanım 5.44. $\tilde{\tilde{A}}_1$ ve $\tilde{\tilde{A}}_2$ iki TDYNS olsun. İki TDYNS arasındaki karşılaştırma aşağıdaki gibi yapılır [162]-[164]:

- Eğer $S(\tilde{\tilde{A}}_1) > S(\tilde{\tilde{A}}_2)$ ise $\tilde{\tilde{A}}_1 > \tilde{\tilde{A}}_2$
- Eğer $S(\tilde{\tilde{A}}_1) = S(\tilde{\tilde{A}}_2)$;
 - Eğer $H(\tilde{\tilde{A}}_1) < H(\tilde{\tilde{A}}_2)$ ise $\tilde{\tilde{A}}_1 < \tilde{\tilde{A}}_2$
 - Eğer $H(\tilde{\tilde{A}}_1) > H(\tilde{\tilde{A}}_2)$ ise $\tilde{\tilde{A}}_1 > \tilde{\tilde{A}}_2$
 - Eğer $H(\tilde{\tilde{A}}_1) = H(\tilde{\tilde{A}}_2)$ ise $\tilde{\tilde{A}}_1 = \tilde{\tilde{A}}_2$

Tanım 5.45. $w_{\tilde{A}} = 1$, $u_{\tilde{A}} = 0$ ve $y_{\tilde{A}} = 0$ için tek değerli bir nôtrosifik sayı (TDNS)

$$\tilde{\tilde{A}} = \left\langle \left((a_1, b_1, c_1, d_1), w_{\tilde{A}} \right), \left((a_2, b_2, c_2, d_2), u_{\tilde{A}} \right), \left((a_3, b_3, c_3, d_3), y_{\tilde{A}} \right) \right\rangle \quad \text{Ye} \quad [162]$$

tarafından $\tilde{\tilde{A}} = \langle (a_1, b_1, c_1, d_1), (a_2, b_2, c_2, d_2), (a_3, b_3, c_3, d_3) \rangle$ şeklinde tanımlanmıştır [164].

TDNS, $T_A^L(x), T_A^R(x), I_A^L(x), I_A^R(x), F_A^L(x), F_A^R(x): \mathbb{R} \rightarrow [0,1]$ altı fonksiyon ve $a_1, b_1, c_1, d_1, a_2, b_2, c_2, d_2, a_3, b_3, c_3, d_3 \in \mathbb{R}$ on iki sayıya sahiptir. Bu sayılar, $a_3 \leq a_2 \leq a_1 \leq b_3 \leq b_2 \leq b_1 \leq c_1 \leq c_2 \leq c_3 \leq d_1 \leq d_2 \leq d_3$ şeklindedir [165].

Tanım 5.46. $\tilde{\tilde{A}}_1 = \langle (a_{11}, b_{11}, c_{11}, d_{11}), (a_{21}, b_{21}, c_{21}, d_{21}), (a_{31}, b_{31}, c_{31}, d_{31}) \rangle$ ve $\tilde{\tilde{A}}_2 = \langle (a_{12}, b_{12}, c_{12}, d_{12}), (a_{22}, b_{22}, c_{22}, d_{22}), (a_{32}, b_{32}, c_{32}, d_{32}) \rangle$ iki TDYNS olsun. İki TDYNS arasındaki aritmetik işlemler aşağıdaki gibidir [165]:

$$\tilde{\tilde{A}} \oplus \tilde{\tilde{B}} = \left\langle (a_{11} + a_{12}, b_{11} + b_{12}, c_{11} + c_{12}, d_{11} + d_{12}), (a_{21} + a_{22}, b_{21} + b_{22}, c_{21} + c_{22}, d_{21} + d_{22}), (a_{31} + a_{32}, b_{31} + b_{32}, c_{31} + c_{32}, d_{31} + d_{32}) \right\rangle \quad (5.117)$$

$$\tilde{\tilde{A}} \otimes \tilde{\tilde{B}} = \left\langle (a_{11}a_{12}, b_{11}b_{12}, c_{11}c_{12}, d_{11}d_{12}), (a_{21}a_{22}, b_{21}b_{22}, c_{21}c_{22}, d_{21}d_{22}), (a_{31}a_{32}, b_{31}b_{32}, c_{31}c_{32}, d_{31}d_{32}) \right\rangle \quad (5.118)$$

$$\gamma \tilde{\tilde{A}} = \left\langle (\gamma a_{11}, \gamma b_{11}, \gamma c_{11}, \gamma d_{11}), (\gamma a_{21}, \gamma b_{21}, \gamma c_{21}, \gamma d_{21}), (\gamma a_{31}, \gamma b_{31}, \gamma c_{31}, \gamma d_{31}) \right\rangle, \quad \gamma > 0 \quad (5.119)$$

$$\tilde{\tilde{A}}^\gamma = \langle (a_{11}^\gamma, b_{11}^\gamma, c_{11}^\gamma, d_{11}^\gamma), (a_{21}^\gamma, b_{21}^\gamma, c_{21}^\gamma, d_{21}^\gamma), (a_{31}^\gamma, b_{31}^\gamma, c_{31}^\gamma, d_{31}^\gamma) \rangle \quad (5.120)$$

Tanım 5.47. $\tilde{\tilde{A}} = \langle (a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), (a_3, b_3, c_3) \rangle$ TDÜNS olsun. TDÜNS'nin skor fonksiyonu $S(\tilde{\tilde{A}})$ ve kesinlik fonksiyonu $H(\tilde{\tilde{A}})$ aşağıdaki gibi tanımlanır [164], [166]:

$$S(\tilde{\tilde{A}}) = \frac{1}{3} \left(2 + \frac{a_1 + 2b_1 + c_1}{4} - \frac{a_2 + 2b_2 + c_2}{4} - \frac{a_3 + 2b_3 + c_3}{4} \right), \quad (5.121)$$

$$S(\tilde{\tilde{A}}) \in [0,1]$$

$$H(\tilde{\tilde{A}}) = \left(\frac{a_1 + 2b_1 + c_1}{4} - \frac{a_3 + 2b_3 + c_3}{4} \right), H(\tilde{\tilde{A}}) \in [-1,1] \quad (5.122)$$

Tanım 5.48. $\tilde{\tilde{A}} = \langle (a_1, b_1, c_1, d_1), (a_2, b_2, c_2, d_2), (a_3, b_3, c_3, d_3) \rangle$ TDYNS olsun. TDYNS'nin skor fonksiyonu $S(\tilde{\tilde{A}})$ ve kesinlik fonksiyonu $H(\tilde{\tilde{A}})$ aşağıdaki gibi tanımlanır [164], [166]:

$$S(\tilde{\tilde{A}}) = \frac{1}{3} \left(2 + \frac{a_1 + b_1 + c_1 + d_1}{4} - \frac{a_2 + b_2 + c_2 + d_2}{4} - \frac{a_3 + b_3 + c_3 + d_3}{4} \right), S(\tilde{\tilde{A}}) \in [0,1] \quad (5.123)$$

$$H(\tilde{\tilde{A}}) = \left(\frac{a_1 + b_1 + c_1 + d_1}{4} - \frac{a_3 + b_3 + c_3 + d_3}{4} \right), H(\tilde{\tilde{A}}) \in [-1,1] \quad (5.124)$$

Tanım 5.49. $\tilde{\tilde{A}}_1 = \langle (a_{11}, b_{11}, c_{11}, d_{11}), (a_{21}, b_{21}, c_{21}, d_{21}), (a_{31}, b_{31}, c_{31}, d_{31}) \rangle$ ve $\tilde{\tilde{A}}_2 = \langle (a_{12}, b_{12}, c_{12}, d_{12}), (a_{22}, b_{22}, c_{22}, d_{22}), (a_{32}, b_{32}, c_{32}, d_{32}) \rangle$ iki TDYNS olsun. İki TDYNS arasındaki karşılaştırma aşağıdaki gibi yapılır [164], [166]:

- Eğer $S(\tilde{\tilde{A}}_1) > S(\tilde{\tilde{A}}_2)$ ise $\tilde{\tilde{A}}_1 > \tilde{\tilde{A}}_2$
- Eğer $S(\tilde{\tilde{A}}_1) = S(\tilde{\tilde{A}}_2)$,
 - Eğer $H(\tilde{\tilde{A}}_1) > H(\tilde{\tilde{A}}_2)$ ise $\tilde{\tilde{A}}_1 > \tilde{\tilde{A}}_2$
 - Eğer $H(\tilde{\tilde{A}}_1) = H(\tilde{\tilde{A}}_2)$ ise $\tilde{\tilde{A}}_1 = \tilde{\tilde{A}}_2$

Tanım 5.50. $\tilde{\tilde{A}} = \langle (a, b, c); w_{\tilde{\tilde{A}}}, u_{\tilde{\tilde{A}}}, y_{\tilde{\tilde{A}}} \rangle$ TDÜNS olsun. $0 \leq \alpha \leq w_{\tilde{\tilde{A}}}$, $u_{\tilde{\tilde{A}}} \leq \beta \leq 1$, $y_{\tilde{\tilde{A}}} \leq \varphi \leq 1$ ve $0 \leq \alpha + \beta + \varphi \leq 3$ olmak üzere $\tilde{\tilde{A}}$, (α, β, φ) kesimleri aşağıdaki gibidir [160], [167]:

$$\tilde{\tilde{A}}_L(\alpha) = a + \frac{\alpha}{w_{\tilde{\tilde{A}}}}(b - a) \quad (5.125)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_R(\alpha) = c - \frac{\alpha}{w_{\tilde{\tilde{A}}}}(c - b) \quad (5.126)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_L(\beta) = \frac{b - \beta(b - a) - u_{\tilde{\tilde{A}}}a}{1 - u_{\tilde{\tilde{A}}}} \quad (5.127)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_R(\beta) = \frac{b + \beta(c - b) - u_{\tilde{\tilde{A}}}c}{1 - u_{\tilde{\tilde{A}}}} \quad (5.128)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_L(\varphi) = \frac{b - \varphi(b - a) - y_{\tilde{\tilde{A}}}a}{1 - y_{\tilde{\tilde{A}}}} \quad (5.129)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_R(\varphi) = \frac{b + \varphi(c - b) - y_{\tilde{\tilde{A}}}c}{1 - y_{\tilde{\tilde{A}}}} \quad (5.130)$$

Tanım 5.51. $\tilde{\tilde{A}} = \langle (a, b, c, d); w_{\tilde{\tilde{A}}}, u_{\tilde{\tilde{A}}}, y_{\tilde{\tilde{A}}} \rangle$ TDYNS olsun. $0 \leq \alpha \leq w_{\tilde{\tilde{A}}}$, $u_{\tilde{\tilde{A}}} \leq \beta \leq 1$, $y_{\tilde{\tilde{A}}} \leq \varphi \leq 1$ ve $0 \leq \alpha + \beta + \varphi \leq 3$ olmak üzere $\tilde{\tilde{A}}$, (α, β, φ) kesimleri aşağıdaki gibidir [160], [168]:

$$\tilde{\tilde{A}}_L(\alpha) = a + \frac{\alpha}{w_{\tilde{\tilde{A}}}}(b - a) \quad (5.131)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_R(\alpha) = d - \frac{\alpha}{w_{\tilde{\tilde{A}}}}(d - c) \quad (5.132)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_L(\beta) = \frac{b - \beta(b - a) - u_{\tilde{\tilde{A}}}a}{1 - u_{\tilde{\tilde{A}}}} \quad (5.133)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_R(\beta) = \frac{c + \beta(d - c) - u_{\tilde{\tilde{A}}}d}{1 - u_{\tilde{\tilde{A}}}} \quad (5.134)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_L(\varphi) = \frac{b - \varphi(b - a) - y_{\tilde{\tilde{A}}}a}{1 - y_{\tilde{\tilde{A}}}} \quad (5.135)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_R(\varphi) = \frac{c + \varphi(d - c) - y_{\tilde{\tilde{A}}}d}{1 - y_{\tilde{\tilde{A}}}} \quad (5.136)$$

Tanım 5.52. $\tilde{\tilde{A}} = \langle (a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), (a_3, b_3, c_3) \rangle$ TDÜNS olsun. $0 \leq \alpha \leq 1$, $0 \leq \beta \leq 1$, $0 \leq \varphi \leq 1$ ve $0 \leq \alpha + \beta + \varphi \leq 3$ olmak üzere $\tilde{\tilde{A}}$, (α, β, φ) kesimleri aşağıdaki gibidir [167]:

$$\tilde{\tilde{A}}_L(\alpha) = a_1 + \alpha(b_1 - a_1) \quad (5.137)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_R(\alpha) = c_1 - \alpha(c_1 - b_1) \quad (5.138)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_L(\beta) = b_2 - \beta(b_2 - a_2) \quad (5.139)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_L(\beta) = b_2 + \beta(c_2 - b_2) \quad (5.140)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_R(\varphi) = b_3 - \varphi(b_3 - a_3) \quad (5.141)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_R(\varphi) = b_3 + \varphi(c_3 - b_3) \quad (5.142)$$

Tanım 5.53. $\tilde{\tilde{A}} = \langle (a_1, b_1, c_1, d_1), (a_2, b_2, c_2, d_2), (a_3, b_3, c_3, d_3) \rangle$ TDYNS olsun. $0 \leq \alpha \leq 1$, $0 \leq \beta \leq 1$, $0 \leq \varphi \leq 1$ ve $0 \leq \alpha + \beta + \varphi \leq 3$ olmak üzere $\tilde{\tilde{A}}, (\alpha, \beta, \varphi)$ kesimleri aşağıdaki gibidir [168]:

$$\tilde{\tilde{A}}_L(\alpha) = a_1 + \alpha(b_1 - a_1) \quad (5.143)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_R(\alpha) = d_1 - \alpha(d_1 - c_1) \quad (5.144)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_L(\alpha) = b_2 - \beta(b_2 - a_2) \quad (5.145)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_R(\alpha) = c_2 + \beta(d_2 - c_2) \quad (5.146)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_L(\varphi) = b_3 - \varphi(b_3 - a_3) \quad (5.147)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_R(\varphi) = c_3 + \varphi(d_3 - c_3) \quad (5.148)$$

Tanım 5.54. Genelleştirilmiş bir nötrosifik sayı $\tilde{\tilde{A}} = \left\langle \left((a_1, b_1, c_1, d_1), w_{\tilde{\tilde{A}}} \right), \left((a_2, b_2, c_2, d_2), u_{\tilde{\tilde{A}}} \right), \left((a_3, b_3, c_3, d_3), y_{\tilde{\tilde{A}}} \right) \right\rangle$ $w_{\tilde{\tilde{A}}}, u_{\tilde{\tilde{A}}}, y_{\tilde{\tilde{A}}} \in [0,1]$ olsun. Burada, $0 \leq \alpha \leq w_{\tilde{\tilde{A}}}$, $u_{\tilde{\tilde{A}}} \leq \beta \leq 1$, $y_{\tilde{\tilde{A}}} \leq \varphi \leq 1$ veya $0 \leq \varphi \leq y_{\tilde{\tilde{A}}}$ ve $0 \leq \alpha + \beta + \varphi \leq 3$ olmak üzere $\tilde{\tilde{A}}, (\alpha, \beta, \varphi)$ kesimleri aşağıdaki gibidir [169]:

$$\tilde{\tilde{A}}_{\langle\alpha,\beta,\varphi\rangle} = [\tilde{\tilde{A}}_\alpha \cap \tilde{\tilde{A}}_\beta \cap \tilde{\tilde{A}}_\varphi] \quad (5.149)$$

Tanım 5.55. $\tilde{\tilde{A}} = \langle (a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), (a_3, b_3, c_3) \rangle$ TDÜNS olsun. $\tilde{\tilde{A}}$ TDÜNS için netleştirme işlemi ise aşağıdaki gibidir [167]:

$$\tilde{\tilde{A}} = \frac{\int_{\alpha=0}^1 \frac{\{\mu_{\tilde{\tilde{A}}1}(\alpha) + \mu_{\tilde{\tilde{A}}2}(\alpha)\}}{2} d\alpha + \int_{\beta=0}^1 \frac{\{v_{\tilde{\tilde{A}}1}(\beta) + v_{\tilde{\tilde{A}}2}(\beta)\}}{2} d\beta + \int_{\varphi=0}^1 \frac{\{\lambda_{\tilde{\tilde{A}}1}(\varphi) + \lambda_{\tilde{\tilde{A}}2}(\varphi)\}}{2} d\varphi}{3} \quad (5.150)$$

$$\tilde{\tilde{A}} = \frac{\int_{\alpha=0}^1 \frac{\{a_1 + \alpha(b_1 - a_1) + c_1 - \alpha(c_1 - b_1)\}}{2} d\alpha + \int_{\beta=0}^1 \frac{\{b_2 - \beta(b_2 - a_2) + b_2 + \beta(c_2 - b_2)\}}{2} d\beta + \int_{\varphi=0}^1 \frac{\{b_3 - \varphi(b_3 - a_3) + b_3 + \varphi(c_3 - b_3)\}}{2} d\varphi}{3} \quad (5.151)$$

$$\tilde{\tilde{A}} = \frac{a_1 + 2b_1 + c_1 + a_2 + 2b_2 + c_2 + a_3 + 2b_3 + c_3}{12} \quad (5.152)$$

Tanım 5.56. $\tilde{\tilde{A}} = \langle (a_1, b_1, c_1, d_1), (a_2, b_2, c_2, d_2), (a_3, b_3, c_3, d_3) \rangle$ TDYN-Sayı olsun. $\tilde{\tilde{A}}$ TDYNS için netleştirme işlemi ise aşağıdaki gibidir [168]:

$$\tilde{\tilde{A}} = \frac{\int_{\alpha=0}^1 \frac{\{\mu_{\tilde{\tilde{A}}1}(\alpha) + \mu_{\tilde{\tilde{A}}2}(\alpha)\}}{2} d\alpha + \int_{\beta=0}^1 \frac{\{v_{\tilde{\tilde{A}}1}(\beta) + v_{\tilde{\tilde{A}}2}(\beta)\}}{2} d\beta + \int_{\varphi=0}^1 \frac{\{\lambda_{\tilde{\tilde{A}}1}(\varphi) + \lambda_{\tilde{\tilde{A}}2}(\varphi)\}}{2} d\varphi}{3} \quad (5.153)$$

$$\tilde{\tilde{A}} = \frac{\int_{\alpha=0}^1 \frac{\{a_1 + \alpha(b_1 - a_1) + d_1 - \alpha(d_1 - c_1)\}}{2} d\alpha + \int_{\beta=0}^1 \frac{\{b_2 - \beta(b_2 - a_2) + c_2 + \beta(d_2 - c_2)\}}{2} d\beta + \int_{\varphi=0}^1 \frac{\{b_3 - \varphi(b_3 - a_3) + c_3 + \varphi(d_3 - c_3)\}}{2} d\varphi}{3} \quad (5.154)$$

$$\tilde{\tilde{A}} = \frac{a_1 + b_1 + c_1 + d_1 + a_2 + b_2 + c_2 + d_2 + a_3 + b_3 + c_3 + d_3}{12} \quad (5.155)$$

NÖTROSOFİK KÜMELERİN SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİ ÜZERİNE ETKİLERİ

6.1 Nötrosofik Kümeler Kullanılarak Süreç Yeterlilik İndekslerinin Geliştirilmesi

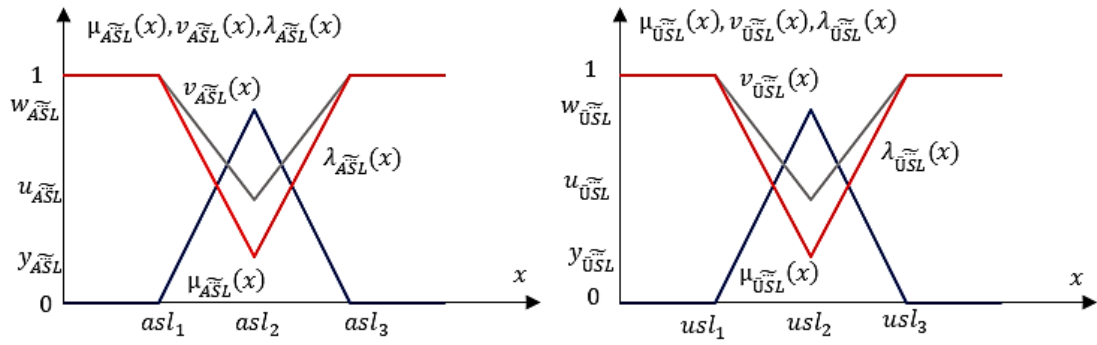
Smarandache [156] belirsizliği daha iyi ele almak için nötrosofik mantığı geliştirmiştir. Bulanık mantık, belirsizliği değişkenlere 0 ile 1 arasında bir üyelikle atarken nötrosofik mantık, belirsizliği içeren yeni bir parametre sunar ve bulanık mantığa göre daha fazla bilgi içererek belirsizliği daha iyi temsil eder [170]. Bu durum, nötrosofik mantığın belirsizliği tanımlamada bulanık mantığa göre daha başarılı olduğunu gösterir. Bulanık mantıkla çözülemeyen problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Örneğin, bir makale % 90 kabul edilebilir olduğunu iddia eden iki hakeme gönderilmiş olsun. Ancak hakemlerden biri bu alanda uzman diğeri yeni başlamış olabilir. Aynı kabul düzeyine sahip olmalarına rağmen, iki hakemin makalenin son kararı üzerindeki etkileri farklı olmalıdır. Bulanık mantığın yeterince etkin olamadığı belirsiz koşulları içeren hava durumu, hisse senedi fiyatı veya siyasi seçimlerin tahmini gibi birçok problem bulunmaktadır [171]. Literatürde NK'nin farklı formları kullanılarak yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Wang vd. [158] NK kavramını teknik bir bakış açısıyla ele alarak TDNS kavramını tanımlamışlardır. TDNS, belirsizlik ve eksik bilgilerle başa çıkmak için çok uygun bir yöntem olan NK'nin bir alt kümesidir. Böylece, belirsizliği ele almada yararlı olan NK güçlü bir biçimde genişletilmiştir. Belirsiz ve eksik bilgiler için önlem alınması gerekliliği, araştırmacıları farklı yaklaşımlar kullanmaya teşvik etmektedir. Bu tez çalışması kapsamında da NK, SYA'nın içerisinde oluşan belirsizliğin elimine edilebilmesi için kullanılmıştır. SYA'nın temel parametrelerinden olan spesifikasyon limitlerinin insanın düşünce yapısını modellemede diğer bulanık küme uzantılarına göre daha başarılı olan NK kullanılarak tanımlanması, insanın düşünce yapısından kaynaklı belirsizliğin

olduğu durumlarda, SYA'ya esneklik, duyarlılık ve gerçeklik kazandıracaktır. Bu çalışma kapsamında, TDNS'nin farklı formları süreç yeterlilik indekslerine uygulanarak süreç yeterliliği üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Böylece, SYA'ya farklı bir bakış açısı kazandırılması amaçlanmıştır. TDNS'nin farklı formlardaki tanımlamalarının SYA üzerinde uygulanması sürecin yeterliliği hakkında daha fazla bilgi sahibi olmamızı sağlamaktadır. Bu çalışmada, $\tilde{A} = \langle (a, b, c); w_{\tilde{A}}, u_{\tilde{A}}, y_{\tilde{A}} \rangle$ ve $\tilde{A} = \langle (a, b, c, d); w_{\tilde{A}}, u_{\tilde{A}}, y_{\tilde{A}} \rangle$ şeklinde tanımlanan TDNS, $\tilde{A} = \langle (a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), (a_3, b_3, c_3) \rangle$ ve $\tilde{A} = \langle (a_1, b_1, c_1, d_1), (a_2, b_2, c_2, d_2), (a_3, b_3, c_3, d_3) \rangle$ şeklinde tanımlanan asimetric görünümüleriyle birlikte ele alınarak sürecin yeterliliği analiz edilmiştir. $a_1 = a_2 = a_3 = a$; $b_1 = b_2 = b_3 = b$; $c_1 = c_2 = c_3 = c$; $d_1 = d_2 = d_3 = d$ ve doğruluk, kararsızlık, yanlışlık üyelik fonksiyonlarının maksimum değeri yerine $w_{\tilde{A}}, u_{\tilde{A}}, y_{\tilde{A}}$ alındığında tanım 5.38'de yer alan TDYNS elde edilmektedir [168]. Bu bölümde, nötrosifik olarak $C_p(\tilde{C}_p)$, $C_{pk}(\tilde{C}_{pk})$, $C_{pm}(\tilde{C}_{pm})$ ve $C_{pmk}(\tilde{C}_{pmk})$ indekslerinin esnekliğini ve duyarlılığını arttırmak için TDNS kullanılarak yeniden değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, TDNS'nin matematiksel işlemlerinden yararlanılarak spesifikasyon limitlerinin TDNS olma durumu, esnek olma durumu ve daha esnek olma durumu için nötrosifik süreç yeterlilik indeksleri (NSYİ) $\tilde{C}_p$, $\tilde{C}_{pk}$, $\tilde{C}_{pm}$ ve $\tilde{C}_{pmk}$ aşağıdaki gibi geliştirilmiştir:

6.1.1 Spesifikasyon Limitlerinin Tek Değerli Nötrosifik Sayı Olma Durumu

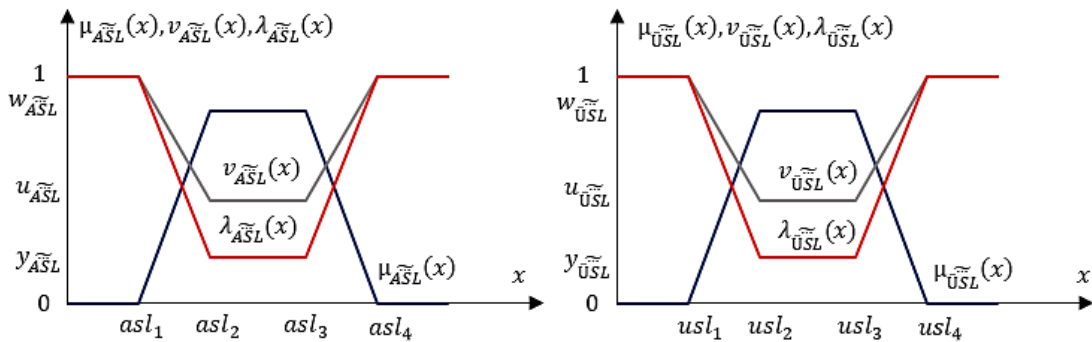
Bu alt bölümde, doğruluk, kararsızlık ve yanlışlık üyelik fonksiyonlarının bağımlı olduğu durum ele alınmaktadır. Bu duruma gerçek bir vaka örneği şu şekilde verilebilir: Bir kişinin seyahat etmek için vize başvurusunda bulunduğunu varsayalım. Ancak başvurusunun kabul edilip edilmeyeceğini bilmiyor (kararsızlık fonksiyonu), yetkili kişiler vize başvurusunu onaylayabilir (doğruluk fonksiyonu) veya reddedebilir (yanlışlık fonksiyonu). Burada, üç bileşen de bağımlıdır [168]. Spesifikasyon limitleri, müşterinin beklentilerini karşılayacak bir ürünün üretilmesi için önceden belirlenen bir takım kurallardır. Spesifikasyon limitlerinin zaman, maliyet ve örnek numune alma zorluğundan dolayı kesin

sayılarla analiz edilmesi yerine kalite denetçilerinin spesifikasyon limitlerini NS kullanarak tanımlaması esneklik olarak zaman ve maliyetten tasarruf sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında, spesifikasyon limitleri nütrosifik alınarak ilk kez $\tilde{\check{C}}_p, \tilde{\check{C}}_{pk}, \tilde{\check{C}}_{pm}$ ve $\tilde{\check{C}}_{pmk}$ indeksleri geliştirilmiştir. Spesifikasyon limitleri TDÜNS olarak ifade edilirse, TDÜN spesifikasyon limitleri $\tilde{\check{A}}\tilde{\check{S}}L = \langle (asl_1, asl_2, asl_3); w_{\tilde{\check{A}}\tilde{\check{S}}L}, u_{\tilde{\check{A}}\tilde{\check{S}}L}, y_{\tilde{\check{A}}\tilde{\check{S}}L} \rangle$ ve $\tilde{\check{U}}\tilde{\check{S}}L = \langle (usl_1, usl_2, usl_3); w_{\tilde{\check{U}}\tilde{\check{S}}L}, u_{\tilde{\check{U}}\tilde{\check{S}}L}, y_{\tilde{\check{U}}\tilde{\check{S}}L} \rangle$ şeklinde tanımlanır. Şekil 6.1'de TDÜN spesifikasyon limitleri grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.1 TDÜN olarak $\tilde{\check{A}}\tilde{\check{S}}L$ ve $\tilde{\check{U}}\tilde{\check{S}}L$ 'nin üyelik fonksiyonları

Spesifikasyon limitleri TDYNS olarak ifade edilirse, $\tilde{\check{A}}\tilde{\check{S}}L = \langle (asl_1, asl_2, asl_3, asl_4); w_{\tilde{\check{A}}\tilde{\check{S}}L}, u_{\tilde{\check{A}}\tilde{\check{S}}L}, y_{\tilde{\check{A}}\tilde{\check{S}}L} \rangle$ ve $\tilde{\check{U}}\tilde{\check{S}}L = \langle (usl_1, usl_2, usl_3, usl_4); w_{\tilde{\check{U}}\tilde{\check{S}}L}, u_{\tilde{\check{U}}\tilde{\check{S}}L}, y_{\tilde{\check{U}}\tilde{\check{S}}L} \rangle$ şeklinde tanımlanır. Şekil 6.2'de TDYN spesifikasyon limitleri grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.2 TDYN olarak $\tilde{\check{A}}\tilde{\check{S}}L$ ve $\tilde{\check{U}}\tilde{\check{S}}L$ 'nin üyelik fonksiyonları

Nötrosofik $\tilde{\tilde{C}}_p$ Süreç Yeterlilik İndeksi

$\tilde{\tilde{C}}_p$ indeksinin genel tanımı eşitlik 6.1'deki gibidir:

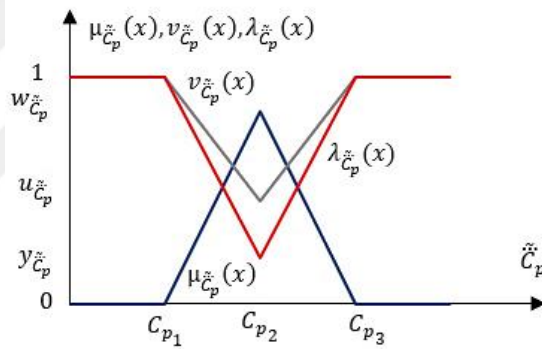
$$\tilde{\tilde{C}}_p = \frac{\tilde{\tilde{U}}_{SL} \ominus \tilde{\tilde{A}}_{SL}}{6\sigma} \quad (6.1)$$

$\tilde{\tilde{C}}_p$ indeksi aritmetik işlemler kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\tilde{\tilde{C}}_p = \frac{\left\langle (usl_1, usl_2, usl_3); w_{\tilde{\tilde{U}}_{SL}}, u_{\tilde{\tilde{U}}_{SL}}, y_{\tilde{\tilde{U}}_{SL}} \right\rangle \ominus \left\langle (asl_1, asl_2, asl_3); w_{\tilde{\tilde{A}}_{SL}}, u_{\tilde{\tilde{A}}_{SL}}, y_{\tilde{\tilde{A}}_{SL}} \right\rangle}{6\sigma} \quad (6.2)$$

$$\tilde{\tilde{C}}_p = \left\langle \left(\frac{usl_1 - asl_3}{6\sigma}, \frac{usl_2 - asl_2}{6\sigma}, \frac{usl_3 - asl_1}{6\sigma} \right); w_{\tilde{\tilde{U}}_{SL}} \wedge w_{\tilde{\tilde{A}}_{SL}}, u_{\tilde{\tilde{U}}_{SL}} \vee u_{\tilde{\tilde{A}}_{SL}}, y_{\tilde{\tilde{U}}_{SL}} \vee y_{\tilde{\tilde{A}}_{SL}} \right\rangle \quad (6.3)$$

Şekil 6.3'de TDÜN şeklinde tanımlanan $\tilde{\tilde{C}}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



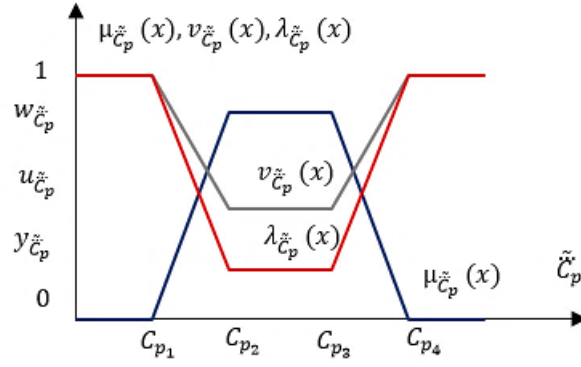
Şekil 6.3 TDÜN olarak $\tilde{\tilde{C}}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları

$\tilde{\tilde{C}}_p$ indeksi aritmetik işlemler kullanılarak eşitlik 6.4'deki gibi elde edilir:

$$\tilde{\tilde{C}}_p = \frac{\left\langle (usl_1, usl_2, usl_3, usl_4); w_{\tilde{\tilde{U}}_{SL}}, u_{\tilde{\tilde{U}}_{SL}}, y_{\tilde{\tilde{U}}_{SL}} \right\rangle \ominus \left\langle (asl_1, asl_2, asl_3, asl_4); w_{\tilde{\tilde{A}}_{SL}}, u_{\tilde{\tilde{A}}_{SL}}, y_{\tilde{\tilde{A}}_{SL}} \right\rangle}{6\sigma} \quad (6.4)$$

$$\tilde{\tilde{C}}_p = \left\langle \left(\frac{usl_1 - asl_4}{6\sigma}, \frac{usl_2 - asl_3}{6\sigma}, \frac{usl_3 - asl_2}{6\sigma}, \frac{usl_4 - asl_1}{6\sigma} \right); w_{\tilde{\tilde{U}}_{SL}} \wedge w_{\tilde{\tilde{A}}_{SL}}, u_{\tilde{\tilde{U}}_{SL}} \vee u_{\tilde{\tilde{A}}_{SL}}, y_{\tilde{\tilde{U}}_{SL}} \vee y_{\tilde{\tilde{A}}_{SL}} \right\rangle \quad (6.5)$$

Şekil 6.4'de ise TDYN şeklinde tanımlanan $\tilde{\tilde{C}}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.4 TDYN olarak $\check{\check{C}}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Nötrosofik $\check{\check{C}}_{pk}$ Süreç Yeterlilik İndeksi

$\check{\check{C}}_{pk}$ indeksinin genel tanımı eşitlik 6.6'daki gibidir:

$$\check{\check{C}}_{pk} = \min \{ \check{\check{C}}_{pl}, \check{\check{C}}_{pu} \} \quad (6.6)$$

$$\check{\check{C}}_{pk} = \min \left\{ \frac{\mu \ominus \widetilde{A\check{S}L}}{3\sigma}, \frac{\widetilde{Ü\check{S}L} \ominus \mu}{3\sigma} \right\} \quad (6.7)$$

Benzer şekilde, $\check{\check{C}}_{pk}$ indeksi eşitlik 6.8'deki gibi elde edilir:

$$\check{\check{C}}_{pk} = \min \left\{ \frac{\mu \ominus \left\langle (asl_1, asl_2, asl_3); w_{\widetilde{A\check{S}L}}, u_{\widetilde{A\check{S}L}}, y_{\widetilde{A\check{S}L}} \right\rangle}{3\sigma}, \frac{\left\langle (usl_1, usl_2, usl_3); w_{\widetilde{Ü\check{S}L}}, u_{\widetilde{Ü\check{S}L}}, y_{\widetilde{Ü\check{S}L}} \right\rangle \ominus \mu}{3\sigma} \right\} \quad (6.8)$$

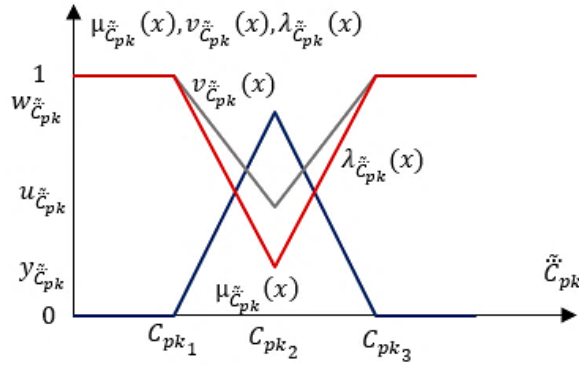
$$\check{\check{C}}_{pk} = \min \left\{ \left\langle \left(\frac{\mu - asl_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_1}{3\sigma} \right); w_{\widetilde{A\check{S}L}}, u_{\widetilde{A\check{S}L}}, y_{\widetilde{A\check{S}L}} \right\rangle, \left\langle \left(\frac{usl_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_3 - \mu}{3\sigma} \right); w_{\widetilde{Ü\check{S}L}}, u_{\widetilde{Ü\check{S}L}}, y_{\widetilde{Ü\check{S}L}} \right\rangle \right\} \quad (6.9)$$

Eşitlik 3.3 ve 3.4'deki tek taraflı C_{pl} ve C_{pu} indeksleri yeniden formüle edilerek $\check{\check{C}}_{pl}$ ve $\check{\check{C}}_{pu}$ indeksleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$\check{\check{C}}_{pl} = \left\langle \left(\frac{\mu - asl_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_1}{3\sigma} \right); w_{\widetilde{A\check{S}L}}, u_{\widetilde{A\check{S}L}}, y_{\widetilde{A\check{S}L}} \right\rangle \quad (6.10)$$

$$\check{\check{C}}_{pu} = \left\langle \left(\frac{usl_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_3 - \mu}{3\sigma} \right); w_{\widetilde{Ü\check{S}L}}, u_{\widetilde{Ü\check{S}L}}, y_{\widetilde{Ü\check{S}L}} \right\rangle \quad (6.11)$$

Şekil 6.5’de TDÜN şeklinde tanımlanan $\tilde{\check{C}}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.5 TDÜN olarak $\tilde{\check{C}}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

$\tilde{\check{C}}_{pk}$ indeksi TDYNS kullanılarak eşitlik 6.12’deki gibi elde edilir:

$$\tilde{\check{C}}_{pk} = \min \left\{ \frac{\mu \ominus \langle (asl_1, asl_2, asl_3, asl_4); w_{\widetilde{A\check{S}L}}, u_{\widetilde{A\check{S}L}}, y_{\widetilde{A\check{S}L}} \rangle}{3\sigma}, \frac{\langle (usl_1, usl_2, usl_3, usl_4); w_{\widetilde{U\check{S}L}}, u_{\widetilde{U\check{S}L}}, y_{\widetilde{U\check{S}L}} \rangle \ominus \mu}{3\sigma} \right\} \quad (6.12)$$

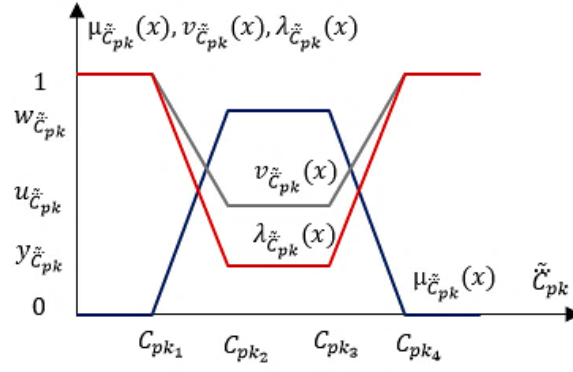
$$\tilde{\check{C}}_{pk} = \min \left\{ \left\langle \left(\frac{\mu - asl_4}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_1}{3\sigma} \right); w_{\widetilde{L\check{S}L}}, u_{\widetilde{L\check{S}L}}, y_{\widetilde{L\check{S}L}} \right\rangle, \left\langle \left(\frac{usl_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_3 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_4 - \mu}{3\sigma} \right); w_{\widetilde{U\check{S}L}}, u_{\widetilde{U\check{S}L}}, y_{\widetilde{U\check{S}L}} \right\rangle \right\} \quad (6.13)$$

Tek taraflı $\tilde{\check{C}}_{pl}$ ve $\tilde{\check{C}}_{pu}$ indeksleri eşitlik 3.3 ve 3.4 kullanılarak elde edilmiştir. $\tilde{\check{C}}_{pl}$ ve $\tilde{\check{C}}_{pu}$ indeksleri aşağıdaki gibidir:

$$\tilde{\check{C}}_{pl} = \left\langle \left(\frac{\mu - asl_4}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_1}{3\sigma} \right); w_{\widetilde{A\check{S}L}}, u_{\widetilde{A\check{S}L}}, y_{\widetilde{A\check{S}L}} \right\rangle \quad (6.14)$$

$$\tilde{\check{C}}_{pu} = \left\langle \left(\frac{usl_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_3 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_4 - \mu}{3\sigma} \right); w_{\widetilde{U\check{S}L}}, u_{\widetilde{U\check{S}L}}, y_{\widetilde{U\check{S}L}} \right\rangle \quad (6.15)$$

Şekil 6.6’da TDYN şeklinde tanımlanan $\tilde{\check{C}}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.6 TDYN olarak $\tilde{C}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Nötrosofik $\tilde{C}_{pm}$ Süreç Yeterlilik İndeksi

$\tilde{C}_{pm}$ indeksinin genel tanımı eşitlik 6.16'daki gibidir:

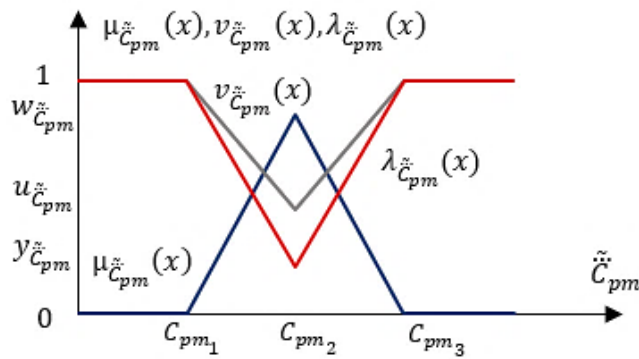
$$\tilde{C}_{pm} = \frac{\tilde{U\bar{S}L} \ominus \tilde{A\bar{S}L}}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (6.16)$$

$\tilde{C}_{pm}$ indeksi aritmetik işlemler kullanılarak eşitlik 6.17'deki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pm} = \frac{\langle (usl_1, usl_2, usl_3); w_{\tilde{U\bar{S}L}}, u_{\tilde{U\bar{S}L}}, y_{\tilde{U\bar{S}L}} \rangle \ominus \langle (asl_1, asl_2, asl_3); w_{\tilde{A\bar{S}L}}, u_{\tilde{A\bar{S}L}}, y_{\tilde{A\bar{S}L}} \rangle}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (6.17)$$

$$\tilde{C}_{pm} = \left\langle \left(\frac{usl_1 - asl_3}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_2 - asl_2}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_3 - asl_1}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right); \right. \\ \left. w_{\tilde{U\bar{S}L}} \wedge w_{\tilde{A\bar{S}L}}, u_{\tilde{U\bar{S}L}} \vee u_{\tilde{A\bar{S}L}}, y_{\tilde{U\bar{S}L}} \vee y_{\tilde{A\bar{S}L}} \right\rangle \quad (6.18)$$

Şekil 6.7'de TDÜN şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



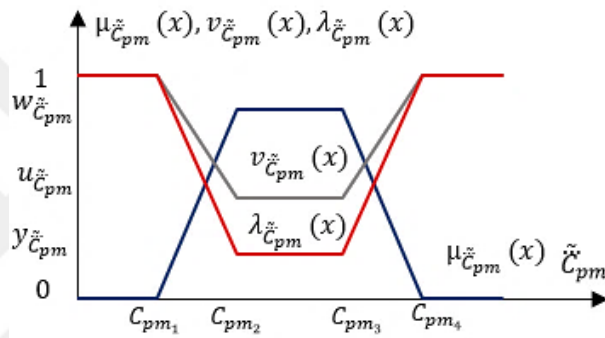
Şekil 6.7 TDÜN olarak $\tilde{C}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Benzer şekilde, $\tilde{\tilde{C}}_{pm}$ indeksi aritmetik işlemler kullanılarak eşitlik 6.19'daki gibi elde edilir:

$$\tilde{\tilde{C}}_{pm} = \frac{\langle (usl_1, usl_2, usl_3, usl_4); w_{\tilde{\tilde{U}}SL}, u_{\tilde{\tilde{U}}SL}, y_{\tilde{\tilde{U}}SL} \rangle \ominus \langle (asl_1, asl_2, asl_3, asl_4); w_{\tilde{\tilde{A}}SL}, u_{\tilde{\tilde{A}}SL}, y_{\tilde{\tilde{A}}SL} \rangle}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (6.19)$$

$$\tilde{\tilde{C}}_{pm} = \left\langle \left(\frac{usl_1 - asl_4}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_2 - asl_3}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_3 - asl_2}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_4 - asl_1}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right); w_{\tilde{\tilde{U}}SL} \wedge w_{\tilde{\tilde{A}}SL}, u_{\tilde{\tilde{U}}SL} \vee u_{\tilde{\tilde{A}}SL}, y_{\tilde{\tilde{U}}SL} \vee y_{\tilde{\tilde{A}}SL} \right\rangle \quad (6.20)$$

Şekil 6.8'de TDYN şeklinde tanımlanan $\tilde{\tilde{C}}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.8 TDYN olarak $\tilde{\tilde{C}}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Nötrosofik $\tilde{\tilde{C}}_{pmk}$ Süreç Yeterlilik İndeksi

$\tilde{\tilde{C}}_{pmk}$ indeksinin genel tanımı eşitlik 6.21'deki gibidir:

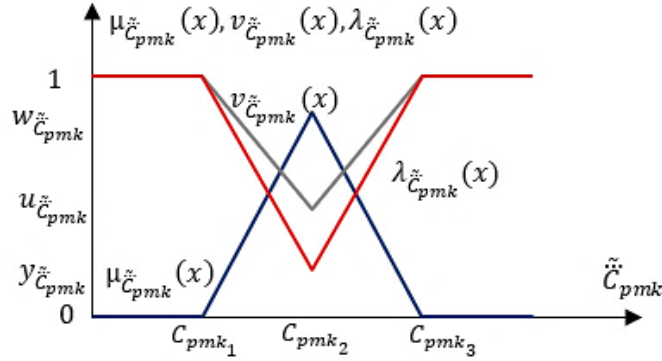
$$\tilde{\tilde{C}}_{pmk} = \min \left\{ \frac{\mu \ominus \tilde{\tilde{A}}SL}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\tilde{\tilde{U}}SL \ominus \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right\} \quad (6.21)$$

$\tilde{\tilde{C}}_{pmk}$ indeksi aritmetik işlemlerle eşitlik 6.22'deki gibi elde edilir:

$$\tilde{\tilde{C}}_{pmk} = \min \left\{ \frac{\mu \ominus \langle (asl_1, asl_2, asl_3); w_{\tilde{\tilde{A}}SL}, u_{\tilde{\tilde{A}}SL}, y_{\tilde{\tilde{A}}SL} \rangle}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\langle (usl_1, usl_2, usl_3); w_{\tilde{\tilde{U}}SL}, u_{\tilde{\tilde{U}}SL}, y_{\tilde{\tilde{U}}SL} \rangle \ominus \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right\} \quad (6.22)$$

$$\tilde{\check{C}}_{pmk} = \min \left\{ \left(\left(\frac{\mu - asl_3}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_2}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_1}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right); w_{\tilde{A\check{S}L}}, u_{\tilde{A\check{S}L}}, y_{\tilde{A\check{S}L}} \right), \left(\left(\frac{usl_1 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_3 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right); w_{\tilde{U\check{S}L}}, u_{\tilde{U\check{S}L}}, y_{\tilde{U\check{S}L}} \right) \right\} \quad (6.23)$$

Şekil 6.9’da TDÜN şeklinde tanımlanan $\tilde{\check{C}}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



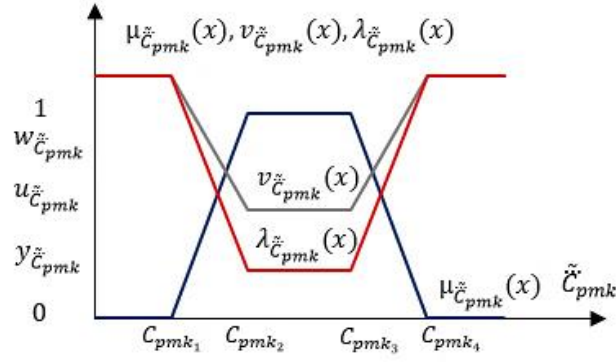
Şekil 6.9 TDÜN olarak $\tilde{\check{C}}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

$\tilde{\check{C}}_{pmk}$ indeksi TDYNS kullanılarak eşitlik 6.24’deki gibi elde edilir:

$$\tilde{\check{C}}_{pmk} = \min \left\{ \frac{\mu \ominus \left((asl_1, asl_2, asl_3, asl_4); w_{\tilde{A\check{S}L}}, u_{\tilde{A\check{S}L}}, y_{\tilde{A\check{S}L}} \right)}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\left((usl_1, usl_2, usl_3, usl_4); w_{\tilde{U\check{S}L}}, u_{\tilde{U\check{S}L}}, y_{\tilde{U\check{S}L}} \right) \ominus \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right\} \quad (6.24)$$

$$\tilde{\check{C}}_{pmk} = \min \left\{ \left(\left(\frac{\mu - asl_4}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_3}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_2}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_1}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right); w_{\tilde{L\check{S}L}}, u_{\tilde{L\check{S}L}}, y_{\tilde{L\check{S}L}} \right), \left(\left(\frac{usl_1 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_3 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_4 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right); w_{\tilde{U\check{S}L}}, u_{\tilde{U\check{S}L}}, y_{\tilde{U\check{S}L}} \right) \right\} \quad (6.25)$$

Şekil 6.10’da TDYN şeklinde tanımlanan $\tilde{\check{C}}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.

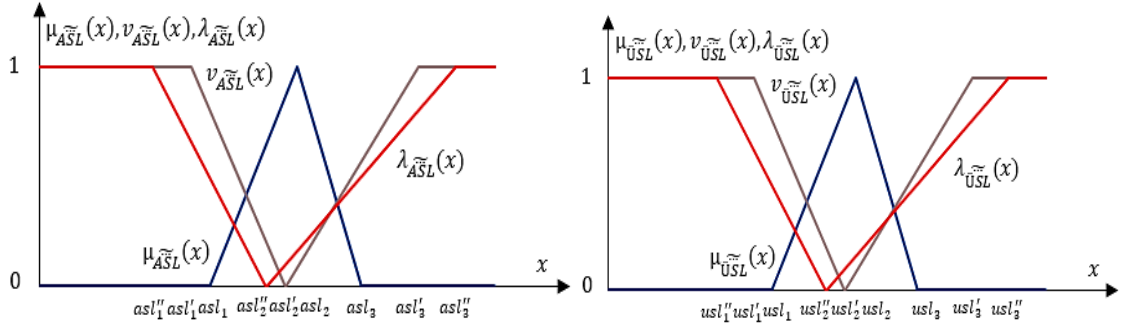


Şekil 6.10 TDYN olarak $\tilde{c}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

6.1.2 Spesifikasyon Limitlerinin Esnek Tek Değerli Nötrosofik Sayı Olma

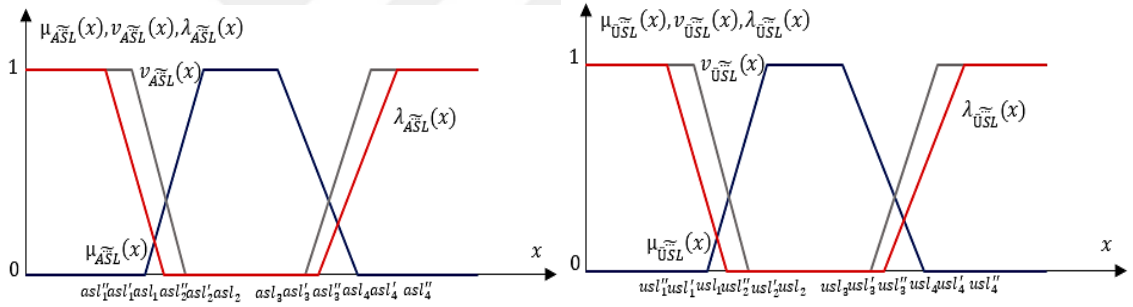
Durumu

Bu alt bölümde, doğruluk, kararsızlık ve yanlışlık üyelik fonksiyonlarının bağımsız olduğu durum ele alınmaktadır. Bu duruma gerçek bir vaka örneği şu şekilde verilebilir: Bir seçimde bazı bireylerin kesinlikle X üyesine oy vermeyi düşündüklerini varsayalım (doğruluk fonksiyonu). Bazıları kesinlikle X üyesine karşı oy vermeyi düşünüyor (yanlışlık fonksiyonu), bazıları da X üyesine (kararsızlık fonksiyonu) oy vermekte tereddüt ediyor [168]. Burada, tüm bileşenler birbirlerinden farklı ve bağımsızdır. TDNS, $\tilde{A} = \langle (a, b, c); w_{\tilde{A}}, u_{\tilde{A}}, y_{\tilde{A}} \rangle$ ve $\tilde{A} = \langle (a, b, c, d); w_{\tilde{A}}, u_{\tilde{A}}, y_{\tilde{A}} \rangle$ formu yerine $\tilde{A} = \langle (a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), (a_3, b_3, c_3) \rangle$ ve $\tilde{A} = \langle (a_1, b_1, c_1, d_1), (a_2, b_2, c_2, d_2), (a_3, b_3, c_3, d_3) \rangle$ asimetrik görünümüleri ile ifade edilmesi spesifikasyon limitlerine daha fazla esneklik kazandırmaktadır. Spesifikasyon limitlerinin esnek olması, SYA'nın daha gerçekçi, hassas ve kapsamlı sonuçlar vermesine neden olmaktadır. Spesifikasyon limitlerini esnek TDÜNS olarak ifade edersek, esnek TDÜN spesifikasyon limitleri $\tilde{A}\tilde{S}L = \langle (asl_1, asl_2, asl_3), (asl'_1, asl'_2, asl'_3), (asl''_1, asl''_2, asl''_3) \rangle$ ve $\tilde{U}\tilde{S}L = \langle (usl_1, usl_2, usl_3), (usl'_1, usl'_2, usl'_3), (usl''_1, usl''_2, usl''_3) \rangle$ şeklinde tanımlanır. Şekil 6.11'de esnek TDÜN spesifikasyon limitlerinin asimetrik görünümlü üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.11 Esnek TDÜN olarak $\widetilde{A\ddot{S}L}$ ve $\widetilde{Ü\ddot{S}L}$ 'nin üyelik fonksiyonları

Spesifikasyon limitlerini aşağıdaki gibi esnek TDYNS olarak ifade edersek, esnek TDYN spesifikasyon limitleri $\widetilde{A\ddot{S}L} = \langle (asl_1, asl_2, asl_3, asl_4), (asl'_1, asl'_2, asl'_3, asl'_4), (asl''_1, asl''_2, asl''_3, asl''_4) \rangle$ ve $\widetilde{Ü\ddot{S}L} = \langle (usl_1, usl_2, usl_3, usl_4), (usl'_1, usl'_2, usl'_3, usl'_4), (usl''_1, usl''_2, usl''_3, usl''_4) \rangle$ şeklinde tanımlanır. Şekil 6.12'de esnek TDYN spesifikasyon limitlerinin asimetrik görünümlü üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.12 Esnek TDYNS olarak $\widetilde{A\ddot{S}L}$ ve $\widetilde{Ü\ddot{S}L}$ 'nin üyelik fonksiyonları

Esnek Nötrosofik $\tilde{\tilde{C}}_p$ Süreç Yeterlilik İndeksi

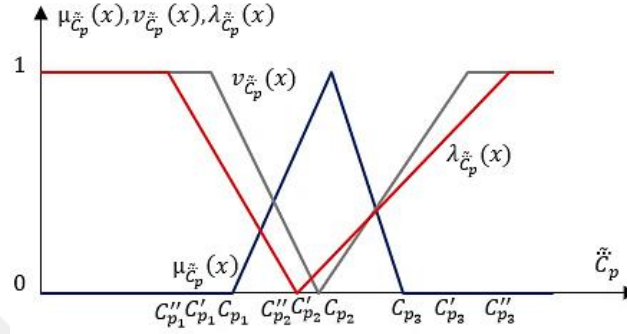
Esnek TDÜN olarak $\tilde{\tilde{C}}_p$ indeksi aritmetik işlemler kullanılarak eşitlik 6.26'daki gibi elde edilir:

$$\tilde{\tilde{C}}_p = \frac{\langle (usl_1, usl_2, usl_3), (usl'_1, usl'_2, usl'_3), (usl''_1, usl''_2, usl''_3) \rangle \ominus \langle (asl_1, asl_2, asl_3), (asl'_1, asl'_2, asl'_3), (asl''_1, asl''_2, asl''_3) \rangle}{6\sigma} \quad (6.26)$$

Eşitlik 6.26 aşağıdaki gibi eşitlik 6.27'ye dönüştürülür:

$$\tilde{\tilde{C}}_p = \left\langle \left(\frac{usl_1 - asl_3}{6\sigma}, \frac{usl_2 - asl_2}{6\sigma}, \frac{usl_3 - asl_1}{6\sigma} \right), \left(\frac{usl'_1 - asl'_3}{6\sigma}, \frac{usl'_2 - asl'_2}{6\sigma}, \frac{usl'_3 - asl'_1}{6\sigma} \right), \right. \\ \left. \left(\frac{usl''_1 - asl''_3}{6\sigma}, \frac{usl''_2 - asl''_2}{6\sigma}, \frac{usl''_3 - asl''_1}{6\sigma} \right) \right\rangle \quad (6.27)$$

Şekil 6.13’de TDÜN şeklinde tanımlanan $\tilde{\tilde{C}}_p$ indeksinin asimetrik görünümlü üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



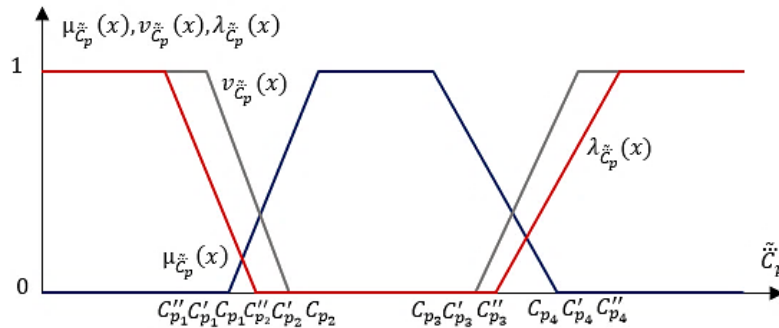
Şekil 6.13 Esnek TDÜN olarak $\tilde{\tilde{C}}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Esnek TDYN olarak $\tilde{\tilde{C}}_p$ indeksi eşitlik 6.28’deki gibi elde edilir:

$$\tilde{\tilde{C}}_p = \frac{\langle (usl_1, usl_2, usl_3, usl_4), (usl'_1, usl'_2, usl'_3, usl'_4), (usl''_1, usl''_2, usl''_3, usl''_4) \rangle \ominus \langle (asl_1, asl_2, asl_3, asl_4), (asl'_1, asl'_2, asl'_3, asl'_4), (asl''_1, asl''_2, asl''_3, asl''_4) \rangle}{6\sigma} \quad (6.28)$$

$$\tilde{\tilde{C}}_p = \left\langle \left(\frac{usl_1 - asl_4}{6\sigma}, \frac{usl_2 - asl_3}{6\sigma}, \frac{usl_3 - asl_2}{6\sigma}, \frac{usl_4 - asl_1}{6\sigma} \right), \left(\frac{usl'_1 - asl'_4}{6\sigma}, \frac{usl'_2 - asl'_3}{6\sigma}, \frac{usl'_3 - asl'_2}{6\sigma}, \frac{usl'_4 - asl'_1}{6\sigma} \right), \right. \\ \left. \left(\frac{usl''_1 - asl''_4}{6\sigma}, \frac{usl''_2 - asl''_3}{6\sigma}, \frac{usl''_3 - asl''_2}{6\sigma}, \frac{usl''_4 - asl''_1}{6\sigma} \right) \right\rangle \quad (6.29)$$

Şekil 6.14’de esnek TDYN şeklinde tanımlanan $\tilde{\tilde{C}}_p$ indeksinin asimetrik görünümlü üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.14 Esnek TDYN olarak $\tilde{\tilde{C}}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Esnek Nötrosofik $\tilde{\tilde{C}}_{pk}$ Süreç Yeterlilik İndeksi

Esnek TDÜN olarak $\tilde{\tilde{C}}_{pk}$ indeksi eşitlik 6.30'daki gibi elde edilir:

$$\tilde{\tilde{C}}_{pk} = \min \left\{ \frac{\mu \ominus \langle (asl_1, asl_2, asl_3), (asl'_1, asl'_2, asl'_3), (asl''_1, asl''_2, asl''_3) \rangle}{3\sigma}, \frac{\langle (usl_1, usl_2, usl_3), (usl'_1, usl'_2, usl'_3), (usl''_1, usl''_2, usl''_3) \rangle \ominus \mu}{3\sigma} \right\} \quad (6.30)$$

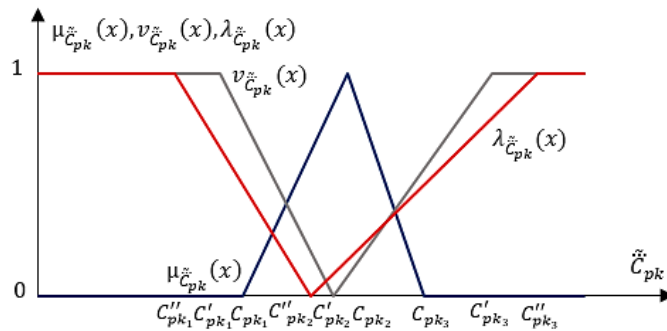
$$\tilde{\tilde{C}}_{pk} = \min \left\{ \left\langle \left(\frac{\mu - asl_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_1}{3\sigma} \right), \left(\frac{\mu - asl'_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl'_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl'_1}{3\sigma} \right), \left(\frac{\mu - asl''_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl''_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl''_1}{3\sigma} \right) \right\rangle, \left\langle \left(\frac{usl_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_3 - \mu}{3\sigma} \right), \left(\frac{usl'_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl'_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl'_3 - \mu}{3\sigma} \right), \left(\frac{usl''_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl''_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl''_3 - \mu}{3\sigma} \right) \right\rangle \right\} \quad (6.31)$$

Eşitlikler 3.3 ve 3.4 yeniden formüle edilerek tek taraflı esnek $\tilde{\tilde{C}}_{pl}$ ve $\tilde{\tilde{C}}_{pu}$ indeksleri aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\tilde{\tilde{C}}_{pl} = \left\langle \left(\frac{\mu - asl_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_1}{3\sigma} \right), \left(\frac{\mu - asl'_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl'_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl'_1}{3\sigma} \right), \left(\frac{\mu - asl''_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl''_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl''_1}{3\sigma} \right) \right\rangle \quad (6.32)$$

$$\tilde{\tilde{C}}_{pu} = \left\langle \left(\frac{usl_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_3 - \mu}{3\sigma} \right), \left(\frac{usl'_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl'_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl'_3 - \mu}{3\sigma} \right), \left(\frac{usl''_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl''_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl''_3 - \mu}{3\sigma} \right) \right\rangle \quad (6.33)$$

Şekil 6.15'de esnek TDÜN şeklinde tanımlanan $\tilde{\tilde{C}}_{pk}$ indeksinin asimetric görünümlü üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.15 Esnek TDÜN olarak $\tilde{\tilde{C}}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Benzer şekilde, esnek TDYN olarak $\tilde{\tilde{C}}_{pk}$ indeksi eşitlik 6.34'deki gibi türetilerek elde edilir:

$$\tilde{\check{C}}_{pk} = \min \left\{ \frac{\mu \ominus ((asl_1, asl_2, asl_3, asl_4), (asl'_1, asl'_2, asl'_3, asl'_4), (asl''_1, asl''_2, asl''_3, asl''_4))}{3\sigma}, \frac{((usl_1, usl_2, usl_3, usl_4), (usl'_1, usl'_2, usl'_3, usl'_4), (usl''_1, usl''_2, usl''_3, usl''_4)) \ominus \mu}{3\sigma} \right\} \quad (6.34)$$

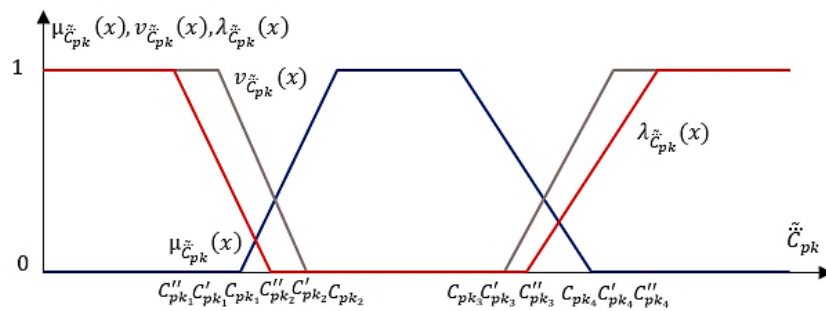
$$\tilde{\check{C}}_{pk} = \min \left\{ \left\langle \left(\frac{\mu - asl_4}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_1}{3\sigma} \right), \left(\frac{\mu - asl'_4}{3\sigma}, \frac{\mu - asl'_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl'_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl'_1}{3\sigma} \right), \left(\frac{\mu - asl''_4}{3\sigma}, \frac{\mu - asl''_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl''_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl''_1}{3\sigma} \right) \right\rangle, \left\langle \left(\frac{usl_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_3 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_4 - \mu}{3\sigma} \right), \left(\frac{usl'_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl'_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl'_3 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl'_4 - \mu}{3\sigma} \right), \left(\frac{usl''_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl''_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl''_3 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl''_4 - \mu}{3\sigma} \right) \right\rangle \right\} \quad (6.35)$$

Böylece, tek taraflı esnek $\tilde{\check{C}}_{pl}$ ve $\tilde{\check{C}}_{pu}$ indeksleri TDYNS kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\tilde{\check{C}}_{pl} = \left\langle \left(\frac{\mu - asl_4}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_1}{3\sigma} \right), \left(\frac{\mu - asl'_4}{3\sigma}, \frac{\mu - asl'_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl'_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl'_1}{3\sigma} \right), \left(\frac{\mu - asl''_4}{3\sigma}, \frac{\mu - asl''_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl''_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl''_1}{3\sigma} \right) \right\rangle \quad (6.36)$$

$$\tilde{\check{C}}_{pu} = \left\langle \left(\frac{usl_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_3 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_4 - \mu}{3\sigma} \right), \left(\frac{usl'_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl'_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl'_3 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl'_4 - \mu}{3\sigma} \right), \left(\frac{usl''_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl''_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl''_3 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl''_4 - \mu}{3\sigma} \right) \right\rangle \quad (6.37)$$

Şekil 6.18'de esnek TDYN şeklinde tanımlanan $\tilde{\check{C}}_{pk}$ indeksinin asimetrik görünümlü üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.16 Esnek TDYN olarak $\tilde{\check{C}}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

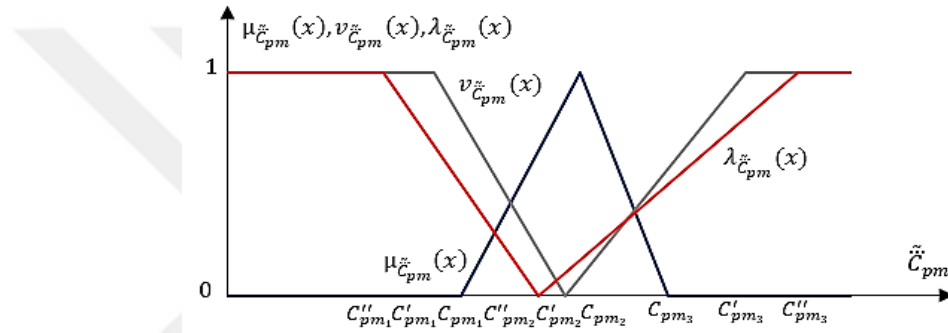
Esnek Nötrosofik $\tilde{\check{C}}_{pm}$ Süreç Yeterlilik İndeksi

Esnek TDÜN olarak $\tilde{\check{C}}_{pm}$ indeksi TDÜNS'nin aritmetik işlemleri kullanılarak eşitlik 6.38'deki gibi elde edilir:

$$\tilde{\tilde{C}}_{pm} = \frac{\langle (usl_1, usl_2, usl_3), (usl'_1, usl'_2, usl'_3), (usl''_1, usl''_2, usl''_3) \rangle \ominus \langle (asl_1, asl_2, asl_3), (asl'_1, asl'_2, asl'_3), (asl''_1, asl''_2, asl''_3) \rangle}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (6.38)$$

$$\tilde{\tilde{C}}_{pm} = \left\langle \left(\frac{usl_1 - asl_3}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_2 - asl_2}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_3 - asl_1}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \right. \\ \left. \left(\frac{usl'_1 - asl'_3}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl'_2 - asl'_2}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl'_3 - asl'_1}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \right. \\ \left. \left(\frac{usl''_1 - asl''_3}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl''_2 - asl''_2}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl''_3 - asl''_1}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right) \right\rangle \quad (6.39)$$

Şekil 6.17’de esnek TDÜN şeklinde tanımlanan $\tilde{\tilde{C}}_{pm}$ indeksinin asimetric görünümlü üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



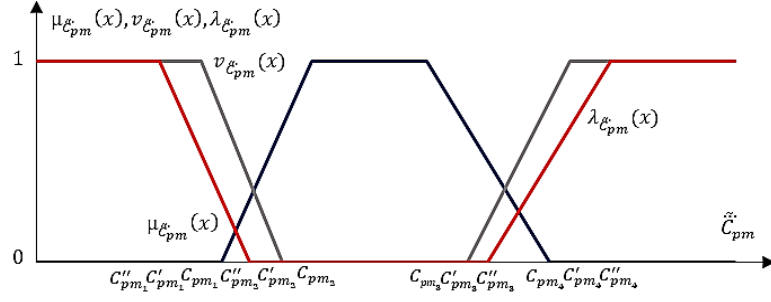
Şekil 6.17 Esnek TDÜN olarak $\tilde{\tilde{C}}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Ek olarak, esnek TDYN olarak $\tilde{\tilde{C}}_{pm}$ indeksi de eşitlik 4.40'daki gibi elde edilir:

$$\tilde{\tilde{C}}_{pm} = \frac{\langle (usl_1, usl_2, usl_3, usl_4), (usl'_1, usl'_2, usl'_3, usl'_4), (usl''_1, usl''_2, usl''_3, usl''_4) \rangle \ominus \langle (asl_1, asl_2, asl_3, asl_4), (asl'_1, asl'_2, asl'_3, asl'_4), (asl''_1, asl''_2, asl''_3, asl''_4) \rangle}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (6.40)$$

$$\tilde{\tilde{C}}_{pm} = \left\langle \left(\frac{usl_1 - asl_4}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_2 - asl_3}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_3 - asl_2}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_4 - asl_1}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \right. \\ \left. \left(\frac{usl'_1 - asl'_4}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl'_2 - asl'_3}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl'_3 - asl'_2}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl'_4 - asl'_1}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \right. \\ \left. \left(\frac{usl''_1 - asl''_4}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl''_2 - asl''_3}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl''_3 - asl''_2}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl''_4 - asl''_1}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right) \right\rangle \quad (6.41)$$

Şekil 6.18’de esnek TDYN şeklinde tanımlanan $\tilde{\tilde{C}}_{pm}$ indeksinin asimetric görünümlü üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.18 Esnek TDYN olarak $\tilde{C}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

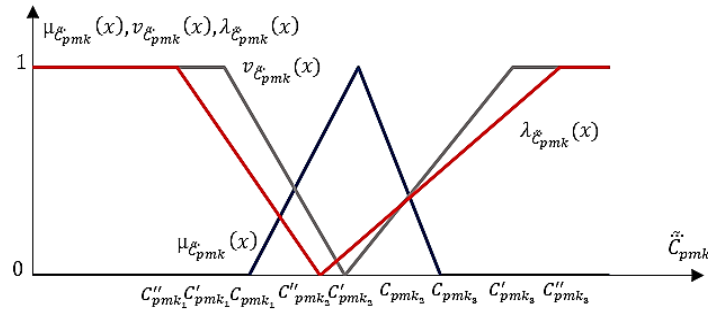
Esnek Nötrosofik $\tilde{C}_{pmk}$ Süreç Yeterlilik İndeksi

Esnek TDÜN olarak $\tilde{C}_{pmk}$ indeksi eşitlik 6.42'deki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left\{ \frac{\mu \ominus \langle (asl_1, asl_2, asl_3), (asl'_1, asl'_2, asl'_3), (asl''_1, asl''_2, asl''_3) \rangle}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\langle (usl_1, usl_2, usl_3), (usl'_1, usl'_2, usl'_3), (usl''_1, usl''_2, usl''_3) \rangle \ominus \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right\} \quad (6.42)$$

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left\{ \left(\frac{\mu - asl_3}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_2}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_1}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \left(\frac{\mu - asl'_3}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl'_2}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl'_1}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \left(\frac{\mu - asl''_3}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl''_2}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl''_1}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \left(\frac{usl_1 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_3 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \left(\frac{usl'_1 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl'_2 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl'_3 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \left(\frac{usl''_1 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl''_2 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl''_3 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right) \right\} \quad (6.43)$$

Şekil 6.19'da esnek TDÜN şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pmk}$ indeksinin asimetrik görünümlü üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



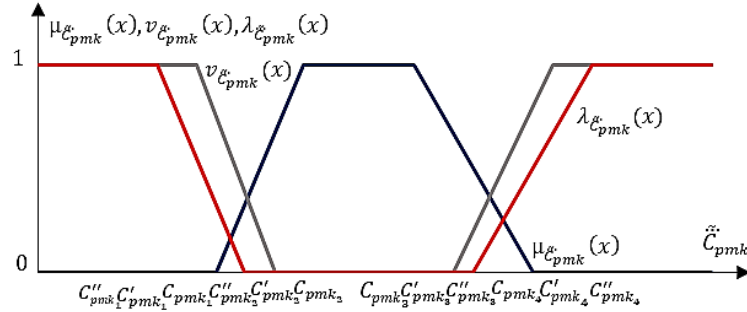
Şekil 6.19 Esnek TDÜN olarak $\tilde{C}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Esnek TDYN olarak $\ddot{C}_{pmk}$ indeksi eşitlik 6.44'deki gibi elde edilir:

$$\ddot{C}_{pmk} = \min \left\{ \frac{\mu \ominus \langle (asl_1, asl_2, asl_3, asl_4), (asl'_1, asl'_2, asl'_3, asl'_4), (asl''_1, asl''_2, asl''_3, asl''_4) \rangle}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\langle (usl_1, usl_2, usl_3, usl_4), (usl'_1, usl'_2, usl'_3, usl'_4), (usl''_1, usl''_2, usl''_3, usl''_4) \rangle \ominus \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right\} \quad (6.44)$$

$$\ddot{C}_{pmk} = \min \left\{ \left(\frac{\mu - asl_4}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_3}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_2}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_1}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \left(\frac{\mu - asl'_4}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl'_3}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl'_2}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl'_1}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \left(\frac{\mu - asl''_4}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl''_3}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl''_2}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl''_1}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \left(\frac{usl_1 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_3 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_4 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \left(\frac{usl'_1 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl'_2 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl'_3 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl'_4 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \left(\frac{usl''_1 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl''_2 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl''_3 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl''_4 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right) \right\} \quad (6.45)$$

Şekil 6.20'de esnek TDYN şeklinde tanımlanan $\ddot{C}_{pmk}$ indeksinin asimetrik görünümlü üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.

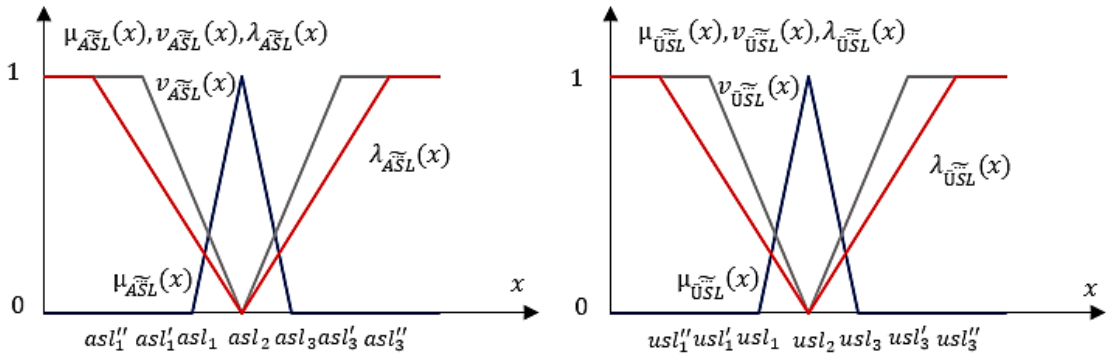


Şekil 6.20 Esnek TDYN olarak $\ddot{C}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

6.1.3 Spesifikasyon Limitlerinin Daha Esnek Tek Değerli Nötrosifik Sayı Olma Durumu

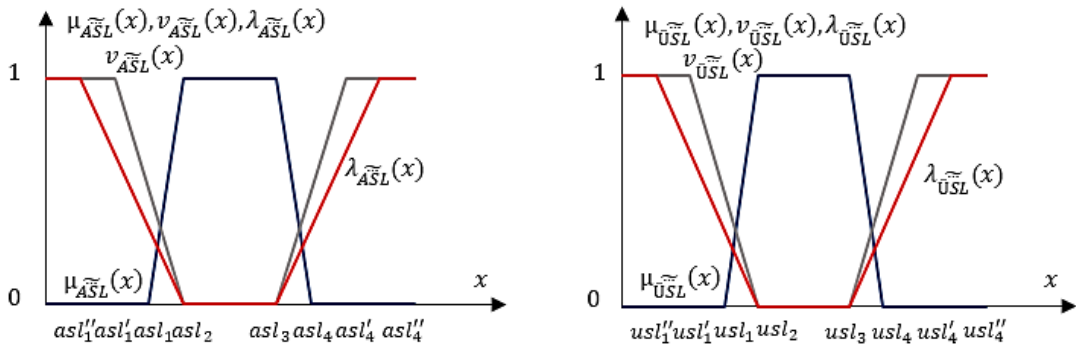
Bu alt bölümde, spesifikasyon limitlerinin daha esnek olması ele alınmaktadır. TDNS doğruluk, kararsızlık ve yanlışlık üyelik fonksiyonlarının asimetrik görünümleri spesifikasyon limitlerinin tanımlanmasında esneklik sağlamaktadır. İlk aşamada, spesifikasyon limitleri TDNS kullanılarak tanımlanmıştır. İkinci aşamada, spesifikasyon limitleri TDNS'nin asimetrik görünümlerinden

yararlanılarak esnek hale getirilmiştir. Üçüncü aşamada, spesifikasyon limitlerinin esnek TDNS olma durumunda doğruluk, kararsızlık ve yanlışlık üyelik fonksiyonlarında tanımlanan orta nokta değerleri eşit kabul edilerek gerçek hayat problemlerinde uygulama kolaylığı sağlanabilmesi için spesifikasyon limitlerinin daha esnek TDNS olma durumu analiz edilmiştir. Bu durumda daha esnek TDÜN spesifikasyon limitleri $\widetilde{\widetilde{A\widetilde{S}L}} = \langle (asl_1, asl_2, asl_3), (asl'_1, asl_2, asl'_3), (asl''_1, asl_2, asl''_3) \rangle$ ve $\widetilde{\widetilde{U\widetilde{S}L}} = \langle (usl_1, usl_2, usl_3), (usl'_1, usl_2, usl'_3), (usl''_1, usl_2, usl''_3) \rangle$ şeklinde tanımlanır. Şekil 6.21'de daha esnek TDÜN spesifikasyon limitleri asimetrik görünümlü üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.21 Daha esnek TDÜN olarak $\widetilde{\widetilde{A\widetilde{S}L}}$ ve $\widetilde{\widetilde{U\widetilde{S}L}}$ 'nin üyelik fonksiyonları

Daha esnek TDYN spesifikasyon limitleri $\widetilde{\widetilde{A\widetilde{S}L}} = \langle (asl_1, asl_2, asl_3, asl_4), (asl'_1, asl_2, asl_3, asl'_4), (asl''_1, asl_2, asl_3, asl''_4) \rangle$ ve $\widetilde{\widetilde{U\widetilde{S}L}} = \langle (usl_1, usl_2, usl_3, usl_4), (usl'_1, usl_2, usl_3, usl'_4), (usl''_1, usl_2, usl_3, usl''_4) \rangle$ şeklinde tanımlanır. Şekil 6.22'de daha esnek TDYN spesifikasyon limitleri asimetrik görünümlü üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.22 Daha esnek TDYN olarak $\widetilde{\widetilde{A\widetilde{S}L}}$ ve $\widetilde{\widetilde{U\widetilde{S}L}}$ 'nin üyelik fonksiyonları

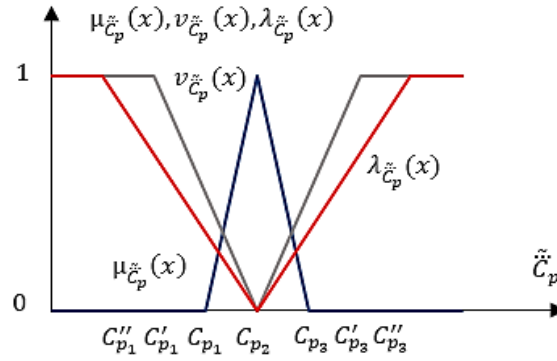
Daha Esnek Nötrosofik $\tilde{\tilde{C}}_p$ Süreç Yeterlilik İndeksi

Daha esnek TDÜN olarak $\tilde{\tilde{C}}_p$ indeksi eşitlik 6.46'daki gibi elde edilir:

$$\tilde{\tilde{C}}_p = \frac{\langle (usl_1, usl_2, usl_3), (usl'_1, usl_2, usl'_3), (usl''_1, usl_2, usl''_3) \rangle \ominus \langle (asl_1, asl_2, asl_3), (asl'_1, asl_2, asl'_3), (asl''_1, asl_2, asl''_3) \rangle}{6\sigma} \quad (6.46)$$

$$\tilde{\tilde{C}}_p = \left\langle \left(\frac{usl_1 - asl_3}{6\sigma}, \frac{usl_2 - asl_2}{6\sigma}, \frac{usl_3 - asl_1}{6\sigma} \right), \left(\frac{usl'_1 - asl'_3}{6\sigma}, \frac{usl_2 - asl_2}{6\sigma}, \frac{usl'_3 - asl'_1}{6\sigma} \right), \left(\frac{usl''_1 - asl''_3}{6\sigma}, \frac{usl_2 - asl_2}{6\sigma}, \frac{usl''_3 - asl''_1}{6\sigma} \right) \right\rangle \quad (6.47)$$

Şekil 6.23'de daha esnek TDÜN şeklinde tanımlanan $\tilde{\tilde{C}}_p$ indeksinin asimetric görünümlü üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



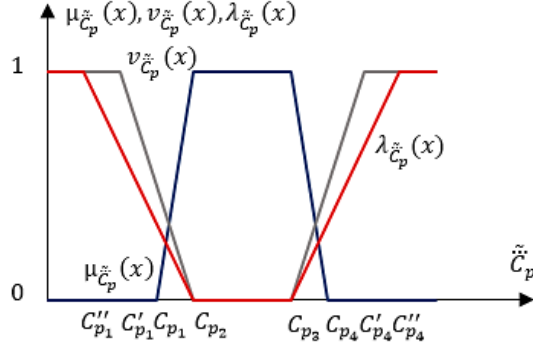
Şekil 6.23 Daha esnek TDÜN olarak $\tilde{\tilde{C}}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Benzer işlemler kullanılarak daha esnek TDYN olarak $\tilde{\tilde{C}}_p$ indeksi eşitlik 6.48'deki gibi elde edilir:

$$\tilde{\tilde{C}}_p = \frac{\langle (usl_1, usl_2, usl_3, usl_4), (usl'_1, usl_2, usl_3, usl'_4), (usl''_1, usl_2, usl_3, usl''_4) \rangle \ominus \langle (asl_1, asl_2, asl_3, asl_4), (asl'_1, asl_2, asl_3, asl'_4), (asl''_1, asl_2, asl_3, asl''_4) \rangle}{6\sigma} \quad (6.48)$$

$$\tilde{\tilde{C}}_p = \left\langle \left(\frac{usl_1 - asl_4}{6\sigma}, \frac{usl_2 - asl_3}{6\sigma}, \frac{usl_3 - asl_2}{6\sigma}, \frac{usl_4 - asl_1}{6\sigma} \right), \left(\frac{usl'_1 - asl'_4}{6\sigma}, \frac{usl_2 - asl_3}{6\sigma}, \frac{usl_3 - asl_2}{6\sigma}, \frac{usl'_4 - asl'_1}{6\sigma} \right), \left(\frac{usl''_1 - asl''_4}{6\sigma}, \frac{usl_2 - asl_3}{6\sigma}, \frac{usl_3 - asl_2}{6\sigma}, \frac{usl''_4 - asl''_1}{6\sigma} \right) \right\rangle \quad (6.49)$$

Şekil 6.24'de daha esnek TDYN şeklinde tanımlanan $\tilde{\tilde{C}}_p$ indeksinin asimetric görünümlü üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.24 Daha esnek TDYN olarak $\check{C}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Daha Esnek Nötrosofik $\check{C}_{pk}$ Süreç Yeterlilik İndeksi

Daha esnek TDÜN olarak $\check{C}_{pk}$ indeksi eşitlik 6.50'deki gibi elde edilir:

$$\check{C}_{pk} = \min \left\{ \frac{\mu \ominus ((asl_1, asl_2, asl_3), (asl'_1, asl'_2, asl'_3), (asl''_1, asl''_2, asl''_3))}{3\sigma}, \frac{\langle (usl_1, usl_2, usl_3), (usl'_1, usl'_2, usl'_3), (usl''_1, usl''_2, usl''_3) \rangle \ominus \mu}{3\sigma} \right\} \quad (6.50)$$

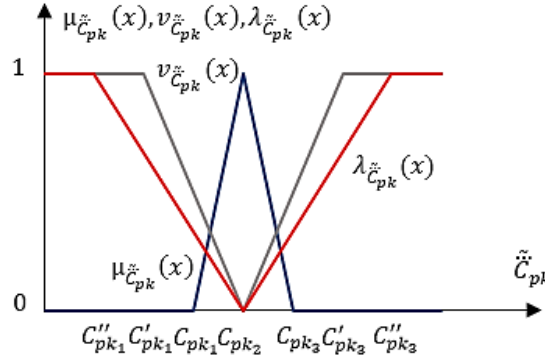
$$\check{C}_{pk} = \min \left\{ \left\langle \left(\frac{\mu - asl_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_1}{3\sigma} \right), \left(\frac{\mu - asl'_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl'_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl'_1}{3\sigma} \right), \left(\frac{\mu - asl''_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl''_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl''_1}{3\sigma} \right) \right\rangle, \left\langle \left(\frac{usl_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_3 - \mu}{3\sigma} \right), \left(\frac{usl'_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl'_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl'_3 - \mu}{3\sigma} \right), \left(\frac{usl''_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl''_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl''_3 - \mu}{3\sigma} \right) \right\rangle \right\} \quad (6.51)$$

Daha esnek tek taraflı $\check{C}_{pl}$ ve $\check{C}_{pu}$ indeksleri ise TDYNS'nin aritmetik işlemleri kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\check{C}_{pl} = \left\langle \left(\frac{\mu - asl_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_1}{3\sigma} \right), \left(\frac{\mu - asl'_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl'_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl'_1}{3\sigma} \right), \left(\frac{\mu - asl''_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl''_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl''_1}{3\sigma} \right) \right\rangle \quad (6.52)$$

$$\check{C}_{pu} = \left\langle \left(\frac{usl_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_3 - \mu}{3\sigma} \right), \left(\frac{usl'_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl'_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl'_3 - \mu}{3\sigma} \right), \left(\frac{usl''_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl''_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl''_3 - \mu}{3\sigma} \right) \right\rangle \quad (6.53)$$

Şekil 6.25'de daha esnek TDÜN şeklinde tanımlanan $\check{C}_{pk}$ indeksinin asimetrik görünümlü üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.25 Daha esnek TDÜN olarak $\check{C}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Daha esnek TDYN olarak $\check{C}_{pk}$ indeksi benzer işlemler kullanılarak eşitlik 6.54'deki gibi elde edilir:

$$\check{C}_{pk} = \min \left\{ \frac{\mu \ominus ((asl_1, asl_2, asl_3, asl_4), (asl'_1, asl_2, asl_3, asl'_4), (asl''_1, asl_2, asl_3, asl''_4))}{3\sigma}, \frac{(usl_1, usl_2, usl_3, usl_4), (usl'_1, usl_2, usl_3, usl'_4), (usl''_1, usl_2, usl_3, usl''_4) \ominus \mu}{3\sigma} \right\} \quad (6.54)$$

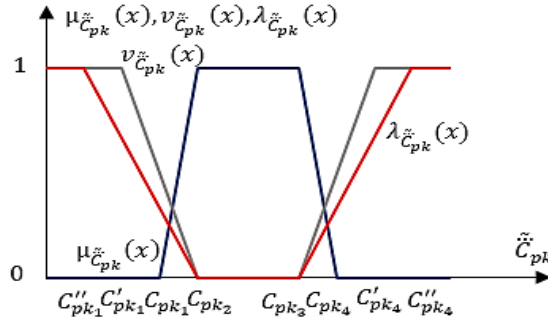
$$\check{C}_{pk} = \min \left\{ \left(\left(\frac{\mu - asl_4}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_1}{3\sigma} \right), \left(\frac{\mu - asl'_4}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl'_1}{3\sigma} \right), \left(\frac{\mu - asl''_4}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl''_1}{3\sigma} \right) \right), \left(\frac{usl_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_3 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_4 - \mu}{3\sigma} \right), \left(\frac{usl'_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_3 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl'_4 - \mu}{3\sigma} \right), \left(\frac{usl''_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_3 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl''_4 - \mu}{3\sigma} \right) \right\} \quad (6.55)$$

Daha esnek tek taraflı $\check{C}_{pl}$ ve $\check{C}_{pu}$ indeksleri aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\check{C}_{pl} = \left(\left(\frac{\mu - asl_4}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_1}{3\sigma} \right), \left(\frac{\mu - asl'_4}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl'_1}{3\sigma} \right), \left(\frac{\mu - asl''_4}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_3}{3\sigma}, \frac{\mu - asl_2}{3\sigma}, \frac{\mu - asl''_1}{3\sigma} \right) \right) \quad (6.56)$$

$$\check{C}_{pu} = \left(\left(\frac{usl_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_3 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_4 - \mu}{3\sigma} \right), \left(\frac{usl'_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_3 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl'_4 - \mu}{3\sigma} \right), \left(\frac{usl''_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl_3 - \mu}{3\sigma}, \frac{usl''_4 - \mu}{3\sigma} \right) \right) \quad (6.57)$$

Şekil 6.26'da daha esnek TDYN şeklinde tanımlanan $\check{C}_{pk}$ indeksinin asimetrik görünümlü üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.26 Daha esnek TDYN olarak $\check{C}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

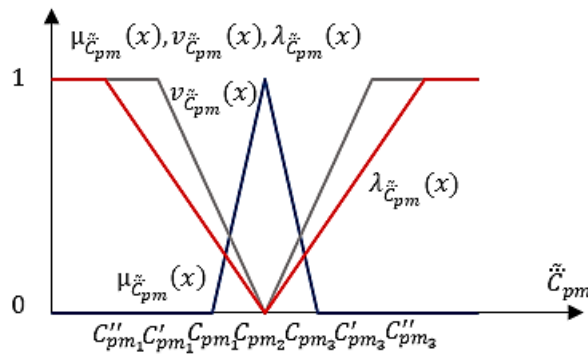
Daha Esnek Nötrosofik $\check{C}_{pm}$ Süreç Yeterlilik İndeksi

Daha esnek TDÜN olarak $\check{C}_{pm}$ indeksi eşitlik 6.58'deki gibi elde edilir:

$$\check{C}_{pm} = \frac{\langle (usl_1, usl_2, usl_3), (usl'_1, usl_2, usl'_3), (usl''_1, usl_2, usl''_3) \rangle \ominus \langle (asl_1, asl_2, asl_3), (asl'_1, asl_2, asl'_3), (asl''_1, asl_2, asl''_3) \rangle}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (6.58)$$

$$\check{C}_{pm} = \left\langle \left(\frac{usl_1 - asl_3}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_2 - asl_2}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_3 - asl_1}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \left(\frac{usl'_1 - asl'_3}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_2 - asl_2}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl'_3 - asl'_1}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \left(\frac{usl''_1 - asl''_3}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_2 - asl_2}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl''_3 - asl''_1}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right) \right\rangle \quad (6.59)$$

Şekil 6.27'de daha esnek TDÜN şeklinde tanımlanan $\check{C}_{pm}$ indeksinin asimetrik görünümlü üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



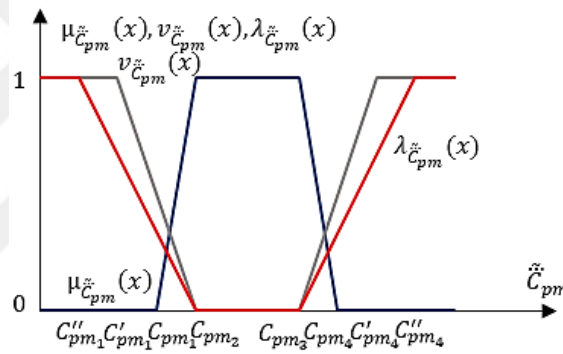
Şekil 6.27 Daha esnek TDÜN olarak $\check{C}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Daha esnek TDYN olarak $\tilde{\tilde{C}}_{pm}$ indeksi aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\tilde{\tilde{C}}_{pm} = \frac{\langle (usl_1, usl_2, usl_3, usl_4), (usl'_1, usl_2, usl_3, usl'_4), (usl''_1, usl_2, usl_3, usl''_4) \rangle \ominus \langle (asl_1, asl_2, asl_3, asl_4), (asl'_1, asl_2, asl_3, asl'_4), (asl''_1, asl_2, asl_3, asl''_4) \rangle}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (6.60)$$

$$\tilde{\tilde{C}}_{pm} = \left\langle \left(\frac{usl_1 - asl_4}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_2 - asl_3}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_3 - asl_2}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_4 - asl_1}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \right. \\ \left. \left(\frac{usl'_1 - asl'_4}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_2 - asl_3}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_3 - asl_2}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl'_4 - asl'_1}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \right. \\ \left. \left(\frac{usl''_1 - asl''_4}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_2 - asl_3}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_3 - asl_2}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl''_4 - asl''_1}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right) \right\rangle \quad (6.61)$$

Şekil 6.28'de daha esnek TDYN şeklinde tanımlanan $\tilde{\tilde{C}}_{pm}$ indeksinin asimetrik görünümlü üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.28 Daha esnek TDYN olarak $\tilde{\tilde{C}}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

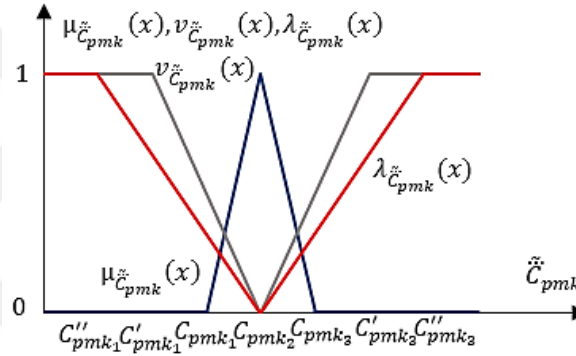
Daha Esnek Nötrosofik $\tilde{\tilde{C}}_{pmk}$ Süreç Yeterlilik İndeksi

Daha esnek TDÜN olarak $\tilde{\tilde{C}}_{pmk}$ indeksi aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\tilde{\tilde{C}}_{pmk} = \min \left\{ \frac{\mu \ominus \langle (asl_1, asl_2, asl_3), (asl'_1, asl_2, asl'_3), (asl''_1, asl_2, asl''_3) \rangle}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\langle (usl_1, usl_2, usl_3), (usl'_1, usl_2, usl'_3), (usl''_1, usl_2, usl''_3) \rangle \ominus \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right\} \quad (6.62)$$

$$\tilde{\check{C}}_{pmk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{\mu - asl_3}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_2}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_1}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \\ \left(\frac{\mu - asl'_3}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_2}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl'_1}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \\ \left(\frac{\mu - asl''_3}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_2}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl''_1}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \\ \left(\frac{usl_1 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_3 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \\ \left(\frac{usl'_1 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl'_3 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \\ \left(\frac{usl''_1 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl''_3 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right) \end{array} \right\} \quad (6.63)$$

Şekil 6.29'da daha esnek TDÜN şeklinde tanımlanan $\tilde{\check{C}}_{pmk}$ indeksinin asimetric görünümlü üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.29 Daha esnek TDÜN olarak $\tilde{\check{C}}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Daha esnek TDYN olarak $\tilde{\check{C}}_{pmk}$ indeksi eşitlik 6.64'deki gibi elde edilir:

$$\tilde{\check{C}}_{pmk} = \min \left\{ \frac{\mu \ominus ((asl_1, asl_2, asl_3, asl_4), (asl'_1, asl_2, asl_3, asl'_4), (asl''_1, asl_2, asl_3, asl''_4))}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{((usl_1, usl_2, usl_3, usl_4), (usl'_1, usl_2, usl_3, usl'_4), (usl''_1, usl_2, usl_3, usl''_4)) \ominus \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right\} \quad (6.64)$$

Daha esnek tek taraflı $\tilde{\check{C}}_{pml}$ ve $\tilde{\check{C}}_{pmu}$ indeksleri aşağıdaki gibidir:

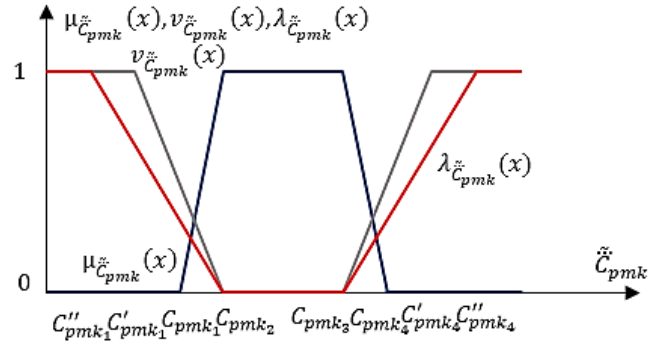
$$\tilde{\check{C}}_{pml} = \left(\frac{\mu - asl_4}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_3}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_2}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_1}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \left(\frac{\mu - asl'_4}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_3}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_2}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl'_1}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \left(\frac{\mu - asl''_4}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_3}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_2}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl''_1}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right) \quad (6.65)$$

$$\tilde{\check{C}}_{pmu} = \left(\begin{array}{c} \left(\frac{usl_1 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_3 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_4 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \\ \left(\frac{usl'_1 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl'_2 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl'_3 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl'_4 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \\ \left(\frac{usl''_1 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl''_2 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl''_3 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl''_4 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right) \end{array} \right) \quad (6.66)$$

Daha esnek TDYN olarak $\tilde{\check{C}}_{pmk}$ indeksi eşitlik 6.67'deki gibi de elde edilebilir:

$$\tilde{\check{C}}_{pmk} = \min \left\{ \begin{array}{c} \left(\frac{\mu - asl_4}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_3}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_2}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl_1}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \\ \left(\frac{\mu - asl'_4}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl'_3}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl'_2}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl'_1}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \\ \left(\frac{\mu - asl''_4}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl''_3}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl''_2}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - asl''_1}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \\ \left(\frac{usl_1 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_2 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_3 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl_4 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \\ \left(\frac{usl'_1 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl'_2 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl'_3 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl'_4 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right), \\ \left(\frac{usl''_1 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl''_2 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl''_3 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{usl''_4 - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right) \end{array} \right\} \quad (6.67)$$

Şekil 6.30'da daha esnek TDYN şeklinde tanımlanan $\tilde{\check{C}}_{pmk}$ indeksinin asimetrik görünümü üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.

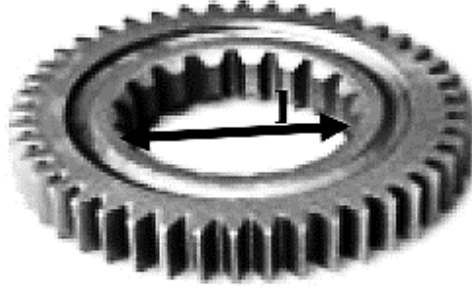


Şekil 6.30 Daha esnek TDYN olarak $\tilde{\check{C}}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

6.1.4 Örnek Uygulama

Bu bölümde, bir dişlinin ölçümleri ele alınarak önerilen nütrosifik süreç yeterlilik indekslerinin (NSYİ) performansını değerlendirmek amacıyla üç durum analiz edilmiştir. Spesifikasyon limitlerinin TDNS kullanılarak tanımlanması hem sürecin yeterliliğinin değerlendirilmesinde esneklik ve duyarlılık sağlayacak hem de SYİ'nin etkinliğini arttıracaktır. Şekil 6.31'de gösterilen dişlinin iç çaplarının süreç

yeterliliği hesaplanmıştır. Dişlinin ortalaması 10 mm ve standart sapması 0,2 mm'dir [9].



Şekil 6.31 Üretilen dişlinin ebatları [9]

Dişlinin spesifikasyon limitleri TDNS kullanılarak tanımlanmıştır. Daha sonra, önerilen üç durum için NSYİ aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

6.1.4.1 Spesifikasyon Limitlerinin Tek Değerli Nötrosifik Sayı Olma Durumu

Dişlinin TDÜN spesifikasyon limitleri $\widetilde{A\check{S}L} = \langle (9,2; 9,4; 9,6); 0,96; 0,05; 0,06 \rangle$, $\widetilde{Ü\check{S}L} = \langle (10,2; 10,4; 10,6); 0,98; 0,03; 0,04 \rangle$ ve TDYN spesifikasyon limitleri $\widetilde{A\check{S}L} = \langle (9,2; 9,4; 9,6; 9,8); 0,96; 0,05; 0,06 \rangle$, $\widetilde{Ü\check{S}L} = \langle (10,2; 10,4; 10,6; 10,8); 0,98; 0,05; 0,04 \rangle$ olarak belirlenmiştir.

TDÜN olarak $\check{\check{C}}_p$, $\check{\check{C}}_{pk}$, $\check{\check{C}}_{pm}$ ve $\check{\check{C}}_{pmk}$ indeksleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\check{\check{C}}_p = \left\langle \left(\frac{10,20-9,60}{6 \times 0,20}, \frac{10,40-9,40}{6 \times 0,20}, \frac{10,60-9,20}{6 \times 0,20} \right), 0,98 \wedge 0,96; 0,03 \vee 0,05; 0,04 \vee 0,06 \right\rangle$$

$$\check{\check{C}}_p = \langle (0,50; 0,83; 1,17), 0,96; 0,05; 0,06 \rangle.$$

$$\check{\check{C}}_{pk} = \min \left\{ \left\langle \left(\frac{10,00-9,60}{3 \times 0,20}, \frac{10,00-9,40}{3 \times 0,20}, \frac{10,00-9,20}{3 \times 0,20} \right), 0,96; 0,05; 0,06 \right\rangle, \left\langle \left(\frac{10,20-10,00}{3 \times 0,20}, \frac{10,40-10,00}{3 \times 0,20}, \frac{10,60-10,00}{3 \times 0,20} \right), 0,98; 0,03; 0,04 \right\rangle \right\}$$

$$\check{\check{C}}_{pk} = \min\{ \langle (0,67; 1,00; 1,33), 0,96; 0,05; 0,06 \rangle; \langle (0,33; 0,67; 1,00), 0,98; 0,03; 0,04 \rangle \}$$

$$\check{\check{C}}_{pk} = \langle (0,33; 0,67; 1,00), 0,98; 0,03; 0,04 \rangle.$$

TDÜN olarak $\check{\check{C}}_{pl}$ ve $\check{\check{C}}_{pu}$ indekslerinin skor değerleri eşitlik 5.113 kullanılarak 0,95 ve 0,65 bulunmuştur. $\check{\check{C}}_{pu}$ indeksi, $\check{\check{C}}_{pl}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\check{\check{C}}_{pk}$

indeksi seçilmiştir. Sürecin süreç yeterliliği yaklaşık 0,67 civarındadır. Bu sonuç, sürecin yetersiz olduğunu göstermektedir. Kalite denetçileri spesifikasyon limitlerinin tanımlanmasında kararsızlık yaşayabilirler. Sürecin kararsızlık derecesi 0,03 ve yanlışlık derecesi 0,04 olarak hesaplanmıştır. NS ile ifade edilen $\tilde{\check{C}}_{pk}$ indeksi süreç hakkında daha fazla bilgi içermektedir.

$$\tilde{\check{C}}_{pm} = \left\langle \left(\frac{10,20-9,60}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-9,40}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,60-9,20}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \right. \\ \left. 0,98 \wedge 0,96; 0,03 \vee 0,05; 0,04 \vee 0,06 \right\rangle$$

$$\tilde{\check{C}}_{pm} = \langle (0,35; 0,59; 0,82), 0,96; 0,05; 0,06 \rangle.$$

$$\tilde{\check{C}}_{pmk} = \min \left\{ \left\langle \left(\frac{10,00-9,60}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,40}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,20}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \right. \right. \\ \left. 0,96; 0,05; 0,06 \right\rangle, \left\langle \left(\frac{10,20-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,60-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \right. \\ \left. 0,98; 0,03; 0,04 \right\rangle \right\}$$

$$\tilde{\check{C}}_{pmk} = \min \{ \langle (0,47; 0,71; 0,94), 0,96; 0,05; 0,06 \rangle, \langle (0,24; 0,47; 0,71), 0,98; 0,03; 0,04 \rangle \}$$

$$\tilde{\check{C}}_{pmk} = \langle (0,24; 0,47; 0,71), 0,98; 0,03; 0,04 \rangle.$$

TDÜN olarak $\tilde{\check{C}}_{pml}$ ve $\tilde{\check{C}}_{pmu}$ indekslerinin skor değerleri 0,67 ve 0,46 bulunmuştur. $\tilde{\check{C}}_{pmu}$ indeksi, $\tilde{\check{C}}_{pml}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\tilde{\check{C}}_{pmk}$ indeksi seçilmiştir. Süreç yeterlilik oranında yer alan minimum koşulun sağlanmadığı görülmektedir. Sürecin yeterliliği hakkında $\tilde{\check{C}}_{pk}$ indeksinde olduğu gibi benzer yorumlar yapılabilmektedir.

TDYN olarak $\tilde{\check{C}}_p$, $\tilde{\check{C}}_{pk}$, $\tilde{\check{C}}_{pm}$ ve $\tilde{\check{C}}_{pmk}$ indeksleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\tilde{\check{C}}_p = \left\langle \left(\frac{10,20-9,80}{6x0,20}, \frac{10,40-9,60}{6x0,20}, \frac{10,60-9,40}{6x0,20}, \frac{10,8-9,20}{6x0,20} \right), 0,98 \wedge 0,96; 0,03 \vee 0,05; 0,04 \vee 0,06 \right\rangle$$

$$\tilde{\check{C}}_p = \langle (0,33; 0,67; 1,00; 1,33), 0,96; 0,05; 0,06 \rangle.$$

$$\tilde{\check{C}}_{pk} = \min \left\{ \left\langle \left(\frac{10,00-9,80}{3x0,20}, \frac{10,00-9,60}{3x0,20}, \frac{10,00-9,40}{3x0,20}, \frac{10,00-9,20}{3x0,20} \right), 0,96; 0,05; 0,06 \right\rangle, \right. \\ \left. \left\langle \left(\frac{10,20-10,00}{3x0,20}, \frac{10,40-10,00}{3x0,20}, \frac{10,60-10,00}{3x0,20}, \frac{10,8-10,00}{3x0,20} \right), 0,98; 0,03; 0,04 \right\rangle \right\}$$

$$\tilde{\check{C}}_{pk} = \min \{ \langle (0,33; 0,67; 1,00; 1,33), 0,96; 0,05; 0,06 \rangle, \langle (0,33; 0,67; 1,00; 1,33), 0,98; 0,03; 0,04 \rangle \}$$

$$\tilde{\check{C}}_{pk} = \langle (0,33; 0,67; 1,00; 1,33), 0,96; 0,05; 0,06 \rangle.$$

TDYN olarak $\tilde{\check{C}}_{pl}$ ve $\tilde{\check{C}}_{pu}$ indekslerinin skor değerleri 0,79 ve 0,81 bulunmuştur. $\tilde{\check{C}}_{pl}$ indeksi, $\tilde{\check{C}}_{pu}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\tilde{\check{C}}_{pk}$ indeksi seçilmiştir.

$$\tilde{\check{C}}_{pm} = \left\langle \left(\frac{10,20-9,80}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-9,60}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,60-9,40}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,80-9,20}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), 0,98 \wedge 0,96; 0,03 \vee 0,05; 0,04 \vee 0,06 \right\rangle$$

$$\tilde{\check{C}}_{pm} = \langle (0,24; 0,47; 0,71; 0,94), 0,96; 0,05; 0,06 \rangle.$$

$$\tilde{\check{C}}_{pmk} = \min \left\{ \left\langle \left(\frac{10,00-9,80}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,60}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,40}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,20}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), 0,96; 0,05; 0,06 \right\rangle, \left\langle \left(\frac{10,20-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,60-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,80-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), 0,98; 0,03; 0,04 \right\rangle \right\}$$

$$\tilde{\check{C}}_{pmk} = \min \{ \langle (0,24; 0,47; 0,71; 0,94), 0,96; 0,05; 0,06 \rangle, \langle (0,24; 0,47; 0,71; 0,94), 0,98; 0,03; 0,04 \rangle \}$$

$$\tilde{\check{C}}_{pmk} = \langle (0,24; 0,47; 0,71; 0,94), 0,96; 0,05; 0,06 \rangle.$$

TDYN olarak $\tilde{\check{C}}_{pml}$ ve $\tilde{\check{C}}_{pmu}$ indekslerinin skor değerleri 0,56 ve 0,57 bulunmuştur. $\tilde{\check{C}}_{pml}$ indeksi, $\tilde{\check{C}}_{pmu}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\tilde{\check{C}}_{pmk}$ indeksi seçilmiştir.

Tablo 6.1'de $\tilde{\check{C}}_p$, $\tilde{\check{C}}_{pk}$, $\tilde{\check{C}}_{pm}$ ve $\tilde{\check{C}}_{pmk}$ indeksleri için spesifikasyon limitlerinin TDNS olduğu durumdan elde edilen sonuçlar ile netleştirme yöntemi kullanılarak bulunan kesin değerler verilmiştir.

Tablo 6.1 TDNS olarak elde edilen NSYİ değerleri

SL	TDÜN	Kesin D.
$\tilde{\check{C}}_p$	$\langle (0,50; 0,83; 1,17), 0,96; 0,05; 0,06 \rangle$	0,79
$\tilde{\check{C}}_{pk}$	$\langle (0,33; 0,67; 1,00), 0,98; 0,03; 0,04 \rangle$	0,65
$\tilde{\check{C}}_{pm}$	$\langle (0,35; 0,59; 0,82), 0,96; 0,05; 0,06 \rangle$	0,56
$\tilde{\check{C}}_{pmk}$	$\langle (0,24; 0,47; 0,71), 0,98; 0,03; 0,04 \rangle$	0,46

Tablo 6.1 TDNS olarak elde edilen NSYİ değerleri (devamı)

SL	TDYN	Kesin D.
$\tilde{\check{C}}_p$	$\langle(0,33; 0,67; 1,00; 1,33), 0,96; 0,05; 0,06\rangle$	0,79
$\tilde{\check{C}}_{pk}$	$\langle(0,33; 0,67; 1,00; 1,33), 0,96; 0,05; 0,06\rangle$	0,79
$\tilde{\check{C}}_{pm}$	$\langle(0,24; 0,47; 0,71; 0,94), 0,96; 0,05; 0,06\rangle$	0,56
$\tilde{\check{C}}_{pmk}$	$\langle(0,24; 0,47; 0,71; 0,94), 0,96; 0,05; 0,06\rangle$	0,56

6.1.4.2 Spesifikasyon Limitlerinin Esnek Nötrosofik Sayı Olma Durumu

Dişlinin esnek TDÜN olarak spesifikasyon limitleri $\widetilde{A\check{S}L} = \langle(9,30; 9,55; 9,65), (9,25; 9,50; 9,75), (9,15; 9,40; 9,80)\rangle$, $\widetilde{Ü\check{S}L} = \langle(10,20; 10,50; 10,60), (10,10; 10,40; 10,70), (10,00; 10,30; 10,80)\rangle$ ve esnek TDYN olarak spesifikasyon limitleri $\widetilde{A\check{S}L} = \langle(9,30; 9,55; 9,65; 9,90), (9,25; 9,50; 9,75; 9,95), (9,15; 9,40; 9,80; 10,00)\rangle$, $\widetilde{Ü\check{S}L} = \langle(10,20; 10,40; 10,60; 10,80), (10,10; 10,40; 10,70; 11,00), (10,00; 10,40; 10,80; 11,10)\rangle$ şeklinde belirlenmiştir.

Esnek TDÜN olarak $\tilde{\check{C}}_p$, $\tilde{\check{C}}_{pk}$, $\tilde{\check{C}}_{pm}$ ve $\tilde{\check{C}}_{pmk}$ indeksleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\tilde{\check{C}}_p = \left\langle \left(\frac{10,20-9,65}{6x0,20}, \frac{10,50-9,55}{6x0,20}, \frac{10,60-9,30}{6x0,20} \right), \left(\frac{10,10-9,75}{6x0,20}, \frac{10,40-9,50}{6x0,20}, \frac{10,70-9,25}{6x0,20} \right), \left(\frac{10,00-9,80}{6x0,20}, \frac{10,30-9,40}{6x0,20}, \frac{10,80-9,15}{6x0,20} \right) \right\rangle$$

$$\tilde{\check{C}}_p = \langle(0,46; 0,79; 1,08); (0,29; 0,75; 1,21); (0,17; 0,75; 1,38)\rangle.$$

$$\tilde{\check{C}}_{pk} = \min \left\{ \left\langle \left(\frac{10,00-9,65}{3x0,20}, \frac{10,00-9,55}{3x0,20}, \frac{10,00-9,30}{3x0,20} \right), \left(\frac{10,00-9,75}{3x0,20}, \frac{10,00-9,50}{3x0,20}, \frac{10,00-9,25}{3x0,20} \right), \left(\frac{10,00-9,80}{3x0,20}, \frac{10,00-9,40}{3x0,20}, \frac{10,00-9,15}{3x0,20} \right) \right\rangle, \left\langle \left(\frac{10,20-10,00}{3x0,20}, \frac{10,50-10,00}{3x0,20}, \frac{10,60-10,00}{3x0,20} \right), \left(\frac{10,10-10,00}{3x0,20}, \frac{10,40-10,00}{3x0,20}, \frac{10,70-10,00}{3x0,20} \right), \left(\frac{10,00-10,00}{3x0,20}, \frac{10,30-10,00}{3x0,20}, \frac{10,80-10,00}{3x0,20} \right) \right\rangle \right\}$$

$$\tilde{\check{C}}_{pk} = \min \{ \langle(0,58; 0,75; 1,17), (0,42; 0,83; 1,25), (0,33; 1,00; 1,42)\rangle, \langle(0,33; 0,83; 1,00), (0,17; 0,67; 1,17), (0,00; 0,50; 1,33)\rangle \}$$

$$\tilde{\check{C}}_{pk} = \langle(0,58; 0,75; 1,17), (0,42; 0,83; 1,25), (0,33; 1,00; 1,42)\rangle.$$

Esnek TDÜN olarak $\tilde{\check{C}}_{pl}$ ve $\tilde{\check{C}}_{pu}$ indekslerinin skor değerleri 0,35 ve 0,50 bulunmuştur. $\tilde{\check{C}}_{pl}$ indeksi, $\tilde{\check{C}}_{pu}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\tilde{\check{C}}_{pk}$ indeksi

seçilmiştir. Esnek TDÜN $\check{\check{C}}_{pk}$ indeksi, sürecin yeterliliğinin 0,33'den küçük ve 1,42'den büyük olamayacağını ifade etmektedir. Süreç yeterliliğinin kesin sayılar yerine NS kullanarak tanımlanması, belirsizliğin ifade edilmesinden kaynaklı daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesini ve süreç hakkında daha fazla bilgi sahibi olunmasını sağlamaktadır.

$$\check{\check{C}}_{pm} = \left(\left(\frac{10,20-9,65}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,50-9,55}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,60-9,30}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \right. \\ \left. \left(\frac{10,10-9,75}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-9,50}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,70-9,25}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \right. \\ \left. \left(\frac{10,00-9,80}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,30-9,40}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,80-9,15}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right) \right)$$

$$\check{\check{C}}_{pm} = \langle (0,32; 0,56; 0,77), (0,21; 0,53; 0,85), (0,12; 0,53; 0,97) \rangle.$$

$$\check{\check{C}}_{pmk} = \min \left\{ \left(\left(\frac{10,00-9,65}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,55}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,30}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \right. \right. \\ \left. \left(\frac{10,00-9,75}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,50}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,25}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \right. \\ \left. \left(\frac{10,00-9,80}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,40}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,15}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right) \right\}, \\ \left\{ \left(\frac{10,20-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,50-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,60-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \right. \\ \left. \left(\frac{10,10-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,70-10,0}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \right. \\ \left. \left(\frac{10,00-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,30-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,80-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right) \right\}$$

$$\check{\check{C}}_{pmk} = \min \{ \langle (0,41; 0,53; 0,82), (0,29; 0,59; 0,88), (0,24; 0,71; 1,00) \rangle, \\ \langle (0,24; 0,59; 0,71), (0,12; 0,47; 0,82), (0,00; 0,35; 0,94) \rangle \}$$

$$\check{\check{C}}_{pmk} = \langle (0,41; 0,53; 0,82), (0,29; 0,59; 0,88), (0,24; 0,71; 1,00) \rangle.$$

Esnek TDÜN olarak $\check{\check{C}}_{pml}$ ve $\check{\check{C}}_{pmu}$ indekslerinin skor değerleri 0,44 ve 0,55 bulunmuştur. $\check{\check{C}}_{pml}$ indeksi, $\check{\check{C}}_{pmu}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\check{\check{C}}_{pmk}$ indeksi seçilmiştir. $\check{\check{C}}_{pk}$ indeksinde olduğu gibi benzer yorumlar yapılabilmektedir.

Esnek TDYN olarak $\check{\check{C}}_p$, $\check{\check{C}}_{pk}$, $\check{\check{C}}_{pm}$ ve $\check{\check{C}}_{pmk}$ indeksleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\check{\check{C}}_p = \left(\left(\frac{10,20-9,90}{6 \times 0,20}, \frac{10,40-9,65}{6 \times 0,20}, \frac{10,60-9,55}{6 \times 0,20}, \frac{10,80-9,30}{6 \times 0,20} \right), \right. \\ \left(\frac{10,10-9,95}{6 \times 0,20}, \frac{10,40-9,75}{6 \times 0,20}, \frac{10,70-9,50}{6 \times 0,20}, \frac{11,00-9,25}{6 \times 0,20} \right), \\ \left. \left(\frac{10,00-10,00}{6 \times 0,20}, \frac{10,40-9,80}{6 \times 0,20}, \frac{10,80-9,40}{6 \times 0,20}, \frac{11,10-9,15}{6 \times 0,20} \right) \right)$$

$$\check{\check{C}}_p = \langle (0,25; 0,63; 0,87; 1,25), (0,13; 0,54; 1,00; 1,46), (0,00; 0,50; 1,17; 1,63) \rangle.$$

$$\check{\check{C}}_{pk} = \min \left\{ \left(\left(\frac{10,00-9,90}{3x0,20}, \frac{10,00-9,65}{3x0,20}, \frac{10,00-9,55}{3x0,20}, \frac{10,00-9,30}{3x0,20} \right), \left(\frac{10,00-9,95}{3x0,20}, \frac{10,00-9,75}{3x0,20}, \frac{10,00-9,50}{3x0,20}, \frac{10,00-9,25}{3x0,20} \right), \left(\frac{10,00-10,00}{3x0,20}, \frac{10,00-9,80}{3x0,20}, \frac{10,00-9,40}{3x0,20}, \frac{10,00-9,15}{3x0,20} \right) \right), \left(\left(\frac{10,20-10,00}{3x0,20}, \frac{10,40-10,00}{3x0,20}, \frac{10,60-10,00}{3x0,20}, \frac{10,80-10,00}{3x0,20} \right), \left(\frac{10,10-10,00}{3x0,20}, \frac{10,40-10,00}{3x0,20}, \frac{10,70-10,00}{3x0,20}, \frac{11,00-10,00}{3x0,20} \right), \left(\frac{10,00-10,00}{3x0,20}, \frac{10,40-10,00}{3x0,20}, \frac{10,80-10,00}{3x0,20}, \frac{11,10-10,00}{3x0,20} \right) \right) \right\}$$

$$\check{\check{C}}_{pk} = \min \{ \langle (0,17; 0,58; 0,75; 1,17), (0,08; 0,42; 0,83; 1,25), (0,00; 0,33; 1,00; 1,42) \rangle, \langle (0,33; 0,67; 1,00; 1,33), (0,17; 0,67; 1,17; 1,67), (0,00; 0,67; 1,33; 1,83) \rangle \}$$

$$\check{\check{C}}_{pk} = \langle (0,33; 0,67; 1,00; 1,33), (0,17; 0,67; 1,17; 1,67), (0,00; 0,67; 1,33; 1,83) \rangle.$$

Esnek TDYN olarak $\check{\check{C}}_{pl}$ ve $\check{\check{C}}_{pu}$ indekslerinin skor değerleri 0,44 ve 0,32 bulunmuştur. $\check{\check{C}}_{pu}$ indeksi $\check{\check{C}}_{pl}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\check{\check{C}}_{pk}$ indeksi seçilmiştir.

$$\check{\check{C}}_{pm} = \left(\left(\frac{10,20-9,90}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-9,65}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,60-9,55}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,80-9,30}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \left(\frac{10,10-9,95}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-9,75}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,70-9,50}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{11,00-9,25}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \left(\frac{10,00-10,00}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-9,80}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,80-9,40}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{11,10-9,15}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right) \right)$$

$$\check{\check{C}}_{pm} = \langle (0,18; 0,44; 0,62; 0,88), (0,09; 0,38; 0,71; 1,03), (0,00; 0,35; 0,82; 1,15) \rangle.$$

$$\tilde{\tilde{C}}_{pmk} = \min \left\{ \left(\frac{10,00-9,90}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,65}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,55}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,30}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \right. \\ \left(\frac{10,00-9,95}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,75}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,50}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,25}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \\ \left(\frac{10,00-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,80}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,40}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,15}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \\ \left(\frac{10,20-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,60-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,80-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \\ \left(\frac{10,10-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,70-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{11,00-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \\ \left(\frac{10,00-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,80-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{11,10-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right) \right\}$$

$$\tilde{\tilde{C}}_{pmk} = \min \{ \langle (0,12; 0,41; 0,53; 0,82), (0,06; 0,29; 0,59; 0,88), (0,00; 0,24; 0,71; 1,00) \rangle, \langle (0,24; 0,47; 0,71; 0,94), (0,12; 0,47; 0,82; 1,18), (0,00; 0,47; 0,94; 1,30) \rangle \}$$

$$\tilde{\tilde{C}}_{pmk} = \langle (0,24; 0,47; 0,71; 0,94), (0,12; 0,47; 0,82; 1,18), (0,00; 0,47; 0,94; 1,30) \rangle.$$

Esnek TDYN $\tilde{\tilde{C}}_{pml}$ ve $\tilde{\tilde{C}}_{pmu}$ indekslerinin skor değerleri 0,51 ve 0,42 olarak hesaplanmıştır. $\tilde{\tilde{C}}_{pmu}$ indeksi, $\tilde{\tilde{C}}_{pml}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\tilde{\tilde{C}}_{pmk}$ indeksi seçilmiştir.

Tablo 6.2’de $\tilde{\tilde{C}}_p$, $\tilde{\tilde{C}}_{pk}$, $\tilde{\tilde{C}}_{pm}$ ve $\tilde{\tilde{C}}_{pmk}$ indeksleri için spesifikasyon limitlerinin esnek TDNS olduğu durumdan elde edilen sonuçlar ile netleştirme yöntemi kullanılarak bulunan kesin değerler verilmiştir.

Tablo 6.2 Esnek TDNS olarak elde edilen NSYİ değerleri

SL	Esnek TDÜN	Kesin D.
$\tilde{\tilde{C}}_p$	$\langle (0,46; 0,79; 1,08); (0,29; 0,75; 1,21); (0,17; 0,75; 1,38) \rangle$	0,76
$\tilde{\tilde{C}}_{pk}$	$\langle (0,58; 0,75; 1,17); (0,42; 0,83; 1,25); (0,33; 1,00; 1,42) \rangle$	0,86
$\tilde{\tilde{C}}_{pm}$	$\langle (0,32; 0,56; 0,77); (0,21; 0,53; 0,85); (0,12; 0,53; 0,97) \rangle$	0,54
$\tilde{\tilde{C}}_{pmk}$	$\langle (0,41; 0,53; 0,82); (0,29; 0,59; 0,88); (0,24; 0,71; 1,00) \rangle$	0,61

Tablo 6.2 Esnek TDNS olarak elde edilen NSYİ değerleri (devamı)

SL	Esnek TDYN	Kesin D.
$\tilde{\tilde{C}}_p$	$\langle(0,25; 0,63; 0,87; 1,25), (0,13; 0,54; 1,00; 1,46), (0,00; 0,50; 1,17; 1,63)\rangle$	0,78
$\tilde{\tilde{C}}_{pk}$	$\langle(0,33; 0,67; 1,00; 1,33), (0,17; 0,67; 1,17; 1,67), (0,00; 0,67; 1,33; 1,83)\rangle$	0,90
$\tilde{\tilde{C}}_{pm}$	$\langle(0,18; 0,44; 0,62; 0,88), (0,09; 0,38; 0,71; 1,03), (0,00; 0,35; 0,82; 1,15)\rangle$	0,55
$\tilde{\tilde{C}}_{pmk}$	$\langle(0,24; 0,47; 0,71; 0,94), (0,12; 0,47; 0,82; 1,18), (0,00; 0,47; 0,94; 1,30)\rangle$	0,64

6.1.4.3 Spesifikasyon Limitlerinin Daha Esnek Nötrosifik Sayı Olma Durumu

Dişlinin daha esnek TDÜN olarak spesifikasyon limitleri $\tilde{\tilde{A}}\tilde{\tilde{S}}L = \langle(9,50; 9,60; 9,80), (9,40; 9,60; 9,90), (9,30; 9,60; 10,00)\rangle$, $\tilde{\tilde{U}}\tilde{\tilde{S}}L = \langle(10,30; 10,40; 10,60), (10,20; 10,40; 10,70), (10,10; 10,40; 10,80)\rangle$ ve daha esnek TDYN olarak spesifikasyon limitleri $\tilde{\tilde{A}}\tilde{\tilde{S}}L = \langle(9,50; 9,60; 9,70; 9,80), (9,40; 9,60; 9,70; 9,90), (9,30; 9,60; 9,70; 10,00)\rangle$, $\tilde{\tilde{U}}\tilde{\tilde{S}}L = \langle(10,30; 10,40; 10,50; 10,60), (10,20; 10,40; 10,50; 10,70), (10,10; 10,40; 10,50; 10,80)\rangle$ şeklinde belirlenmiştir.

Daha esnek TDÜN olarak $\tilde{\tilde{C}}_p$, $\tilde{\tilde{C}}_{pk}$, $\tilde{\tilde{C}}_{pm}$ ve $\tilde{\tilde{C}}_{pmk}$ indeksleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\tilde{\tilde{C}}_p = \left\langle \left(\frac{10,30-9,80}{6x0,20}, \frac{10,40-9,60}{6x0,20}, \frac{10,60-9,50}{6x0,20} \right), \left(\frac{10,20-9,90}{6x0,20}, \frac{10,40-9,60}{6x0,20}, \frac{10,70-9,40}{6x0,20} \right), \left(\frac{10,10-10,00}{6x0,20}, \frac{10,40-9,60}{6x0,20}, \frac{10,80-9,30}{6x0,20} \right) \right\rangle$$

$$\tilde{\tilde{C}}_p = \langle(0,42; 0,67; 0,92), (0,25; 0,67; 1,08), (0,08; 0,67; 1,25)\rangle.$$

$$\tilde{\tilde{C}}_{pk} = \min \left\{ \left\langle \left(\frac{10,00-9,80}{3x0,20}, \frac{10,00-9,60}{3x0,20}, \frac{10,00-9,50}{3x0,20} \right), \left(\frac{10,00-9,90}{3x0,20}, \frac{10,00-9,60}{3x0,20}, \frac{10,00-9,40}{3x0,20} \right), \left(\frac{10,00-10,00}{3x0,20}, \frac{10,00-9,60}{3x0,20}, \frac{10,00-9,30}{3x0,20} \right) \right\rangle, \left\langle \left(\frac{10,30-10,00}{3x0,20}, \frac{10,40-10,00}{3x0,20}, \frac{10,60-10,00}{3x0,20} \right), \left(\frac{10,20-10,00}{3x0,20}, \frac{10,40-10,00}{3x0,20}, \frac{10,70-10,00}{3x0,20} \right), \left(\frac{10,10-10,00}{3x0,20}, \frac{10,40-10,00}{3x0,20}, \frac{10,80-10,00}{3x0,20} \right) \right\rangle \right\}$$

$$\tilde{\tilde{C}}_{pk} = \min \{ \langle(0,33; 0,67; 0,83), (0,17; 0,67; 1,00), (0,00; 0,67; 1,17)\rangle, \langle(0,50; 0,67; 1,00), (0,33; 0,67; 1,17), (0,17; 0,67; 1,33)\rangle \}$$

$$\tilde{\tilde{C}}_{pm} = \langle(0,50; 0,67; 1,00), (0,33; 0,67; 1,17), (0,17; 0,67; 1,33)\rangle.$$

Daha esnek TDÜN olarak $\check{\check{C}}_{pl}$ ve $\check{\check{C}}_{pu}$ indekslerinin skor değerleri 0,46 ve 0,43 olarak bulunmuştur. $\check{\check{C}}_{pu}$ indeksi, $\check{\check{C}}_{pl}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\check{\check{C}}_{pk}$ indeksi seçilmiştir. Tanımlanan spesifikasyon limitlerine göre, sürecin yeterliliği 0,67 civarındadır. Daha esnek TDÜN olarak $\check{\check{C}}_{pk}$ indeksi, belirsizlik fonksiyonunu da dikkate aldığından sürecin yeterliliğini daha gerçekçi yansıtmaktadır. Sürecin yeterliliğinin 0,17'den küçük ve 1,33'den de büyük olamayacağını söylemektedir.

$$\check{\check{C}}_{pm} = \left(\left(\frac{10,30-9,80}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-9,60}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,60-9,50}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \left(\frac{10,20-9,90}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-9,60}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,70-9,40}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \left(\frac{10,10-10,00}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-9,60}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,80-9,30}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right) \right)$$

$$\check{\check{C}}_{pm} = \langle (0,29; 0,47; 0,65), (0,18; 0,47; 0,77), (0,06; 0,47; 0,88) \rangle.$$

Daha esnek TDÜN olan $\check{\check{C}}_{pm}$ indeksinden elde edilen sonuçlarda da sürecin yetersiz olduğu görülmektedir.

$$\check{\check{C}}_{pmk} = \min \left\{ \left(\frac{10,00-9,80}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,60}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,50}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \left(\frac{10,00-9,90}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,60}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,40}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \left(\frac{10,00-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,60}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,30}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \left(\frac{10,30-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,60-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \left(\frac{10,20-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,70-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \left(\frac{10,10-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,80-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right) \right\}$$

$$\check{\check{C}}_{pmk} = \min \{ \langle (0,24; 0,47; 0,59), (0,12; 0,47; 0,71), (0,00; 0,47; 0,82) \rangle, \langle (0,35; 0,47; 0,71), (0,24; 0,47; 0,82), (0,12; 0,47; 0,94) \rangle \}$$

$$\check{\check{C}}_{pmk} = \langle (0,35; 0,47; 0,71), (0,24; 0,47; 0,82), (0,12; 0,47; 0,94) \rangle.$$

Daha esnek TDÜN olarak $\check{\check{C}}_{pml}$ ve $\check{\check{C}}_{pmu}$ indekslerinin skor değerleri 0,52 ve 0,50 bulunmuştur. $\check{\check{C}}_{pmu}$ indeksi, $\check{\check{C}}_{pml}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\check{\check{C}}_{pmk}$ indeksi seçilmiştir. Daha esnek TDÜN $\check{\check{C}}_{pk}$ indeksinde olduğu gibi benzer yorumlar yapılabilmektedir.

Daha esnek TDYN olarak $\check{\check{C}}_p$, $\check{\check{C}}_{pk}$, $\check{\check{C}}_{pm}$ ve $\check{\check{C}}_{pmk}$ indeksleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\check{\check{C}}_p = \left(\left(\frac{10,30-9,80}{6x0,20}, \frac{10,40-9,70}{6x0,20}, \frac{10,50-9,60}{6x0,20}, \frac{10,60-9,50}{6x0,20} \right), \left(\frac{10,20-9,90}{6x0,20}, \frac{10,40-9,70}{6x0,20}, \frac{10,50-9,60}{6x0,20}, \frac{10,70-9,40}{6x0,20} \right), \left(\frac{10,10-10,00}{6x0,20}, \frac{10,40-9,70}{6x0,20}, \frac{10,50-9,60}{6x0,20}, \frac{10,80-9,30}{6x0,20} \right) \right)$$

$$\check{\check{C}}_p = \langle (0,42; 0,58; 0,75; 0,92), (0,25; 0,58; 0,75; 1,08), (0,08; 0,58; 0,75; 1,25) \rangle.$$

$$\check{\check{C}}_{pk} = \min \left\{ \left(\frac{10,00-9,80}{3x0,20}, \frac{10,00-9,70}{3x0,20}, \frac{10,00-9,60}{3x0,20}, \frac{10,00-9,50}{3x0,20} \right), \left(\frac{10,00-9,90}{3x0,20}, \frac{10,00-9,70}{3x0,20}, \frac{10,00-9,60}{3x0,20}, \frac{10,00-9,40}{3x0,20} \right), \left(\frac{10,00-10,00}{3x0,20}, \frac{10,00-9,70}{3x0,20}, \frac{10,00-9,60}{3x0,20}, \frac{10,00-9,30}{3x0,20} \right), \left(\frac{10,30-10,00}{3x0,20}, \frac{10,40-10,00}{3x0,20}, \frac{10,50-10,00}{3x0,20}, \frac{10,60-10,00}{3x0,20} \right), \left(\frac{10,20-10,00}{3x0,20}, \frac{10,40-10,00}{3x0,20}, \frac{10,50-10,00}{3x0,20}, \frac{10,70-10,00}{3x0,20} \right), \left(\frac{10,10-10,00}{3x0,20}, \frac{10,40-10,00}{3x0,20}, \frac{10,50-10,00}{3x0,20}, \frac{10,80-10,00}{3x0,20} \right) \right\}$$

$$\check{\check{C}}_{pk} = \min \{ \langle (0,33; 0,50; 0,67; 0,83), (0,17; 0,50; 0,67; 1,00), (0,00; 0,50; 0,67; 1,17) \rangle, \langle (0,50; 0,67; 0,83; 1,00), (0,33; 0,67; 0,83; 1,17), (0,17; 0,67; 0,83; 1,33) \rangle \}$$

$$\check{\check{C}}_{pk} = \langle (0,50; 0,67; 0,83; 1,00), (0,33; 0,67; 0,83; 1,17), (0,17; 0,67; 0,83; 1,33) \rangle.$$

Daha esnek TDYN olarak $\check{\check{C}}_{pl}$ ve $\check{\check{C}}_{pu}$ indekslerinin skor değerleri 0,47 ve 0,42 bulunmuştur. $\check{\check{C}}_{pu}$ indeksi, $\check{\check{C}}_{pl}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\check{\check{C}}_{pk}$ indeksi seçilmiştir. Daha esnek TDYN olarak $\check{\check{C}}_{pm}$ ve $\check{\check{C}}_{pmk}$ indeksleri eşitlik 6.61 ve 6.65 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\check{\check{C}}_{pm} = \left(\left(\frac{10,30-9,80}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-9,70}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,50-9,60}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,60-9,50}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \left(\frac{10,20-9,90}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-9,70}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,50-9,60}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,70-9,40}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right), \left(\frac{10,10-10,00}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-9,70}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,50-9,60}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,80-9,30}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \right) \right)$$

$$\check{\check{C}}_{pm} = \langle (0,29; 0,41; 0,53; 0,65), (0,18; 0,41; 0,53; 0,77), (0,06; 0,41; 0,53; 0,88) \rangle.$$

Elde edilen sonuçlardan sürecin yetersiz olduğu görülmektedir. $\check{\check{C}}_{pm}$ indeksinin daha esnek olması sürecin esnek değerlendirilebilmesi açısından önem taşımaktadır.

$$\check{\check{C}}_{pmk} = \min \left\{ \left(\begin{array}{cc} \frac{10,00-9,80}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,70}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \\ \frac{10,00-9,60}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,50}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \end{array} \right), \left(\begin{array}{cc} \frac{10,00-9,90}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,70}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \\ \frac{10,00-9,60}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,40}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \end{array} \right), \left(\begin{array}{cc} \frac{10,00-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,70}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \\ \frac{10,00-9,60}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,00-9,30}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \end{array} \right), \left(\begin{array}{cc} \frac{10,30-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \\ \frac{10,50-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,60-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \end{array} \right), \left(\begin{array}{cc} \frac{10,20-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \\ \frac{10,50-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,70-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \end{array} \right), \left(\begin{array}{cc} \frac{10,10-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,40-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \\ \frac{10,50-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,80-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}} \end{array} \right) \right\}$$

$$\check{\check{C}}_{pmk} = \min \{ \langle (0,24; 0,35; 0,47; 0,59), (0,12; 0,35; 0,47; 0,71), (0,00; 0,35; 0,47; 0,82) \rangle, \langle (0,35; 0,47; 0,59; 0,71), (0,24; 0,47; 0,59; 0,82), (0,12; 0,47; 0,59; 0,94) \rangle \}$$

$$\check{\check{C}}_{pmk} = \langle (0,35; 0,47; 0,59; 0,71), (0,24; 0,47; 0,59; 0,82), (0,12; 0,47; 0,59; 0,94) \rangle.$$

Daha esnek TDYN olarak $\check{\check{C}}_{pml}$ ve $\check{\check{C}}_{pmu}$ indekslerinin skor değerleri 0,53 ve 0,49 bulunmuştur. $\check{\check{C}}_{pmu}$ indeksi, $\check{\check{C}}_{pml}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\check{\check{C}}_{pmk}$ indeksi seçilmiştir.

Tablo 6.3'de $\check{\check{C}}_p$, $\check{\check{C}}_{pk}$, $\check{\check{C}}_{pm}$ ve $\check{\check{C}}_{pmk}$ indeksleri için spesifikasyon limitlerinin daha esnek TDNS olduğu durumdan elde edilen sonuçlar ile netleştirme yöntemi kullanılarak bulunan kesin değerler verilmiştir.

Tablo 6.3 Daha esnek TDNS olarak elde edilen NSYİ değerleri

SL	Daha Esnek TDÜN	Kesin D.
$\tilde{C}_p$	$\langle(0,42; 0,67; 0,92); (0,25; 0,67; 1,08); (0,08; 0,67; 1,25)\rangle$	0,67
$\tilde{C}_{pk}$	$\langle(0,50; 0,67; 1,00); (0,33; 0,67; 1,17); (0,17; 0,67; 1,33)\rangle$	0,71
$\tilde{C}_{pm}$	$\langle(0,29; 0,47; 0,65); (0,18; 0,47; 0,77); (0,06; 0,47; 0,88)\rangle$	0,47
$\tilde{C}_{pmk}$	$\langle(0,35; 0,47; 0,71); (0,24; 0,47; 0,82); (0,12; 0,47; 0,94)\rangle$	0,50
SL	Daha Esnek TDYN	Kesin D.
$\tilde{C}_p$	$\langle(0,42; 0,58; 0,75; 0,92), (0,25; 0,58; 0,75; 1,08), (0,08; 0,58; 0,75; 1,25)\rangle$	0,67
$\tilde{C}_{pk}$	$\langle(0,50; 0,67; 0,83; 1,00), (0,33; 0,67; 0,83; 1,17), (0,17; 0,67; 0,83; 1,33)\rangle$	0,75
$\tilde{C}_{pm}$	$\langle(0,29; 0,41; 0,53; 0,65), (0,18; 0,41; 0,53; 0,77), (0,06; 0,41; 0,53; 0,88)\rangle$	0,47
$\tilde{C}_{pmk}$	$\langle(0,35; 0,47; 0,59; 0,71), (0,24; 0,47; 0,59; 0,82), (0,12; 0,47; 0,59; 0,94)\rangle$	0,53

6.1.5 Nötrosifik Süreç Yeterlilik İndekslerinin Değerlendirilmesi

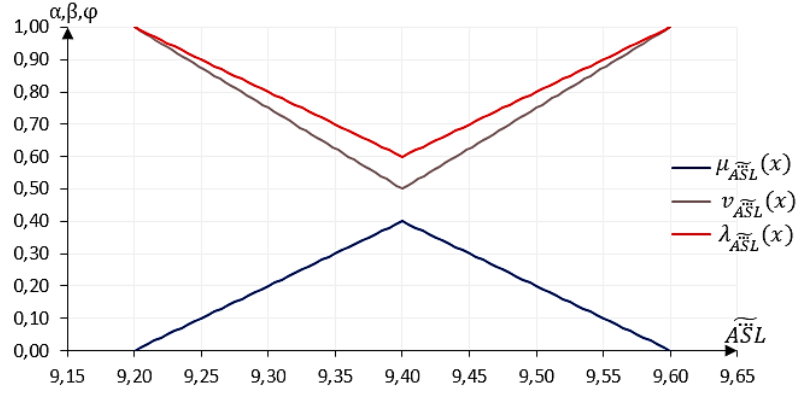
Tip-1 (geleneksel) bulanık kümelerle geliştirilen SYİ tek bir üyelik fonksiyonuyla ifade edilmektedir. NK kullanılarak geliştirilen süreç yeterlilik indeksleri ise doğruluk, kararsızlık ve yanlışlık üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanmaktadır. Bu sebeple, bir sürecin yeterliliğinin değerlendirilmesinde tip-1 bulanık kümelerle geliştirilen süreç yeterlilik indekslerine göre daha çok bilgi ve esneklik içermektedir. Tip-2 bulanık kümelerle geliştirilen süreç yeterlilik indeksleri, tip-1 bulanık kümelerle geliştirilen süreç yeterlilik indekslerine kıyasla daha çok bilgi içermekte fakat NK ile geliştirilen süreç yeterlilik indekslerine göre sürecin yeterliliği hakkında hem daha az bilgi vermekte hem de daha az esneklik sağlamaktadır. NK, tip-2 bulanık kümelere göre işlem kolaylığı bakımından daha avantajlıdır. SBK yardımıyla geliştirilen süreç yeterlilik indeksleri, NK kullanılarak geliştirilen süreç yeterlilik indekslerine göre daha az üyelik fonksiyonuyla tanımlandığından, NK kullanılarak elde edilen SYİ sürecin yeterliliği hakkında daha fazla bilgi içermektedir. NK, süreç yeterliliğinin analiz edilmesinde diğer bulanık kümelere göre hem belirsizliği daha iyi ifade etmekte hem de gerçek hayat uygulamalarında esneklik sağlaması sebebiyle daha avantajlı olduğu açıkça görülmektedir. Uygulama çalışmasından elde edilen sonuçlar, NK'nin sürecin yeterliliğini analiz etmede başarılı olduğunu göstermektedir.

6.2 Nötrosofik Kümeler Kullanılarak Sürecin Spesifikasyon Limitleri Dışında Kalma Olasılığının Hesaplanması

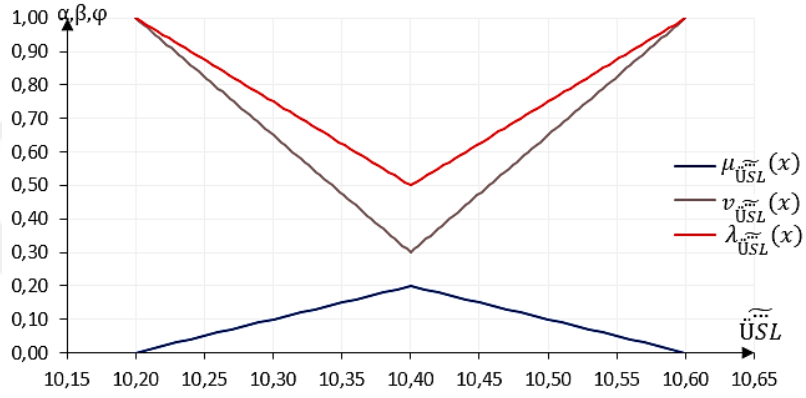
Kalite karakteristiği, kabul edilebilir aralıklara sahip girdi değişkenleri olarak ifade edilmektedir. Bir kalite karakteristiği için izin verilen minimum değere alt spesifikasyon limiti (ASL) ve izin verilen maksimum değere üst spesifikasyon limiti (ÜSL) denilmektedir. Birçok durumda, spesifikasyon limitleri kaliteyi tanımlar. Bazen bu değerler, satın alma yoluyla sözleşmelere yazılmaktadır. Spesifikasyon limitleri içerisinde üretilen çıktılar “uygun”, spesifikasyon limitleri dışında kalan çıktılar “uygunsuz” olarak nitelendirilmektedir. Uygun bir parça veya ürün, spesifikasyon limitleri içerisinde tüm kalite karakteristiklerine sahiptir. Üreticiler, bir parçanın veya ürünün karakteristik değerinin ilgili spesifikasyon limitinin dışında kaldığı her durumu tanımlamak için uygunsuzluk ifadesini kullanmaktadırlar [172]. Şekil 3.3’de grafiksel olarak gösterilen çift taraflı spesifikasyon limitleri olan süreçler için kusurlu çıktı üretme yüzdesi eşitlik 3.6’daki gibi hesaplanmaktadır. Sürecin spesifikasyon limitleri arasında olması ürünün istenilen kalitede olduğu anlamına gelmektedir. Bu alt bölümde, sürecin spesifikasyon limitleri dışında kalma olasılığı TDNS’nin farklı formlarının avantajlarından yararlanılarak hesaplanmıştır. TDNS’nin (α, β, φ) kesimleri elde edilerek olasılık hesaplamaları yapılmıştır.

6.2.1 Spesifikasyon Limitlerinin Tek Değerli Nötrosofik Sayı Olma Durumu

Bölüm 6.1.4’de tanımlanan dişlinin ölçümleri kullanılarak önerilen üç durum için sürecin spesifikasyon limitleri dışında kalma olasılığı TDNS yardımıyla değerlendirilmiştir. Dişlinin TDÜN olarak tanımlanan spesifikasyon limitleri $\widetilde{A\check{S}L} = \langle (9,2; 9,4; 9,6), 0,4; 0,5; 0,6 \rangle$ ve $\widetilde{Ü\check{S}L} = \langle (10,2; 10,4; 10,6), 0,2; 0,3; 0,5 \rangle$ şeklinde ifade edilirse, tanım 5.50’deki TDÜNS’nin (α, β, φ) kesimlerinden yararlanılarak spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri hesaplanmıştır. Şekil 6.32 ve 6.33’de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.32 TDÜN olarak tanımlanan $\widetilde{A}_{SL}$ 'nin (α, β, φ) kesimleri



Şekil 6.33 TDÜN olarak tanımlanan $\widetilde{U}_{SL}$ 'nin (α, β, φ) kesimleri

Tablo 6.4'de TDÜN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri gösterilmiştir.

Tablo 6.4 TDÜN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri

α, β, φ	ASL(α)		ASL(β)	ASL(φ)	ÜSL(α)		ÜSL(β)	ÜSL(φ)
0,000	9,200	9,600			10,200	10,600		
0,010	9,205	9,595			10,210	10,590		
0,020	9,210	9,590			10,220	10,580		
0,030	9,215	9,585			10,230	10,570		
0,040	9,220	9,580			10,240	10,560		
0,050	9,225	9,575			10,250	10,550		
0,060	9,230	9,570			10,260	10,540		
0,070	9,235	9,565			10,270	10,530		
0,080	9,240	9,560			10,280	10,520		
0,090	9,245	9,555			10,290	10,510		
0,100	9,250	9,550			10,300	10,500		
0,110	9,255	9,545			10,310	10,490		
0,120	9,260	9,540			10,320	10,480		
0,130	9,265	9,535			10,330	10,470		
0,140	9,270	9,530			10,340	10,460		
0,150	9,275	9,525			10,350	10,450		
0,160	9,280	9,520			10,360	10,440		
0,170	9,285	9,515			10,370	10,430		
0,180	9,290	9,510			10,380	10,420		
0,190	9,295	9,505			10,390	10,410		
0,200	9,300	9,500			10,400	10,400		
0,210	9,305	9,495						
0,220	9,310	9,490						
0,230	9,315	9,485						
0,240	9,320	9,480						
0,250	9,325	9,475						
0,260	9,330	9,470						
0,270	9,335	9,465						
0,280	9,340	9,460						
0,290	9,345	9,455						
0,300	9,350	9,450					10,400	10,400
0,310	9,355	9,445					10,397	10,403
0,320	9,360	9,440					10,394	10,406
0,330	9,365	9,435					10,391	10,409
0,340	9,370	9,430					10,389	10,411

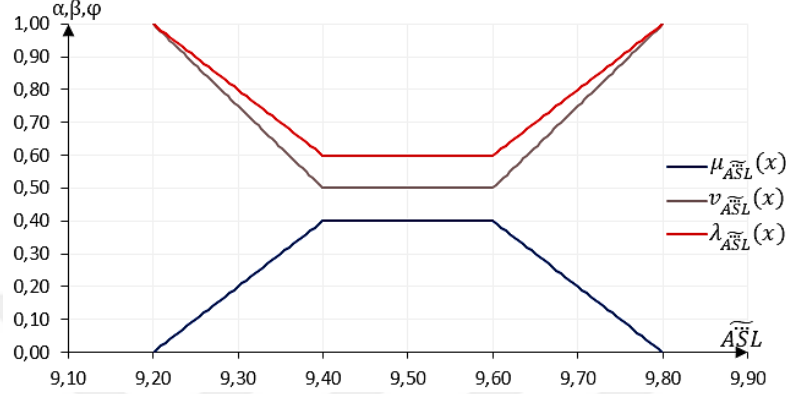
Tablo 6.4 TDÜN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri (devamı)

α, β, φ	ASL(α)		ASL(β)		ASL(φ)		ÜSL(α)		ÜSL(β)		ÜSL(φ)	
0,350	9,375	9,425							10,386	10,414	0,350	9,375
0,360	9,380	9,420							10,383	10,417	0,360	9,380
0,370	9,385	9,415							10,380	10,420	0,370	9,385
0,380	9,390	9,410							10,377	10,423	0,380	9,390
0,390	9,395	9,405							10,374	10,426	0,390	9,395
0,400	9,400	9,400							10,371	10,429	0,400	9,400
0,410									10,369	10,431		
0,420									10,366	10,434		
0,430									10,363	10,437		
0,440									10,360	10,440		
0,450									10,357	10,443		
0,460									10,354	10,446		
0,470									10,351	10,449		
0,480									10,349	10,451		
0,490									10,346	10,454		
0,500			9,400	9,400					10,343	10,457	10,400	10,400
0,510			9,396	9,404					10,340	10,460	10,396	10,404
0,520			9,392	9,408					10,337	10,463	10,392	10,408
0,530			9,388	9,412					10,334	10,466	10,388	10,412
0,540			9,384	9,416					10,331	10,469	10,384	10,416
0,550			9,380	9,420					10,329	10,471	10,380	10,420
0,560			9,376	9,424					10,326	10,474	10,376	10,424
0,570			9,372	9,428					10,323	10,477	10,372	10,428
0,580			9,368	9,432					10,320	10,480	10,368	10,432
0,590			9,364	9,436					10,317	10,483	10,364	10,436
0,600			9,360	9,440	9,400	9,400			10,314	10,486	10,360	10,440
0,610			9,356	9,444	9,395	9,405			10,311	10,489	10,356	10,444
0,620			9,352	9,448	9,390	9,410			10,309	10,491	10,352	10,448
0,630			9,348	9,452	9,385	9,415			10,306	10,494	10,348	10,452
0,640			9,344	9,456	9,380	9,420			10,303	10,497	10,344	10,456
0,650			9,340	9,460	9,375	9,425			10,300	10,500	10,340	10,460
0,660			9,336	9,464	9,370	9,430			10,297	10,503	10,336	10,464
0,670			9,332	9,468	9,365	9,435			10,294	10,506	10,332	10,468
0,680			9,328	9,472	9,360	9,440			10,291	10,509	10,328	10,472
0,690			9,324	9,476	9,355	9,445			10,289	10,511	10,324	10,476
0,700			9,320	9,480	9,350	9,450			10,286	10,514	10,320	10,480

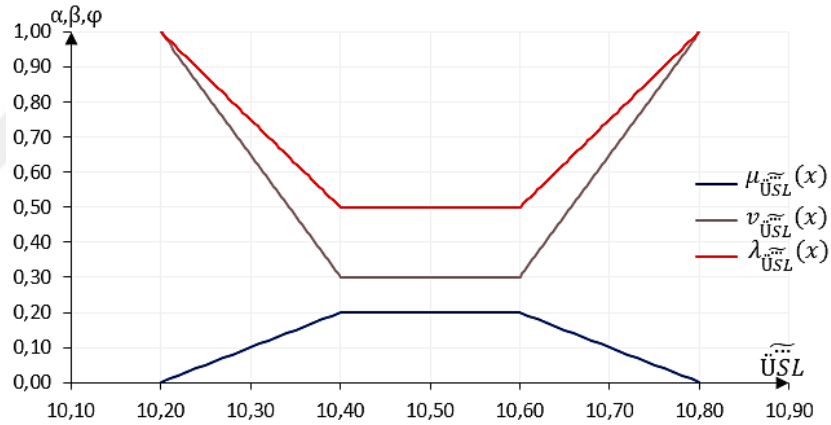
Tablo 6.4 TDÜN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, ϕ) kesimleri (devamı)

α, β, φ	ASL(α)	ASL(β)	ASL(φ)	ÜSL(α)	ÜSL(β)	ÜSL(φ)			
0,710		9,316	9,484	9,345	9,455	10,283	10,517	10,316	10,484
0,720		9,312	9,488	9,340	9,460	10,280	10,520	10,312	10,488
0,730		9,308	9,492	9,335	9,465	10,277	10,523	10,308	10,492
0,740		9,304	9,496	9,330	9,470	10,274	10,526	10,304	10,496
0,750		9,300	9,500	9,325	9,475	10,271	10,529	10,300	10,500
0,760		9,296	9,504	9,320	9,480	10,269	10,531	10,296	10,504
0,760		9,296	9,504	9,320	9,480	10,269	10,531	10,296	10,504
0,770		9,292	9,508	9,315	9,485	10,266	10,534	10,292	10,508
0,780		9,288	9,512	9,310	9,490	10,263	10,537	10,288	10,512
0,790		9,284	9,516	9,305	9,495	10,260	10,540	10,284	10,516
0,800		9,280	9,520	9,300	9,500	10,257	10,543	10,280	10,520
0,810		9,276	9,524	9,295	9,505	10,254	10,546	10,276	10,524
0,820		9,272	9,528	9,290	9,510	10,251	10,549	10,272	10,528
0,830		9,268	9,532	9,285	9,515	10,249	10,551	10,268	10,532
0,840		9,264	9,536	9,280	9,520	10,246	10,554	10,264	10,536
0,850		9,260	9,540	9,275	9,525	10,243	10,557	10,260	10,540
0,860		9,256	9,544	9,270	9,530	10,240	10,560	10,256	10,544
0,870		9,252	9,548	9,265	9,535	10,237	10,563	10,252	10,548
0,880		9,248	9,552	9,260	9,540	10,234	10,566	10,248	10,552
0,890		9,244	9,556	9,255	9,545	10,231	10,569	10,244	10,556
0,900		9,240	9,560	9,250	9,550	10,229	10,571	10,240	10,560
0,910		9,236	9,564	9,245	9,555	10,226	10,574	10,236	10,564
0,920		9,232	9,568	9,240	9,560	10,223	10,577	10,232	10,568
0,930		9,228	9,572	9,235	9,565	10,220	10,580	10,228	10,572
0,940		9,224	9,576	9,230	9,570	10,217	10,583	10,224	10,576
0,950		9,220	9,580	9,225	9,575	10,214	10,586	10,220	10,580
0,960		9,216	9,584	9,220	9,580	10,211	10,589	10,216	10,584
0,970		9,212	9,588	9,215	9,585	10,209	10,591	10,212	10,588
0,980		9,208	9,592	9,210	9,590	10,206	10,594	10,208	10,592
0,990		9,204	9,596	9,205	9,595	10,203	10,597	10,204	10,596
1,000		9,200	9,600	9,200	9,600	10,200	10,600	10,200	10,600

Dişlinin TDYN spesifikasyon limitleri $\widetilde{A\ddot{S}L} = \langle (9,2; 9,4; 9,6; 9,8), 0,4; 0,5; 0,6 \rangle$ ve $\widetilde{\ddot{U}SL} = \langle (10,2; 10,4; 10,6; 10,8), 0,2; 0,3; 0,5 \rangle$ olarak tanımlanırsa, tanım 5.51'deki TDYNS'nin (α, β, φ) kesimlerinden yararlanılarak spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri hesaplanmıştır. Şekil 6.34 ve 6.35'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.34 TDYN olarak tanımlanan $\widetilde{A\ddot{S}L}$ 'nin (α, β, φ) kesimleri



Şekil 6.35 TDYN olarak tanımlanan $\widetilde{\ddot{U}SL}$ 'nin (α, β, φ) kesimleri

Tablo 6.5'de TDYN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri gösterilmiştir.

Tablo 6.5 TDYN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri

α, β, φ	ASL(α)		ASL(β)	ASL(φ)	ÜSL(α)		ÜSL(β)	ÜSL(φ)
0,000	9,200	9,800			10,200	10,800		
0,010	9,205	9,795			10,210	10,790		
0,020	9,210	9,790			10,220	10,780		
0,030	9,215	9,785			10,230	10,770		
0,040	9,220	9,780			10,240	10,760		
0,050	9,225	9,775			10,250	10,750		
0,060	9,230	9,770			10,260	10,740		
0,070	9,235	9,765			10,270	10,730		
0,080	9,240	9,760			10,280	10,720		
0,090	9,245	9,755			10,290	10,710		
0,100	9,250	9,750			10,300	10,700		
0,110	9,255	9,745			10,310	10,690		
0,120	9,260	9,740			10,320	10,680		
0,130	9,265	9,735			10,330	10,670		
0,140	9,270	9,730			10,340	10,660		
0,150	9,275	9,725			10,350	10,650		
0,160	9,280	9,720			10,360	10,640		
0,170	9,285	9,715			10,370	10,630		
0,180	9,290	9,710			10,380	10,620		
0,190	9,295	9,705			10,390	10,610		
0,200	9,300	9,700			10,400	10,600		
0,210	9,305	9,695						
0,220	9,310	9,690						
0,230	9,315	9,685						
0,240	9,320	9,680						
0,250	9,325	9,675						
0,260	9,330	9,670						
0,270	9,335	9,665						
0,280	9,340	9,660						
0,290	9,345	9,655						
0,300	9,350	9,650					10,400	10,600
0,310	9,355	9,645					10,397	10,603
0,320	9,360	9,640					10,394	10,606
0,330	9,365	9,635					10,391	10,609
0,340	9,370	9,630					10,389	10,611
0,350	9,375	9,625					10,386	10,614

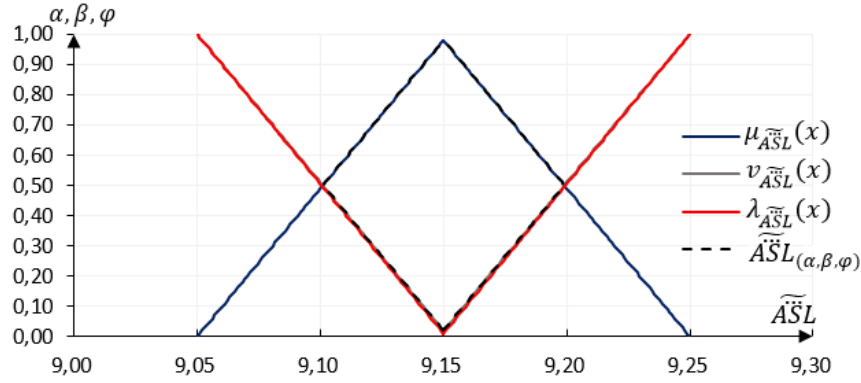
Tablo 6.5 TDYN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri (devamı)

α, β, φ	ASL(α)		ASL(β)		ASL(φ)		ÜSL(α)		ÜSL(β)		ÜSL(φ)	
0,360	9,380	9,620							10,383	10,617		
0,370	9,385	9,615							10,380	10,620		
0,380	9,390	9,610							10,377	10,623		
0,390	9,395	9,605							10,374	10,626		
0,400	9,400	9,600							10,371	10,629		
0,410									10,369	10,631		
0,420									10,366	10,634		
0,430									10,363	10,637		
0,440									10,360	10,640		
0,450									10,357	10,643		
0,460									10,354	10,646		
0,470									10,351	10,649		
0,480									10,349	10,651		
0,490									10,346	10,654		
0,500			9,400	9,600					10,343	10,657	10,400	10,600
0,510			9,396	9,604					10,340	10,660	10,396	10,604
0,520			9,392	9,608					10,337	10,663	10,392	10,608
0,530			9,388	9,612					10,334	10,666	10,388	10,612
0,540			9,384	9,616					10,331	10,669	10,384	10,616
0,550			9,380	9,620					10,329	10,671	10,380	10,620
0,560			9,376	9,624					10,326	10,674	10,376	10,624
0,570			9,372	9,628					10,323	10,677	10,372	10,628
0,580			9,368	9,632					10,320	10,680	10,368	10,632
0,590			9,364	9,636					10,317	10,683	10,364	10,636
0,600			9,360	9,640	9,400	9,600			10,314	10,686	10,360	10,640
0,610			9,356	9,644	9,395	9,605			10,311	10,689	10,356	10,644
0,620			9,352	9,648	9,390	9,610			10,309	10,691	10,352	10,648
0,630			9,348	9,652	9,385	9,615			10,306	10,694	10,348	10,652
0,640			9,344	9,656	9,380	9,620			10,303	10,697	10,344	10,656
0,650			9,340	9,660	9,375	9,625			10,300	10,700	10,340	10,660
0,660			9,336	9,664	9,370	9,630			10,297	10,703	10,336	10,664
0,670			9,332	9,668	9,365	9,635			10,294	10,706	10,332	10,668
0,680			9,328	9,672	9,360	9,640			10,291	10,709	10,328	10,672
0,690			9,324	9,676	9,355	9,645			10,289	10,711	10,324	10,676
0,700			9,320	9,680	9,350	9,650			10,286	10,714	10,320	10,680
0,710			9,316	9,684	9,345	9,655			10,283	10,717	10,316	10,684
0,720			9,312	9,688	9,340	9,660			10,280	10,720	10,312	10,688
0,730			9,308	9,692	9,335	9,665			10,277	10,723	10,308	10,692

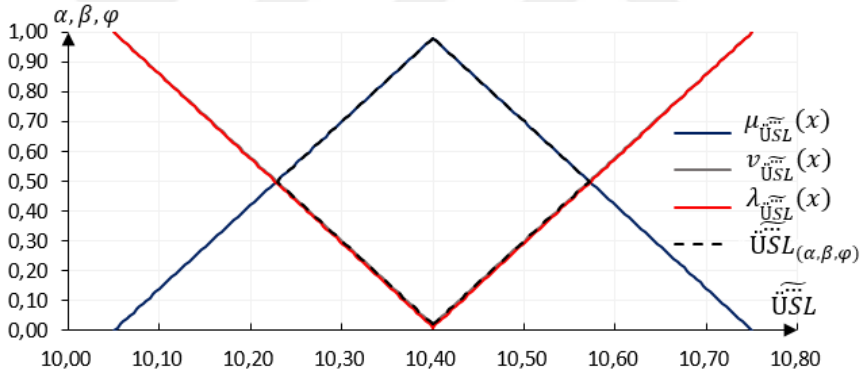
Tablo 6.5 TDYN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri (devamı)

α, β, φ	ASL(α)	ASL(β)	ASL(φ)	ÜSL(α)	ÜSL(β)	ÜSL(φ)
0,740		9,304	9,696	9,330	10,274	10,696
0,750		9,300	9,700	9,325	10,271	10,700
0,760		9,296	9,704	9,320	10,269	10,704
0,770		9,292	9,708	9,315	10,266	10,708
0,780		9,288	9,712	9,310	10,263	10,712
0,790		9,284	9,716	9,305	10,260	10,716
0,800		9,280	9,720	9,300	10,257	10,720
0,810		9,276	9,724	9,295	10,254	10,724
0,820		9,272	9,728	9,290	10,251	10,728
0,830		9,268	9,732	9,285	10,249	10,732
0,840		9,264	9,736	9,280	10,246	10,736
0,850		9,260	9,740	9,275	10,243	10,740
0,860		9,256	9,744	9,270	10,240	10,744
0,870		9,252	9,748	9,265	10,237	10,748
0,880		9,248	9,752	9,260	10,234	10,752
0,890		9,244	9,756	9,255	10,231	10,756
0,900		9,240	9,760	9,250	10,229	10,760
0,910		9,236	9,764	9,245	10,226	10,764
0,920		9,232	9,768	9,240	10,223	10,768
0,930		9,228	9,772	9,235	10,220	10,772
0,940		9,224	9,776	9,230	10,217	10,776
0,950		9,220	9,780	9,225	10,214	10,780
0,960		9,216	9,784	9,220	10,211	10,784
0,970		9,212	9,788	9,215	10,209	10,788
0,980		9,208	9,792	9,210	10,206	10,792
0,990		9,204	9,796	9,205	10,203	10,796
1,000		9,200	9,800	9,200	10,200	10,800

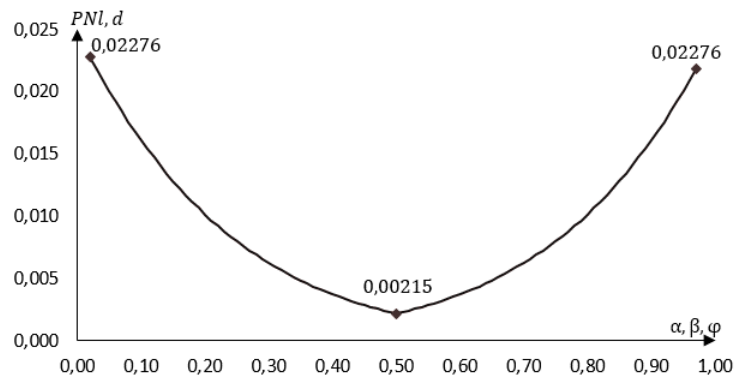
Dişlinin TDÜN olarak tanımlanan spesifikasyon limitleri $\widetilde{A\ddot{S}L} = \langle (9,05; 9,15; 9,25), 0,98; 0,02; 0,01 \rangle$, $\widetilde{\ddot{U}SL} = \langle (10,05; 10,40; 10,75), 0,98; 0,02; 0,01 \rangle$ şeklinde ifade edilmesi durumunda tanım 5.50'deki TDÜNS'nin (α, β, φ) kesimlerinden yararlanılarak sürecin spesifikasyon limitlerinin dışında kalma olasılığı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:



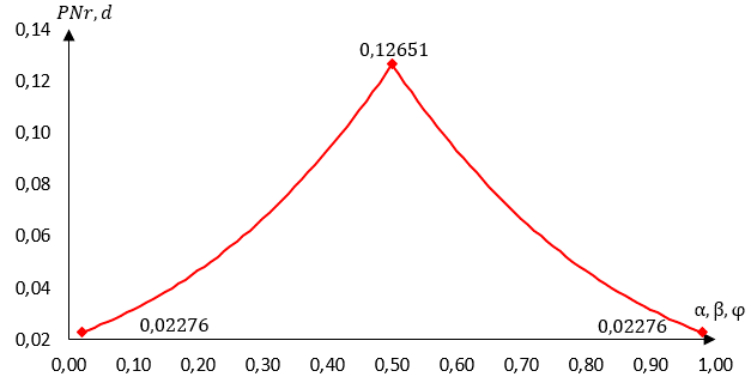
Şekil 6.36 TDÜN olarak tanımlanan $\widetilde{A\ddot{S}L}$ 'nin (α, β, φ) kesimleri



Şekil 6.37 TDÜN olarak tanımlanan $\widetilde{\ddot{U}SL}$ 'nin (α, β, φ) kesimleri



Şekil 6.38 TDÜN olarak tanımlanan PNI, d değeri



Şekil 6.39 TDÜN olarak tanımlanan PNr, d değeri

Sürecin spesifikasyon limitleri dışında olma olasılığının kesin değeri 0,1250'dir. TDÜNS ile sürecin spesifikasyon limitleri dışında olma olasılığı hesaplandığında, PNl, d değerinin 0,02276'dan başlayarak 0,00215'e kadar indiği ve tekrardan 0,02276'ya çıktığı görülmektedir. PNl, d değeri 0,00215-0,02276 aralığındadır. PNr, d değerinin 0,02276'dan başlayarak 0,12651'e çıktığı ve tekrardan 0,02276'ya kadar azaldığı görülmektedir. PNr, d değeri 0,02276-0,12651 aralığındadır. Sürecin spesifikasyon limitleri dışında kusurlu çıktılar üretme olasılığı 0,00215-0,12651 aralığında olduğu sonucuna varılmıştır. Çıkan sonuçlar, süreç hakkında daha fazla bilgi sahibi olmamızı sağlamakla birlikte belirsizliği de ele aldığı için süreç hakkında daha gerçekçi bilgiler vermektedir. Tablo 6.6'da TDÜN olarak tanımlanan spesifikasyon limitleri ve ortalamanın (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri gösterilmiştir.

Tablo 6.6 TDÜN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri

α, β, φ	ASL(α)		ASL(β)		ASL(φ)		ÜSL(α)		ÜSL(β)		ÜSL(φ)		ASL(α, β, φ)		ÜSL(α, β, φ)		PNL,d	PNr,d	PNL	PNr
0,000	9,050	9,250					10,050	10,750												
0,010	9,051	9,249			9,150	9,150	10,054	10,746			10,400	10,400								
0,020	9,052	9,248	9,150	9,150	9,149	9,151	10,057	10,743	10,400	10,400	10,396	10,404	9,150	9,150	10,400	10,400	0,02276	0,02276	0,97724	0,97724
0,030	9,053	9,247	9,149	9,151	9,148	9,152	10,061	10,739	10,396	10,404	10,393	10,407	9,149	9,151	10,396	10,404	0,02181	0,02374	0,97626	0,97819
0,040	9,054	9,246	9,148	9,152	9,147	9,153	10,064	10,736	10,393	10,407	10,389	10,411	9,148	9,152	10,393	10,407	0,0209	0,02475	0,97525	0,9791
0,050	9,055	9,245	9,147	9,153	9,146	9,154	10,068	10,732	10,389	10,411	10,386	10,414	9,147	9,153	10,389	10,411	0,02001	0,02581	0,97419	0,97999
0,060	9,056	9,244	9,146	9,154	9,145	9,155	10,071	10,729	10,386	10,414	10,382	10,418	9,146	9,154	10,386	10,414	0,01917	0,02690	0,97310	0,98083
0,070	9,057	9,243	9,145	9,155	9,144	9,156	10,075	10,725	10,382	10,418	10,379	10,421	9,145	9,155	10,382	10,418	0,01835	0,02803	0,97197	0,98165
0,080	9,058	9,242	9,144	9,156	9,143	9,157	10,079	10,721	10,379	10,421	10,375	10,425	9,144	9,156	10,379	10,421	0,01756	0,02919	0,97081	0,98244
0,090	9,059	9,241	9,143	9,157	9,142	9,158	10,082	10,718	10,375	10,425	10,372	10,428	9,143	9,157	10,375	10,425	0,01680	0,03040	0,96960	0,98320
0,100	9,060	9,240	9,142	9,158	9,141	9,159	10,086	10,714	10,371	10,429	10,368	10,432	9,142	9,158	10,371	10,429	0,01607	0,03165	0,96835	0,98393
0,110	9,061	9,239	9,141	9,159	9,140	9,160	10,089	10,711	10,368	10,432	10,365	10,435	9,141	9,159	10,368	10,432	0,01536	0,03294	0,96706	0,98464
0,120	9,062	9,238	9,140	9,160	9,139	9,161	10,093	10,707	10,364	10,436	10,361	10,439	9,140	9,160	10,364	10,436	0,01469	0,03428	0,96572	0,98531
0,130	9,063	9,237	9,139	9,161	9,138	9,162	10,096	10,704	10,361	10,439	10,358	10,442	9,139	9,161	10,361	10,439	0,01404	0,03565	0,96435	0,98596
0,140	9,064	9,236	9,138	9,162	9,137	9,163	10,100	10,700	10,357	10,443	10,354	10,446	9,138	9,162	10,357	10,443	0,01341	0,03708	0,96292	0,98659
0,150	9,065	9,235	9,137	9,163	9,136	9,164	10,104	10,696	10,354	10,446	10,351	10,449	9,137	9,163	10,354	10,446	0,01281	0,03854	0,96146	0,98719
0,160	9,066	9,234	9,136	9,164	9,135	9,165	10,107	10,693	10,350	10,450	10,347	10,453	9,136	9,164	10,350	10,450	0,01223	0,04006	0,95994	0,98777
0,170	9,067	9,233	9,135	9,165	9,134	9,166	10,111	10,689	10,346	10,454	10,343	10,457	9,135	9,165	10,346	10,454	0,01167	0,04163	0,95837	0,98833
0,180	9,068	9,232	9,134	9,166	9,133	9,167	10,114	10,686	10,343	10,457	10,340	10,460	9,134	9,166	10,343	10,457	0,01114	0,04324	0,95676	0,98886
0,190	9,069	9,231	9,133	9,167	9,132	9,168	10,118	10,682	10,339	10,461	10,336	10,464	9,133	9,167	10,339	10,461	0,01063	0,04491	0,95509	0,98937
0,200	9,070	9,230	9,132	9,168	9,131	9,169	10,121	10,679	10,336	10,464	10,333	10,467	9,132	9,168	10,336	10,464	0,01014	0,04662	0,95338	0,98986
0,210	9,071	9,229	9,131	9,169	9,130	9,170	10,125	10,675	10,332	10,468	10,329	10,471	9,131	9,169	10,332	10,468	0,00961	0,04839	0,95161	0,99039
0,220	9,072	9,228	9,130	9,170	9,129	9,171	10,129	10,671	10,329	10,471	10,326	10,474	9,130	9,170	10,329	10,471	0,00922	0,05021	0,94979	0,99078
0,230	9,073	9,227	9,129	9,171	9,128	9,172	10,132	10,668	10,325	10,475	10,322	10,478	9,129	9,171	10,325	10,475	0,00878	0,05209	0,94791	0,99122
0,240	9,074	9,226	9,128	9,172	9,127	9,173	10,136	10,664	10,321	10,479	10,319	10,481	9,128	9,172	10,321	10,479	0,00837	0,05402	0,94598	0,99163
0,250	9,076	9,224	9,127	9,173	9,126	9,174	10,139	10,661	10,318	10,482	10,315	10,485	9,127	9,173	10,318	10,482	0,00797	0,05600	0,94400	0,99203
0,260	9,077	9,223	9,126	9,174	9,125	9,175	10,143	10,657	10,314	10,486	10,312	10,488	9,126	9,174	10,314	10,486	0,00759	0,05805	0,94195	0,99241
0,270	9,078	9,222	9,124	9,176	9,124	9,176	10,146	10,654	10,311	10,489	10,308	10,492	9,124	9,176	10,311	10,489	0,00722	0,06015	0,93985	0,99278
0,280	9,079	9,221	9,123	9,177	9,123	9,177	10,150	10,650	10,307	10,493	10,305	10,495	9,123	9,177	10,307	10,493	0,00687	0,06231	0,93769	0,99313
0,290	9,080	9,220	9,122	9,178	9,122	9,178	10,154	10,646	10,304	10,496	10,301	10,499	9,122	9,178	10,304	10,496	0,00654	0,06453	0,93547	0,99346
0,300	9,081	9,219	9,121	9,179	9,121	9,179	10,157	10,643	10,300	10,500	10,297	10,503	9,121	9,179	10,300	10,500	0,00622	0,06681	0,93319	0,99378
0,310	9,082	9,218	9,120	9,180	9,120	9,180	10,161	10,639	10,296	10,504	10,294	10,506	9,120	9,180	10,296	10,504	0,00591	0,06916	0,93084	0,99409
0,320	9,083	9,217	9,119	9,181	9,119	9,181	10,164	10,636	10,293	10,507	10,290	10,510	9,119	9,181	10,293	10,507	0,00562	0,07156	0,92844	0,99438
0,330	9,084	9,216	9,118	9,182	9,118	9,182	10,168	10,632	10,289	10,511	10,287	10,513	9,118	9,182	10,289	10,511	0,00534	0,07404	0,92596	0,99466
0,340	9,085	9,215	9,117	9,183	9,117	9,183	10,171	10,629	10,286	10,514	10,283	10,517	9,117	9,183	10,286	10,514	0,00507	0,07657	0,92343	0,99493
0,350	9,086	9,214	9,116	9,184	9,116	9,184	10,175	10,625	10,282	10,518	10,280	10,520	9,116	9,184	10,282	10,518	0,00482	0,07917	0,92083	0,99518

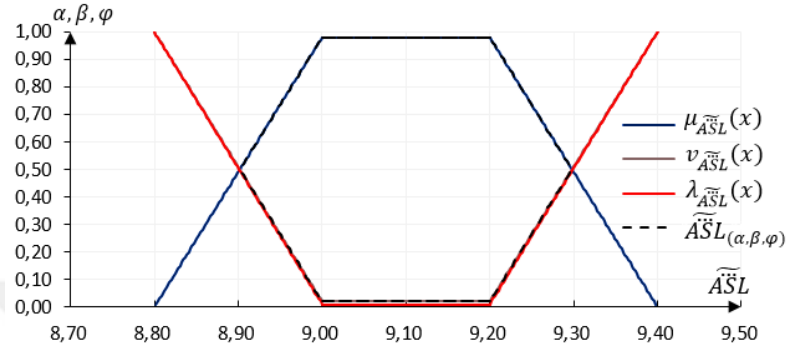
Tablo 6.6 TDÜN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri (devamı)

α, β, φ	ASL(α)		ASL(β)		ASL(φ)		ÜSL(α)		ÜSL(β)		ÜSL(φ)		ASL(α, β, φ)		ÜSL(α, β, φ)		PNL,d	PNr,d	PNL	PNr
0,360	9,087	9,213	9,115	9,185	9,115	9,185	10,179	10,621	10,279	10,521	10,276	10,524	9,115	9,185	10,279	10,521	0,00458	0,08183	0,91817	0,99543
0,370	9,088	9,212	9,114	9,186	9,114	9,186	10,182	10,618	10,275	10,525	10,273	10,527	9,114	9,186	10,275	10,525	0,00434	0,08457	0,91543	0,99566
0,380	9,089	9,211	9,113	9,187	9,113	9,187	10,186	10,614	10,271	10,529	10,269	10,531	9,113	9,187	10,271	10,529	0,00412	0,08738	0,91262	0,99588
0,390	9,090	9,210	9,112	9,188	9,112	9,188	10,189	10,611	10,268	10,532	10,266	10,534	9,112	9,188	10,268	10,532	0,00391	0,09024	0,90976	0,99609
0,400	9,091	9,209	9,111	9,189	9,111	9,189	10,193	10,607	10,264	10,536	10,262	10,538	9,111	9,189	10,264	10,536	0,00371	0,09319	0,90681	0,99629
0,410	9,092	9,208	9,110	9,190	9,110	9,190	10,196	10,604	10,261	10,539	10,259	10,541	9,110	9,190	10,261	10,539	0,00351	0,09619	0,90381	0,99649
0,420	9,093	9,207	9,109	9,191	9,109	9,191	10,200	10,600	10,257	10,543	10,255	10,545	9,109	9,191	10,257	10,543	0,00333	0,09928	0,90072	0,99667
0,430	9,094	9,206	9,108	9,192	9,108	9,192	10,204	10,596	10,254	10,546	10,252	10,548	9,108	9,192	10,254	10,546	0,00316	0,10241	0,89759	0,99684
0,440	9,095	9,205	9,107	9,193	9,107	9,193	10,207	10,593	10,250	10,550	10,248	10,552	9,107	9,193	10,250	10,550	0,00299	0,10561	0,89439	0,99701
0,450	9,096	9,204	9,106	9,194	9,106	9,194	10,211	10,589	10,246	10,554	10,244	10,556	9,106	9,194	10,246	10,554	0,00283	0,10891	0,89109	0,99717
0,460	9,097	9,203	9,105	9,195	9,105	9,195	10,214	10,586	10,243	10,557	10,241	10,559	9,105	9,195	10,243	10,557	0,00268	0,11231	0,88769	0,99732
0,470	9,098	9,202	9,104	9,196	9,104	9,196	10,218	10,582	10,239	10,561	10,237	10,563	9,104	9,196	10,239	10,561	0,00254	0,11571	0,88429	0,99746
0,480	9,099	9,201	9,103	9,197	9,103	9,197	10,221	10,579	10,236	10,564	10,234	10,566	9,103	9,197	10,236	10,564	0,00240	0,11921	0,88079	0,99760
0,490	9,100	9,200	9,102	9,198	9,102	9,198	10,225	10,575	10,232	10,568	10,230	10,570	9,102	9,198	10,232	10,568	0,00227	0,12281	0,87719	0,99773
0,500	9,101	9,199	9,101	9,199	9,101	9,199	10,229	10,571	10,229	10,571	10,227	10,573	9,101	9,199	10,229	10,571	0,00215	0,12651	0,87349	0,99785
0,510	9,102	9,198	9,100	9,200	9,099	9,201	10,232	10,568	10,225	10,575	10,223	10,577	9,102	9,198	10,232	10,568	0,00227	0,12281	0,87719	0,99773
0,520	9,103	9,197	9,099	9,201	9,098	9,202	10,236	10,564	10,221	10,579	10,220	10,580	9,103	9,197	10,236	10,564	0,00240	0,11921	0,88079	0,99760
0,530	9,104	9,196	9,098	9,202	9,097	9,203	10,239	10,561	10,218	10,582	10,216	10,584	9,104	9,196	10,239	10,561	0,00254	0,11571	0,88429	0,99746
0,540	9,105	9,195	9,097	9,203	9,096	9,204	10,243	10,557	10,214	10,586	10,213	10,587	9,105	9,195	10,243	10,557	0,00268	0,11231	0,88769	0,99732
0,550	9,106	9,194	9,096	9,204	9,095	9,205	10,246	10,554	10,211	10,589	10,209	10,591	9,106	9,194	10,246	10,554	0,00283	0,10891	0,89109	0,99717
0,560	9,107	9,193	9,095	9,205	9,094	9,206	10,250	10,550	10,207	10,593	10,206	10,594	9,107	9,193	10,250	10,550	0,00299	0,10561	0,89439	0,99701
0,570	9,108	9,192	9,094	9,206	9,093	9,207	10,254	10,546	10,204	10,596	10,202	10,598	9,108	9,192	10,254	10,546	0,00316	0,10241	0,89759	0,99684
0,580	9,109	9,191	9,093	9,207	9,092	9,208	10,257	10,543	10,200	10,600	10,198	10,602	9,109	9,191	10,257	10,543	0,00333	0,09928	0,90072	0,99667
0,590	9,110	9,190	9,092	9,208	9,091	9,209	10,261	10,539	10,196	10,604	10,195	10,605	9,110	9,190	10,261	10,539	0,00351	0,09619	0,90381	0,99649
0,600	9,111	9,189	9,091	9,209	9,090	9,210	10,264	10,536	10,193	10,607	10,191	10,609	9,111	9,189	10,264	10,536	0,00371	0,09319	0,90681	0,99629
0,610	9,112	9,188	9,090	9,210	9,089	9,211	10,268	10,532	10,189	10,611	10,188	10,612	9,112	9,188	10,268	10,532	0,00391	0,09024	0,90976	0,99609
0,620	9,113	9,187	9,089	9,211	9,088	9,212	10,271	10,529	10,186	10,614	10,184	10,616	9,113	9,187	10,271	10,529	0,00412	0,08738	0,91262	0,99588
0,630	9,114	9,186	9,088	9,212	9,087	9,213	10,275	10,525	10,182	10,618	10,181	10,619	9,114	9,186	10,275	10,525	0,00434	0,08457	0,91543	0,99566
0,640	9,115	9,185	9,087	9,213	9,086	9,214	10,279	10,521	10,179	10,621	10,177	10,623	9,115	9,185	10,279	10,521	0,00458	0,08183	0,91817	0,99543
0,650	9,116	9,184	9,086	9,214	9,085	9,215	10,282	10,518	10,175	10,625	10,174	10,626	9,116	9,184	10,282	10,518	0,00482	0,07917	0,92083	0,99518
0,660	9,117	9,183	9,085	9,215	9,084	9,216	10,286	10,514	10,171	10,629	10,170	10,630	9,117	9,183	10,286	10,514	0,00507	0,07657	0,92343	0,99493
0,670	9,118	9,182	9,084	9,216	9,083	9,217	10,289	10,511	10,168	10,632	10,167	10,633	9,118	9,182	10,289	10,511	0,00534	0,07404	0,92596	0,99466
0,680	9,119	9,181	9,083	9,217	9,082	9,218	10,293	10,507	10,164	10,636	10,163	10,637	9,119	9,181	10,293	10,507	0,00562	0,07156	0,92844	0,99438
0,690	9,120	9,180	9,082	9,218	9,081	9,219	10,296	10,504	10,161	10,639	10,160	10,640	9,120	9,180	10,296	10,504	0,00591	0,06916	0,93084	0,99409
0,700	9,121	9,179	9,081	9,219	9,080	9,220	10,300	10,500	10,157	10,643	10,156	10,644	9,121	9,179	10,300	10,500	0,00622	0,06681	0,93319	0,99378
0,710	9,122	9,178	9,080	9,220	9,079	9,221	10,304	10,496	10,154	10,646	10,153	10,647	9,122	9,178	10,304	10,496	0,00654	0,06453	0,93547	0,99346

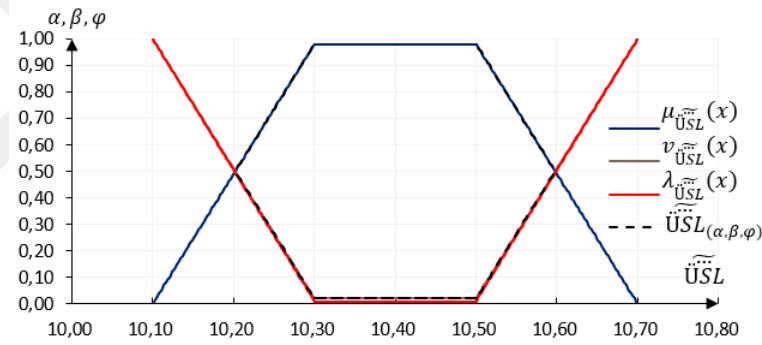
Tablo 6.6 TDÜN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri (devamı)

α, β, φ	ASL(α)		ASL(β)		ASL(φ)		ÜSL(α)		ÜSL(β)		ÜSL(φ)		ASL(α, β, φ)		ÜSL(α, β, φ)		PNl,d	PNr,d	PNl	PNr
0,720	9,123	9,177	9,079	9,221	9,078	9,222	10,307	10,493	10,150	10,650	10,149	10,651	9,123	9,177	10,307	10,493	0,00687	0,06231	0,93769	0,99313
0,730	9,124	9,176	9,078	9,222	9,077	9,223	10,311	10,489	10,146	10,654	10,145	10,655	9,124	9,176	10,311	10,489	0,00722	0,06015	0,93985	0,99278
0,740	9,126	9,174	9,077	9,223	9,076	9,224	10,314	10,486	10,143	10,657	10,142	10,658	9,126	9,174	10,314	10,486	0,00759	0,05805	0,94195	0,99241
0,750	9,127	9,173	9,076	9,224	9,075	9,225	10,318	10,482	10,139	10,661	10,138	10,662	9,127	9,173	10,318	10,482	0,00797	0,05600	0,94400	0,99203
0,760	9,128	9,172	9,074	9,226	9,074	9,226	10,321	10,479	10,136	10,664	10,135	10,665	9,128	9,172	10,321	10,479	0,00837	0,05402	0,94598	0,99163
0,770	9,129	9,171	9,073	9,227	9,073	9,227	10,325	10,475	10,132	10,668	10,131	10,669	9,129	9,171	10,325	10,475	0,00878	0,05209	0,94791	0,99122
0,780	9,130	9,170	9,072	9,228	9,072	9,228	10,329	10,471	10,129	10,671	10,128	10,672	9,130	9,170	10,329	10,471	0,00922	0,05021	0,94979	0,99078
0,790	9,131	9,169	9,071	9,229	9,071	9,229	10,332	10,468	10,125	10,675	10,124	10,676	9,131	9,169	10,332	10,468	0,00961	0,04839	0,95161	0,99039
0,800	9,132	9,168	9,070	9,230	9,070	9,230	10,336	10,464	10,121	10,679	10,121	10,679	9,132	9,168	10,336	10,464	0,01014	0,04662	0,95338	0,98986
0,810	9,133	9,167	9,069	9,231	9,069	9,231	10,339	10,461	10,118	10,682	10,117	10,683	9,133	9,167	10,339	10,461	0,01063	0,04491	0,95509	0,98937
0,820	9,134	9,166	9,068	9,232	9,068	9,232	10,343	10,457	10,114	10,686	10,114	10,686	9,134	9,166	10,343	10,457	0,01114	0,04324	0,95676	0,98886
0,830	9,135	9,165	9,067	9,233	9,067	9,233	10,346	10,454	10,111	10,689	10,110	10,690	9,135	9,165	10,346	10,454	0,01167	0,04163	0,95837	0,98833
0,840	9,136	9,164	9,066	9,234	9,066	9,234	10,350	10,450	10,107	10,693	10,107	10,693	9,136	9,164	10,350	10,450	0,01223	0,04006	0,95994	0,98777
0,850	9,137	9,163	9,065	9,235	9,065	9,235	10,354	10,446	10,104	10,696	10,103	10,697	9,137	9,163	10,354	10,446	0,01281	0,03854	0,96146	0,98719
0,860	9,138	9,162	9,064	9,236	9,064	9,236	10,357	10,443	10,100	10,700	10,099	10,701	9,138	9,162	10,357	10,443	0,01341	0,03708	0,96292	0,98659
0,870	9,139	9,161	9,063	9,237	9,063	9,237	10,361	10,439	10,096	10,704	10,096	10,704	9,139	9,161	10,361	10,439	0,01404	0,03565	0,96435	0,98596
0,880	9,140	9,160	9,062	9,238	9,062	9,238	10,364	10,436	10,093	10,707	10,092	10,708	9,140	9,160	10,364	10,436	0,01469	0,03428	0,96572	0,98531
0,890	9,141	9,159	9,061	9,239	9,061	9,239	10,368	10,432	10,089	10,711	10,089	10,711	9,141	9,159	10,368	10,432	0,01536	0,03294	0,96706	0,98464
0,900	9,142	9,158	9,060	9,240	9,060	9,240	10,371	10,429	10,086	10,714	10,085	10,715	9,142	9,158	10,371	10,429	0,01607	0,03165	0,96835	0,98393
0,910	9,143	9,157	9,059	9,241	9,059	9,241	10,375	10,425	10,082	10,718	10,082	10,718	9,143	9,157	10,375	10,425	0,01680	0,03040	0,96960	0,98320
0,920	9,144	9,156	9,058	9,242	9,058	9,242	10,379	10,421	10,079	10,721	10,078	10,722	9,144	9,156	10,379	10,421	0,01756	0,02919	0,97081	0,98244
0,930	9,145	9,155	9,057	9,243	9,057	9,243	10,382	10,418	10,075	10,725	10,075	10,725	9,145	9,155	10,382	10,418	0,01835	0,02803	0,97197	0,98165
0,940	9,146	9,154	9,056	9,244	9,056	9,244	10,386	10,414	10,071	10,729	10,071	10,729	9,146	9,154	10,386	10,414	0,01917	0,02690	0,97310	0,98083
0,950	9,147	9,153	9,055	9,245	9,055	9,245	10,389	10,411	10,068	10,732	10,068	10,732	9,147	9,153	10,389	10,411	0,02001	0,02581	0,97419	0,97999
0,960	9,148	9,152	9,054	9,246	9,054	9,246	10,393	10,407	10,064	10,736	10,064	10,736	9,148	9,152	10,393	10,407	0,0209	0,02475	0,97525	0,9791
0,970	9,149	9,151	9,053	9,247	9,053	9,247	10,396	10,404	10,061	10,739	10,061	10,739	9,149	9,151	10,396	10,404	0,02181	0,02374	0,97626	0,97819
0,980	9,150	9,150	9,052	9,248	9,052	9,248	10,400	10,400	10,057	10,743	10,057	10,743	9,150	9,150	10,400	10,400	0,02276	0,02276	0,97724	0,97724
0,990			9,051	9,249	9,051	9,249			10,054	10,746	10,054	10,746								
1,000			9,050	9,250	9,050	9,250			10,050	10,750	10,050	10,750								

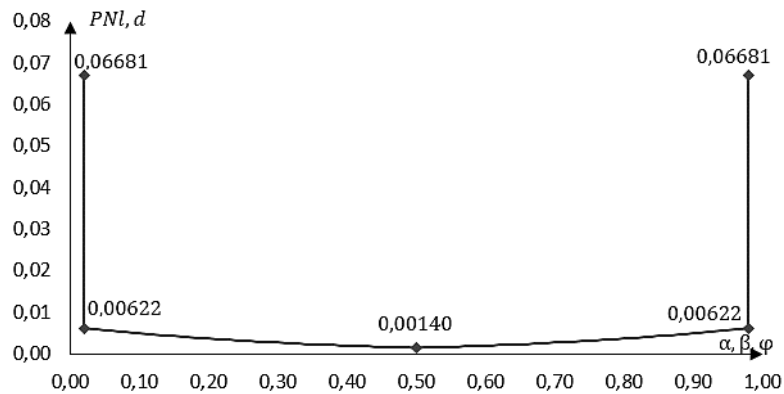
Dişlinin TDYN olarak tanımlanan spesifikasyon limitleri $\widetilde{A\ddot{S}L} = \langle (8,8; 9,0; 9,2; 9,4), 0,98; 0,02; 0,01 \rangle$, $\widetilde{Ü\ddot{S}L} = \langle (10,1; 10,3; 10,5; 10,7), 0,98; 0,02; 0,01 \rangle$ şeklinde ifade edilmesi durumunda tanım 5.51'deki TDYNS'nin (α, β, φ) kesimlerinden yararlanılarak sürecin spesifikasyon limitlerinin dışında kalma olasılığı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:



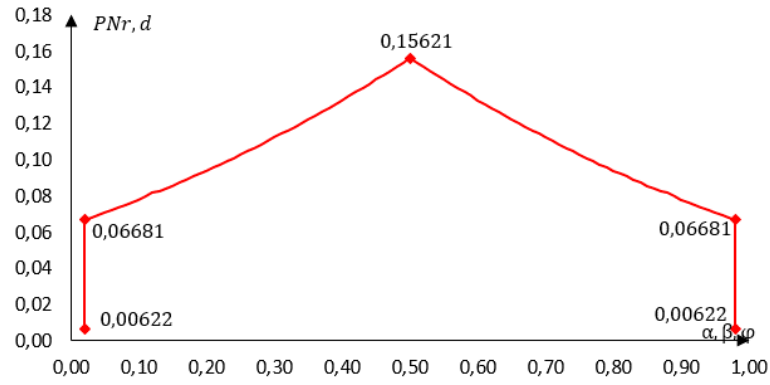
Şekil 6.40 TDYN olarak tanımlanan $\widetilde{A\ddot{S}L}$ 'nin (α, β, φ) kesimleri



Şekil 6.41 TDYN olarak tanımlanan $\widetilde{Ü\ddot{S}L}$ 'nin (α, β, φ) kesimleri



Şekil 6.42 TDYN olarak tanımlanan PNI, d değeri



Şekil 6.43 TDYN olarak tanımlanan PNr, d değeri

Sürecin spesifikasyon limitleri dışında olma olasılığının kesin değeri 0,1251'dir. TDYNS ile sürecin spesifikasyon limitleri dışında olma olasılığı hesaplandığında, PNl, d değerinin 0,06681'den başlayarak 0,0014'e kadar indiği ve tekrardan 0,06681'e çıktığı görülmektedir. PNl, d değeri 0,0014-0,06681 aralığındadır. PNr, d değerinin 0,00622'den başlayarak 0,15621'e kadar çıktığı ve tekrardan 0,00622'ye kadar azaldığı görülmektedir. PNr, d değeri 0,00622-0,15621 aralığındadır. Sürecin spesifikasyon limitleri dışında kusurlu çıktılar üretme olasılığı 0,0014-0,15621 aralığında olduğu sonucuna varılmıştır. Çıkan sonuçlar, süreç hakkında daha fazla bilgi sahibi olmamızı sağlamakla birlikte belirsizliği de ele aldığı için süreç hakkında daha gerçekçi bilgiler vermektedir. Tablo 6.7'de TDYN olarak tanımlanan spesifikasyon limitleri ve ortalamanın (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri gösterilmiştir.

Tablo 6.7 TDYN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri

α, β, φ	ASL(α)		ASL(β)		ASL(φ)		ÜSL(α)		ÜSL(β)		ÜSL(φ)		ASL(α, β, φ)		ÜSL(α, β, φ)		PNL,d	PNr,d	PNL	PNr
0,000	8,800	9,400					10,100	10,700												
0,010	8,802	9,398			9,000	9,200	10,102	10,698			10,300	10,500								
0,020	8,804	9,396	9,000	9,200	8,998	9,202	10,104	10,696	10,300	10,500	10,298	10,502	9,000	9,200	10,300	10,500	0,00622	0,06681	0,93319	0,99378
0,030	8,806	9,394	8,998	9,202	8,996	9,204	10,106	10,694	10,298	10,502	10,296	10,504	8,998	9,202	10,298	10,502	0,00604	0,06814	0,93186	0,99396
0,040	8,808	9,392	8,996	9,204	8,994	9,206	10,108	10,692	10,296	10,504	10,294	10,506	8,996	9,204	10,296	10,504	0,00587	0,06950	0,93050	0,99413
0,050	8,810	9,390	8,994	9,206	8,992	9,208	10,110	10,690	10,294	10,506	10,292	10,508	8,994	9,206	10,294	10,506	0,00570	0,07087	0,92913	0,99430
0,060	8,812	9,388	8,992	9,208	8,990	9,210	10,112	10,688	10,292	10,508	10,290	10,510	8,992	9,208	10,292	10,508	0,00554	0,07226	0,92774	0,99446
0,070	8,814	9,386	8,990	9,210	8,988	9,212	10,114	10,686	10,290	10,510	10,288	10,512	8,990	9,210	10,290	10,510	0,00538	0,07367	0,92633	0,99462
0,080	8,816	9,384	8,988	9,212	8,986	9,214	10,116	10,684	10,288	10,512	10,286	10,514	8,988	9,212	10,288	10,512	0,00522	0,07511	0,92489	0,99478
0,090	8,818	9,382	8,986	9,214	8,984	9,216	10,118	10,682	10,286	10,514	10,284	10,516	8,986	9,214	10,286	10,514	0,00507	0,07657	0,92343	0,99493
0,100	8,820	9,380	8,984	9,216	8,982	9,218	10,120	10,680	10,284	10,516	10,282	10,518	8,984	9,216	10,284	10,516	0,00493	0,07804	0,92196	0,99507
0,110	8,822	9,378	8,982	9,218	8,980	9,220	10,122	10,678	10,282	10,518	10,280	10,520	8,982	9,218	10,282	10,518	0,00475	0,07954	0,92046	0,99525
0,120	8,824	9,376	8,980	9,220	8,978	9,222	10,124	10,676	10,280	10,520	10,278	10,522	8,980	9,220	10,280	10,520	0,00464	0,08176	0,91824	0,99536
0,130	8,827	9,373	8,978	9,222	8,976	9,224	10,127	10,673	10,278	10,522	10,276	10,524	8,978	9,222	10,278	10,522	0,00451	0,08260	0,91740	0,99549
0,140	8,829	9,371	8,976	9,224	8,974	9,226	10,129	10,671	10,276	10,524	10,274	10,526	8,976	9,224	10,276	10,524	0,00437	0,08417	0,91583	0,99563
0,150	8,831	9,369	8,973	9,227	8,972	9,228	10,131	10,669	10,273	10,527	10,272	10,528	8,973	9,227	10,273	10,527	0,00424	0,08577	0,91423	0,99576
0,160	8,833	9,367	8,971	9,229	8,970	9,230	10,133	10,667	10,271	10,529	10,270	10,530	8,971	9,229	10,271	10,529	0,00412	0,08738	0,91262	0,99588
0,170	8,835	9,365	8,969	9,231	8,968	9,232	10,135	10,665	10,269	10,531	10,268	10,532	8,969	9,231	10,269	10,531	0,00400	0,08901	0,91099	0,99600
0,180	8,837	9,363	8,967	9,233	8,966	9,234	10,137	10,663	10,267	10,533	10,266	10,534	8,967	9,233	10,267	10,533	0,00388	0,09067	0,90933	0,99612
0,190	8,839	9,361	8,965	9,235	8,964	9,236	10,139	10,661	10,265	10,535	10,264	10,536	8,965	9,235	10,265	10,535	0,00376	0,09234	0,90766	0,99624
0,200	8,841	9,359	8,963	9,237	8,962	9,238	10,141	10,659	10,263	10,537	10,262	10,538	8,963	9,237	10,263	10,537	0,00365	0,09404	0,90596	0,99635
0,210	8,843	9,357	8,961	9,239	8,960	9,240	10,143	10,657	10,261	10,539	10,260	10,540	8,961	9,239	10,261	10,539	0,00354	0,09576	0,90424	0,99646
0,220	8,845	9,355	8,959	9,241	8,958	9,242	10,145	10,655	10,259	10,541	10,258	10,542	8,959	9,241	10,259	10,541	0,00343	0,09751	0,90249	0,99657
0,230	8,847	9,353	8,957	9,243	8,956	9,244	10,147	10,653	10,257	10,543	10,256	10,544	8,957	9,243	10,257	10,543	0,00333	0,09928	0,90072	0,99667
0,240	8,849	9,351	8,955	9,245	8,954	9,246	10,149	10,651	10,255	10,545	10,254	10,546	8,955	9,245	10,255	10,545	0,00323	0,10101	0,89899	0,99677
0,250	8,851	9,349	8,953	9,247	8,952	9,248	10,151	10,649	10,253	10,547	10,252	10,548	8,953	9,247	10,253	10,547	0,00313	0,10281	0,89719	0,99687
0,260	8,853	9,347	8,951	9,249	8,949	9,251	10,153	10,647	10,251	10,549	10,249	10,551	8,951	9,249	10,251	10,549	0,00304	0,10471	0,89529	0,99696
0,270	8,855	9,345	8,949	9,251	8,947	9,253	10,155	10,645	10,249	10,551	10,247	10,553	8,949	9,251	10,249	10,551	0,00294	0,10651	0,89349	0,99706
0,280	8,857	9,343	8,947	9,253	8,945	9,255	10,157	10,643	10,247	10,553	10,245	10,555	8,947	9,253	10,247	10,553	0,00285	0,10841	0,89159	0,99715
0,290	8,859	9,341	8,945	9,255	8,943	9,257	10,159	10,641	10,245	10,555	10,243	10,557	8,945	9,255	10,245	10,555	0,00276	0,11031	0,88969	0,99724
0,300	8,861	9,339	8,943	9,257	8,941	9,259	10,161	10,639	10,243	10,557	10,241	10,559	8,943	9,257	10,243	10,557	0,00268	0,11231	0,88769	0,99732
0,310	8,863	9,337	8,941	9,259	8,939	9,261	10,163	10,637	10,241	10,559	10,239	10,561	8,941	9,259	10,241	10,559	0,00260	0,11429	0,88571	0,99740
0,320	8,865	9,335	8,939	9,261	8,937	9,263	10,165	10,635	10,239	10,561	10,237	10,563	8,939	9,261	10,239	10,561	0,00252	0,11627	0,88373	0,99748
0,330	8,867	9,333	8,937	9,263	8,935	9,265	10,167	10,633	10,237	10,563	10,235	10,565	8,937	9,263	10,237	10,563	0,00244	0,11828	0,88172	0,99756
0,340	8,869	9,331	8,935	9,265	8,933	9,267	10,169	10,631	10,235	10,565	10,233	10,567	8,935	9,265	10,235	10,565	0,00236	0,12031	0,87969	0,99764

Tablo 6.7 TDYN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri (devamı)

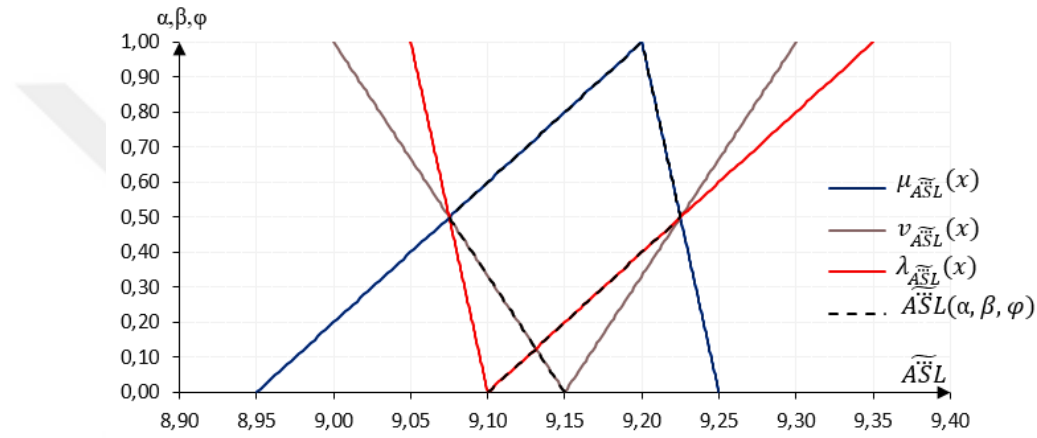
α, β, φ	ASL(α)		ASL(β)		ASL(φ)		$\ddot{U}SL(\alpha)$		$\ddot{U}SL(\beta)$		$\ddot{U}SL(\varphi)$		ASL(α, β, φ)		$\ddot{U}SL(\alpha, \beta, \varphi)$		PNl,d	PNr,d	PNl	PNr
0,350	8,871	9,329	8,933	9,267	8,931	9,269	10,171	10,629	10,233	10,567	10,231	10,569	8,933	9,267	10,233	10,567	0,00229	0,12236	0,87764	0,99771
0,360	8,873	9,327	8,931	9,269	8,929	9,271	10,173	10,627	10,231	10,569	10,229	10,571	8,931	9,269	10,231	10,569	0,00222	0,12444	0,87556	0,99778
0,370	8,876	9,324	8,929	9,271	8,927	9,273	10,176	10,624	10,229	10,571	10,227	10,573	8,929	9,271	10,229	10,571	0,00215	0,12655	0,87345	0,99785
0,380	8,878	9,322	8,927	9,273	8,925	9,275	10,178	10,622	10,227	10,573	10,225	10,575	8,927	9,273	10,227	10,573	0,00208	0,12868	0,87132	0,99792
0,390	8,880	9,320	8,924	9,276	8,923	9,277	10,180	10,620	10,224	10,576	10,223	10,577	8,924	9,276	10,224	10,576	0,00201	0,13086	0,86914	0,99799
0,400	8,882	9,318	8,922	9,278	8,921	9,279	10,182	10,618	10,222	10,578	10,221	10,579	8,922	9,278	10,222	10,578	0,00195	0,13304	0,86696	0,99805
0,410	8,884	9,316	8,920	9,280	8,919	9,281	10,184	10,616	10,220	10,580	10,219	10,581	8,920	9,280	10,220	10,580	0,00189	0,13524	0,86476	0,99811
0,420	8,886	9,314	8,918	9,282	8,917	9,283	10,186	10,614	10,218	10,582	10,217	10,583	8,918	9,282	10,218	10,582	0,00183	0,13747	0,86253	0,99817
0,430	8,888	9,312	8,916	9,284	8,915	9,285	10,188	10,612	10,216	10,584	10,215	10,585	8,916	9,284	10,216	10,584	0,00177	0,13973	0,86027	0,99823
0,440	8,890	9,310	8,914	9,286	8,913	9,287	10,190	10,610	10,214	10,586	10,213	10,587	8,914	9,286	10,214	10,586	0,00171	0,14200	0,85800	0,99829
0,450	8,892	9,308	8,912	9,288	8,911	9,289	10,192	10,608	10,212	10,588	10,211	10,589	8,912	9,288	10,212	10,588	0,00166	0,14431	0,85569	0,99834
0,460	8,894	9,306	8,910	9,290	8,909	9,291	10,194	10,606	10,210	10,590	10,209	10,591	8,910	9,290	10,210	10,590	0,00160	0,14664	0,85336	0,99840
0,470	8,896	9,304	8,908	9,292	8,907	9,293	10,196	10,604	10,208	10,592	10,207	10,593	8,908	9,292	10,208	10,592	0,00155	0,14899	0,85101	0,99845
0,480	8,898	9,302	8,906	9,294	8,905	9,295	10,198	10,602	10,206	10,594	10,205	10,595	8,906	9,294	10,206	10,594	0,00150	0,15137	0,84863	0,99850
0,490	8,900	9,300	8,904	9,296	8,903	9,297	10,200	10,600	10,204	10,596	10,203	10,597	8,904	9,296	10,204	10,596	0,00145	0,15378	0,84622	0,99855
0,500	8,902	9,298	8,902	9,298	8,901	9,299	10,202	10,598	10,202	10,598	10,201	10,599	8,902	9,298	10,202	10,598	0,00140	0,15621	0,84379	0,99860
0,510	8,904	9,296	8,900	9,300	8,899	9,301	10,204	10,596	10,200	10,600	10,199	10,601	8,904	9,296	10,204	10,596	0,00145	0,15378	0,84622	0,99855
0,520	8,906	9,294	8,898	9,302	8,897	9,303	10,206	10,594	10,198	10,602	10,197	10,603	8,906	9,294	10,206	10,594	0,00150	0,15137	0,84863	0,99850
0,530	8,908	9,292	8,896	9,304	8,895	9,305	10,208	10,592	10,196	10,604	10,195	10,605	8,908	9,292	10,208	10,592	0,00155	0,14899	0,85101	0,99845
0,540	8,910	9,290	8,894	9,306	8,893	9,307	10,210	10,590	10,194	10,606	10,193	10,607	8,910	9,290	10,210	10,590	0,00160	0,14664	0,85336	0,99840
0,550	8,912	9,288	8,892	9,308	8,891	9,309	10,212	10,588	10,192	10,608	10,191	10,609	8,912	9,288	10,212	10,588	0,00166	0,14431	0,85569	0,99834
0,560	8,914	9,286	8,890	9,310	8,889	9,311	10,214	10,586	10,190	10,610	10,189	10,611	8,914	9,286	10,214	10,586	0,00171	0,14200	0,85800	0,99829
0,570	8,916	9,284	8,888	9,312	8,887	9,313	10,216	10,584	10,188	10,612	10,187	10,613	8,916	9,284	10,216	10,584	0,00177	0,13973	0,86027	0,99823
0,580	8,918	9,282	8,886	9,314	8,885	9,315	10,218	10,582	10,186	10,614	10,185	10,615	8,918	9,282	10,218	10,582	0,00183	0,13747	0,86253	0,99817
0,590	8,920	9,280	8,884	9,316	8,883	9,317	10,220	10,580	10,184	10,616	10,183	10,617	8,920	9,280	10,220	10,580	0,00189	0,13524	0,86476	0,99811
0,600	8,922	9,278	8,882	9,318	8,881	9,319	10,222	10,578	10,182	10,618	10,181	10,619	8,922	9,278	10,222	10,578	0,00195	0,13304	0,86696	0,99805
0,610	8,924	9,276	8,880	9,320	8,879	9,321	10,224	10,576	10,180	10,620	10,179	10,621	8,924	9,276	10,224	10,576	0,00201	0,13086	0,86914	0,99799
0,620	8,927	9,273	8,878	9,322	8,877	9,323	10,227	10,573	10,178	10,622	10,177	10,623	8,927	9,273	10,227	10,573	0,00208	0,12868	0,87132	0,99792
0,630	8,929	9,271	8,876	9,324	8,875	9,325	10,229	10,571	10,176	10,624	10,175	10,625	8,929	9,271	10,229	10,571	0,00215	0,12655	0,87345	0,99785
0,640	8,931	9,269	8,873	9,327	8,873	9,327	10,231	10,569	10,173	10,627	10,173	10,627	8,931	9,269	10,231	10,569	0,00222	0,12444	0,87556	0,99778
0,650	8,933	9,267	8,871	9,329	8,871	9,329	10,233	10,567	10,171	10,629	10,171	10,629	8,933	9,267	10,233	10,567	0,00229	0,12236	0,87764	0,99771
0,660	8,935	9,265	8,869	9,331	8,869	9,331	10,235	10,565	10,169	10,631	10,169	10,631	8,935	9,265	10,235	10,565	0,00236	0,12031	0,87969	0,99764
0,670	8,937	9,263	8,867	9,333	8,867	9,333	10,237	10,563	10,167	10,633	10,167	10,633	8,937	9,263	10,237	10,563	0,00244	0,11828	0,88172	0,99756
0,680	8,939	9,261	8,865	9,335	8,865	9,335	10,239	10,561	10,165	10,635	10,165	10,635	8,939	9,261	10,239	10,561	0,00252	0,11627	0,88373	0,99748
0,690	8,941	9,259	8,863	9,337	8,863	9,337	10,241	10,559	10,163	10,637	10,163	10,637	8,941	9,259	10,241	10,559	0,00260	0,11429	0,88571	0,99740
0,700	8,943	9,257	8,861	9,339	8,861	9,339	10,243	10,557	10,161	10,639	10,161	10,639	8,943	9,257	10,243	10,557	0,00268	0,11231	0,88769	0,99732

Tablo 6.7 TDYN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri (devamı)

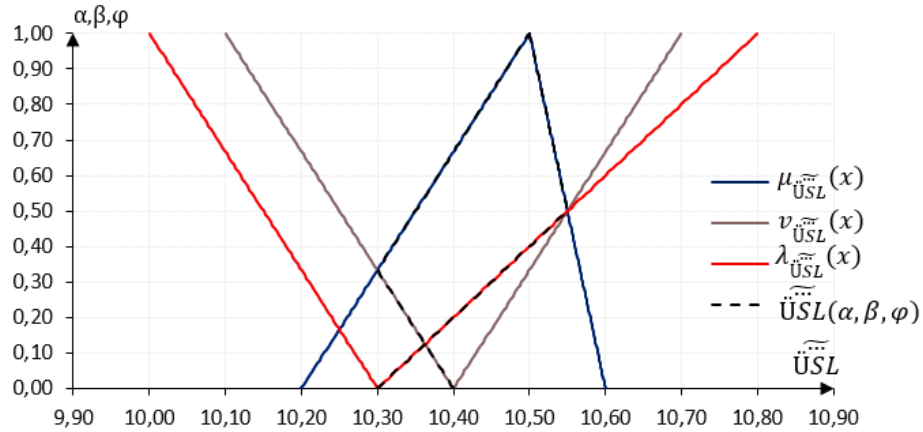
α, β, φ	ASL(α)			ASL(β)			ASL(φ)			ÜSL(α)			ÜSL(β)			ÜSL(φ)			ASL(α, β, φ)			ÜSL(α, β, φ)			PNl,d	PNr,d	PNl	PNr
0,710	8,945	9,255	8,859	9,341	8,859	9,341	10,245	10,555	10,159	10,641	10,159	10,641	8,945	9,255	10,245	10,555	0,00276	0,11031	0,88969	0,99724								
0,720	8,947	9,253	8,857	9,343	8,857	9,343	10,247	10,553	10,157	10,643	10,157	10,643	8,947	9,253	10,247	10,553	0,00285	0,10841	0,89159	0,99715								
0,730	8,949	9,251	8,855	9,345	8,855	9,345	10,249	10,551	10,155	10,645	10,155	10,645	8,949	9,251	10,249	10,551	0,00294	0,10651	0,89349	0,99706								
0,740	8,951	9,249	8,853	9,347	8,853	9,347	10,251	10,549	10,153	10,647	10,153	10,647	8,951	9,249	10,251	10,549	0,00304	0,10471	0,89529	0,99696								
0,750	8,953	9,247	8,851	9,349	8,851	9,349	10,253	10,547	10,151	10,649	10,151	10,649	8,953	9,247	10,253	10,547	0,00313	0,10281	0,89719	0,99687								
0,760	8,955	9,245	8,849	9,351	8,848	9,352	10,255	10,545	10,149	10,651	10,148	10,652	8,955	9,245	10,255	10,545	0,00323	0,10101	0,89899	0,99677								
0,770	8,957	9,243	8,847	9,353	8,846	9,354	10,257	10,543	10,147	10,653	10,146	10,654	8,957	9,243	10,257	10,543	0,00333	0,09928	0,90072	0,99667								
0,780	8,959	9,241	8,845	9,355	8,844	9,356	10,259	10,541	10,145	10,655	10,144	10,656	8,959	9,241	10,259	10,541	0,00343	0,09751	0,90249	0,99657								
0,790	8,961	9,239	8,843	9,357	8,842	9,358	10,261	10,539	10,143	10,657	10,142	10,658	8,961	9,239	10,261	10,539	0,00354	0,09576	0,90424	0,99646								
0,800	8,963	9,237	8,841	9,359	8,840	9,360	10,263	10,537	10,141	10,659	10,140	10,660	8,963	9,237	10,263	10,537	0,00365	0,09404	0,90596	0,99635								
0,810	8,965	9,235	8,839	9,361	8,838	9,362	10,265	10,535	10,139	10,661	10,138	10,662	8,965	9,235	10,265	10,535	0,00376	0,09234	0,90766	0,99624								
0,820	8,967	9,233	8,837	9,363	8,836	9,364	10,267	10,533	10,137	10,663	10,136	10,664	8,967	9,233	10,267	10,533	0,00388	0,09067	0,90933	0,99612								
0,830	8,969	9,231	8,835	9,365	8,834	9,366	10,269	10,531	10,135	10,665	10,134	10,666	8,969	9,231	10,269	10,531	0,00400	0,08901	0,91099	0,99600								
0,840	8,971	9,229	8,833	9,367	8,832	9,368	10,271	10,529	10,133	10,667	10,132	10,668	8,971	9,229	10,271	10,529	0,00412	0,08738	0,91262	0,99588								
0,850	8,973	9,227	8,831	9,369	8,830	9,370	10,273	10,527	10,131	10,669	10,130	10,670	8,973	9,227	10,273	10,527	0,00424	0,08577	0,91423	0,99576								
0,860	8,976	9,224	8,829	9,371	8,828	9,372	10,276	10,524	10,129	10,671	10,128	10,672	8,976	9,224	10,276	10,524	0,00437	0,08417	0,91583	0,99563								
0,870	8,978	9,222	8,827	9,373	8,826	9,374	10,278	10,522	10,127	10,673	10,126	10,674	8,978	9,222	10,278	10,522	0,00451	0,08260	0,91740	0,99549								
0,880	8,980	9,220	8,824	9,376	8,824	9,376	10,280	10,520	10,124	10,676	10,124	10,676	8,980	9,220	10,280	10,520	0,00464	0,08176	0,91824	0,99536								
0,890	8,982	9,218	8,822	9,378	8,822	9,378	10,282	10,518	10,122	10,678	10,122	10,678	8,982	9,218	10,282	10,518	0,00475	0,07954	0,92046	0,99525								
0,900	8,984	9,216	8,820	9,380	8,820	9,380	10,284	10,516	10,120	10,680	10,120	10,680	8,984	9,216	10,284	10,516	0,00493	0,07804	0,92196	0,99507								
0,910	8,986	9,214	8,818	9,382	8,818	9,382	10,286	10,514	10,118	10,682	10,118	10,682	8,986	9,214	10,286	10,514	0,00507	0,07657	0,92343	0,99493								
0,920	8,988	9,212	8,816	9,384	8,816	9,384	10,288	10,512	10,116	10,684	10,116	10,684	8,988	9,212	10,288	10,512	0,00522	0,07511	0,92489	0,99478								
0,930	8,990	9,210	8,814	9,386	8,814	9,386	10,290	10,510	10,114	10,686	10,114	10,686	8,990	9,210	10,290	10,510	0,00538	0,07367	0,92633	0,99462								
0,940	8,992	9,208	8,812	9,388	8,812	9,388	10,292	10,508	10,112	10,688	10,112	10,688	8,992	9,208	10,292	10,508	0,00554	0,07226	0,92774	0,99446								
0,950	8,994	9,206	8,810	9,390	8,810	9,390	10,294	10,506	10,110	10,690	10,110	10,690	8,994	9,206	10,294	10,506	0,00570	0,07087	0,92913	0,99430								
0,960	8,996	9,204	8,808	9,392	8,808	9,392	10,296	10,504	10,108	10,692	10,108	10,692	8,996	9,204	10,296	10,504	0,00587	0,06950	0,93050	0,99413								
0,970	8,998	9,202	8,806	9,394	8,806	9,394	10,298	10,502	10,106	10,694	10,106	10,694	8,998	9,202	10,298	10,502	0,00604	0,06814	0,93186	0,99396								
0,980	9,000	9,200	8,804	9,396	8,804	9,396	10,300	10,500	10,104	10,696	10,104	10,696	9,000	9,200	10,300	10,500	0,00622	0,06681	0,93319	0,99378								
0,990			8,802	9,398	8,802	9,398			10,102	10,698	10,102	10,698																
1,000			8,800	9,400	8,800	9,400			10,100	10,700	10,100	10,700																

6.2.2 Spesifikasyon Limitlerinin Esnek Tek Değerli Nötrosofik Sayı Olma Durumu

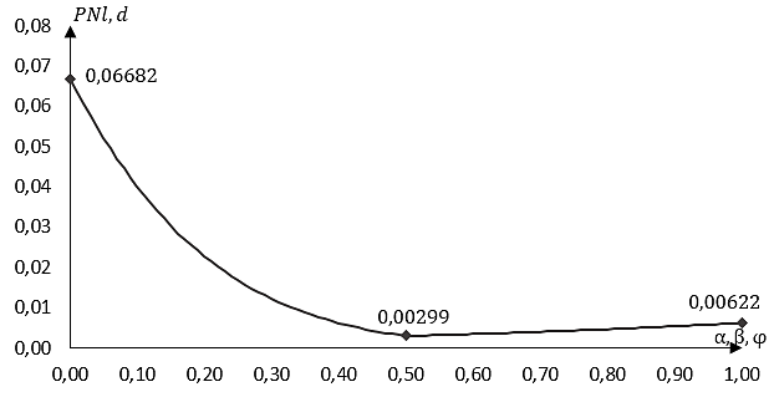
Dişlinin esnek TDÜN olarak tanımlanan spesifikasyon limitleri $\widetilde{\widetilde{A\dot{S}L}} = \langle (8,95; 9,20; 9,25), (9,00; 9,15; 9,30), (9,05; 9,10; 9,35) \rangle$ ve $\widetilde{\widetilde{Ü\dot{S}L}} = \langle (10,20; 10,50; 10,60), (10,10; 10,40; 10,70), (10,00; 10,30; 10,80) \rangle$ şeklinde ifade edilmesi durumunda tanım 5.52'deki TDÜNS'nin (α, β, φ) kesimlerinden yararlanılarak sürecin spesifikasyon limitleri dışında kalma olasılığı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:



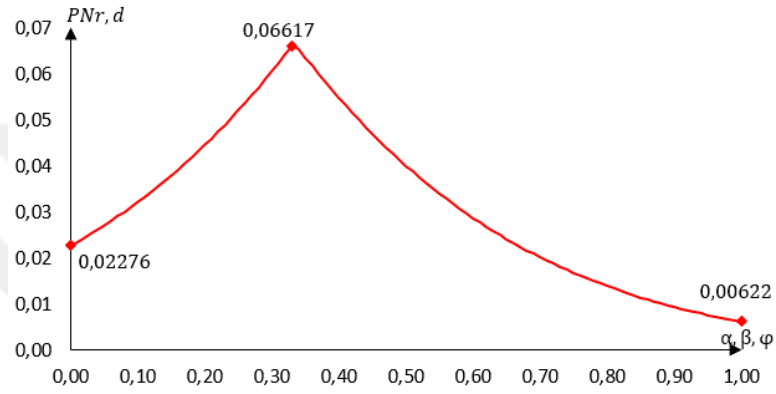
Şekil 6.44 Esnek TDÜN olarak tanımlanan $\widetilde{\widetilde{A\dot{S}L}}$ 'nin (α, β, φ) kesimleri



Şekil 6.45 Esnek TDÜN olarak tanımlanan $\widetilde{\widetilde{Ü\dot{S}L}}$ 'nin (α, β, φ) kesimleri



Şekil 6.46 Esnek TDÜN olarak tanımlanan PNL, d değeri



Şekil 6.47 Esnek TDÜN olarak tanımlanan PNr, d değeri

Sürecin spesifikasyon limitleri dışında olma olasılığının kesin değeri 0,02276'dır. Esnek TDÜNS ile sürecin spesifikasyon limitleri dışında olma olasılığı hesaplandığında, PNL, d değerinin 0,06682'den başlayarak 0,00299'a kadar indiği ve tekrardan 0,00622'e çıktığı görülmektedir. PNr, d değerinin 0,02276'dan başlayarak 0,06617'ye kadar çıktığı ve tekrardan 0,00622'e kadar azaldığı görülmektedir. Sürecin spesifikasyon limitleri dışında kusurlu çıktı üretme olasılığı 0,00299-0,06617 aralığında olduğu sonucuna varılmıştır. Çıkan sonuçlar, süreç hakkında daha fazla bilgi sahibi olmamızı sağlamakta, belirsizliği dikkate aldığı için süreç hakkında daha gerçekçi bilgiler vermekte ve esnekliği sebebiyle sürecin değerlendirmesinde kolaylık sağlamaktadır. Tablo 6.8'de esnek TDÜN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri gösterilmiştir.

Tablo 6.8 Esnek TDÜN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri

α, β, φ	ASL(α)		ASL(β)		ASL(φ)		ÜSL(α)		ÜSL(β)		ÜSL(φ)		ASL(α, β, φ)		ÜSL(α, β, φ)		PNL,d	PNr,d	PNL	PNr
0,000	8,950	9,250	9,150	9,150	9,100	9,100	10,200	10,600	10,400	10,400	10,300	10,300	9,150	9,100	10,400	10,300	0,06682	0,02276	0,97724	0,93318
0,010	8,953	9,250	9,149	9,152	9,100	9,103	10,203	10,599	10,397	10,403	10,297	10,305	9,149	9,103	10,397	10,305	0,06364	0,02358	0,97642	0,93636
0,020	8,955	9,249	9,147	9,153	9,099	9,105	10,206	10,598	10,394	10,406	10,294	10,310	9,147	9,105	10,394	10,310	0,06058	0,02443	0,97557	0,93942
0,030	8,958	9,249	9,146	9,155	9,099	9,108	10,209	10,597	10,391	10,409	10,291	10,315	9,146	9,108	10,391	10,315	0,05764	0,02530	0,97470	0,94236
0,040	8,960	9,248	9,144	9,156	9,098	9,110	10,212	10,596	10,388	10,412	10,288	10,320	9,144	9,110	10,388	10,320	0,05481	0,02620	0,97380	0,94519
0,050	8,963	9,248	9,143	9,158	9,098	9,113	10,215	10,595	10,385	10,415	10,285	10,325	9,143	9,113	10,385	10,325	0,05209	0,02712	0,97288	0,94791
0,060	8,965	9,247	9,141	9,159	9,097	9,115	10,218	10,594	10,382	10,418	10,282	10,330	9,141	9,115	10,382	10,330	0,04948	0,02808	0,97192	0,95052
0,070	8,968	9,247	9,140	9,161	9,097	9,118	10,221	10,593	10,379	10,421	10,279	10,335	9,140	9,118	10,379	10,335	0,04698	0,02906	0,97094	0,95302
0,080	8,970	9,246	9,138	9,162	9,096	9,120	10,224	10,592	10,376	10,424	10,276	10,340	9,138	9,120	10,376	10,340	0,04458	0,03006	0,96994	0,95542
0,090	8,973	9,246	9,137	9,164	9,096	9,123	10,227	10,591	10,373	10,427	10,273	10,345	9,137	9,123	10,373	10,345	0,04227	0,03110	0,96890	0,95773
0,100	8,975	9,245	9,135	9,165	9,095	9,125	10,230	10,590	10,370	10,430	10,270	10,350	9,135	9,125	10,370	10,350	0,04007	0,03217	0,96783	0,95993
0,110	8,978	9,245	9,134	9,167	9,095	9,128	10,233	10,589	10,367	10,433	10,267	10,355	9,134	9,128	10,367	10,355	0,03796	0,03326	0,96674	0,96204
0,120	8,980	9,244	9,132	9,168	9,094	9,130	10,236	10,588	10,364	10,436	10,264	10,360	9,132	9,130	10,364	10,360	0,03594	0,03439	0,96561	0,96406
0,130	8,983	9,244	9,131	9,170	9,094	9,133	10,239	10,587	10,361	10,439	10,261	10,365	9,131	9,133	10,361	10,365	0,03401	0,03555	0,96445	0,96599
0,140	8,985	9,243	9,129	9,171	9,093	9,135	10,242	10,586	10,358	10,442	10,258	10,370	9,129	9,135	10,358	10,370	0,03217	0,03674	0,96326	0,96783
0,150	8,988	9,243	9,128	9,173	9,093	9,138	10,245	10,585	10,355	10,445	10,255	10,375	9,128	9,138	10,355	10,375	0,03041	0,03796	0,96204	0,96959
0,160	8,990	9,242	9,126	9,174	9,092	9,140	10,248	10,584	10,352	10,448	10,252	10,380	9,126	9,140	10,352	10,380	0,02843	0,03921	0,96079	0,97157
0,170	8,993	9,242	9,125	9,176	9,092	9,143	10,251	10,583	10,349	10,451	10,249	10,385	9,125	9,143	10,349	10,385	0,02712	0,04050	0,95950	0,97288
0,180	8,995	9,241	9,123	9,177	9,091	9,145	10,254	10,582	10,346	10,454	10,246	10,390	9,123	9,145	10,346	10,390	0,02560	0,04183	0,95817	0,97440
0,190	8,998	9,241	9,122	9,179	9,091	9,148	10,257	10,581	10,343	10,457	10,243	10,395	9,122	9,148	10,343	10,395	0,02414	0,04318	0,95682	0,97586
0,200	9,000	9,240	9,120	9,180	9,090	9,150	10,260	10,580	10,340	10,460	10,240	10,400	9,120	9,150	10,340	10,400	0,02276	0,04458	0,95542	0,97724
0,210	9,003	9,240	9,119	9,182	9,090	9,153	10,263	10,579	10,337	10,463	10,237	10,405	9,119	9,153	10,337	10,405	0,02144	0,04600	0,95400	0,97856
0,220	9,005	9,239	9,117	9,183	9,089	9,155	10,266	10,578	10,334	10,466	10,234	10,410	9,117	9,155	10,334	10,410	0,02019	0,04747	0,95253	0,97981
0,230	9,008	9,239	9,116	9,185	9,089	9,158	10,269	10,577	10,331	10,469	10,231	10,415	9,116	9,158	10,331	10,415	0,01900	0,04897	0,95103	0,98100
0,240	9,010	9,238	9,114	9,186	9,088	9,160	10,272	10,576	10,328	10,472	10,228	10,420	9,114	9,160	10,328	10,420	0,01787	0,05051	0,94949	0,98213
0,250	9,013	9,238	9,113	9,188	9,088	9,163	10,275	10,575	10,325	10,475	10,225	10,425	9,113	9,163	10,325	10,425	0,01680	0,05209	0,94791	0,98320
0,260	9,015	9,237	9,111	9,189	9,087	9,165	10,278	10,574	10,322	10,478	10,222	10,430	9,111	9,165	10,322	10,430	0,01579	0,05371	0,94629	0,98421
0,270	9,018	9,237	9,110	9,191	9,087	9,168	10,281	10,573	10,319	10,481	10,219	10,435	9,110	9,168	10,319	10,435	0,01483	0,05537	0,94463	0,98517
0,280	9,020	9,236	9,108	9,192	9,086	9,170	10,284	10,572	10,316	10,484	10,216	10,440	9,108	9,170	10,316	10,440	0,01391	0,05706	0,94294	0,98609
0,290	9,023	9,236	9,107	9,194	9,086	9,173	10,287	10,571	10,313	10,487	10,213	10,445	9,107	9,173	10,313	10,445	0,01305	0,05880	0,94120	0,98695
0,300	9,025	9,235	9,105	9,195	9,085	9,175	10,290	10,570	10,310	10,490	10,210	10,450	9,105	9,175	10,310	10,450	0,01223	0,06058	0,93942	0,98777
0,310	9,028	9,235	9,104	9,197	9,085	9,178	10,293	10,569	10,307	10,493	10,207	10,455	9,104	9,178	10,307	10,455	0,01146	0,06240	0,93760	0,98854
0,320	9,030	9,234	9,102	9,198	9,084	9,180	10,296	10,568	10,304	10,496	10,204	10,460	9,102	9,180	10,304	10,460	0,01073	0,06427	0,93573	0,98927
0,330	9,033	9,234	9,101	9,200	9,084	9,183	10,299	10,567	10,301	10,499	10,201	10,465	9,101	9,183	10,301	10,465	0,01005	0,06617	0,93383	0,98995
0,340	9,035	9,233	9,099	9,201	9,083	9,185	10,302	10,566	10,298	10,502	10,198	10,470	9,099	9,185	10,302	10,470	0,00940	0,06553	0,93447	0,99060

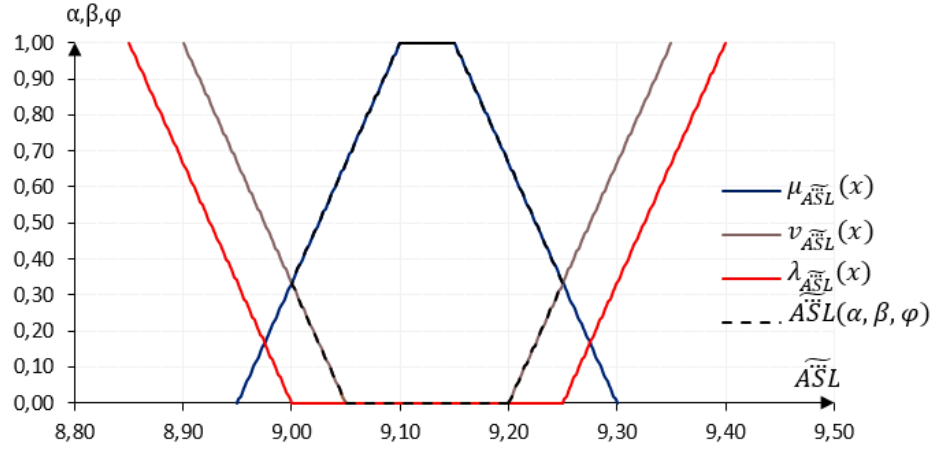
Tablo 6.8 Esnek TDÜN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri
(devamı)

α, β, φ	ASL(α)			ASL(β)			ASL(φ)			ÜSL(α)			ÜSL(β)			ÜSL(φ)			ASL(α, β, φ)			ÜSL(α, β, φ)			PNL _d	PNr _d	PNL	PNr
0,350	9,038	9,233	9,098	9,203	9,083	9,188	10,305	10,565	10,295	10,505	10,195	10,475	9,098	9,188	10,305	10,475	0,00878	0,06364	0,93636	0,99122								
0,360	9,040	9,232	9,096	9,204	9,082	9,190	10,308	10,564	10,292	10,508	10,192	10,480	9,096	9,190	10,308	10,480	0,00821	0,06179	0,93821	0,99179								
0,370	9,043	9,232	9,095	9,206	9,082	9,193	10,311	10,563	10,289	10,511	10,189	10,485	9,095	9,193	10,311	10,485	0,00766	0,05998	0,94002	0,99234								
0,380	9,045	9,231	9,093	9,207	9,081	9,195	10,314	10,562	10,286	10,514	10,186	10,490	9,093	9,195	10,314	10,490	0,00715	0,05823	0,94177	0,99285								
0,390	9,048	9,231	9,092	9,209	9,081	9,198	10,317	10,561	10,283	10,517	10,183	10,495	9,092	9,198	10,317	10,495	0,00667	0,05649	0,94351	0,99333								
0,400	9,050	9,230	9,090	9,210	9,080	9,200	10,320	10,560	10,280	10,520	10,180	10,500	9,090	9,200	10,320	10,500	0,00622	0,05481	0,94519	0,99378								
0,410	9,053	9,230	9,089	9,212	9,080	9,203	10,323	10,559	10,277	10,523	10,177	10,505	9,089	9,203	10,323	10,505	0,00579	0,05317	0,94683	0,99421								
0,420	9,055	9,229	9,087	9,213	9,079	9,205	10,326	10,558	10,274	10,526	10,174	10,510	9,087	9,205	10,326	10,510	0,00540	0,05156	0,94844	0,99460								
0,430	9,058	9,229	9,086	9,215	9,079	9,208	10,329	10,557	10,271	10,529	10,171	10,515	9,086	9,208	10,329	10,515	0,00502	0,04999	0,95001	0,99498								
0,440	9,060	9,228	9,084	9,216	9,078	9,210	10,332	10,556	10,268	10,532	10,168	10,520	9,084	9,210	10,332	10,520	0,00467	0,04847	0,95153	0,99533								
0,450	9,063	9,228	9,083	9,218	9,078	9,213	10,335	10,555	10,265	10,535	10,165	10,525	9,083	9,213	10,335	10,525	0,00434	0,04698	0,95302	0,99566								
0,460	9,065	9,227	9,081	9,219	9,077	9,215	10,338	10,554	10,262	10,538	10,162	10,530	9,081	9,215	10,338	10,530	0,00403	0,04552	0,95448	0,99597								
0,470	9,068	9,227	9,080	9,221	9,077	9,218	10,341	10,553	10,259	10,541	10,159	10,535	9,080	9,218	10,341	10,535	0,00375	0,04411	0,95589	0,99625								
0,480	9,070	9,226	9,078	9,222	9,076	9,220	10,344	10,552	10,256	10,544	10,156	10,540	9,078	9,220	10,344	10,540	0,00348	0,04273	0,95727	0,99652								
0,490	9,073	9,226	9,077	9,224	9,076	9,223	10,347	10,551	10,253	10,547	10,153	10,545	9,077	9,223	10,347	10,545	0,00322	0,04138	0,95862	0,99678								
0,500	9,075	9,225	9,075	9,225	9,075	9,225	10,350	10,550	10,250	10,550	10,150	10,550	9,075	9,225	10,350	10,550	0,00299	0,04007	0,95993	0,99701								
0,510	9,078	9,225	9,074	9,227	9,075	9,228	10,353	10,549	10,247	10,553	10,147	10,555	9,078	9,225	10,353	10,549	0,00304	0,03879	0,96121	0,99696								
0,520	9,080	9,224	9,072	9,228	9,074	9,230	10,356	10,548	10,244	10,556	10,144	10,560	9,080	9,224	10,356	10,548	0,00308	0,03755	0,96245	0,99692								
0,530	9,083	9,224	9,071	9,230	9,074	9,233	10,359	10,547	10,241	10,559	10,141	10,565	9,083	9,224	10,359	10,547	0,00313	0,03634	0,96366	0,99687								
0,540	9,085	9,223	9,069	9,231	9,073	9,235	10,362	10,546	10,238	10,562	10,138	10,570	9,085	9,223	10,362	10,546	0,00318	0,03516	0,96484	0,99682								
0,550	9,088	9,223	9,068	9,233	9,073	9,238	10,365	10,545	10,235	10,565	10,135	10,575	9,088	9,223	10,365	10,545	0,00322	0,03401	0,96599	0,99678								
0,560	9,090	9,222	9,066	9,234	9,072	9,240	10,368	10,544	10,232	10,568	10,132	10,580	9,090	9,222	10,368	10,544	0,00327	0,03289	0,96711	0,99673								
0,570	9,093	9,222	9,065	9,236	9,072	9,243	10,371	10,543	10,229	10,571	10,129	10,585	9,093	9,222	10,371	10,543	0,00332	0,03181	0,96819	0,99668								
0,580	9,095	9,221	9,063	9,237	9,071	9,245	10,374	10,542	10,226	10,574	10,126	10,590	9,095	9,221	10,374	10,542	0,00337	0,03075	0,96925	0,99663								
0,590	9,098	9,221	9,062	9,239	9,071	9,248	10,377	10,541	10,223	10,577	10,123	10,595	9,098	9,221	10,377	10,541	0,00342	0,02972	0,97028	0,99658								
0,600	9,100	9,220	9,060	9,240	9,070	9,250	10,380	10,540	10,220	10,580	10,120	10,600	9,100	9,220	10,380	10,540	0,00348	0,02873	0,97127	0,99652								
0,610	9,103	9,220	9,059	9,242	9,070	9,253	10,383	10,539	10,217	10,583	10,117	10,605	9,103	9,220	10,383	10,539	0,00353	0,02776	0,97224	0,99647								
0,620	9,105	9,219	9,057	9,243	9,069	9,255	10,386	10,538	10,214	10,586	10,114	10,610	9,105	9,219	10,386	10,538	0,00358	0,02681	0,97319	0,99642								
0,630	9,108	9,219	9,056	9,245	9,069	9,258	10,389	10,537	10,211	10,589	10,111	10,615	9,108	9,219	10,389	10,537	0,00364	0,02590	0,97410	0,99636								
0,640	9,110	9,218	9,054	9,246	9,068	9,260	10,392	10,536	10,208	10,592	10,108	10,620	9,110	9,218	10,392	10,536	0,00369	0,02501	0,97499	0,99631								
0,650	9,113	9,218	9,053	9,248	9,068	9,263	10,395	10,535	10,205	10,595	10,105	10,625	9,113	9,218	10,395	10,535	0,00375	0,02414	0,97586	0,99625								
0,660	9,115	9,217	9,051	9,249	9,067	9,265	10,398	10,534	10,202	10,598	10,102	10,630	9,115	9,217	10,398	10,534	0,00380	0,02331	0,97669	0,99620								
0,670	9,118	9,217	9,050	9,251	9,067	9,268	10,401	10,533	10,199	10,601	10,099	10,635	9,118	9,217	10,401	10,533	0,00386	0,02249	0,97751	0,99614								
0,680	9,120	9,216	9,048	9,252	9,066	9,270	10,404	10,532	10,196	10,604	10,096	10,640	9,120	9,216	10,404	10,532	0,00392	0,02170	0,97830	0,99608								

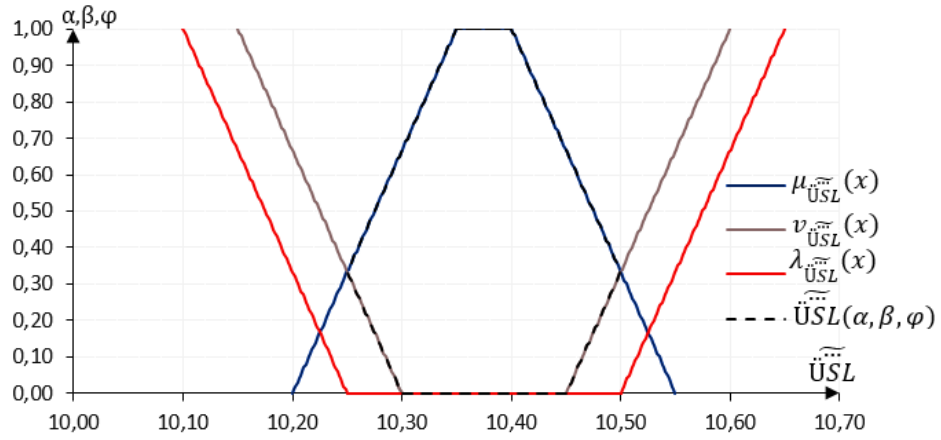
Tablo 6.8 Esnek TDÜN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri
(devamı)

α, β, φ	ASL(α)			ASL(β)			ASL(φ)			ÜSL(α)			ÜSL(β)			ÜSL(φ)			ASL(α, β, φ)			ÜSL(α, β, φ)			PNİ,d	PNr,d	PNİ	PNr
0,690	9,123	9,216	9,047	9,254	9,066	9,273	10,407	10,531	10,193	10,607	10,093	10,645	9,123	9,216	10,407	10,531	0,00397	0,02094	0,97906	0,99603								
0,700	9,125	9,215	9,045	9,255	9,065	9,275	10,410	10,530	10,190	10,610	10,090	10,650	9,125	9,215	10,410	10,530	0,00403	0,02019	0,97981	0,99597								
0,710	9,128	9,215	9,044	9,257	9,065	9,278	10,413	10,529	10,187	10,613	10,087	10,655	9,128	9,215	10,413	10,529	0,00409	0,01947	0,98053	0,99591								
0,720	9,130	9,214	9,042	9,258	9,064	9,280	10,416	10,528	10,184	10,616	10,084	10,660	9,130	9,214	10,416	10,528	0,00415	0,01877	0,98123	0,99585								
0,730	9,133	9,214	9,041	9,260	9,064	9,283	10,419	10,527	10,181	10,619	10,081	10,665	9,133	9,214	10,419	10,527	0,00422	0,01810	0,98190	0,99578								
0,740	9,135	9,213	9,039	9,261	9,063	9,285	10,422	10,526	10,178	10,622	10,078	10,670	9,135	9,213	10,422	10,526	0,00428	0,01744	0,98256	0,99572								
0,750	9,138	9,213	9,038	9,263	9,063	9,288	10,425	10,525	10,175	10,625	10,075	10,675	9,138	9,213	10,425	10,525	0,00434	0,01680	0,98320	0,99566								
0,760	9,140	9,212	9,036	9,264	9,062	9,290	10,428	10,524	10,172	10,628	10,072	10,680	9,140	9,212	10,428	10,524	0,00441	0,01619	0,98381	0,99559								
0,770	9,143	9,212	9,035	9,266	9,062	9,293	10,431	10,523	10,169	10,631	10,069	10,685	9,143	9,212	10,431	10,523	0,00447	0,01559	0,98441	0,99553								
0,780	9,145	9,211	9,033	9,267	9,061	9,295	10,434	10,522	10,166	10,634	10,066	10,690	9,145	9,211	10,434	10,522	0,00454	0,01501	0,98499	0,99546								
0,790	9,148	9,211	9,032	9,269	9,061	9,298	10,437	10,521	10,163	10,637	10,063	10,695	9,148	9,211	10,437	10,521	0,00460	0,01445	0,98555	0,99540								
0,800	9,150	9,210	9,030	9,270	9,060	9,300	10,440	10,520	10,160	10,640	10,060	10,700	9,150	9,210	10,440	10,520	0,00467	0,01391	0,98609	0,99533								
0,810	9,153	9,210	9,029	9,272	9,060	9,303	10,443	10,519	10,157	10,643	10,057	10,705	9,153	9,210	10,443	10,519	0,00474	0,01339	0,98661	0,99526								
0,820	9,155	9,209	9,027	9,273	9,059	9,305	10,446	10,518	10,154	10,646	10,054	10,710	9,155	9,209	10,446	10,518	0,00481	0,01288	0,98712	0,99519								
0,830	9,158	9,209	9,026	9,275	9,059	9,308	10,449	10,517	10,151	10,649	10,051	10,715	9,158	9,209	10,449	10,517	0,00488	0,01239	0,98761	0,99512								
0,840	9,160	9,208	9,024	9,276	9,058	9,310	10,452	10,516	10,148	10,652	10,048	10,720	9,160	9,208	10,452	10,516	0,00495	0,01192	0,98808	0,99505								
0,850	9,163	9,208	9,023	9,278	9,058	9,313	10,455	10,515	10,145	10,655	10,045	10,725	9,163	9,208	10,455	10,515	0,00502	0,01146	0,98854	0,99498								
0,860	9,165	9,207	9,021	9,279	9,057	9,315	10,458	10,514	10,142	10,658	10,042	10,730	9,165	9,207	10,458	10,514	0,00509	0,01102	0,98898	0,99491								
0,870	9,168	9,207	9,020	9,281	9,057	9,318	10,461	10,513	10,139	10,661	10,039	10,735	9,168	9,207	10,461	10,513	0,00517	0,01059	0,98941	0,99483								
0,880	9,170	9,206	9,018	9,282	9,056	9,320	10,464	10,512	10,136	10,664	10,036	10,740	9,170	9,206	10,464	10,512	0,00524	0,01018	0,98982	0,99476								
0,890	9,173	9,206	9,017	9,284	9,056	9,323	10,467	10,511	10,133	10,667	10,033	10,745	9,173	9,206	10,467	10,511	0,00532	0,00978	0,99022	0,99468								
0,900	9,175	9,205	9,015	9,285	9,055	9,325	10,470	10,510	10,130	10,670	10,030	10,750	9,175	9,205	10,470	10,510	0,00540	0,00940	0,99060	0,99460								
0,910	9,178	9,205	9,014	9,287	9,055	9,328	10,473	10,509	10,127	10,673	10,027	10,755	9,178	9,205	10,473	10,509	0,00547	0,00902	0,99098	0,99453								
0,920	9,180	9,204	9,012	9,288	9,054	9,330	10,476	10,508	10,124	10,676	10,024	10,760	9,180	9,204	10,476	10,508	0,00555	0,00867	0,99133	0,99445								
0,930	9,183	9,204	9,011	9,290	9,054	9,333	10,479	10,507	10,121	10,679	10,021	10,765	9,183	9,204	10,479	10,507	0,00563	0,00832	0,99168	0,99437								
0,940	9,185	9,203	9,009	9,291	9,053	9,335	10,482	10,506	10,118	10,682	10,018	10,770	9,185	9,203	10,482	10,506	0,00571	0,00799	0,99201	0,99429								
0,950	9,188	9,203	9,008	9,293	9,053	9,338	10,485	10,505	10,115	10,685	10,015	10,775	9,188	9,203	10,485	10,505	0,00579	0,00766	0,99234	0,99421								
0,960	9,190	9,202	9,006	9,294	9,052	9,340	10,488	10,504	10,112	10,688	10,012	10,780	9,190	9,202	10,488	10,504	0,00588	0,00735	0,99265	0,99412								
0,970	9,193	9,202	9,005	9,296	9,052	9,343	10,491	10,503	10,109	10,691	10,009	10,785	9,193	9,202	10,491	10,503	0,00596	0,00705	0,99295	0,99404								
0,980	9,195	9,201	9,003	9,297	9,051	9,345	10,494	10,502	10,106	10,694	10,006	10,790	9,195	9,201	10,494	10,502	0,00605	0,00677	0,99323	0,99395								
0,990	9,198	9,201	9,002	9,299	9,051	9,348	10,497	10,501	10,103	10,697	10,003	10,795	9,198	9,201	10,497	10,501	0,00613	0,00649	0,99351	0,99387								
1,000	9,200	9,200	9,000	9,300	9,050	9,350	10,500	10,500	10,100	10,700	0,000	10,800	9,200	9,200	10,500	10,500	0,00622	0,00622	0,99378	0,99378								

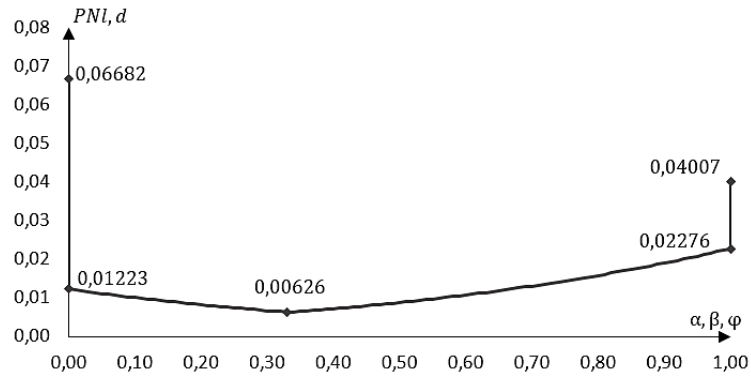
Dişlinin esnek TDYN olarak tanımlanan spesifikasyon limitleri $\widetilde{A\ddot{S}L} = \langle (8,95; 9,10; 9,15; 9,30), (8,90; 9,05; 9,20; 9,35), (8,85; 9,00; 9,25; 9,40) \rangle$ ve $\widetilde{Ü\ddot{S}L} = \langle (10,20; 10,35; 10,40; 10,55), (10,15; 10,30; 10,45; 10,60), (10,10; 10,25; 10,50; 10,65) \rangle$ şeklinde belirlenmesi durumunda tanım 5.53'deki TDYNS'nin (α, β, φ) kesimlerinden yararlanılarak sürecin spesifikasyon limitleri dışında kalma olasılığı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:



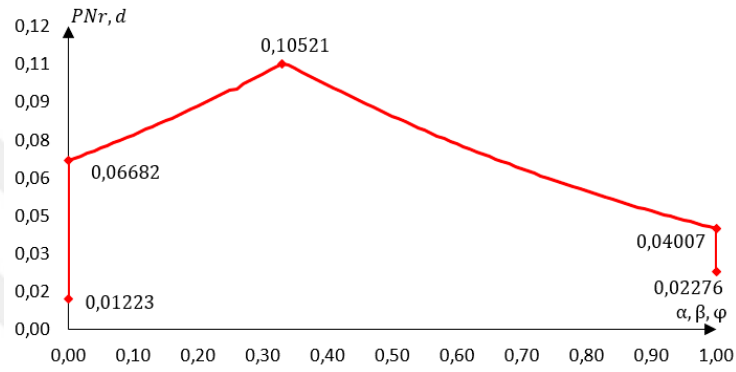
Şekil 6.48 Esnek TDYN olarak tanımlanan $\widetilde{A\ddot{S}L}$ 'nin (α, β, φ) kesimleri



Şekil 6.49 Esnek TDYN olarak tanımlanan $\widetilde{Ü\ddot{S}L}$ 'nin (α, β, φ) kesimleri



Şekil 6.50 Esnek TDYN olarak tanımlanan PNI, d değeri



Şekil 6.51 Esnek TDYN olarak tanımlanan PNr, d değeri

Sürecin spesifikasyon limitleri dışında olma olasılığının kesin değeri 0,0304'tür. Daha esnek TDYNS ile sürecin spesifikasyon limitleri dışında olma olasılığı hesaplandığında, PNI, d değerinin 0,06682'den başlayarak 0,00626'ya kadar indiği ve tekrardan 0,04007'e çıktığı görülmektedir. PNr, d değerinin 0,01223'den başlayarak 0,10521'e kadar çıktığı ve tekrardan 0,02276'ya kadar azaldığı görülmektedir. Sürecin spesifikasyon limitleri dışında kusurlu çıktı üretme olasılığı 0,00626-0,10521 aralığında olduğu sonucuna varılmıştır. Çıkan sonuçlar, süreç hakkında daha fazla bilgi sahibi olmamızı sağlamakla birlikte belirsizliği de ele aldığı için süreç hakkında daha gerçekçi bilgiler vermektedir. Tablo 6.9'da esnek TDYN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri gösterilmiştir.

Tablo 6.9 Esnek TDYN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri

α, β, φ	ASL(α)		ASL(β)		ASL(φ)		ÜSL(α)		ÜSL(β)		ÜSL(φ)		ASL(α, β, φ)		ÜSL(α, β, φ)		PNl,d	PNr,d	PNl	PNr
0,000	8,950	9,300	9,050	9,200	9,000	9,250	10,200	10,550	10,300	10,450	10,250	10,500	9,050	9,200	10,300	10,450	0,01223	0,06682	0,93318	0,98777
0,010	8,952	9,299	9,049	9,202	8,999	9,252	10,202	10,549	10,299	10,452	10,249	10,502	9,049	9,202	10,299	10,452	0,01200	0,06779	0,93221	0,98800
0,020	8,953	9,297	9,047	9,203	8,997	9,253	10,203	10,547	10,297	10,453	10,247	10,503	9,047	9,203	10,297	10,453	0,01177	0,06878	0,93122	0,98823
0,030	8,955	9,296	9,046	9,205	8,996	9,255	10,205	10,546	10,296	10,455	10,246	10,505	9,046	9,205	10,296	10,455	0,01154	0,06978	0,93022	0,98846
0,040	8,956	9,294	9,044	9,206	8,994	9,256	10,206	10,544	10,294	10,456	10,244	10,506	9,044	9,206	10,294	10,456	0,01131	0,07079	0,92921	0,98869
0,050	8,958	9,293	9,043	9,208	8,993	9,258	10,208	10,543	10,293	10,458	10,243	10,508	9,043	9,208	10,293	10,458	0,01109	0,07181	0,92819	0,98891
0,060	8,959	9,291	9,041	9,209	8,991	9,259	10,209	10,541	10,291	10,459	10,241	10,509	9,041	9,209	10,291	10,459	0,01088	0,07284	0,92716	0,98912
0,070	8,961	9,290	9,040	9,211	8,990	9,261	10,211	10,540	10,290	10,461	10,240	10,511	9,040	9,211	10,290	10,461	0,01066	0,07389	0,92611	0,98934
0,080	8,962	9,288	9,038	9,212	8,988	9,262	10,212	10,538	10,288	10,462	10,238	10,512	9,038	9,212	10,288	10,462	0,01045	0,07494	0,92506	0,98955
0,090	8,964	9,287	9,037	9,214	8,987	9,264	10,214	10,537	10,287	10,464	10,237	10,514	9,037	9,214	10,287	10,464	0,01025	0,07601	0,92399	0,98975
0,100	8,965	9,285	9,035	9,215	8,985	9,265	10,215	10,535	10,285	10,465	10,235	10,515	9,035	9,215	10,285	10,465	0,01005	0,07709	0,92291	0,98995
0,110	8,967	9,284	9,034	9,217	8,984	9,267	10,217	10,534	10,284	10,467	10,234	10,517	9,034	9,217	10,284	10,467	0,00985	0,07818	0,92182	0,99015
0,120	8,968	9,282	9,032	9,218	8,982	9,268	10,218	10,532	10,282	10,468	10,232	10,518	9,032	9,218	10,282	10,468	0,00965	0,07928	0,92072	0,99035
0,130	8,970	9,281	9,031	9,220	8,981	9,270	10,220	10,531	10,281	10,470	10,231	10,520	9,031	9,220	10,281	10,470	0,00946	0,08039	0,91961	0,99054
0,140	8,971	9,279	9,029	9,221	8,979	9,271	10,221	10,529	10,279	10,471	10,229	10,521	9,029	9,221	10,279	10,471	0,00927	0,08152	0,91848	0,99073
0,150	8,973	9,278	9,028	9,223	8,978	9,273	10,223	10,528	10,278	10,473	10,228	10,523	9,028	9,223	10,278	10,473	0,00909	0,08265	0,91735	0,99091
0,160	8,974	9,276	9,026	9,224	8,976	9,274	10,224	10,526	10,276	10,474	10,226	10,524	9,026	9,224	10,276	10,474	0,00890	0,08377	0,91623	0,99110
0,170	8,976	9,275	9,025	9,226	8,975	9,276	10,226	10,525	10,275	10,476	10,225	10,526	9,025	9,226	10,275	10,476	0,00872	0,08496	0,91504	0,99128
0,180	8,977	9,273	9,023	9,227	8,973	9,277	10,227	10,523	10,273	10,477	10,223	10,527	9,023	9,227	10,273	10,477	0,00855	0,08614	0,91386	0,99145
0,190	8,979	9,272	9,022	9,229	8,972	9,279	10,229	10,522	10,272	10,479	10,222	10,529	9,022	9,229	10,272	10,479	0,00838	0,08732	0,91268	0,99162
0,200	8,980	9,270	9,020	9,230	8,970	9,280	10,230	10,520	10,270	10,480	10,220	10,530	9,020	9,230	10,270	10,480	0,00821	0,08852	0,91148	0,99179
0,210	8,982	9,269	9,019	9,232	8,969	9,282	10,232	10,519	10,269	10,482	10,219	10,532	9,019	9,232	10,269	10,482	0,00804	0,08973	0,91027	0,99196
0,220	8,983	9,267	9,017	9,233	8,967	9,283	10,233	10,517	10,267	10,483	10,217	10,533	9,017	9,233	10,267	10,483	0,00788	0,09095	0,90905	0,99212
0,230	8,985	9,266	9,016	9,235	8,966	9,285	10,235	10,516	10,266	10,485	10,216	10,535	9,016	9,235	10,266	10,485	0,00772	0,09218	0,90782	0,99228
0,240	8,986	9,264	9,014	9,236	8,964	9,286	10,236	10,514	10,264	10,486	10,214	10,536	9,014	9,236	10,264	10,486	0,00756	0,09343	0,90657	0,99244
0,250	8,988	9,263	9,013	9,238	8,963	9,288	10,238	10,513	10,263	10,488	10,213	10,538	9,013	9,238	10,263	10,488	0,00740	0,09469	0,90531	0,99260
0,260	8,989	9,261	9,011	9,239	8,961	9,289	10,239	10,511	10,261	10,489	10,211	10,539	9,011	9,239	10,261	10,489	0,00725	0,09506	0,90494	0,99275
0,270	8,991	9,260	9,010	9,241	8,960	9,291	10,241	10,510	10,260	10,491	10,210	10,541	9,010	9,241	10,260	10,491	0,00710	0,09724	0,90276	0,99290
0,280	8,992	9,258	9,008	9,242	8,958	9,292	10,242	10,508	10,258	10,492	10,208	10,542	9,008	9,242	10,258	10,492	0,00696	0,09854	0,90146	0,99304
0,290	8,994	9,257	9,007	9,244	8,957	9,294	10,244	10,507	10,257	10,494	10,207	10,544	9,007	9,244	10,257	10,494	0,00681	0,09984	0,90016	0,99319
0,300	8,995	9,255	9,005	9,245	8,955	9,295	10,245	10,505	10,255	10,495	10,205	10,545	9,005	9,245	10,255	10,495	0,00667	0,10121	0,89879	0,99333
0,310	8,997	9,254	9,004	9,247	8,954	9,297	10,247	10,504	10,254	10,497	10,204	10,547	9,004	9,247	10,254	10,497	0,00653	0,10251	0,89749	0,99347
0,320	8,998	9,252	9,002	9,248	8,952	9,298	10,248	10,502	10,252	10,498	10,202	10,548	9,002	9,248	10,252	10,498	0,00640	0,10381	0,89619	0,99360
0,330	9,000	9,251	9,001	9,250	8,951	9,300	10,250	10,501	10,251	10,500	10,201	10,550	9,001	9,250	10,251	10,500	0,00626	0,10521	0,89479	0,99374
0,340	9,001	9,249	8,999	9,251	8,949	9,301	10,251	10,499	10,249	10,501	10,199	10,551	9,001	9,249	10,251	10,499	0,00631	0,10471	0,89529	0,99369

Tablo 6.9 Esnek TDYN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri
(devamı)

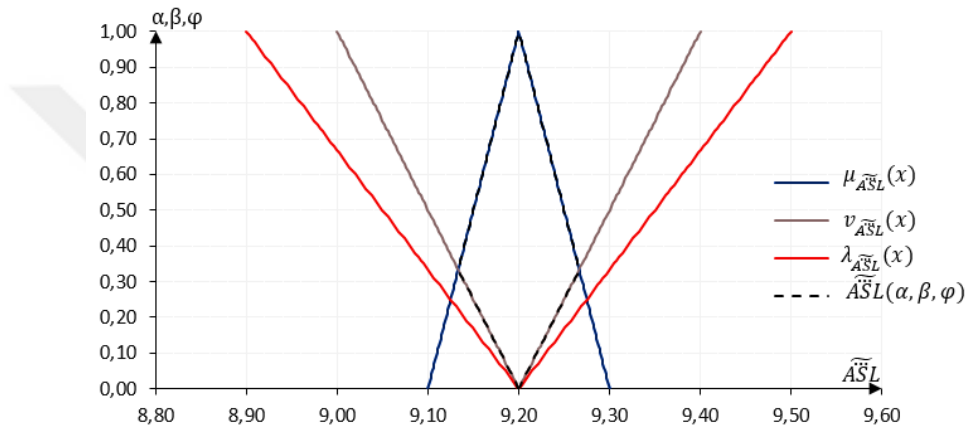
α, β, φ	ASL(α)		ASL(β)		ASL(φ)		ÜSL(α)		ÜSL(β)		ÜSL(φ)		ASL(α, β, φ)		ÜSL(α, β, φ)		PNL,d	PNr,d	PNL	PNr
0,350	9,003	9,248	8,998	9,253	8,948	9,303	10,253	10,498	10,248	10,503	10,198	10,553	9,003	9,248	10,253	10,498	0,00644	0,10341	0,89659	0,99356
0,360	9,004	9,246	8,996	9,254	8,946	9,304	10,254	10,496	10,246	10,504	10,196	10,554	9,004	9,246	10,254	10,496	0,00658	0,10201	0,89799	0,99342
0,370	9,006	9,245	8,995	9,256	8,945	9,306	10,256	10,495	10,245	10,506	10,195	10,556	9,006	9,245	10,256	10,495	0,00672	0,10071	0,89929	0,99328
0,380	9,007	9,243	8,993	9,257	8,943	9,307	10,257	10,493	10,243	10,507	10,193	10,557	9,007	9,243	10,257	10,493	0,00686	0,09941	0,90059	0,99314
0,390	9,009	9,242	8,992	9,259	8,942	9,309	10,259	10,492	10,242	10,509	10,192	10,559	9,009	9,242	10,259	10,492	0,00700	0,09810	0,90190	0,99300
0,400	9,010	9,240	8,990	9,260	8,940	9,310	10,260	10,490	10,240	10,510	10,190	10,560	9,010	9,240	10,260	10,490	0,00715	0,09681	0,90319	0,99285
0,410	9,012	9,239	8,989	9,262	8,939	9,312	10,262	10,489	10,239	10,512	10,189	10,562	9,012	9,239	10,262	10,489	0,00730	0,09553	0,90447	0,99270
0,420	9,013	9,237	8,987	9,263	8,937	9,313	10,263	10,487	10,237	10,513	10,187	10,563	9,013	9,237	10,263	10,487	0,00746	0,09426	0,90574	0,99254
0,430	9,015	9,236	8,986	9,265	8,936	9,315	10,265	10,486	10,236	10,515	10,186	10,565	9,015	9,236	10,265	10,486	0,00761	0,09301	0,90699	0,99239
0,440	9,016	9,234	8,984	9,266	8,934	9,316	10,266	10,484	10,234	10,516	10,184	10,566	9,016	9,234	10,266	10,484	0,00777	0,09177	0,90823	0,99223
0,450	9,018	9,233	8,983	9,268	8,933	9,318	10,268	10,483	10,233	10,518	10,183	10,568	9,018	9,233	10,268	10,483	0,00793	0,09054	0,90946	0,99207
0,460	9,019	9,231	8,981	9,269	8,931	9,319	10,269	10,481	10,231	10,519	10,181	10,569	9,019	9,231	10,269	10,481	0,00810	0,08932	0,91068	0,99190
0,470	9,021	9,230	8,980	9,271	8,930	9,321	10,271	10,480	10,230	10,521	10,180	10,571	9,021	9,230	10,271	10,480	0,00826	0,08812	0,91188	0,99174
0,480	9,022	9,228	8,978	9,272	8,928	9,322	10,272	10,478	10,228	10,522	10,178	10,572	9,022	9,228	10,272	10,478	0,00843	0,08692	0,91308	0,99157
0,490	9,024	9,227	8,977	9,274	8,927	9,324	10,274	10,477	10,227	10,524	10,177	10,574	9,024	9,227	10,274	10,477	0,00861	0,08574	0,91426	0,99139
0,500	9,025	9,225	8,975	9,275	8,925	9,325	10,275	10,475	10,225	10,525	10,175	10,575	9,025	9,225	10,275	10,475	0,00878	0,08458	0,91542	0,99122
0,510	9,027	9,224	8,974	9,277	8,924	9,327	10,277	10,474	10,224	10,527	10,174	10,577	9,027	9,224	10,277	10,474	0,00896	0,08342	0,91658	0,99104
0,520	9,028	9,222	8,972	9,278	8,922	9,328	10,278	10,472	10,222	10,528	10,172	10,578	9,028	9,222	10,278	10,472	0,00915	0,08227	0,91773	0,99085
0,530	9,030	9,221	8,971	9,280	8,921	9,330	10,280	10,471	10,221	10,530	10,171	10,580	9,030	9,221	10,280	10,471	0,00933	0,08114	0,91886	0,99067
0,540	9,031	9,219	8,969	9,281	8,919	9,331	10,281	10,469	10,219	10,531	10,169	10,581	9,031	9,219	10,281	10,469	0,00952	0,08002	0,91998	0,99048
0,550	9,033	9,218	8,968	9,283	8,918	9,333	10,283	10,468	10,218	10,533	10,168	10,583	9,033	9,218	10,283	10,468	0,00972	0,07891	0,92109	0,99028
0,560	9,034	9,216	8,966	9,284	8,916	9,334	10,284	10,466	10,216	10,534	10,166	10,584	9,034	9,216	10,284	10,466	0,00991	0,07781	0,92219	0,99009
0,570	9,036	9,215	8,965	9,286	8,915	9,336	10,286	10,465	10,215	10,536	10,165	10,586	9,036	9,215	10,286	10,465	0,01011	0,07673	0,92327	0,98989
0,580	9,037	9,213	8,963	9,287	8,913	9,337	10,287	10,463	10,213	10,537	10,163	10,587	9,037	9,213	10,287	10,463	0,01032	0,07565	0,92435	0,98968
0,590	9,039	9,212	8,962	9,289	8,912	9,339	10,289	10,462	10,212	10,539	10,162	10,589	9,039	9,212	10,289	10,462	0,01052	0,07459	0,92541	0,98948
0,600	9,040	9,210	8,960	9,290	8,910	9,340	10,290	10,460	10,210	10,540	10,160	10,590	9,040	9,210	10,290	10,460	0,01073	0,07354	0,92646	0,98927
0,610	9,042	9,209	8,959	9,292	8,909	9,342	10,292	10,459	10,209	10,542	10,159	10,592	9,042	9,209	10,292	10,459	0,01095	0,07250	0,92750	0,98905
0,620	9,043	9,207	8,957	9,293	8,907	9,343	10,293	10,457	10,207	10,543	10,157	10,593	9,043	9,207	10,293	10,457	0,01117	0,07147	0,92853	0,98883
0,630	9,045	9,206	8,956	9,295	8,906	9,345	10,295	10,456	10,206	10,545	10,156	10,595	9,045	9,206	10,295	10,456	0,01139	0,07045	0,92955	0,98861
0,640	9,046	9,204	8,954	9,296	8,904	9,346	10,296	10,454	10,204	10,546	10,154	10,596	9,046	9,204	10,296	10,454	0,01161	0,06945	0,93055	0,98839
0,650	9,048	9,203	8,953	9,298	8,903	9,348	10,298	10,453	10,203	10,548	10,153	10,598	9,048	9,203	10,298	10,453	0,01184	0,06845	0,93155	0,98816
0,660	9,049	9,201	8,951	9,299	8,901	9,349	10,299	10,451	10,201	10,549	10,151	10,599	9,049	9,201	10,299	10,451	0,01208	0,06745	0,93255	0,98792
0,670	9,051	9,200	8,950	9,301	8,900	9,351	10,301	10,450	10,200	10,551	10,150	10,601	9,051	9,200	10,301	10,450	0,01231	0,06649	0,93351	0,98769
0,680	9,052	9,198	8,948	9,302	8,898	9,352	10,302	10,448	10,198	10,552	10,148	10,602	9,052	9,198	10,302	10,448	0,01256	0,06553	0,93447	0,98744

Tablo 6.9 Esnek TDYN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri
(devamı)

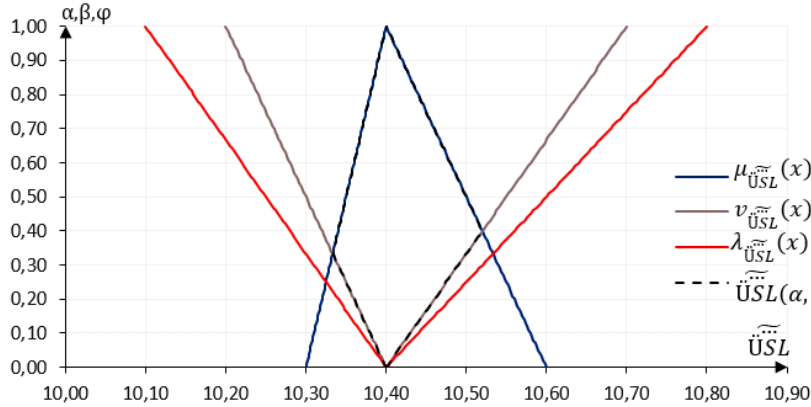
α, β, φ	ASL(α)			ASL(β)			ASL(φ)			ÜSL(α)			ÜSL(β)			ÜSL(φ)			ASL(α, β, φ)			ÜSL(α, β, φ)			PNl,d	PNr,d	PNl	PNr
0,690	9,054	9,197	8,947	9,304	8,897	9,354	10,304	10,447	10,197	10,554	10,147	10,604	9,054	9,197	10,304	10,447	0,01280	0,06458	0,93542	0,98720								
0,700	9,055	9,195	8,945	9,305	8,895	9,355	10,305	10,445	10,195	10,555	10,145	10,605	9,055	9,195	10,305	10,445	0,01305	0,06364	0,93636	0,98695								
0,710	9,057	9,194	8,944	9,307	8,894	9,357	10,307	10,444	10,194	10,557	10,144	10,607	9,057	9,194	10,307	10,444	0,01330	0,06271	0,93729	0,98670								
0,720	9,058	9,192	8,942	9,308	8,892	9,358	10,308	10,442	10,192	10,558	10,142	10,608	9,058	9,192	10,308	10,442	0,01356	0,06179	0,93821	0,98644								
0,730	9,060	9,191	8,941	9,310	8,891	9,360	10,310	10,441	10,191	10,560	10,141	10,610	9,060	9,191	10,310	10,441	0,01383	0,06088	0,93912	0,98617								
0,740	9,061	9,189	8,939	9,311	8,889	9,361	10,311	10,439	10,189	10,561	10,139	10,611	9,061	9,189	10,311	10,439	0,01409	0,05998	0,94002	0,98591								
0,750	9,063	9,188	8,938	9,313	8,888	9,363	10,313	10,438	10,188	10,563	10,138	10,613	9,063	9,188	10,313	10,438	0,01436	0,05910	0,94090	0,98564								
0,760	9,064	9,186	8,936	9,314	8,886	9,364	10,314	10,436	10,186	10,564	10,136	10,614	9,064	9,186	10,314	10,436	0,01464	0,05822	0,94178	0,98536								
0,770	9,066	9,185	8,935	9,316	8,885	9,366	10,316	10,435	10,185	10,566	10,135	10,616	9,066	9,185	10,316	10,435	0,01492	0,05735	0,94265	0,98508								
0,780	9,067	9,183	8,933	9,317	8,883	9,367	10,317	10,433	10,183	10,567	10,133	10,617	9,067	9,183	10,317	10,433	0,01520	0,05649	0,94351	0,98480								
0,790	9,069	9,182	8,932	9,319	8,882	9,369	10,319	10,432	10,182	10,569	10,132	10,619	9,069	9,182	10,319	10,432	0,01549	0,05565	0,94435	0,98451								
0,800	9,070	9,180	8,930	9,320	8,880	9,370	10,320	10,430	10,180	10,570	10,130	10,620	9,070	9,180	10,320	10,430	0,01579	0,05481	0,94519	0,98421								
0,810	9,072	9,179	8,929	9,322	8,879	9,372	10,322	10,429	10,179	10,572	10,129	10,622	9,072	9,179	10,322	10,429	0,01609	0,05398	0,94602	0,98391								
0,820	9,073	9,177	8,927	9,323	8,877	9,373	10,323	10,427	10,177	10,573	10,127	10,623	9,073	9,177	10,323	10,427	0,01639	0,05317	0,94683	0,98361								
0,830	9,075	9,176	8,926	9,325	8,876	9,375	10,325	10,426	10,176	10,575	10,126	10,625	9,075	9,176	10,325	10,426	0,01670	0,05236	0,94764	0,98330								
0,840	9,076	9,174	8,924	9,326	8,874	9,376	10,326	10,424	10,174	10,576	10,124	10,626	9,076	9,174	10,326	10,424	0,01701	0,05156	0,94844	0,98299								
0,850	9,078	9,173	8,923	9,328	8,873	9,378	10,328	10,423	10,173	10,578	10,123	10,628	9,078	9,173	10,328	10,423	0,01733	0,05077	0,94923	0,98267								
0,860	9,079	9,171	8,921	9,329	8,871	9,379	10,329	10,421	10,171	10,579	10,121	10,629	9,079	9,171	10,329	10,421	0,01766	0,04999	0,95001	0,98234								
0,870	9,081	9,170	8,920	9,331	8,870	9,381	10,331	10,420	10,170	10,581	10,120	10,631	9,081	9,170	10,331	10,420	0,01798	0,04923	0,95077	0,98202								
0,880	9,082	9,168	8,918	9,332	8,868	9,382	10,332	10,418	10,168	10,582	10,118	10,632	9,082	9,168	10,332	10,418	0,01832	0,04847	0,95153	0,98168								
0,890	9,084	9,167	8,917	9,334	8,867	9,384	10,334	10,417	10,167	10,584	10,117	10,634	9,084	9,167	10,334	10,417	0,01866	0,04772	0,95228	0,98134								
0,900	9,085	9,165	8,915	9,335	8,865	9,385	10,335	10,415	10,165	10,585	10,115	10,635	9,085	9,165	10,335	10,415	0,01900	0,04698	0,95302	0,98100								
0,910	9,087	9,164	8,914	9,337	8,864	9,387	10,337	10,414	10,164	10,587	10,114	10,637	9,087	9,164	10,337	10,414	0,01935	0,04625	0,95375	0,98065								
0,920	9,088	9,162	8,912	9,338	8,862	9,388	10,338	10,412	10,162	10,588	10,112	10,638	9,088	9,162	10,338	10,412	0,01971	0,04552	0,95448	0,98029								
0,930	9,090	9,161	8,911	9,340	8,861	9,390	10,340	10,411	10,161	10,590	10,111	10,640	9,090	9,161	10,340	10,411	0,02007	0,04481	0,95519	0,97993								
0,940	9,091	9,159	8,909	9,341	8,859	9,391	10,341	10,409	10,159	10,591	10,109	10,641	9,091	9,159	10,341	10,409	0,02044	0,04411	0,95589	0,97956								
0,950	9,093	9,158	8,908	9,343	8,858	9,393	10,343	10,408	10,158	10,593	10,108	10,643	9,093	9,158	10,343	10,408	0,02081	0,04341	0,95659	0,97919								
0,960	9,094	9,156	8,906	9,344	8,856	9,394	10,344	10,406	10,156	10,594	10,106	10,644	9,094	9,156	10,344	10,406	0,02119	0,04273	0,95727	0,97881								
0,970	9,096	9,155	8,905	9,346	8,855	9,396	10,346	10,405	10,155	10,596	10,105	10,646	9,096	9,155	10,346	10,405	0,02157	0,04205	0,95795	0,97843								
0,980	9,097	9,153	8,903	9,347	8,853	9,397	10,347	10,403	10,153	10,597	10,103	10,647	9,097	9,153	10,347	10,403	0,02196	0,04138	0,95862	0,97804								
0,990	9,099	9,152	8,902	9,349	8,852	9,399	10,349	10,402	10,152	10,599	10,102	10,649	9,099	9,152	10,349	10,402	0,02236	0,04072	0,95928	0,97764								
1,000	9,100	9,150	8,900	9,350	8,850	9,400	10,350	10,400	10,150	10,600	10,100	10,650	9,100	9,150	10,350	10,400	0,02276	0,04007	0,95993	0,97724								

6.2.3 Spesifikasyon Limitlerinin Daha Esnek Tek Değerli Nötrosifik Sayı Olma Durumu

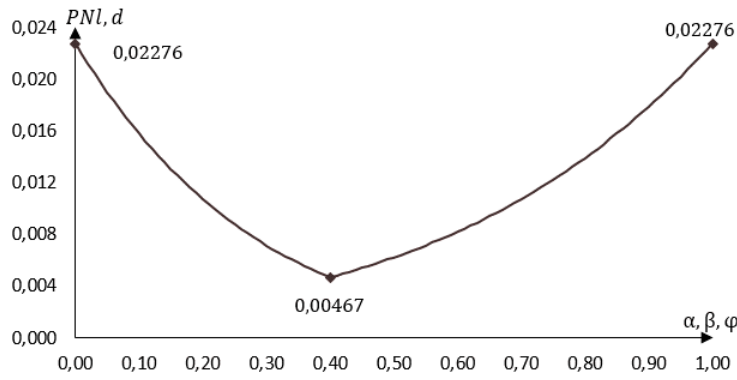
Dişlinin daha esnek TDÜN olarak tanımlanan spesifikasyon limitleri $\widetilde{A\ddot{S}L} = \langle (9,10; 9,20; 9,30), (9,00; 9,20; 9,40), (8,90; 9,20; 9,50) \rangle$ ve $\widetilde{Ü\ddot{S}L} = \langle (10,30; 10,40; 10,60), (10,20; 10,40; 10,70), (10,10; 10,40; 10,80) \rangle$ şeklinde belirlenmesi durumunda tanım 5.52'deki TDÜNS'nin (α, β, φ) kesimlerinden yararlanılarak sürecin spesifikasyon limitleri dışında kalma olasılığının uygunsuzluk değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:



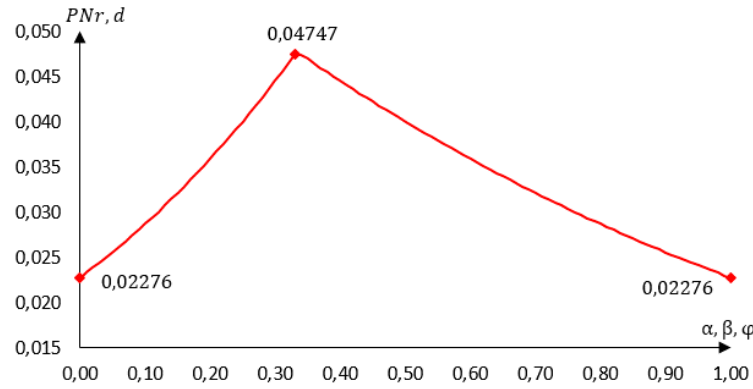
Şekil 6.52 Daha esnek TDÜN olarak tanımlanan $\widetilde{A\ddot{S}L}$ 'nin (α, β, φ) kesimleri



Şekil 6.53 Daha esnek TDÜN olarak tanımlanan $\widetilde{Ü\ddot{S}L}$ 'nin (α, β, φ) kesimleri



Şekil 6.54 Daha esnek TDÜN olarak tanımlanan PNI, d değeri



Şekil 6.55 Daha esnek TDÜN olarak tanımlanan PNr, d değeri

Sürecin spesifikasyon limitleri dışında olma olasılığının kesin değeri 0,01680'dir. Daha esnek TDÜNS ile sürecin spesifikasyon limitleri dışında olma olasılığı hesaplandığında, PNI, d değerinin 0,02276'dan başlayarak 0,00467'e kadar indiği ve tekrardan 0,02276'ya çıktığı görülmektedir. PNI, d değeri 0,02276-0,00467 aralığındadır. PNr, d değerinin 0,02276'dan başlayarak 0,04747'ye çıktığı ve tekrardan 0,02276'ya kadar azaldığı görülmektedir. PNr, d değeri 0,02276-0,04747 aralığındadır. Sürecin spesifikasyon limitleri dışında kusurlu çıktı üretme olasılığı 0,00467-0,04747 aralığında olduğu sonucuna varılmıştır. Çıkan sonuçlar, süreç hakkında daha fazla bilgi sahibi olmamızı sağlamakla birlikte belirsizlikle de içerdiği için süreç hakkında daha gerçekçi bilgiler vermektedir. Tablo 6.10'da daha esnek TDÜN olarak belirlenen spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri gösterilmiştir.

Tablo 6.10 Daha esnek TDÜN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri

α, β, φ	ASL(α)		ASL(β)		ASL(φ)		ÜSL(α)		ÜSL(β)		ÜSL(φ)		ASL(α, β, φ)		ÜSL(α, β, φ)		PNL,d	PNr,d	PNl	PNr
0,000	9,100	9,300	9,200	9,200	9,200	9,200	10,300	10,600	10,400	10,400	10,400	10,400	9,200	9,200	10,400	10,400	0,02276	0,02276	0,97724	0,97724
0,010	9,101	9,299	9,198	9,202	9,197	9,203	10,301	10,598	10,398	10,403	10,397	10,404	9,198	9,202	10,398	10,403	0,02196	0,02331	0,97669	0,97804
0,020	9,102	9,298	9,196	9,204	9,194	9,206	10,302	10,596	10,396	10,406	10,394	10,408	9,196	9,204	10,396	10,406	0,02119	0,02386	0,97614	0,97881
0,030	9,103	9,297	9,194	9,206	9,191	9,209	10,303	10,594	10,394	10,409	10,391	10,412	9,194	9,206	10,394	10,409	0,02044	0,02443	0,97557	0,97956
0,040	9,104	9,296	9,192	9,208	9,188	9,212	10,304	10,592	10,392	10,412	10,388	10,416	9,192	9,208	10,392	10,412	0,01971	0,02501	0,97499	0,98029
0,050	9,105	9,295	9,190	9,210	9,185	9,215	10,305	10,590	10,390	10,415	10,385	10,420	9,190	9,210	10,390	10,415	0,01900	0,02560	0,97440	0,98100
0,060	9,106	9,294	9,188	9,212	9,182	9,218	10,306	10,588	10,388	10,418	10,382	10,424	9,188	9,212	10,388	10,418	0,01832	0,02620	0,97380	0,98168
0,070	9,107	9,293	9,186	9,214	9,179	9,221	10,307	10,586	10,386	10,421	10,379	10,428	9,186	9,214	10,386	10,421	0,01766	0,02681	0,97319	0,98234
0,080	9,108	9,292	9,184	9,216	9,176	9,224	10,308	10,584	10,384	10,424	10,376	10,432	9,184	9,216	10,384	10,424	0,01701	0,02744	0,97256	0,98299
0,090	9,109	9,291	9,182	9,218	9,173	9,227	10,309	10,582	10,382	10,427	10,373	10,436	9,182	9,218	10,382	10,427	0,01639	0,02808	0,97192	0,98361
0,100	9,110	9,290	9,180	9,220	9,170	9,230	10,310	10,580	10,380	10,430	10,370	10,440	9,180	9,220	10,380	10,430	0,01579	0,02873	0,97127	0,98421
0,110	9,111	9,289	9,178	9,222	9,167	9,233	10,311	10,578	10,378	10,433	10,367	10,444	9,178	9,222	10,378	10,433	0,01520	0,02939	0,97061	0,98480
0,120	9,112	9,288	9,176	9,224	9,164	9,236	10,312	10,576	10,376	10,436	10,364	10,448	9,176	9,224	10,376	10,436	0,01464	0,03006	0,96994	0,98536
0,130	9,113	9,287	9,174	9,226	9,161	9,239	10,313	10,574	10,374	10,439	10,361	10,452	9,174	9,226	10,374	10,439	0,01409	0,03075	0,96925	0,98591
0,140	9,114	9,286	9,172	9,228	9,158	9,242	10,314	10,572	10,372	10,442	10,358	10,456	9,172	9,228	10,372	10,442	0,01356	0,03145	0,96855	0,98644
0,150	9,115	9,285	9,170	9,230	9,155	9,245	10,315	10,570	10,370	10,445	10,355	10,460	9,170	9,230	10,370	10,445	0,01305	0,03217	0,96783	0,98695
0,160	9,116	9,284	9,168	9,232	9,152	9,248	10,316	10,568	10,368	10,448	10,352	10,464	9,168	9,232	10,368	10,448	0,01256	0,03289	0,96711	0,98744
0,170	9,117	9,283	9,166	9,234	9,149	9,251	10,317	10,566	10,366	10,451	10,349	10,468	9,166	9,234	10,366	10,451	0,01208	0,03363	0,96637	0,98792
0,180	9,118	9,282	9,164	9,236	9,146	9,254	10,318	10,564	10,364	10,454	10,346	10,472	9,164	9,236	10,364	10,454	0,01161	0,03439	0,96561	0,98839
0,190	9,119	9,281	9,162	9,238	9,143	9,257	10,319	10,562	10,362	10,457	10,343	10,476	9,162	9,238	10,362	10,457	0,01117	0,03516	0,96484	0,98883
0,200	9,120	9,280	9,160	9,240	9,140	9,260	10,320	10,560	10,360	10,460	10,340	10,480	9,160	9,240	10,360	10,460	0,01073	0,03594	0,96406	0,98927
0,210	9,121	9,279	9,158	9,242	9,137	9,263	10,321	10,558	10,358	10,463	10,337	10,484	9,158	9,242	10,358	10,463	0,01032	0,03674	0,96326	0,98968
0,220	9,122	9,278	9,156	9,244	9,134	9,266	10,322	10,556	10,356	10,466	10,334	10,488	9,156	9,244	10,356	10,466	0,00991	0,03755	0,96245	0,99009
0,230	9,123	9,277	9,154	9,246	9,131	9,269	10,323	10,554	10,354	10,469	10,331	10,492	9,154	9,246	10,354	10,469	0,00952	0,03837	0,96163	0,99048
0,240	9,124	9,276	9,152	9,248	9,128	9,272	10,324	10,552	10,352	10,472	10,328	10,496	9,152	9,248	10,352	10,472	0,00915	0,03921	0,96079	0,99085
0,250	9,125	9,275	9,150	9,250	9,125	9,275	10,325	10,550	10,350	10,475	10,325	10,500	9,150	9,250	10,350	10,475	0,00878	0,04007	0,95993	0,99122
0,260	9,126	9,274	9,148	9,252	9,122	9,278	10,326	10,548	10,348	10,478	10,322	10,504	9,148	9,252	10,348	10,478	0,00843	0,04094	0,95906	0,99157
0,270	9,127	9,273	9,146	9,254	9,119	9,281	10,327	10,546	10,346	10,481	10,319	10,508	9,146	9,254	10,346	10,481	0,00810	0,04183	0,95817	0,99190
0,280	9,128	9,272	9,144	9,256	9,116	9,284	10,328	10,544	10,344	10,484	10,316	10,512	9,144	9,256	10,344	10,484	0,00777	0,04273	0,95727	0,99223
0,290	9,129	9,271	9,142	9,258	9,113	9,287	10,329	10,542	10,342	10,487	10,313	10,516	9,142	9,258	10,342	10,487	0,00746	0,04364	0,95636	0,99254
0,300	9,130	9,270	9,140	9,260	9,110	9,290	10,330	10,540	10,340	10,490	10,310	10,520	9,140	9,260	10,340	10,490	0,00715	0,04458	0,95542	0,99285
0,310	9,131	9,269	9,138	9,262	9,107	9,293	10,331	10,538	10,338	10,493	10,307	10,524	9,138	9,262	10,338	10,493	0,00686	0,04552	0,95448	0,99314
0,320	9,132	9,268	9,136	9,264	9,104	9,296	10,332	10,536	10,336	10,496	10,304	10,528	9,136	9,264	10,336	10,496	0,00658	0,04649	0,95351	0,99342
0,330	9,133	9,267	9,134	9,266	9,101	9,299	10,333	10,534	10,334	10,499	10,301	10,532	9,134	9,266	10,334	10,499	0,00631	0,04747	0,95253	0,99369
0,340	9,134	9,266	9,132	9,268	9,098	9,302	10,334	10,532	10,332	10,502	10,298	10,536	9,134	9,266	10,334	10,502	0,00605	0,04747	0,95253	0,99395
0,350	9,135	9,265	9,130	9,270	9,095	9,305	10,335	10,530	10,330	10,505	10,295	10,540	9,135	9,265	10,335	10,505	0,00579	0,04698	0,95302	0,99421
0,360	9,136	9,264	9,128	9,272	9,092	9,308	10,336	10,528	10,328	10,508	10,292	10,544	9,136	9,264	10,336	10,508	0,00555	0,04649	0,95351	0,99445
0,370	9,137	9,263	9,126	9,274	9,089	9,311	10,337	10,526	10,326	10,511	10,289	10,548	9,137	9,263	10,337	10,511	0,00532	0,04600	0,95400	0,99468

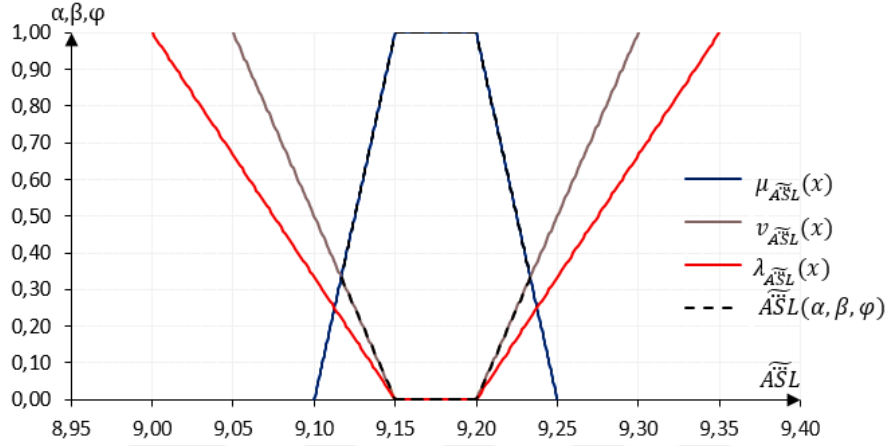
Tablo 6.10 Daha esnek TDÜN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri
(devamı)

α, β, φ	ASL(α)		ASL(β)		ASL(φ)		ÜSL(α)		ÜSL(β)		ÜSL(φ)		ASL(α, β, φ)		ÜSL(α, β, φ)		PNL,d	PNr,d	PNL	PNr
0,380	9,138	9,262	9,124	9,276	9,086	9,314	10,338	10,524	10,324	10,514	10,286	10,552	9,138	9,262	10,338	10,514	0,00509	0,04552	0,95448	0,99491
0,390	9,139	9,261	9,122	9,278	9,083	9,317	10,339	10,522	10,322	10,517	10,283	10,556	9,139	9,261	10,339	10,517	0,00488	0,04505	0,95495	0,99512
0,400	9,140	9,260	9,120	9,280	9,080	9,320	10,340	10,520	10,320	10,520	10,280	10,560	9,140	9,260	10,340	10,520	0,00467	0,04458	0,95542	0,99533
0,410	9,141	9,259	9,118	9,282	9,077	9,323	10,341	10,518	10,318	10,523	10,277	10,564	9,141	9,259	10,341	10,518	0,00481	0,04411	0,95589	0,99519
0,420	9,142	9,258	9,116	9,284	9,074	9,326	10,342	10,516	10,316	10,526	10,274	10,568	9,142	9,258	10,342	10,516	0,00495	0,04364	0,95636	0,99505
0,430	9,143	9,257	9,114	9,286	9,071	9,329	10,343	10,514	10,314	10,529	10,271	10,572	9,143	9,257	10,343	10,514	0,00509	0,04318	0,95682	0,99491
0,440	9,144	9,256	9,112	9,288	9,068	9,332	10,344	10,512	10,312	10,532	10,268	10,576	9,144	9,256	10,344	10,512	0,00524	0,04273	0,95727	0,99476
0,450	9,145	9,255	9,110	9,290	9,065	9,335	10,345	10,510	10,310	10,535	10,265	10,580	9,145	9,255	10,345	10,510	0,00540	0,04227	0,95773	0,99460
0,460	9,146	9,254	9,108	9,292	9,062	9,338	10,346	10,508	10,308	10,538	10,262	10,584	9,146	9,254	10,346	10,508	0,00555	0,04183	0,95817	0,99445
0,470	9,147	9,253	9,106	9,294	9,059	9,341	10,347	10,506	10,306	10,541	10,259	10,588	9,147	9,253	10,347	10,506	0,00571	0,04138	0,95862	0,99429
0,480	9,148	9,252	9,104	9,296	9,056	9,344	10,348	10,504	10,304	10,544	10,256	10,592	9,148	9,252	10,348	10,504	0,00588	0,04094	0,95906	0,99412
0,490	9,149	9,251	9,102	9,298	9,053	9,347	10,349	10,502	10,302	10,547	10,253	10,596	9,149	9,251	10,349	10,502	0,00605	0,04050	0,95950	0,99395
0,500	9,150	9,250	9,100	9,300	9,050	9,350	10,350	10,500	10,300	10,550	10,250	10,600	9,150	9,250	10,350	10,500	0,00622	0,04007	0,95993	0,99378
0,510	9,151	9,249	9,098	9,302	9,047	9,353	10,351	10,498	10,298	10,553	10,247	10,604	9,151	9,249	10,351	10,498	0,00640	0,03964	0,96036	0,99360
0,520	9,152	9,248	9,096	9,304	9,044	9,356	10,352	10,496	10,296	10,556	10,244	10,608	9,152	9,248	10,352	10,496	0,00658	0,03921	0,96079	0,99342
0,530	9,153	9,247	9,094	9,306	9,041	9,359	10,353	10,494	10,294	10,559	10,241	10,612	9,153	9,247	10,353	10,494	0,00677	0,03879	0,96121	0,99323
0,540	9,154	9,246	9,092	9,308	9,038	9,362	10,354	10,492	10,292	10,562	10,238	10,616	9,154	9,246	10,354	10,492	0,00696	0,03837	0,96163	0,99304
0,550	9,155	9,245	9,090	9,310	9,035	9,365	10,355	10,490	10,290	10,565	10,235	10,620	9,155	9,245	10,355	10,490	0,00715	0,03796	0,96204	0,99285
0,560	9,156	9,244	9,088	9,312	9,032	9,368	10,356	10,488	10,288	10,568	10,232	10,624	9,156	9,244	10,356	10,488	0,00735	0,03755	0,96245	0,99265
0,570	9,157	9,243	9,086	9,314	9,029	9,371	10,357	10,486	10,286	10,571	10,229	10,628	9,157	9,243	10,357	10,486	0,00756	0,03714	0,96286	0,99244
0,580	9,158	9,242	9,084	9,316	9,026	9,374	10,358	10,484	10,284	10,574	10,226	10,632	9,158	9,242	10,358	10,484	0,00777	0,03674	0,96326	0,99223
0,590	9,159	9,241	9,082	9,318	9,023	9,377	10,359	10,482	10,282	10,577	10,223	10,636	9,159	9,241	10,359	10,482	0,00799	0,03634	0,96366	0,99201
0,600	9,160	9,240	9,080	9,320	9,020	9,380	10,360	10,480	10,280	10,580	10,220	10,640	9,160	9,240	10,360	10,480	0,00821	0,03594	0,96406	0,99179
0,610	9,161	9,239	9,078	9,322	9,017	9,383	10,361	10,478	10,278	10,583	10,217	10,644	9,161	9,239	10,361	10,478	0,00843	0,03555	0,96445	0,99157
0,620	9,162	9,238	9,076	9,324	9,014	9,386	10,362	10,476	10,276	10,586	10,214	10,648	9,162	9,238	10,362	10,476	0,00867	0,03516	0,96484	0,99133
0,630	9,163	9,237	9,074	9,326	9,011	9,389	10,363	10,474	10,274	10,589	10,211	10,652	9,163	9,237	10,363	10,474	0,00890	0,03477	0,96523	0,99110
0,640	9,164	9,236	9,072	9,328	9,008	9,392	10,364	10,472	10,272	10,592	10,208	10,656	9,164	9,236	10,364	10,472	0,00915	0,03439	0,96561	0,99085
0,650	9,165	9,235	9,070	9,330	9,005	9,395	10,365	10,470	10,270	10,595	10,205	10,660	9,165	9,235	10,365	10,470	0,00940	0,03401	0,96599	0,99060
0,660	9,166	9,234	9,068	9,332	9,002	9,398	10,366	10,468	10,268	10,598	10,202	10,664	9,166	9,234	10,366	10,468	0,00965	0,03363	0,96637	0,99035
0,670	9,167	9,233	9,066	9,334	8,999	9,401	10,367	10,466	10,266	10,601	10,199	10,668	9,167	9,233	10,367	10,466	0,00991	0,03326	0,96674	0,99009
0,680	9,168	9,232	9,064	9,336	8,996	9,404	10,368	10,464	10,264	10,604	10,196	10,672	9,168	9,232	10,368	10,464	0,01018	0,03289	0,96711	0,98982
0,690	9,169	9,231	9,062	9,338	8,993	9,407	10,369	10,462	10,262	10,607	10,193	10,676	9,169	9,231	10,369	10,462	0,01045	0,03253	0,96747	0,98955
0,700	9,170	9,230	9,060	9,340	8,990	9,410	10,370	10,460	10,260	10,610	10,190	10,680	9,170	9,230	10,370	10,460	0,01073	0,03217	0,96783	0,98927
0,710	9,171	9,229	9,058	9,342	8,987	9,413	10,371	10,458	10,258	10,613	10,187	10,684	9,171	9,229	10,371	10,458	0,01102	0,03181	0,96819	0,98898
0,720	9,172	9,228	9,056	9,344	8,984	9,416	10,372	10,456	10,256	10,616	10,184	10,688	9,172	9,228	10,372	10,456	0,01131	0,03145	0,96855	0,98869
0,730	9,173	9,227	9,054	9,346	8,981	9,419	10,373	10,454	10,254	10,619	10,181	10,692	9,173	9,227	10,373	10,454	0,01161	0,03110	0,96890	0,98839
0,740	9,174	9,226	9,052	9,348	8,978	9,422	10,374	10,452	10,252	10,622	10,178	10,696	9,174	9,226	10,374	10,452	0,01192	0,03075	0,96925	0,98808

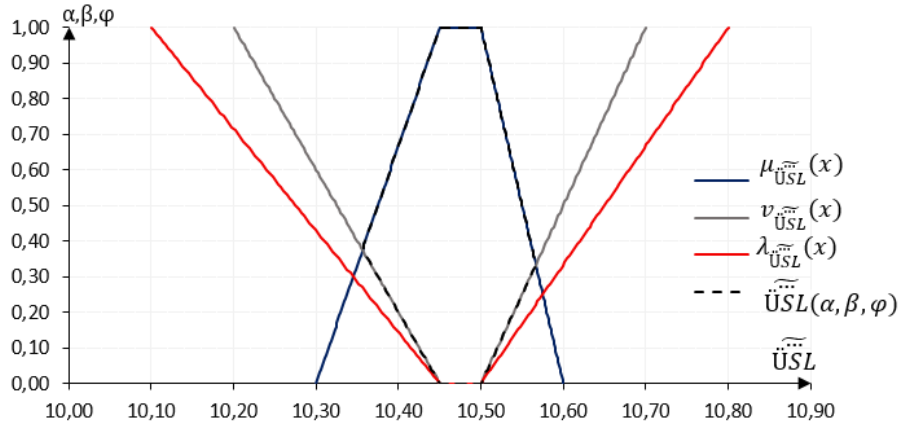
Tablo 6.10 Daha esnek TDÜN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri
(devamı)

α, β, φ	ASL(α)		ASL(β)		ASL(φ)		ÜSL(α)		ÜSL(β)		ÜSL(φ)		ASL(α, β, φ)		ÜSL(α, β, φ)		PNL _d	PNr _d	PNL	PNr
0,750	9,175	9,225	9,050	9,350	8,975	9,425	10,375	10,450	10,250	10,625	10,175	10,700	9,175	9,225	10,375	10,450	0,01223	0,03041	0,96959	0,98777
0,760	9,176	9,224	9,048	9,352	8,972	9,428	10,376	10,448	10,248	10,628	10,172	10,704	9,176	9,224	10,376	10,448	0,01256	0,03006	0,96994	0,98744
0,770	9,177	9,223	9,046	9,354	8,969	9,431	10,377	10,446	10,246	10,631	10,169	10,708	9,177	9,223	10,377	10,446	0,01288	0,02972	0,97028	0,98712
0,780	9,178	9,222	9,044	9,356	8,966	9,434	10,378	10,444	10,244	10,634	10,166	10,712	9,178	9,222	10,378	10,444	0,01322	0,02939	0,97061	0,98678
0,790	9,179	9,221	9,042	9,358	8,963	9,437	10,379	10,442	10,242	10,637	10,163	10,716	9,179	9,221	10,379	10,442	0,01356	0,02906	0,97094	0,98644
0,800	9,180	9,220	9,040	9,360	8,960	9,440	10,380	10,440	10,240	10,640	10,160	10,720	9,180	9,220	10,380	10,440	0,01391	0,02873	0,97127	0,98609
0,810	9,181	9,219	9,038	9,362	8,957	9,443	10,381	10,438	10,238	10,643	10,157	10,724	9,181	9,219	10,381	10,438	0,01427	0,02840	0,97160	0,98573
0,820	9,182	9,218	9,036	9,364	8,954	9,446	10,382	10,436	10,236	10,646	10,154	10,728	9,182	9,218	10,382	10,436	0,01464	0,02808	0,97192	0,98536
0,830	9,183	9,217	9,034	9,366	8,951	9,449	10,383	10,434	10,234	10,649	10,151	10,732	9,183	9,217	10,383	10,434	0,01501	0,02776	0,97224	0,98499
0,840	9,184	9,216	9,032	9,368	8,948	9,452	10,384	10,432	10,232	10,652	10,148	10,736	9,184	9,216	10,384	10,432	0,01540	0,02744	0,97256	0,98460
0,850	9,185	9,215	9,030	9,370	8,945	9,455	10,385	10,430	10,230	10,655	10,145	10,740	9,185	9,215	10,385	10,430	0,01579	0,02712	0,97288	0,98421
0,860	9,186	9,214	9,028	9,372	8,942	9,458	10,386	10,428	10,228	10,658	10,142	10,744	9,186	9,214	10,386	10,428	0,01619	0,02681	0,97319	0,98381
0,870	9,187	9,213	9,026	9,374	8,939	9,461	10,387	10,426	10,226	10,661	10,139	10,748	9,187	9,213	10,387	10,426	0,01660	0,02651	0,97349	0,98340
0,880	9,188	9,212	9,024	9,376	8,936	9,464	10,388	10,424	10,224	10,664	10,136	10,752	9,188	9,212	10,388	10,424	0,01701	0,02620	0,97380	0,98299
0,890	9,189	9,211	9,022	9,378	8,933	9,467	10,389	10,422	10,222	10,667	10,133	10,756	9,189	9,211	10,389	10,422	0,01744	0,02590	0,97410	0,98256
0,900	9,190	9,210	9,020	9,380	8,930	9,470	10,390	10,420	10,220	10,670	10,130	10,760	9,190	9,210	10,390	10,420	0,01787	0,02560	0,97440	0,98213
0,910	9,191	9,209	9,018	9,382	8,927	9,473	10,391	10,418	10,218	10,673	10,127	10,764	9,191	9,209	10,391	10,418	0,01832	0,02530	0,97470	0,98168
0,920	9,192	9,208	9,016	9,384	8,924	9,476	10,392	10,416	10,216	10,676	10,124	10,768	9,192	9,208	10,392	10,416	0,01877	0,02501	0,97499	0,98123
0,930	9,193	9,207	9,014	9,386	8,921	9,479	10,393	10,414	10,214	10,679	10,121	10,772	9,193	9,207	10,393	10,414	0,01924	0,02472	0,97528	0,98076
0,940	9,194	9,206	9,012	9,388	8,918	9,482	10,394	10,412	10,212	10,682	10,118	10,776	9,194	9,206	10,394	10,412	0,01971	0,02443	0,97557	0,98029
0,950	9,195	9,205	9,010	9,390	8,915	9,485	10,395	10,410	10,210	10,685	10,115	10,780	9,195	9,205	10,395	10,410	0,02019	0,02414	0,97586	0,97981
0,960	9,196	9,204	9,008	9,392	8,912	9,488	10,396	10,408	10,208	10,688	10,112	10,784	9,196	9,204	10,396	10,408	0,02069	0,02386	0,97614	0,97931
0,970	9,197	9,203	9,006	9,394	8,909	9,491	10,397	10,406	10,206	10,691	10,109	10,788	9,197	9,203	10,397	10,406	0,02119	0,02358	0,97642	0,97881
0,980	9,198	9,202	9,004	9,396	8,906	9,494	10,398	10,404	10,204	10,694	10,106	10,792	9,198	9,202	10,398	10,404	0,02170	0,02331	0,97669	0,97830
0,990	9,199	9,201	9,002	9,398	8,903	9,497	10,399	10,402	10,202	10,697	10,103	10,796	9,199	9,201	10,399	10,402	0,02223	0,02303	0,97697	0,97777
1,000	9,200	9,200	9,000	9,400	8,900	9,500	10,400	10,400	10,200	10,700	10,100	10,800	9,200	9,200	10,400	10,400	0,02276	0,02276	0,97724	0,97724

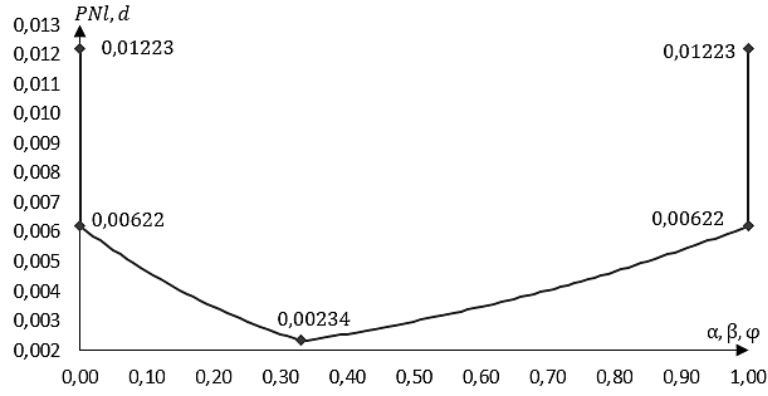
Dişlinin daha esnek TDYN olarak tanımlanan spesifikasyon limitleri $\widetilde{\widetilde{A\dot{S}L}} = \langle (9,10; 9,15; 9,20; 9,25), (9,05; 9,15; 9,20; 9,30), (9,00; 9,15; 9,20; 9,35) \rangle$ ve $\widetilde{\widetilde{Ü\dot{S}L}} = \langle (10,30; 10,45; 10,50; 10,60), (10,20; 10,45; 10,50; 10,70), (10,10; 10,45; 10,50; 10,80) \rangle$ olarak ifade edildiğinde, tanım 5.53'deki TDYNS'nin (α, β, φ) kesimlerinden yararlanılarak sürecin spesifikasyon limitleri dışında kalma olasılığı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:



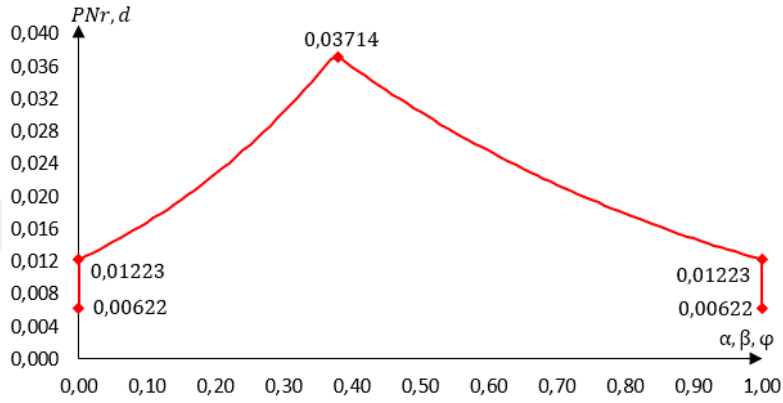
Şekil 6.56 Daha esnek TDYN olarak tanımlanan $\widetilde{\widetilde{A\dot{S}L}}$ 'nin (α, β, φ) kesimleri



Şekil 6.57 Daha esnek TDYN olarak tanımlanan $\widetilde{\widetilde{Ü\dot{S}L}}$ 'nin (α, β, φ) kesimleri



Şekil 6.58 Daha esnek TDYN olarak tanımlanan PNL, d değeri



Şekil 6.59 Daha esnek TDYN PNr, d değeri

Sürecin spesifikasyon limitleri dışında olma olasılığının kesin değeri 0,01039'dır. Daha esnek TDYNS ile sürecin spesifikasyon limitleri dışında olma olasılığı hesaplandığında, PNL, d değerinin 0,01223'den başlayarak 0,00234'e kadar indiği ve tekrardan 0,1223'e çıktığı görülmektedir. PNL, d değeri 0,0123-0,00234 aralığındadır. PNr, d değerinin 0,00622'den başlayarak 0,03714'e kadar çıktığı ve tekrardan 0,00622'e kadar azaldığı görülmektedir. PNr, d değeri 0,00662-0,03714 aralığındadır. Sürecin spesifikasyon limitleri dışında olma olasılığı 0,00234-0,03714 aralığında olduğu sonucuna varılmıştır. Çıkan sonuçlar, süreç hakkında daha fazla bilgi sahibi olmamızı sağlamakla birlikte belirsizliği de ele aldığı için süreç hakkında daha gerçekçi bilgi vermektedir. Tablo 6.11'de daha esnek TDYN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri gösterilmiştir.

Tablo 6.11 Daha esnek TDYN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri

α, β, φ	ASL(α)		ASL(β)		ASL(φ)		$\ddot{U}SL(\alpha)$		$\ddot{U}SL(\beta)$		$\ddot{U}SL(\varphi)$		ASL(α, β, φ)		$\ddot{U}SL(\alpha, \beta, \varphi)$		PNl,d	PNr,d	PNl	PNr
0,000	9,100	9,250	9,150	9,200	9,150	9,200	10,300	10,600	10,450	10,500	10,450	10,500	9,150	9,200	10,450	10,500	0,00622	0,01223	0,98777	0,99378
0,010	9,101	9,250	9,149	9,201	9,149	9,202	10,302	10,599	10,448	10,502	10,447	10,503	9,149	9,201	10,448	10,502	0,00605	0,01264	0,98736	0,99395
0,020	9,101	9,249	9,148	9,202	9,147	9,203	10,303	10,598	10,445	10,504	10,443	10,506	9,148	9,202	10,445	10,504	0,00588	0,01305	0,98695	0,99412
0,030	9,102	9,249	9,147	9,203	9,146	9,205	10,305	10,597	10,443	10,506	10,440	10,509	9,147	9,203	10,443	10,506	0,00571	0,01348	0,98652	0,99429
0,040	9,102	9,248	9,146	9,204	9,144	9,206	10,306	10,596	10,440	10,508	10,436	10,512	9,146	9,204	10,440	10,508	0,00555	0,01391	0,98609	0,99445
0,050	9,103	9,248	9,145	9,205	9,143	9,208	10,308	10,595	10,438	10,510	10,433	10,515	9,145	9,205	10,438	10,510	0,00540	0,01436	0,98564	0,99460
0,060	9,103	9,247	9,144	9,206	9,141	9,209	10,309	10,594	10,435	10,512	10,429	10,518	9,144	9,206	10,435	10,512	0,00524	0,01483	0,98517	0,99476
0,070	9,104	9,247	9,143	9,207	9,140	9,211	10,311	10,593	10,433	10,514	10,426	10,521	9,143	9,207	10,433	10,514	0,00509	0,01530	0,98470	0,99491
0,080	9,104	9,246	9,142	9,208	9,138	9,212	10,312	10,592	10,430	10,516	10,422	10,524	9,142	9,208	10,430	10,516	0,00495	0,01579	0,98421	0,99505
0,090	9,105	9,246	9,141	9,209	9,137	9,214	10,314	10,591	10,428	10,518	10,419	10,527	9,141	9,209	10,428	10,518	0,00481	0,01629	0,98371	0,99519
0,100	9,105	9,245	9,140	9,210	9,135	9,215	10,315	10,590	10,425	10,520	10,415	10,530	9,140	9,210	10,425	10,520	0,00467	0,01680	0,98320	0,99533
0,110	9,106	9,245	9,139	9,211	9,134	9,217	10,317	10,589	10,423	10,522	10,412	10,533	9,139	9,211	10,423	10,522	0,00454	0,01733	0,98267	0,99546
0,120	9,106	9,244	9,138	9,212	9,132	9,218	10,318	10,588	10,420	10,524	10,408	10,536	9,138	9,212	10,420	10,524	0,00441	0,01787	0,98213	0,99559
0,130	9,107	9,244	9,137	9,213	9,131	9,220	10,320	10,587	10,418	10,526	10,405	10,539	9,137	9,213	10,418	10,526	0,00428	0,01843	0,98157	0,99572
0,140	9,107	9,243	9,136	9,214	9,129	9,221	10,321	10,586	10,415	10,528	10,401	10,542	9,136	9,214	10,415	10,528	0,00415	0,01900	0,98100	0,99585
0,150	9,108	9,243	9,135	9,215	9,128	9,223	10,323	10,585	10,413	10,530	10,398	10,545	9,135	9,215	10,413	10,530	0,00403	0,01959	0,98041	0,99597
0,160	9,108	9,242	9,134	9,216	9,126	9,224	10,324	10,584	10,410	10,532	10,394	10,548	9,134	9,216	10,410	10,532	0,00392	0,02019	0,97981	0,99608
0,170	9,109	9,242	9,133	9,217	9,125	9,226	10,326	10,583	10,408	10,534	10,391	10,551	9,133	9,217	10,408	10,534	0,00380	0,02081	0,97919	0,99620
0,180	9,109	9,241	9,132	9,218	9,123	9,227	10,327	10,582	10,405	10,536	10,387	10,554	9,132	9,218	10,405	10,536	0,00369	0,02144	0,97856	0,99631
0,190	9,110	9,241	9,131	9,219	9,122	9,229	10,329	10,581	10,403	10,538	10,384	10,557	9,131	9,219	10,403	10,538	0,00358	0,02209	0,97791	0,99642
0,200	9,110	9,240	9,130	9,220	9,120	9,230	10,330	10,580	10,400	10,540	10,380	10,560	9,130	9,220	10,400	10,540	0,00348	0,02276	0,97724	0,99652
0,210	9,111	9,240	9,129	9,221	9,119	9,232	10,332	10,579	10,398	10,542	10,377	10,563	9,129	9,221	10,398	10,542	0,00337	0,02344	0,97656	0,99663
0,220	9,111	9,239	9,128	9,222	9,117	9,233	10,333	10,578	10,395	10,544	10,373	10,566	9,128	9,222	10,395	10,544	0,00327	0,02414	0,97586	0,99673
0,230	9,112	9,239	9,127	9,223	9,116	9,235	10,335	10,577	10,393	10,546	10,370	10,569	9,127	9,223	10,393	10,546	0,00318	0,02486	0,97514	0,99682
0,240	9,112	9,238	9,126	9,224	9,114	9,236	10,336	10,576	10,390	10,548	10,366	10,572	9,126	9,224	10,390	10,548	0,00308	0,02560	0,97440	0,99692
0,250	9,113	9,238	9,125	9,225	9,113	9,238	10,338	10,575	10,388	10,550	10,363	10,575	9,125	9,225	10,388	10,550	0,00299	0,02635	0,97365	0,99701
0,260	9,113	9,237	9,124	9,226	9,111	9,239	10,339	10,574	10,385	10,552	10,359	10,578	9,124	9,226	10,385	10,552	0,00290	0,02712	0,97288	0,99710
0,270	9,114	9,237	9,123	9,227	9,110	9,241	10,341	10,573	10,383	10,554	10,356	10,581	9,123	9,227	10,383	10,554	0,00281	0,02792	0,97208	0,99719
0,280	9,114	9,236	9,122	9,228	9,108	9,242	10,342	10,572	10,380	10,556	10,352	10,584	9,122	9,228	10,380	10,556	0,00273	0,02873	0,97127	0,99727
0,290	9,115	9,236	9,121	9,229	9,107	9,244	10,344	10,571	10,378	10,558	10,349	10,587	9,121	9,229	10,378	10,558	0,00265	0,02956	0,97044	0,99736
0,300	9,115	9,235	9,120	9,230	9,105	9,245	10,345	10,570	10,375	10,560	10,345	10,590	9,120	9,230	10,375	10,560	0,00256	0,03041	0,96959	0,99744
0,310	9,116	9,235	9,119	9,231	9,104	9,247	10,347	10,569	10,373	10,562	10,342	10,593	9,119	9,231	10,373	10,562	0,00249	0,03128	0,96872	0,99751
0,320	9,116	9,234	9,118	9,232	9,102	9,248	10,348	10,568	10,370	10,564	10,338	10,596	9,118	9,232	10,370	10,564	0,00241	0,03217	0,96783	0,99759
0,330	9,117	9,234	9,117	9,233	9,101	9,250	10,350	10,567	10,368	10,566	10,335	10,599	9,117	9,233	10,368	10,566	0,00234	0,03308	0,96692	0,99766
0,340	9,117	9,233	9,116	9,234	9,099	9,251	10,351	10,566	10,365	10,568	10,331	10,602	9,117	9,233	10,365	10,566	0,00234	0,03401	0,96599	0,99766

Tablo 6.11 Daha esnek TDYN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri
(devamı)

α, β, φ	ASL(α)			ASL(β)			ASL(φ)			ÜSL(α)			ÜSL(β)			ÜSL(φ)			ASL(α, β, φ)			ÜSL(α, β, φ)			PNl,d	PNr,d	PNl	PNr
0,350	9,118	9,233	9,115	9,235	9,098	9,253	10,353	10,565	10,363	10,570	10,328	10,605	9,118	9,233	10,363	10,565	0,00237	0,03496	0,96504	0,99763								
0,360	9,118	9,232	9,114	9,236	9,096	9,254	10,354	10,564	10,360	10,572	10,324	10,608	9,118	9,232	10,360	10,564	0,00241	0,03594	0,96406	0,99759								
0,370	9,119	9,232	9,113	9,237	9,095	9,256	10,356	10,563	10,358	10,574	10,321	10,611	9,119	9,232	10,358	10,563	0,00245	0,03694	0,96306	0,99755								
0,380	9,119	9,231	9,112	9,238	9,093	9,257	10,357	10,562	10,355	10,576	10,317	10,614	9,119	9,231	10,357	10,562	0,00249	0,03714	0,96286	0,99751								
0,390	9,120	9,231	9,111	9,239	9,092	9,259	10,359	10,561	10,353	10,578	10,314	10,617	9,120	9,231	10,359	10,561	0,00253	0,03654	0,96346	0,99747								
0,400	9,120	9,230	9,110	9,240	9,090	9,260	10,360	10,560	10,350	10,580	10,310	10,620	9,120	9,230	10,360	10,560	0,00256	0,03594	0,96406	0,99744								
0,410	9,121	9,230	9,109	9,241	9,089	9,262	10,362	10,559	10,348	10,582	10,307	10,623	9,121	9,230	10,362	10,559	0,00260	0,03535	0,96465	0,99740								
0,420	9,121	9,229	9,108	9,242	9,087	9,263	10,363	10,558	10,345	10,584	10,303	10,626	9,121	9,229	10,363	10,558	0,00265	0,03477	0,96523	0,99736								
0,430	9,122	9,229	9,107	9,243	9,086	9,265	10,365	10,557	10,343	10,586	10,300	10,629	9,122	9,229	10,365	10,557	0,00269	0,03420	0,96580	0,99731								
0,440	9,122	9,228	9,106	9,244	9,084	9,266	10,366	10,556	10,340	10,588	10,296	10,632	9,122	9,228	10,366	10,556	0,00273	0,03363	0,96637	0,99727								
0,450	9,123	9,228	9,105	9,245	9,083	9,268	10,368	10,555	10,338	10,590	10,293	10,635	9,123	9,228	10,368	10,555	0,00277	0,03308	0,96692	0,99723								
0,460	9,123	9,227	9,104	9,246	9,081	9,269	10,369	10,554	10,335	10,592	10,289	10,638	9,123	9,227	10,369	10,554	0,00281	0,03253	0,96747	0,99719								
0,470	9,124	9,227	9,103	9,247	9,080	9,271	10,371	10,553	10,333	10,594	10,286	10,641	9,124	9,227	10,371	10,553	0,00286	0,03199	0,96801	0,99714								
0,480	9,124	9,226	9,102	9,248	9,078	9,272	10,372	10,552	10,330	10,596	10,282	10,644	9,124	9,226	10,372	10,552	0,00290	0,03145	0,96855	0,99710								
0,490	9,125	9,226	9,101	9,249	9,077	9,274	10,374	10,551	10,328	10,598	10,279	10,647	9,125	9,226	10,374	10,551	0,00294	0,03093	0,96907	0,99706								
0,500	9,125	9,225	9,100	9,250	9,075	9,275	10,375	10,550	10,325	10,600	10,275	10,650	9,125	9,225	10,375	10,550	0,00299	0,03041	0,96959	0,99701								
0,510	9,126	9,225	9,099	9,251	9,074	9,277	10,377	10,549	10,323	10,602	10,272	10,653	9,126	9,225	10,377	10,549	0,00304	0,02989	0,97011	0,99696								
0,520	9,126	9,224	9,098	9,252	9,072	9,278	10,378	10,548	10,320	10,604	10,268	10,656	9,126	9,224	10,378	10,548	0,00308	0,02939	0,97061	0,99692								
0,530	9,127	9,224	9,097	9,253	9,071	9,280	10,380	10,547	10,318	10,606	10,265	10,659	9,127	9,224	10,380	10,547	0,00313	0,02889	0,97111	0,99687								
0,540	9,127	9,223	9,096	9,254	9,069	9,281	10,381	10,546	10,315	10,608	10,261	10,662	9,127	9,223	10,381	10,546	0,00318	0,02840	0,97160	0,99682								
0,550	9,128	9,223	9,095	9,255	9,068	9,283	10,383	10,545	10,313	10,610	10,258	10,665	9,128	9,223	10,383	10,545	0,00322	0,02792	0,97208	0,99678								
0,560	9,128	9,222	9,094	9,256	9,066	9,284	10,384	10,544	10,310	10,612	10,254	10,668	9,128	9,222	10,384	10,544	0,00327	0,02744	0,97256	0,99673								
0,570	9,129	9,222	9,093	9,257	9,065	9,286	10,386	10,543	10,308	10,614	10,251	10,671	9,129	9,222	10,386	10,543	0,00332	0,02697	0,97303	0,99668								
0,580	9,129	9,221	9,092	9,258	9,063	9,287	10,387	10,542	10,305	10,616	10,247	10,674	9,129	9,221	10,387	10,542	0,00337	0,02651	0,97349	0,99663								
0,590	9,130	9,221	9,091	9,259	9,062	9,289	10,389	10,541	10,303	10,618	10,244	10,677	9,130	9,221	10,389	10,541	0,00342	0,02605	0,97395	0,99658								
0,600	9,130	9,220	9,090	9,260	9,060	9,290	10,390	10,540	10,300	10,620	10,240	10,680	9,130	9,220	10,390	10,540	0,00348	0,02560	0,97440	0,99652								
0,610	9,131	9,220	9,089	9,261	9,059	9,292	10,392	10,539	10,298	10,622	10,237	10,683	9,131	9,220	10,392	10,539	0,00353	0,02515	0,97485	0,99647								
0,620	9,131	9,219	9,088	9,262	9,057	9,293	10,393	10,538	10,295	10,624	10,233	10,686	9,131	9,219	10,393	10,538	0,00358	0,02472	0,97528	0,99642								
0,630	9,132	9,219	9,087	9,263	9,056	9,295	10,395	10,537	10,293	10,626	10,230	10,689	9,132	9,219	10,395	10,537	0,00364	0,02429	0,97571	0,99636								
0,640	9,132	9,218	9,086	9,264	9,054	9,296	10,396	10,536	10,290	10,628	10,226	10,692	9,132	9,218	10,396	10,536	0,00369	0,02386	0,97614	0,99631								
0,650	9,133	9,218	9,085	9,265	9,053	9,298	10,398	10,535	10,288	10,630	10,223	10,695	9,133	9,218	10,398	10,535	0,00375	0,02344	0,97656	0,99625								
0,660	9,133	9,217	9,084	9,266	9,051	9,299	10,399	10,534	10,285	10,632	10,219	10,698	9,133	9,217	10,399	10,534	0,00380	0,02303	0,97697	0,99620								
0,670	9,134	9,217	9,083	9,267	9,050	9,301	10,401	10,533	10,283	10,634	10,216	10,701	9,134	9,217	10,401	10,533	0,00386	0,02263	0,97737	0,99614								
0,680	9,134	9,216	9,082	9,268	9,048	9,302	10,402	10,532	10,280	10,636	10,212	10,704	9,134	9,216	10,402	10,532	0,00392	0,02223	0,97777	0,99608								

Tablo 6.11 Daha esnek TDYN olarak tanımlanan spesifikasyon limitlerinin (α, β, φ) kesimleri, uygun ve uygunsuzluk olasılık değerleri (devamı)

α, β, φ	ASL(α)			ASL(β)			ASL(φ)			ÜSL(α)			ÜSL(β)			ÜSL(φ)			ASL(α, β, φ)			ÜSL(α, β, φ)			PNl,d	PNr,d	PNl	PNr
0,690	9,135	9,216	9,081	9,269	9,047	9,304	10,404	10,531	10,278	10,638	10,209	10,707	9,135	9,216	10,404	10,531	0,00397	0,02183	0,97817	0,99603								
0,700	9,135	9,215	9,080	9,270	9,045	9,305	10,405	10,530	10,275	10,640	10,205	10,710	9,135	9,215	10,405	10,530	0,00403	0,02144	0,97856	0,99597								
0,710	9,136	9,215	9,079	9,271	9,044	9,307	10,407	10,529	10,273	10,642	10,202	10,713	9,136	9,215	10,407	10,529	0,00409	0,02106	0,97894	0,99591								
0,720	9,136	9,214	9,078	9,272	9,042	9,308	10,408	10,528	10,270	10,644	10,198	10,716	9,136	9,214	10,408	10,528	0,00415	0,02069	0,97931	0,99585								
0,730	9,137	9,214	9,077	9,273	9,041	9,310	10,410	10,527	10,268	10,646	10,195	10,719	9,137	9,214	10,410	10,527	0,00422	0,02031	0,97969	0,99578								
0,740	9,137	9,213	9,076	9,274	9,039	9,311	10,411	10,526	10,265	10,648	10,191	10,722	9,137	9,213	10,411	10,526	0,00428	0,01995	0,98005	0,99572								
0,750	9,138	9,213	9,075	9,275	9,038	9,313	10,413	10,525	10,263	10,650	10,188	10,725	9,138	9,213	10,413	10,525	0,00434	0,01959	0,98041	0,99566								
0,760	9,138	9,212	9,074	9,276	9,036	9,314	10,414	10,524	10,260	10,652	10,184	10,728	9,138	9,212	10,414	10,524	0,00441	0,01924	0,98076	0,99559								
0,770	9,139	9,212	9,073	9,277	9,035	9,316	10,416	10,523	10,258	10,654	10,181	10,731	9,139	9,212	10,416	10,523	0,00447	0,01889	0,98111	0,99553								
0,780	9,139	9,211	9,072	9,278	9,033	9,317	10,417	10,522	10,255	10,656	10,177	10,734	9,139	9,211	10,417	10,522	0,00454	0,01854	0,98146	0,99546								
0,790	9,140	9,211	9,071	9,279	9,032	9,319	10,419	10,521	10,253	10,658	10,174	10,737	9,140	9,211	10,419	10,521	0,00460	0,01821	0,98179	0,99540								
0,800	9,140	9,210	9,070	9,280	9,030	9,320	10,420	10,520	10,250	10,660	10,170	10,740	9,140	9,210	10,420	10,520	0,00467	0,01787	0,98213	0,99533								
0,810	9,141	9,210	9,069	9,281	9,029	9,322	10,422	10,519	10,248	10,662	10,167	10,743	9,141	9,210	10,422	10,519	0,00474	0,01755	0,98245	0,99526								
0,820	9,141	9,209	9,068	9,282	9,027	9,323	10,423	10,518	10,245	10,664	10,163	10,746	9,141	9,209	10,423	10,518	0,00481	0,01722	0,98278	0,99519								
0,830	9,142	9,209	9,067	9,283	9,026	9,325	10,425	10,517	10,243	10,666	10,160	10,749	9,142	9,209	10,425	10,517	0,00488	0,01691	0,98309	0,99512								
0,840	9,142	9,208	9,066	9,284	9,024	9,326	10,426	10,516	10,240	10,668	10,156	10,752	9,142	9,208	10,426	10,516	0,00495	0,01660	0,98340	0,99505								
0,850	9,143	9,208	9,065	9,285	9,023	9,328	10,428	10,515	10,238	10,670	10,153	10,755	9,143	9,208	10,428	10,515	0,00502	0,01629	0,98371	0,99498								
0,860	9,143	9,207	9,064	9,286	9,021	9,329	10,429	10,514	10,235	10,672	10,149	10,758	9,143	9,207	10,429	10,514	0,00509	0,01599	0,98401	0,99491								
0,870	9,144	9,207	9,063	9,287	9,020	9,331	10,431	10,513	10,233	10,674	10,146	10,761	9,144	9,207	10,431	10,513	0,00517	0,01569	0,98431	0,99483								
0,880	9,144	9,206	9,062	9,288	9,018	9,332	10,432	10,512	10,230	10,676	10,142	10,764	9,144	9,206	10,432	10,512	0,00524	0,01540	0,98460	0,99476								
0,890	9,145	9,206	9,061	9,289	9,017	9,334	10,434	10,511	10,228	10,678	10,139	10,767	9,145	9,206	10,434	10,511	0,00532	0,01511	0,98489	0,99468								
0,900	9,145	9,205	9,060	9,290	9,015	9,335	10,435	10,510	10,225	10,680	10,135	10,770	9,145	9,205	10,435	10,510	0,00540	0,01483	0,98517	0,99460								
0,910	9,146	9,205	9,059	9,291	9,014	9,337	10,437	10,509	10,223	10,682	10,132	10,773	9,146	9,205	10,437	10,509	0,00547	0,01455	0,98545	0,99453								
0,920	9,146	9,204	9,058	9,292	9,012	9,338	10,438	10,508	10,220	10,684	10,128	10,776	9,146	9,204	10,438	10,508	0,00555	0,01427	0,98573	0,99445								
0,930	9,147	9,204	9,057	9,293	9,011	9,340	10,440	10,507	10,218	10,686	10,125	10,779	9,147	9,204	10,440	10,507	0,00563	0,01400	0,98600	0,99437								
0,940	9,147	9,203	9,056	9,294	9,009	9,341	10,441	10,506	10,215	10,688	10,121	10,782	9,147	9,203	10,441	10,506	0,00571	0,01374	0,98626	0,99429								
0,950	9,148	9,203	9,055	9,295	9,008	9,343	10,443	10,505	10,213	10,690	10,118	10,785	9,148	9,203	10,443	10,505	0,00579	0,01348	0,98652	0,99421								
0,960	9,148	9,202	9,054	9,296	9,006	9,344	10,444	10,504	10,210	10,692	10,114	10,788	9,148	9,202	10,444	10,504	0,00588	0,01322	0,98678	0,99412								
0,970	9,149	9,202	9,053	9,297	9,005	9,346	10,446	10,503	10,208	10,694	10,111	10,791	9,149	9,202	10,446	10,503	0,00596	0,01297	0,98703	0,99404								
0,980	9,149	9,201	9,052	9,298	9,003	9,347	10,447	10,502	10,205	10,696	10,107	10,794	9,149	9,201	10,447	10,502	0,00605	0,01272	0,98728	0,99395								
0,990	9,150	9,201	9,051	9,299	9,002	9,349	10,449	10,501	10,203	10,698	10,104	10,797	9,150	9,201	10,449	10,501	0,00613	0,01247	0,98753	0,99387								
1,000	9,150	9,200	9,050	9,300	9,000	9,350	10,450	10,500	10,200	10,700	10,100	10,800	9,150	9,200	10,450	10,500	0,00622	0,01223	0,98777	0,99378								

6.2.4 Sürecin Tek Değerli Nötrosofik Spesifikasyon Limitleri Dışında Kalma Olasılığının Değerlendirilmesi

NK'nin sürecin kusurlu çıktı üretme olasılığı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. TDNS kullanılarak sürecin hangi oranda ne kadarlık bir kısmının spesifikasyon limitleri dışında kaldığı olasılık olarak hesaplanmıştır. Elde edilen olasılık değerleriyle milyonda kusur sayısı değerlendirilebilmektedir. Kusur sayısına bağlı işletmeye maliyet de hesaplanabilmektedir. Sürecin spesifikasyon limitleri dışında kalma olasılığı TDNS'nin farklı formlarıyla ele alınması, uygunsuzluk değerinin daha esnek değerlendirilmesini sağlamıştır. NK'nin doğruluk, kararsızlık ve yanlışlık üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanması, geleneksel bulanık kümelerle ele alınan uygunsuzluk değerlerine kıyasla süreç hakkında daha ayrıntılı bilgi sahibi olmamızı sağlamıştır. Belirsizlik fonksiyonunu da içerdiği için diğer bulanık kümelerle yapılan çalışmalara göre daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. Bulanık küme uzantılarının avantajlarının fazla olması sebebiyle, PBK'nin süreç yeterliliği üzerindeki etkileri de incelenmiştir.

PİSAGOR BULANIK KÜMELERİN SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİ ÜZERİNE ETKİLERİ

7.1 Pisagor Bulanık Kümeler Kullanılarak Süreç Yeterlilik İndekslerinin Geliştirilmesi

Zadeh [16] tarafından geliştirilen bulanık küme teorisi yalnızca $[0,1]$ aralığında tanımlanan üyelik derecesini içerirken, Atanassov [140] tarafından ortaya atılan sezgisel bulanık kümeler (SBK) $[0,1]$ aralığında değer alan üyelik derecesinin yanında üye olmama derecesiyle de ifade edilmektedir. SBK’de üye olma ve üye olmama derecelerinin toplamı 1’den küçük olmalıdır. Yager [145] SBK’nin daha gelişmiş hali olan Pisagor bulanık kümeleri (PBK) literatüre kazandırmıştır. PBK’nin üye olma ve üye olmama derecelerinin toplamı 1’den büyük olabilir fakat karelerinin toplamı 1’den küçük olmak zorundadır. Buna bağlı olarak, Pisagor üyelik dereceleri sezgisel üyelik dereceleri uzayından daha büyüktür. Bu sebeple, SBK yerine PBK’nin kullanılması belirsizliğin daha iyi ifade edilmesini sağlamaktadır. Bu tez çalışması kapsamında, belirsizliğin ele alınmasında SBK’den daha başarılı olan PBK’nin SYA üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Literatürde ilk kez Pisagor bulanık sayılar (PBS) kullanılarak Pisagor bulanık süreç yeterlilik indeksleri (PBSYİ) $C_p(\tilde{C}_p)$, $C_{pk}(\tilde{C}_{pk})$, $C_{pm}(\tilde{C}_{pm})$ ve $C_{pmk}(\tilde{C}_{pmk})$ geliştirilmiştir. PBSYİ’nin esnek olarak ifade edilme durumları da ele alınmıştır. SYİ ne kadar esnek tanımlanabilirse gerçek hayat problemlerine uygulanması o kadar kolay olmaktadır. Bu da, sürecin yeterliliğini daha doğru ve daha esnek analiz edebilmemizi aynı zamanda maliyet ve zamandan kazanmamızı sağlamaktadır. PBSYİ’nin üye olmama fonksiyonuyla tanımlanması süreç hakkında daha fazla bilgi sahibi olmamıza neden olmaktadır. Sürecin spesifikasyon limitleri dışında kalma olasılığı ne kadar azsa, sürecin kusurlu parça üretme sayısı da o kadar az olmaktadır. Bu sebeple, SYİ’nin tanımında yer alan parametrelerin PBS

kullanılarak tanımlanması süreç yeterliliğinin analiz edilmesinde büyük önem taşımaktadır. PBSYİ “klasik yöntem” olarak adlandırdığımız eşitlik 5.48’de ifade edilen $\mu_{\tilde{p}}$ üye olma ve $v_{\tilde{p}}$ üye olmama derecelerinin aritmetik işlemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Ek olarak, klasik yöntem ile geliştirilen PBSYİ’nin hesaplama zorluğundan dolayı “Min-Max yöntemi” olarak adlandırdığımız $t_{\tilde{p}}$ doğruluk ve $f_{\tilde{p}}$ yanlışlık dereceleri ile ifade edilen PBS’nin aritmetik işlemleri kullanılarak PBSYİ analiz edilmiştir. İki yöntem arasında çıkan sonuçlara göre karşılaştırmalar yapılmıştır. SYİ esneklik açısından değerlendirilerek esnek PBSYİ geliştirilmiştir. SYİ’nin esnek olması belirsizlik altında SYA’nın değerlendirilmesinde kolaylık sağlamaktadır. Bu bölümde, süreç yeterlilik analizinde kullanmak üzere önerilen PBSYİ için Şekil 6. 31’de gösterilen dışlinin ebatları baz alınarak örnek uygulamalar yapılmış ve PBSYİ’nin daha iyi anlaşılması sağlanmıştır. Süreç yeterliliğinin değerlendirilmesinde geliştirilen PBSYİ’nin daha bilgilendirici sonuçlar verdiği de görülmektedir.

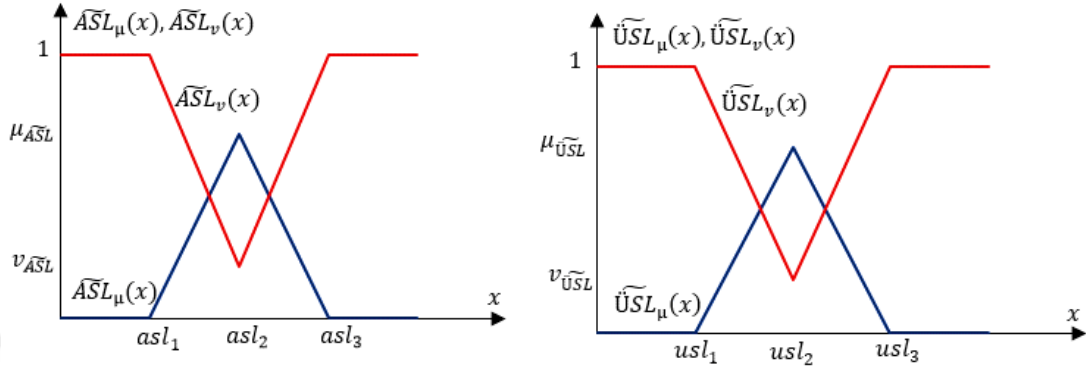
7.1.1 Klasik Yöntemle Pisagor Bulanık Süreç Yeterlilik İndeksleri

PBK, tip-1(geleneksel) bulanık kümelerin bir uzantısıdır. Üye olmama fonksiyonu sayesinde belirsizlik içeren problemlerin modellenmesinde önemli bir yer tutmaktadır. PBK’nin daha esnek ve belirsizliği tanımlamada daha avantajlı olması sebebiyle literatürde çeşitli yöntemler kullanılarak geliştirilmiştir. Bu bölümde de, geliştirilen aritmetik işlemlerden yararlanılarak Pisagor bulanık süreç yeterlilik indeksleri (PBSYİ) türetilmiştir. Klasik yöntemle geliştirilen PBSYİ hassas işlemler sonucunda elde edildiği için Min-Max yöntemiyle geliştirilen PBSYİ göre daha hassas sonuçlar vermektedir.

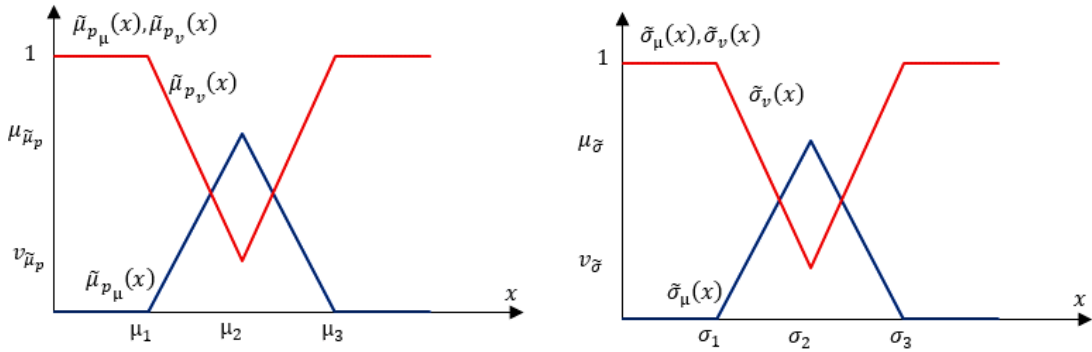
7.1.1.1 Süreç Parametrelerinin Pisagor Bulanık Sayı Olma Durumu

Bu alt bölümde, klasik yöntem kullanılarak süreç parametrelerinin PBS olma durumu ele alınmıştır. Spesifikasyon limitleri (SL), ortalama ($\tilde{\mu}_p$), varyans ($\tilde{\sigma}^2$) ve hedef değer ($\tilde{T}$) parametrelerini $\mu_{\tilde{p}}$ üye olma ve $v_{\tilde{p}}$ üye olmama dereceleri ile Pisagor üçgen bulanık sayı (PÜBS) şeklinde ifade edersek, PÜB olarak süreç parametreleri

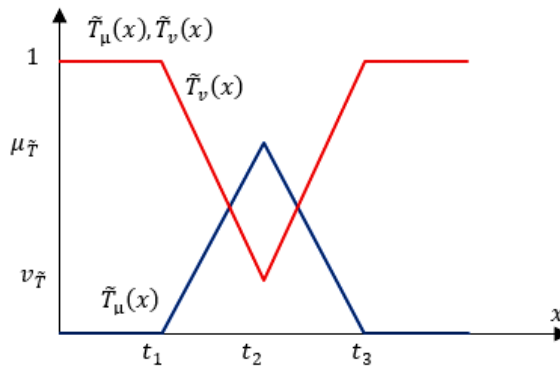
$\widetilde{ASL} = [(asl_1, asl_2, asl_3); \mu_{\widetilde{ASL}}, v_{\widetilde{ASL}}]$, $\widetilde{USL} = [(usl_1, usl_2, usl_3); \mu_{\widetilde{USL}}, v_{\widetilde{USL}}]$, $\tilde{\mu}_p = [(\mu_1, \mu_2, \mu_3); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}]$, $\tilde{\sigma} = [(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}}]$ ve $\tilde{T} = [(t_1, t_2, t_3); \mu_{\tilde{T}}, v_{\tilde{T}}]$ tanımlanır. Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'te klasik yöntemle elde edilen PÜB süreç parametreleri grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.1 PÜB olarak $\widetilde{ASL}$ ve $\widetilde{USL}$ 'nin üyelik fonksiyonları



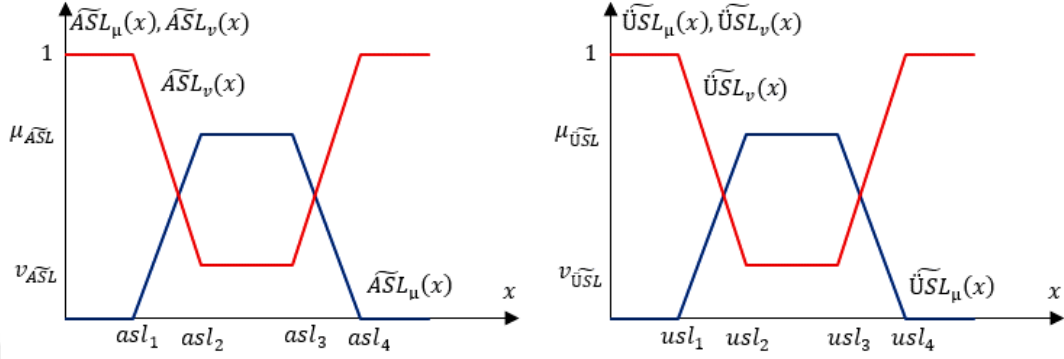
Şekil 7.2 PÜB olarak $\tilde{\mu}_p$ ve $\tilde{\sigma}$ 'nin üyelik fonksiyonları



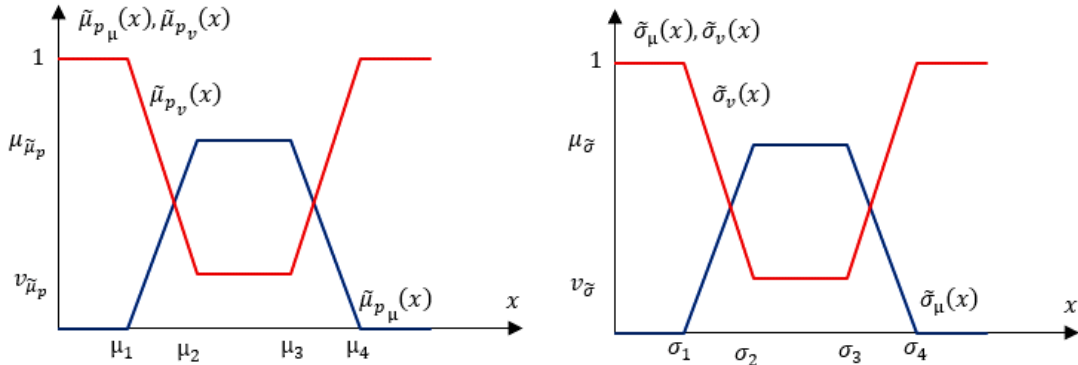
Şekil 7.3 PÜB olarak $\tilde{T}$ 'nin üyelik fonksiyonları

Spesifikasyon limitleri (SL), ortalama ($\tilde{\mu}_p$), varyans ($\tilde{\sigma}^2$) ve hedef değeri ($\tilde{T}$) parametrelerini Pisagor yamuk bulanık sayı (PYBS) şeklinde ifade edersek, PYB olarak süreç parametreleri $\widetilde{ASL} = [(asl_1, asl_2, asl_3, asl_4); \mu_{\widetilde{ASL}}, v_{\widetilde{ASL}}]$, $\widetilde{USL} =$

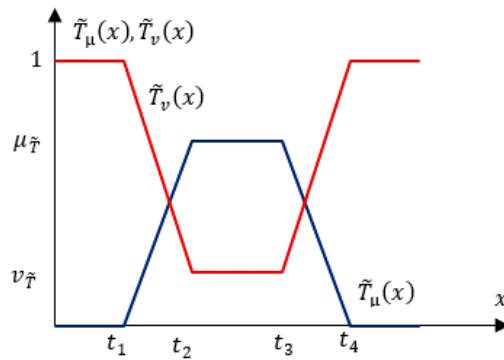
$[(usl_1, usl_2, usl_3, usl_4); \mu_{\tilde{U}SL}, v_{\tilde{U}SL}]$, $\tilde{\mu}_p = [(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}]$, $\tilde{\sigma} = [(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}}]$ ve $\tilde{T} = [(t_1, t_2, t_3, t_4); \mu_{\tilde{T}}, v_{\tilde{T}}]$ tanımlanır. Şekil 7.4, Şekil 7.5 ve Şekil 7.6'da klasik yöntemle elde edilen PYB süreç parametreleri grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.4 PYB olarak $\tilde{A}SL$ ve $\tilde{U}SL$ 'nin üyelik fonksiyonları



Şekil 7.5 PYB olarak $\tilde{\mu}_p$ ve $\tilde{\sigma}$ 'nin üyelik fonksiyonları



Şekil 7.6 PYB olarak $\tilde{T}$ 'nin üyelik fonksiyonları

Pisagor $\tilde{C}_p$ Süreç Yeterlilik İndeksi

Pisagor $\tilde{C}_p$ indeksinin genel tanımı aşağıdaki gibidir:

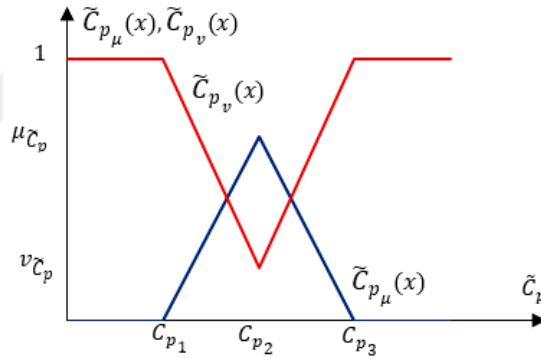
$$\tilde{C}_p = \frac{\tilde{U}_{SL} \ominus \tilde{A}_{SL}}{6\tilde{\sigma}} \quad (7.1)$$

$\tilde{C}_p$ indeksi PÜBS kullanılarak eşitlik 7.2'deki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_p = \frac{[(usl_1, usl_2, usl_3); \mu_{\tilde{U}_{SL}}, v_{\tilde{U}_{SL}}] \ominus [(asl_1, asl_2, asl_3); \mu_{\tilde{A}_{SL}}, v_{\tilde{A}_{SL}}]}{6[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}}]} \quad (7.2)$$

$$\tilde{C}_p = \left[\left(\frac{usl_1 - asl_3}{6\sigma_3}, \frac{usl_2 - asl_2}{6\sigma_2}, \frac{usl_3 - asl_1}{6\sigma_1} \right); \sqrt{\frac{\frac{\mu_{\tilde{U}_{SL}}^2 - \mu_{\tilde{A}_{SL}}^2}{1 - \mu_{\tilde{A}_{SL}}^2}}{1 - (1 - \mu_{\tilde{\sigma}}^2)^6}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{v_{\tilde{U}_{SL}}}{v_{\tilde{A}_{SL}}}\right)^2 - v_{\tilde{\sigma}}^{12}}{1 - v_{\tilde{\sigma}}^{12}}} \right] \quad (7.3)$$

Şekil 7.7'de PÜB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



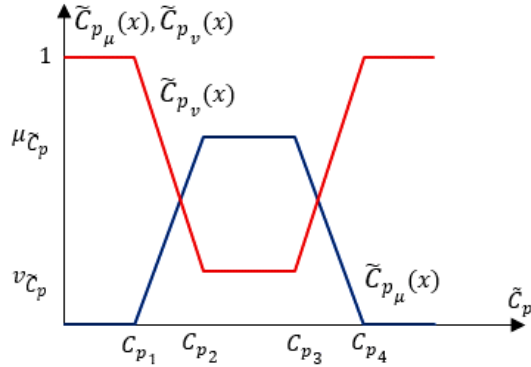
Şekil 7.7 PÜB olarak $\tilde{C}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları

$\tilde{C}_p$ indeksi PYBS'nin aritmetik işlemleri kullanılarak eşitlik 7.4'deki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_p = \frac{[(usl_1, usl_2, usl_3, usl_4); \mu_{\tilde{U}_{SL}}, v_{\tilde{U}_{SL}}] \ominus [(asl_1, asl_2, asl_3, asl_4); \mu_{\tilde{A}_{SL}}, v_{\tilde{A}_{SL}}]}{6[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}}]} \quad (7.4)$$

$$\tilde{C}_p = \left[\left(\frac{usl_1 - asl_4}{6\sigma_4}, \frac{usl_2 - asl_3}{6\sigma_3}, \frac{usl_3 - asl_2}{6\sigma_2}, \frac{usl_4 - asl_1}{6\sigma_1} \right); \sqrt{\frac{\frac{\mu_{\tilde{U}_{SL}}^2 - \mu_{\tilde{A}_{SL}}^2}{1 - \mu_{\tilde{A}_{SL}}^2}}{1 - (1 - \mu_{\tilde{\sigma}}^2)^6}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{v_{\tilde{U}_{SL}}}{v_{\tilde{A}_{SL}}}\right)^2 - v_{\tilde{\sigma}}^{12}}{1 - v_{\tilde{\sigma}}^{12}}} \right] \quad (7.5)$$

Şekil 7.8’de PYB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.8 PYB olarak $\tilde{C}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Pisagor $\tilde{C}_{pk}$ Süreç Yeterlilik İndeksi

Pisagor $\tilde{C}_{pk}$ indeksinin genel tanımı aşağıdaki gibidir:

$$\tilde{C}_{pk} = \min\{\tilde{C}_{pl}, \tilde{C}_{pu}\} \quad (7.6)$$

$$\tilde{C}_{pk} = \min\left\{\frac{\tilde{\mu}_p \ominus \tilde{ASL}}{3\tilde{\sigma}}, \frac{\tilde{USL} \ominus \tilde{\mu}_p}{3\tilde{\sigma}}\right\} \quad (7.7)$$

$\tilde{C}_{pk}$ indeksi PÜBS kullanılarak eşitlik 7.8’deki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pk} = \min\left\{\frac{[(\mu_1, \mu_2, \mu_3); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}] \ominus [(\mu_{ASL}, \mu_{ASL}, \mu_{ASL}); \mu_{ASL}, v_{ASL}]}{3[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}}]}, \frac{[(\mu_{USL}, \mu_{USL}, \mu_{USL}); \mu_{USL}, v_{USL}] \ominus [(\mu_1, \mu_2, \mu_3); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}]}{3[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}}]}\right\} \quad (7.8)$$

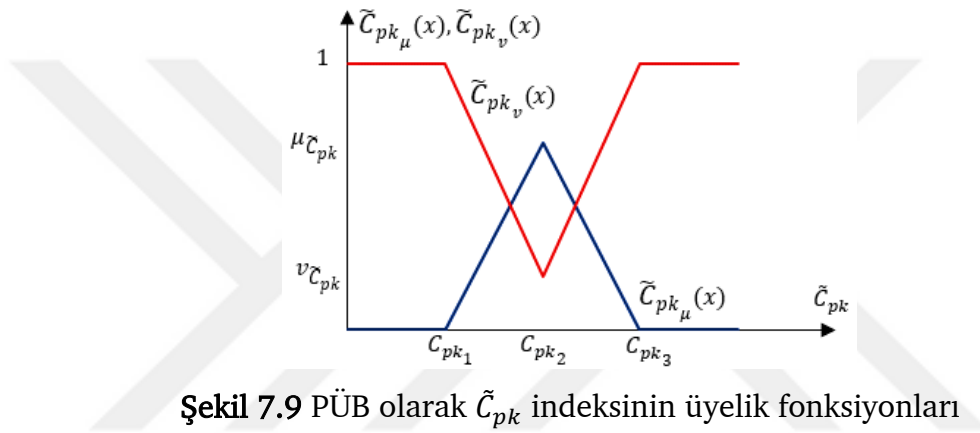
$$\tilde{C}_{pk} = \min\left\{\left[\left(\frac{\mu_1 - \mu_{ASL}}{3\sigma_3}, \frac{\mu_2 - \mu_{ASL}}{3\sigma_2}, \frac{\mu_3 - \mu_{ASL}}{3\sigma_1}\right); \sqrt{\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{ASL}^2}{1 - (\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^3}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{ASL}}\right)^2 - v_{\tilde{\sigma}}^6}{1 - v_{\tilde{\sigma}}^6}}\right]; \left[\left(\frac{\mu_{USL} - \mu_{\tilde{\mu}_p}}{3\sigma_3}, \frac{\mu_{USL} - \mu_{\tilde{\mu}_p}}{3\sigma_2}, \frac{\mu_{USL} - \mu_{\tilde{\mu}_p}}{3\sigma_1}\right); \sqrt{\frac{\mu_{USL}^2 - \mu_{\tilde{\mu}_p}^2}{1 - (\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^3}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{v_{USL}}{v_{\tilde{\mu}_p}}\right)^2 - v_{\tilde{\sigma}}^6}{1 - v_{\tilde{\sigma}}^6}}\right]\right\} \quad (7.9)$$

Tek taraflı PÜB olarak $\tilde{C}_{pl}$ ve $\tilde{C}_{pu}$ indeksleri aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pl} = \left[\left(\frac{\mu_1 - asl_3}{3\sigma_3}, \frac{\mu_2 - asl_2}{3\sigma_2}, \frac{\mu_3 - asl_1}{3\sigma_1} \right); \sqrt{\frac{\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{\overline{ASL}}^2}{1 - \mu_{\overline{ASL}}^2}}{1 - (1 - \mu_{\tilde{\sigma}}^2)^3}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{\overline{ASL}}} \right)^2 - v_{\tilde{\sigma}}^6}{1 - v_{\tilde{\sigma}}^6}} \right] \quad (7.10)$$

$$\tilde{C}_{pu} = \left[\left(\frac{usl_1 - \mu_3}{3\sigma_3}, \frac{usl_2 - \mu_2}{3\sigma_2}, \frac{usl_3 - \mu_1}{3\sigma_1} \right); \sqrt{\frac{\frac{\mu_{\overline{USL}}^2 - \mu_{\tilde{\mu}_p}^2}{1 - \mu_{\tilde{\mu}_p}^2}}{1 - (1 - \mu_{\tilde{\sigma}}^2)^3}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{v_{\overline{USL}}}{v_{\tilde{\mu}_p}} \right)^2 - v_{\tilde{\sigma}}^6}{1 - v_{\tilde{\sigma}}^6}} \right] \quad (7.11)$$

Şekil 7.9'da PÜB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.9 PÜB olarak $\tilde{C}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Benzer şekilde, $\tilde{C}_{pk}$ indeksi PYBS'nin aritmetik işlemleri kullanılarak eşitlik 7.12'deki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pk} = \min \left\{ \frac{[(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}] \ominus [(asl_1, asl_2, asl_3, asl_4); \mu_{\overline{ASL}}, v_{\overline{ASL}}]}{3[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}}]}, \frac{[(usl_1, usl_2, usl_3, usl_4); \mu_{\overline{USL}}, v_{\overline{USL}}] \ominus [(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}]}{3[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}}]} \right\} \quad (7.12)$$

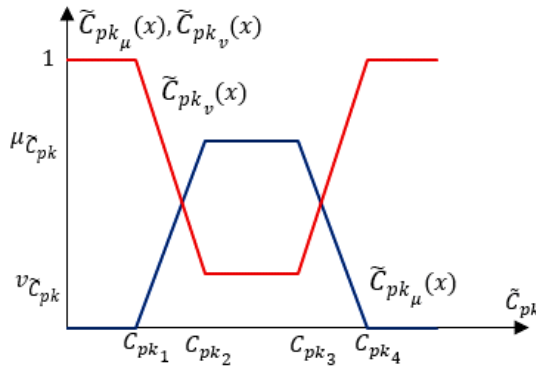
$$\tilde{C}_{pk} = \min \left\{ \left[\left(\frac{\mu_1 - asl_4}{3\sigma_4}, \frac{\mu_1 - asl_3}{3\sigma_3}, \frac{\mu_1 - asl_2}{3\sigma_2}, \frac{\mu_1 - asl_1}{3\sigma_1} \right); \sqrt{\frac{\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{\overline{ASL}}^2}{1 - \mu_{\overline{ASL}}^2}}{1 - (1 - \mu_{\tilde{\sigma}}^2)^3}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{\overline{ASL}}} \right)^2 - v_{\tilde{\sigma}}^6}{1 - v_{\tilde{\sigma}}^6}} \right]; \left[\left(\frac{usl_1 - \mu_4}{3\sigma_4}, \frac{usl_2 - \mu_3}{3\sigma_2}, \frac{usl_3 - \mu_2}{3\sigma_3}, \frac{usl_4 - \mu_1}{3\sigma_1} \right); \sqrt{\frac{\frac{\mu_{\overline{USL}}^2 - \mu_{\tilde{\mu}_p}^2}{1 - \mu_{\tilde{\mu}_p}^2}}{1 - (1 - \mu_{\tilde{\sigma}}^2)^3}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{v_{\overline{USL}}}{v_{\tilde{\mu}_p}} \right)^2 - v_{\tilde{\sigma}}^6}{1 - v_{\tilde{\sigma}}^6}} \right] \right\} \quad (7.13)$$

Eşitlik 3.3 ve 3.4'deki tek taraflı C_{pl} ve C_{pu} indeksleri yeniden formüle edilerek PÜBS olarak $\tilde{C}_{pl}$ ve $\tilde{C}_{pu}$ indeksleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$\tilde{C}_{pl} = \left[\left(\frac{\mu_1 - asl_4}{3\sigma_4}, \frac{\mu_2 - asl_3}{3\sigma_3}, \frac{\mu_3 - asl_2}{3\sigma_2}, \frac{\mu_4 - asl_1}{3\sigma_1} \right); \sqrt{\frac{\frac{\mu_{\tilde{p}}^2 - \mu_{ASL}^2}{1 - \mu_{ASL}^2}}{1 - (1 - \mu_{\tilde{\sigma}}^2)^3}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{v_{\tilde{p}}}{v_{ASL}} \right)^2 - v_{\tilde{\sigma}}^6}{1 - v_{\tilde{\sigma}}^6}} \right] \quad (7.14)$$

$$\tilde{C}_{pu} = \left[\left(\frac{usl_1 - \mu_4}{3\sigma_4}, \frac{usl_2 - \mu_3}{3\sigma_3}, \frac{usl_3 - \mu_2}{3\sigma_2}, \frac{usl_4 - \mu_1}{3\sigma_1} \right); \sqrt{\frac{\frac{\mu_{\tilde{SL}}^2 - \mu_{\tilde{p}}^2}{1 - \mu_{\tilde{p}}^2}}{1 - (1 - \mu_{\tilde{\sigma}}^2)^3}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{v_{\tilde{SL}}}{v_{\tilde{p}}} \right)^2 - v_{\tilde{\sigma}}^6}{1 - v_{\tilde{\sigma}}^6}} \right] \quad (7.15)$$

Şekil 7.10'da PYB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.10 PYB olarak $\tilde{C}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Pisagor $\tilde{C}_{pm}$ Süreç Yeterlilik İndeksi

Pisagor $\tilde{C}_{pm}$ indeksinin genel tanımı aşağıdaki gibidir:

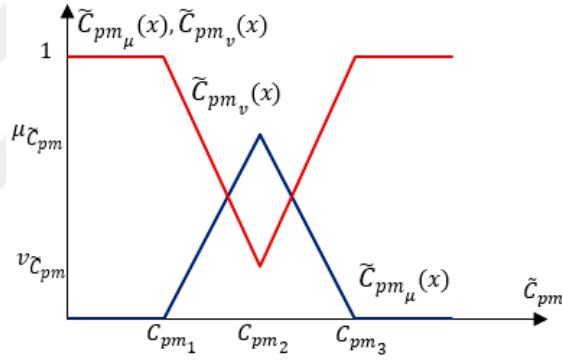
$$\tilde{C}_{pm} = \frac{\tilde{USL} \ominus \tilde{ASL}}{6 \sqrt{\tilde{\sigma}^2 \oplus (\tilde{\mu}_p \ominus \tilde{\tau})^2}} \quad (7.16)$$

$\tilde{C}_{pm}$ indeksi PÜBS kullanılarak eşitlik 7.17'deki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pm} = \frac{[(usl_1, usl_2, usl_3); \mu_{\tilde{USL}}, v_{\tilde{USL}}] \ominus [(asl_1, asl_2, asl_3); \mu_{\tilde{ASL}}, v_{\tilde{ASL}}]}{6 \sqrt{[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}}]^2 \oplus \left([(\mu_1, \mu_2, \mu_3); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}] \ominus [(t_1, t_2, t_3); \mu_{\tilde{\tau}}, v_{\tilde{\tau}}] \right)^2}} \quad (7.17)$$

$$\tilde{C}_{pm} = \left[\begin{array}{c} \left(\frac{usl_1 - asl_3}{6\sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_1)^2}}, \frac{usl_2 - asl_2}{6\sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_2)^2}}, \frac{usl_3 - asl_1}{6\sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_3)^2}} \right); \\ \frac{\sqrt{\frac{\mu_{\tilde{USL}}^2 - \mu_{\tilde{ASL}}^2}{1 - \mu_{\tilde{ASL}}^2}}}{\sqrt{1 - \left(1 - \sqrt{(\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 + \left(\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{\tilde{T}}^2}{1 - \mu_{\tilde{T}}^2} \right)^2} - (\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 \left(\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{\tilde{T}}^2}{1 - \mu_{\tilde{T}}^2} \right)^2} \right)^6}, \\ \frac{\left(\frac{v_{\tilde{USL}}}{v_{\tilde{ASL}}} \right)^2 - \left(\sqrt{1 - \left(1 - \left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2)^2) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{\tilde{T}}} \right)^2 \right)^2 \right) \right) \right) \right)^{12}}{1 - \left(\sqrt{1 - \left(1 - \left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2)^2) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{\tilde{T}}} \right)^2 \right)^2 \right) \right) \right) \right)^{12}} \end{array} \right] \quad (7.18)$$

Şekil 7.11’de PÜB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



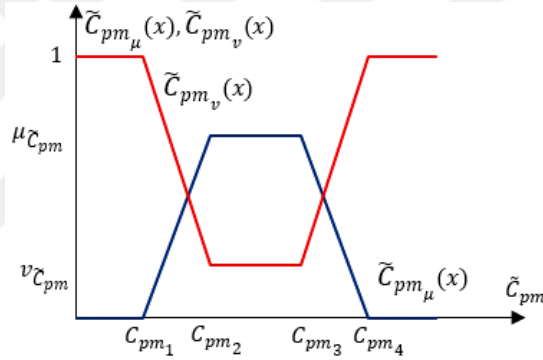
Şekil 7.11 PÜB olarak $\tilde{C}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Pisagor $\tilde{C}_{pm}$ indeksi eşitlik 7.19’deki gibi aritmetik işlemler kullanılarak elde edilir:

$$\tilde{C}_{pm} = \frac{\left[(usl_1, usl_2, usl_3, usl_4); \mu_{\tilde{USL}}, v_{\tilde{USL}} \right] \ominus \left[(asl_1, asl_2, asl_3, asl_4); \mu_{\tilde{ASL}}, v_{\tilde{ASL}} \right]}{6\sqrt{\left[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}} \right]^2 \oplus \left[(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p} \right] \ominus \left[(t_1, t_2, t_3, t_4); \mu_{\tilde{T}}, v_{\tilde{T}} \right]^2}} \quad (7.19)$$

$$\tilde{C}_{pm} = \left[\left(\frac{usl_1 - asl_4}{6\sqrt{\sigma_4^2 + (\mu_4 - t_1)^2}}, \frac{usl_2 - asl_3}{6\sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_2)^2}}, \frac{usl_3 - asl_2}{6\sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_3)^2}}, \frac{usl_4 - asl_1}{6\sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_4)^2}} \right); \right. \\ \left. \frac{\sqrt{\frac{\mu_{\tilde{USL}}^2 - \mu_{\tilde{ASL}}^2}{1 - \mu_{\tilde{ASL}}^2}}}{\sqrt{1 - \left(1 - \sqrt{(\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 + \left(\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{\tilde{T}}^2}{1 - \mu_{\tilde{T}}^2} \right)^2} - (\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 \left(\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{\tilde{T}}^2}{1 - \mu_{\tilde{T}}^2} \right)^2} \right)^6}}, \right. \\ \left. \frac{\left(\left(\frac{v_{\tilde{USL}}}{v_{\tilde{ASL}}} \right)^2 - \left(1 - \sqrt{1 - \left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2)^2) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{\tilde{T}}} \right)^2 \right)^2 \right) \right) \right) \right)^{12}}}{1 - \left(1 - \sqrt{1 - \left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2)^2) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{\tilde{T}}} \right)^2 \right)^2 \right) \right) \right)^{12}} \right)^{12}} \right] \quad (7.20)$$

Şekil 7.12’de PYB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.12 PYB olarak $\tilde{C}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Pisagor $\tilde{C}_{pmk}$ Süreç Yeterlilik İndeksi

Pisagor $\tilde{C}_{pmk}$ indeksinin genel tanımı aşağıdaki gibidir:

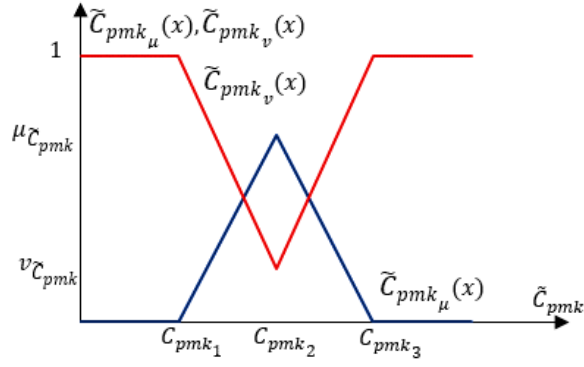
$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left\{ \frac{\tilde{\mu}_p \ominus \tilde{ASL}}{3\sqrt{\tilde{\sigma}^2 \oplus (\tilde{\mu}_p \ominus \tilde{T})^2}}, \frac{\tilde{USL} \ominus \tilde{\mu}_p}{3\sqrt{\tilde{\sigma}^2 \oplus (\tilde{\mu}_p \ominus \tilde{T})^2}} \right\} \quad (7.21)$$

$\tilde{C}_{pmk}$ indeksi PÜBS kullanılarak eşitlik 7.22’deki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left\{ \frac{\frac{[(\mu_1, \mu_2, \mu_3); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}] \ominus [(asl_1, asl_2, asl_3); \mu_{\overline{ASL}}, v_{\overline{ASL}}]}{3\sqrt{[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}}]^2 \oplus \left([(\mu_1, \mu_2, \mu_3); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}] \ominus [(t_1, t_2, t_3); \mu_{\tilde{T}}, v_{\tilde{T}}] \right)^2}}}{\frac{[(usl_1, usl_2, usl_3); \mu_{\overline{USL}}, v_{\overline{USL}}] \ominus [(\mu_1, \mu_2, \mu_3); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}]}{3\sqrt{[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}}]^2 \oplus \left([(\mu_1, \mu_2, \mu_3); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}] \ominus [(t_1, t_2, t_3); \mu_{\tilde{T}}, v_{\tilde{T}}] \right)^2}}} \right\} \quad (7.22)$$

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left\{ \left[\begin{aligned} & \left(\frac{\mu_1 - asl_3}{3\sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_1)^2}}, \frac{\mu_2 - asl_2}{3\sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_2)^2}}, \frac{\mu_3 - asl_1}{3\sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_3)^2}} \right); \\ & \frac{\sqrt{\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{\overline{ASL}}^2}{1 - \mu_{\overline{ASL}}^2}}}{\sqrt{1 - \left(1 - \sqrt{(\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 + \left(\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{\tilde{T}}^2}{1 - \mu_{\tilde{T}}^2} \right)^2} - (\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 \left(\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{\tilde{T}}^2}{1 - \mu_{\tilde{T}}^2} \right)^2} \right)^3}}; \\ & \left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{\overline{ASL}}} \right)^2 - \left(\sqrt{1 - \left(1 - \sqrt{\left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2)^2) \right) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{\tilde{T}}} \right)^2 \right)^2} \right) \right)} \right)^6; \\ & 1 - \left(\sqrt{1 - \left(1 - \sqrt{\left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2)^2) \right) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{\tilde{T}}} \right)^2 \right)^2} \right) \right)} \right)^6 \end{aligned} \right] \left[\begin{aligned} & \left(\frac{usl_1 - \mu_3}{3\sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_1)^2}}, \frac{usl_2 - \mu_2}{3\sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_2)^2}}, \frac{usl_3 - \mu_1}{3\sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_3)^2}} \right); \\ & \frac{\sqrt{\frac{\mu_{\overline{USL}}^2 - \mu_{\tilde{\mu}_p}^2}{1 - \mu_{\tilde{\mu}_p}^2}}}{\sqrt{1 - \left(1 - \sqrt{(\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 + \left(\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{\tilde{T}}^2}{1 - \mu_{\tilde{T}}^2} \right)^2} - (\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 \left(\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{\tilde{T}}^2}{1 - \mu_{\tilde{T}}^2} \right)^2} \right)^3}}; \\ & \left(\frac{v_{\overline{USL}}}{v_{\tilde{\mu}_p}} \right)^2 - \left(\sqrt{1 - \left(1 - \sqrt{\left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2)^2) \right) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{\tilde{T}}} \right)^2 \right)^2} \right) \right)} \right)^6; \\ & 1 - \left(\sqrt{1 - \left(1 - \sqrt{\left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2)^2) \right) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{\tilde{T}}} \right)^2 \right)^2} \right) \right)} \right)^6 \end{aligned} \right] \right\} \quad (7.23)$$

Şekil 7.13’de PÜB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.13 PÜB olarak $\tilde{C}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

$\tilde{C}_{pmk}$ indeksi PYBS'nin aritmetik işlemleri kullanılarak eşitlik 7.24'deki gibi elde edilir:

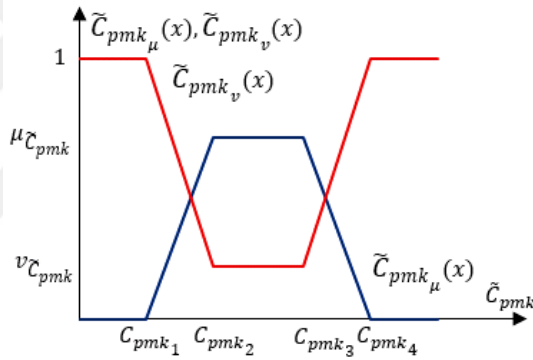
$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left\{ \frac{[(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}] \ominus [(asl_1, asl_2, asl_3, asl_4); \mu_{\overline{ASL}}, v_{\overline{ASL}}]}{3 \sqrt{[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}}]^2 \oplus [((\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}] \ominus [(t_1, t_2, t_3, t_4); \mu_{\tilde{\tau}}, v_{\tilde{\tau}}])^2}}}, \frac{[(usl_1, usl_2, usl_3, usl_4); \mu_{\overline{USL}}, v_{\overline{USL}}] \ominus [(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}]}{3 \sqrt{[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}}]^2 \oplus [((\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}] \ominus [(t_1, t_2, t_3, t_4); \mu_{\tilde{\tau}}, v_{\tilde{\tau}}])^2}} \right\} \quad (7.24)$$

PYBS olarak tanımlanan $\tilde{C}_{pml}$ ve $\tilde{C}_{pmu}$ indeksleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$\tilde{C}_{pml} = \left[\left(\frac{\mu_1 - asl_4}{3 \sqrt{\sigma_4^2 + (\mu_4 - t_1)^2}}, \frac{\mu_2 - asl_3}{3 \sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_2)^2}}, \frac{\mu_3 - asl_2}{3 \sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_3)^2}}, \frac{\mu_4 - asl_1}{3 \sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_4)^2}} \right); \right. \\ \left. \sqrt{\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{\overline{ASL}}^2}{1 - \mu_{\overline{ASL}}^2}} \right. \\ \left. \sqrt{1 - \left(1 - \sqrt{(\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 + \left(\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{\tilde{\tau}}^2}{1 - \mu_{\tilde{\tau}}^2} \right)^2} - (\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 \left(\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{\tilde{\tau}}^2}{1 - \mu_{\tilde{\tau}}^2} \right)^2 \right)} \right. \\ \left. \frac{\left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{\overline{ASL}}} \right)^2 - \left(\sqrt{1 - \left(1 - \left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2)^2) \right) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{\tilde{\tau}}} \right)^2 \right)^2 \right) \right)} \right)}{1 - \left(\sqrt{1 - \left(1 - \left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2)^2) \right) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{\tilde{\tau}}} \right)^2 \right)^2 \right) \right)} \right)} \right)} \right] \quad (7.25)$$

$$\tilde{C}_{pmu} = \left[\left(\frac{usl_1 - \mu_4}{3\sqrt{\sigma_4^2 + (\mu_4 - t_1)^2}}, \frac{usl_2 - \mu_3}{3\sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_2)^2}}, \frac{usl_3 - \mu_2}{3\sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_3)^2}}, \frac{usl_1 - \mu_4}{3\sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_4)^2}} \right); \right. \\ \left. \frac{\sqrt{\frac{\mu_{\tilde{USL}}^2 - \mu_{\tilde{p}}^2}{1 - \mu_{\tilde{p}}^2}}}{\sqrt{1 - \left(1 - \sqrt{(\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 + \left(\frac{\mu_{\tilde{p}}^2 - \mu_{\tilde{T}}^2}{1 - \mu_{\tilde{T}}^2} \right)^2} - (\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 \left(\frac{\mu_{\tilde{p}}^2 - \mu_{\tilde{T}}^2}{1 - \mu_{\tilde{T}}^2} \right)^2} \right)^2}}, \right. \\ \left. \frac{\left(\frac{v_{\tilde{USL}}}{v_{\tilde{p}}} \right)^2 - \left(1 - \sqrt{1 - \left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2)^2) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{p}}}{v_{\tilde{T}}} \right)^2 \right)^2 \right) \right)} \right)^2}}{1 - \left(1 - \sqrt{1 - \left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2)^2) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{p}}}{v_{\tilde{T}}} \right)^2 \right)^2 \right) \right)} \right)^2} \right)^6} \right] \quad (7.26)$$

Şekil 7.14'de PYB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.14 PYB olarak $\tilde{C}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

7.1.1.2 Süreç Parametrelerinin Esnek Pisagor Bulanık Sayı Olma Durumu

Bu alt bölümde, klasik yöntem kullanılarak süreç parametrelerinin esnek PBS olma durumu ele alınmıştır. $\tilde{P} = [(p_1, p_2, p_3), (p'_1, p'_2, p'_3); \mu_{\tilde{p}}, v_{\tilde{p}}]$ esnek PÜBS olarak tanımlanmıştır. Spesifikasyon limitleri (SL), ortalama ($\tilde{\mu}_p$), varyans ($\tilde{\sigma}^2$) ve hedef değer ($\tilde{T}$) parametreleri $\tilde{P}$ esnek PÜBS referans alınarak geliştirilmiştir. Esnek PÜB olarak süreç parametreleri

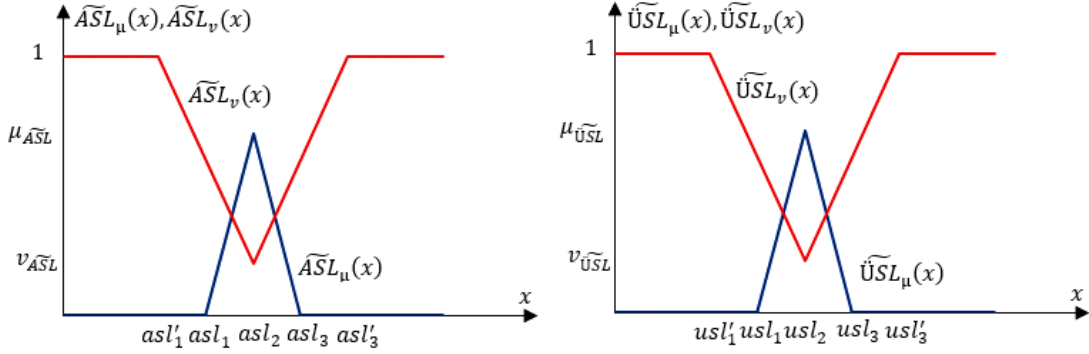
$$\tilde{ASL} = [(asl_1, asl_2, asl_3), (asl'_1, asl'_2, asl'_3); \mu_{\tilde{ASL}}, v_{\tilde{ASL}}],$$

$$\tilde{USL} = [(usl_1, usl_2, usl_3), (usl'_1, usl'_2, usl'_3); \mu_{\tilde{USL}}, v_{\tilde{USL}}],$$

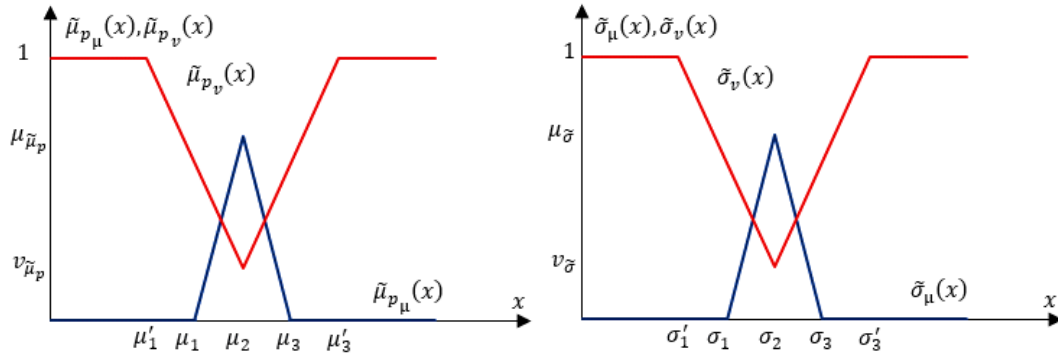
$$\tilde{\mu}_p = [(\mu_1, \mu_2, \mu_3), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}],$$

$$\tilde{\sigma} = [(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}}],$$

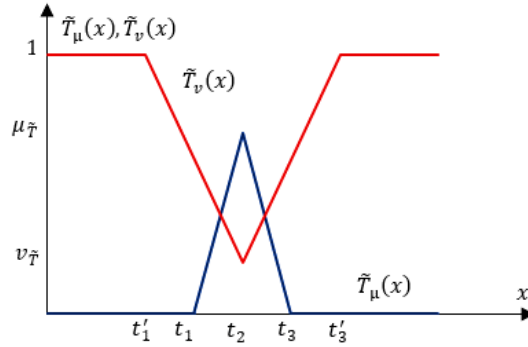
$\tilde{T} = [(t_1, t_2, t_3), (t'_1, t'_2, t'_3); \mu_{\tilde{T}}, v_{\tilde{T}}]$ şeklinde tanımlanır. Şekil 7.15, 7.16 ve 7.17'de esnek PÜB süreç parametreleri grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.15 Esnek PÜB olarak $\widetilde{ASL}$ ve $\widetilde{USL}$ 'nin üyelik fonksiyonları



Şekil 7.16 Esnek PÜB olarak $\tilde{\mu}_p$ ve $\tilde{\sigma}$ 'nin üyelik fonksiyonları



Şekil 7.17 Esnek PÜB olarak $\tilde{T}$ 'nin üyelik fonksiyonları

$\tilde{P} = [(p_1, p_2, p_3, p_4), (p'_1, p'_2, p'_3, p'_4); \mu_{\tilde{P}}, v_{\tilde{P}}]$ esnek PYBS olarak tanımlanmıştır. Spesifikasyon limitleri (SL), ortalama ($\tilde{\mu}_p$), varyans ($\tilde{\sigma}^2$) ve hedef değeri ($\tilde{T}$) parametreleri $\tilde{P}$ esnek PYBS referans alınarak geliştirilmiştir. Esnek PYB olarak süreç parametreleri

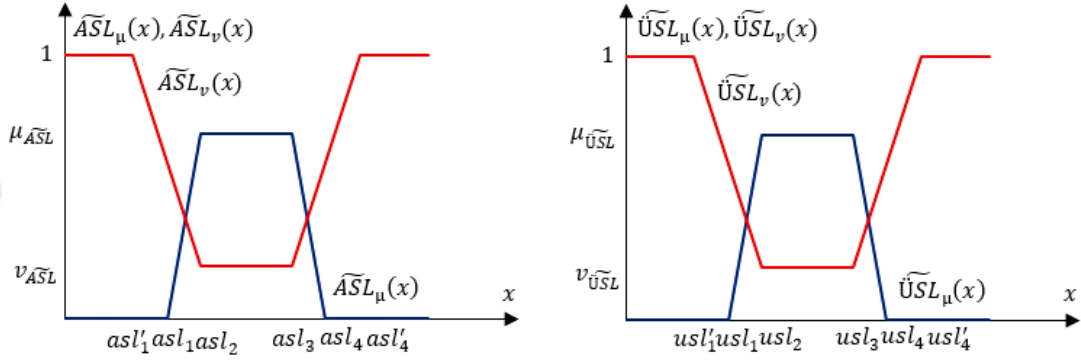
$$\widetilde{ASL} = [(asl_1, asl_2, asl_3, asl_4), (asl'_1, asl_2, asl_3, asl'_4); \mu_{\widetilde{ASL}}, v_{\widetilde{ASL}}],$$

$$\widetilde{USL} = [(usl_1, usl_2, usl_3, usl_4), (usl'_1, usl_2, usl_3, usl'_4); \mu_{\widetilde{USL}}, v_{\widetilde{USL}}],$$

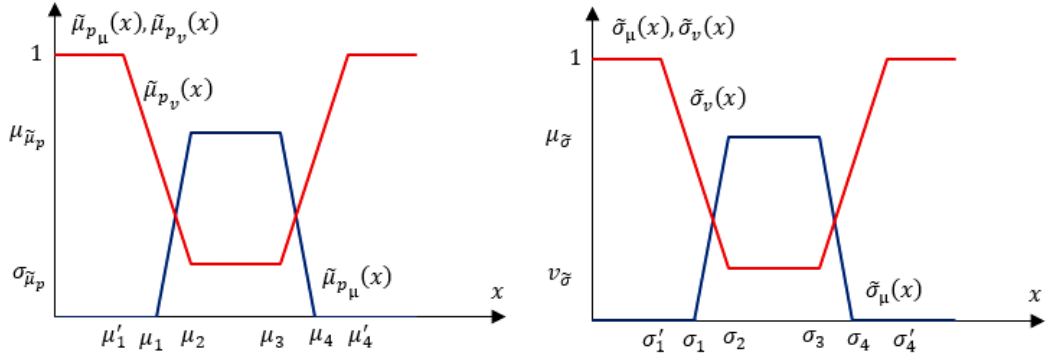
$$\tilde{\mu}_p = [(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4), (\mu'_1, \mu_2, \mu_3, \mu'_4); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}],$$

$$\tilde{\sigma} = [(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4), (\sigma'_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma'_4); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}}],$$

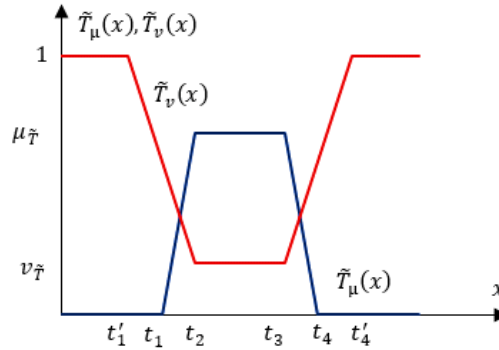
$\tilde{T} = [(t_1, t_2, t_3, t_4), (t'_1, t_2, t_3, t'_4); \mu_{\tilde{T}}, v_{\tilde{T}}]$ şeklinde tanımlanır. Şekil 7.18, Şekil 7.19 ve Şekil 7.20'de esnek PYB süreç parametreleri grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.18 Esnek PYB olarak $\widetilde{ASL}$ ve $\widetilde{USL}$ 'nin üyelik fonksiyonları



Şekil 7.19 Esnek PYB olarak $\tilde{\mu}_p$ ve $\tilde{\sigma}$ 'nın üyelik fonksiyonları



Şekil 7.20 Esnek PYB olarak $\tilde{T}$ 'nin üyelik fonksiyonları

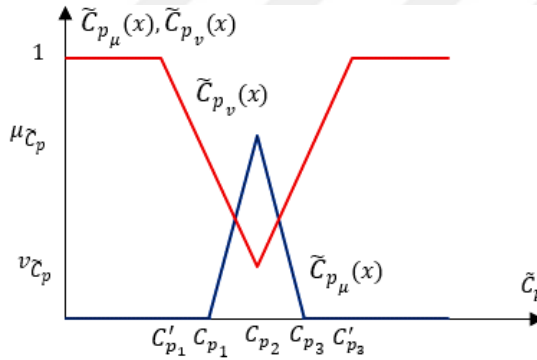
Esnek Pisagor $\tilde{C}_p$ Süreç Yeterlilik İndeksi

$\tilde{C}_p$ indeksi esnek PÜBS kullanılarak eşitlik 7.27'deki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_p = \frac{[(usl_1, usl_2, usl_3), (usl'_1, usl'_2, usl'_3); \mu_{\tilde{USL}}, v_{\tilde{USL}}] \ominus [(asl_1, asl_2, asl_3), (asl'_1, asl'_2, asl'_3); \mu_{\tilde{ASL}}, v_{\tilde{ASL}}]}{6[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}}]} \quad (7.27)$$

$$\tilde{C}_p = \left[\left(\frac{usl_1 - asl_3}{6\sigma_3}, \frac{usl_2 - asl_2}{6\sigma_2}, \frac{usl_3 - asl_1}{6\sigma_1} \right), \left(\frac{usl'_1 - asl'_3}{6\sigma'_3}, \frac{usl'_2 - asl'_2}{6\sigma'_2}, \frac{usl'_3 - asl'_1}{6\sigma'_1} \right); \right. \\ \left. \sqrt{\frac{\mu_{\tilde{USL}}^2 - \mu_{\tilde{ASL}}^2}{1 - \mu_{\tilde{ASL}}^2}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{v_{\tilde{USL}}}{v_{\tilde{ASL}}}\right)^2 - v_{\tilde{\sigma}}^{12}}{1 - v_{\tilde{\sigma}}^{12}}} \right] \quad (7.28)$$

Şekil 7.21'de esnek PÜB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



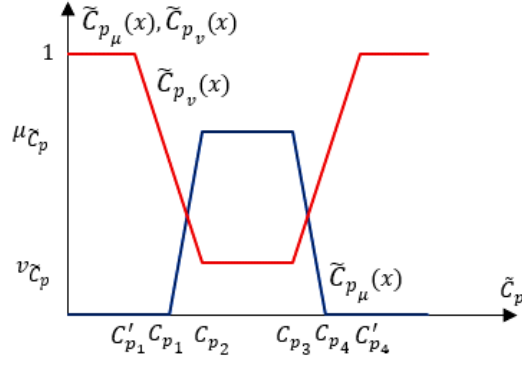
Şekil 7.21 Esnek PÜB olarak $\tilde{C}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları

$\tilde{C}_p$ indeksi esnek PYBS kullanılarak eşitlik 7.29'daki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_p = \frac{[(usl_1, usl_2, usl_3, usl_4), (usl'_1, usl'_2, usl'_3, usl'_4); \mu_{\tilde{USL}}, v_{\tilde{USL}}] \ominus [(asl_1, asl_2, asl_3, asl_4), (asl'_1, asl'_2, asl'_3, asl'_4); \mu_{\tilde{ASL}}, v_{\tilde{ASL}}]}{6[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3, \sigma'_4); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}}]} \quad (7.29)$$

$$\tilde{C}_p = \left[\left(\frac{usl_1 - asl_4}{6\sigma_4}, \frac{usl_2 - asl_3}{6\sigma_3}, \frac{usl_3 - asl_2}{6\sigma_2}, \frac{usl_4 - asl_1}{6\sigma_1} \right), \left(\frac{usl'_1 - asl'_4}{6\sigma'_4}, \frac{usl'_2 - asl'_3}{6\sigma'_3}, \frac{usl'_3 - asl'_2}{6\sigma'_2}, \frac{usl'_4 - asl'_1}{6\sigma'_1} \right); \right. \\ \left. \sqrt{\frac{\mu_{\tilde{USL}}^2 - \mu_{\tilde{ASL}}^2}{1 - \mu_{\tilde{ASL}}^2}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{v_{\tilde{USL}}}{v_{\tilde{ASL}}}\right)^2 - v_{\tilde{\sigma}}^{12}}{1 - v_{\tilde{\sigma}}^{12}}} \right] \quad (7.30)$$

Şekil 7.22'de esnek PYB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.22 Esnek PYB olarak $\tilde{C}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Esnek Pisagor $\tilde{C}_{pk}$ Süreç Yeterlilik İndeksi

$\tilde{C}_{pk}$ indeksi esnek PÜBS kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pk} = \min \left\{ \frac{[(\mu_1, \mu_2, \mu_3), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}] \ominus [(asl_1, asl_2, asl_3), (asl'_1, asl'_2, asl'_3); \mu_{\tilde{ASL}}, v_{\tilde{ASL}}]}{3[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3); w_{\tilde{\sigma}}, u_{\tilde{\sigma}}]}, \frac{[(usl_1, usl_2, usl_3), (usl'_1, usl'_2, usl'_3); \mu_{\tilde{USL}}, v_{\tilde{USL}}] \ominus [(\mu_1, \mu_2, \mu_3), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}]}{3[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}}]} \right\} \quad (7.31)$$

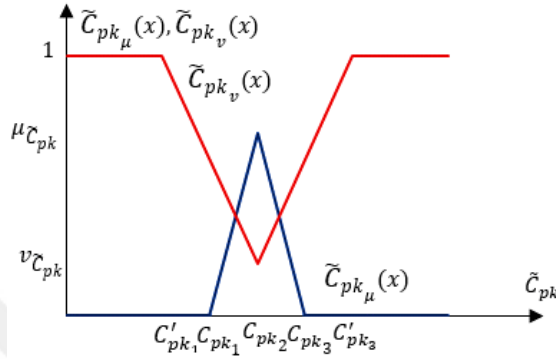
$$\tilde{C}_{pk} = \min \left\{ \left[\left(\frac{\mu_1 - asl_3}{3\sigma_3}, \frac{\mu_2 - asl_2}{3\sigma_2}, \frac{\mu_3 - asl_1}{3\sigma_1} \right), \left(\frac{\mu_1 - asl'_3}{3\sigma'_3}, \frac{\mu_2 - asl'_2}{3\sigma'_2}, \frac{\mu_3 - asl'_1}{3\sigma'_1} \right); \sqrt{\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{\tilde{ASL}}^2}{1 - \mu_{\tilde{ASL}}^2}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{\tilde{ASL}}}\right)^2 - v_{\tilde{\sigma}}^6}{1 - v_{\tilde{\sigma}}^6}} \right], \left[\left(\frac{usl_1 - \mu_3}{3\sigma_3}, \frac{usl_2 - \mu_2}{3\sigma_2}, \frac{usl_3 - \mu_1}{3\sigma_1} \right), \left(\frac{usl'_1 - \mu_3}{3\sigma'_3}, \frac{usl'_2 - \mu_2}{3\sigma'_2}, \frac{usl'_3 - \mu_1}{3\sigma'_1} \right); \sqrt{\frac{\mu_{\tilde{USL}}^2 - \mu_{\tilde{\mu}_p}^2}{1 - \mu_{\tilde{\mu}_p}^2}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{v_{\tilde{USL}}}{v_{\tilde{\mu}_p}}\right)^2 - v_{\tilde{\sigma}}^6}{1 - v_{\tilde{\sigma}}^6}} \right] \right\} \quad (7.32)$$

Tek taraflı esnek PÜB olarak tanımlanan $\tilde{C}_{pl}$ ve $\tilde{C}_{pu}$ indeksleri aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pl} = \left[\left(\frac{\mu_1 - asl_3}{3\sigma_3}, \frac{\mu_2 - asl_2}{3\sigma_2}, \frac{\mu_3 - asl_1}{3\sigma_1} \right), \left(\frac{\mu_1 - asl'_3}{3\sigma'_3}, \frac{\mu_2 - asl'_2}{3\sigma'_2}, \frac{\mu_3 - asl'_1}{3\sigma'_1} \right); \sqrt{\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{\tilde{ASL}}^2}{1 - \mu_{\tilde{ASL}}^2}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{\tilde{ASL}}}\right)^2 - v_{\tilde{\sigma}}^6}{1 - v_{\tilde{\sigma}}^6}} \right] \quad (7.33)$$

$$\tilde{C}_{pu} = \left[\left(\frac{usl_1 - \mu_3}{3\sigma_3}, \frac{usl_2 - \mu_2}{3\sigma_2}, \frac{usl_3 - \mu_1}{3\sigma_1} \right), \left(\frac{usl'_1 - \mu_3}{3\sigma'_3}, \frac{usl'_2 - \mu_2}{3\sigma'_2}, \frac{usl'_3 - \mu_1}{3\sigma'_1} \right); \right. \\ \left. \sqrt{\frac{\mu_{\tilde{USL}}^2 - \mu_{\tilde{p}}^2}{1 - \mu_{\tilde{p}}^2}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{v_{\tilde{USL}}}{v_{\tilde{p}}}\right)^2 - v_{\tilde{\sigma}}^6}{1 - v_{\tilde{\sigma}}^6}} \right] \quad (7.34)$$

Şekil 7.23’de esnek PÜB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.23 Esnek PÜB olarak $\tilde{C}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

$\tilde{C}_{pk}$ indeksi esnek PYBS kullanılarak eşitlik 7.35’deki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pk} = \min \left\{ \frac{\left[(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3, \mu'_4); \mu_{\tilde{p}}, v_{\tilde{p}} \right] \ominus \left[(asl_1, asl_2, asl_3, asl_4), (asl'_1, asl'_2, asl'_3, asl'_4); \mu_{\tilde{ASL}}, v_{\tilde{ASL}} \right]}{3[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3, \sigma'_4); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}}]}}, \frac{\left[(usl_1, usl_2, usl_3, usl_4), (usl'_1, usl'_2, usl'_3, usl'_4); \mu_{\tilde{USL}}, v_{\tilde{USL}} \right] \ominus \left[(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3, \mu'_4); \mu_{\tilde{p}}, v_{\tilde{p}} \right]}{3[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3, \sigma'_4); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}}]} \right\} \quad (7.35)$$

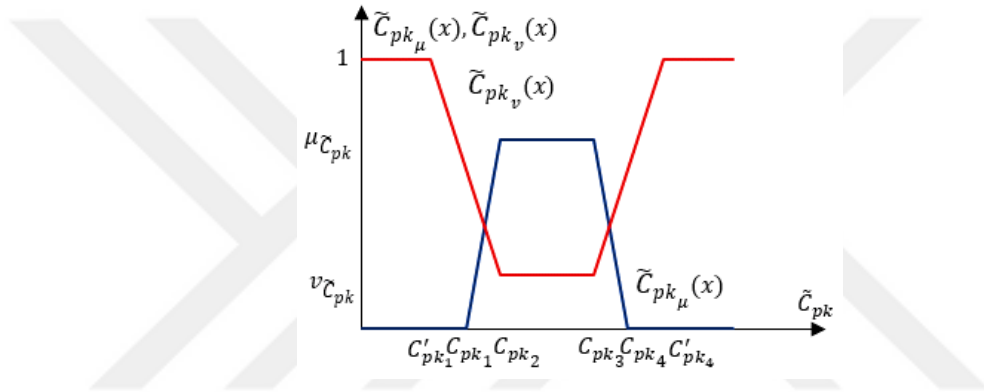
$$\tilde{C}_{pk} = \min \left\{ \left[\left(\frac{\mu_1 - asl_4}{3\sigma_4}, \frac{\mu_2 - asl_3}{3\sigma_3}, \frac{\mu_3 - asl_2}{3\sigma_2}, \frac{\mu_4 - asl_1}{3\sigma_1} \right), \left(\frac{\mu'_1 - asl'_4}{3\sigma'_4}, \frac{\mu'_2 - asl'_3}{3\sigma'_3}, \frac{\mu'_3 - asl'_2}{3\sigma'_2}, \frac{\mu'_4 - asl'_1}{3\sigma'_1} \right); \right. \right. \\ \left. \sqrt{\frac{\mu_{\tilde{p}}^2 - \mu_{\tilde{ASL}}^2}{1 - \mu_{\tilde{ASL}}^2}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{v_{\tilde{p}}}{v_{\tilde{ASL}}}\right)^2 - v_{\tilde{\sigma}}^6}{1 - v_{\tilde{\sigma}}^6}} \right]; \left[\left(\frac{usl_1 - \mu_4}{3\sigma_4}, \frac{usl_2 - \mu_3}{3\sigma_3}, \frac{usl_3 - \mu_2}{3\sigma_2}, \frac{usl_4 - \mu_1}{3\sigma_1} \right), \left(\frac{usl'_1 - \mu'_4}{3\sigma'_4}, \frac{usl'_2 - \mu'_3}{3\sigma'_3}, \frac{usl'_3 - \mu'_2}{3\sigma'_2}, \frac{usl'_4 - \mu'_1}{3\sigma'_1} \right); \right. \right. \\ \left. \left. \sqrt{\frac{\mu_{\tilde{USL}}^2 - \mu_{\tilde{p}}^2}{1 - \mu_{\tilde{p}}^2}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{v_{\tilde{USL}}}{v_{\tilde{p}}}\right)^2 - v_{\tilde{\sigma}}^6}{1 - v_{\tilde{\sigma}}^6}} \right] \right\} \quad (7.36)$$

Tek taraflı esnek PYB olarak tanımlanan $\tilde{C}_{pl}$ ve $\tilde{C}_{pu}$ indeksleri eşitlik 3.3 ve 3.4 kullanılarak yeniden aşağıdaki gibi formüle edilir:

$$\tilde{C}_{pl} = \left[\left(\frac{\mu_1 - asl_4}{3\sigma_4}, \frac{\mu_2 - asl_3}{3\sigma_3}, \frac{\mu_3 - asl_2}{3\sigma_2}, \frac{\mu_4 - asl_1}{3\sigma_1} \right), \left(\frac{\mu'_1 - asl'_4}{3\sigma'_4}, \frac{\mu'_2 - asl'_3}{3\sigma'_3}, \frac{\mu'_3 - asl'_2}{3\sigma'_2}, \frac{\mu'_4 - asl'_1}{3\sigma'_1} \right); \right. \\ \left. \sqrt{\frac{\frac{\mu_{\bar{\mu}_p}^2 - \mu_{\bar{ASL}}^2}{1 - \mu_{\bar{ASL}}^2}}{1 - (1 - \mu_{\bar{\sigma}}^2)^3}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{v_{\bar{\mu}_p}}{v_{\bar{ASL}}}\right)^2 - v_{\bar{\sigma}}^6}{1 - v_{\bar{\sigma}}^6}} \right] \quad (7.37)$$

$$\tilde{C}_{pu} = \left[\left(\frac{usl_1 - \mu_4}{3\sigma_4}, \frac{usl_2 - \mu_3}{3\sigma_3}, \frac{usl_3 - \mu_2}{3\sigma_2}, \frac{usl_4 - \mu_1}{3\sigma_1} \right), \left(\frac{usl'_1 - \mu'_4}{3\sigma'_4}, \frac{usl'_2 - \mu'_3}{3\sigma'_3}, \frac{usl'_3 - \mu'_2}{3\sigma'_2}, \frac{usl'_4 - \mu'_1}{3\sigma'_1} \right); \right. \\ \left. \sqrt{\frac{\frac{\mu_{\bar{USL}}^2 - \mu_{\bar{\mu}_p}^2}{1 - \mu_{\bar{\mu}_p}^2}}{1 - (1 - \mu_{\bar{\sigma}}^2)^3}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{v_{\bar{USL}}}{v_{\bar{\mu}_p}}\right)^2 - v_{\bar{\sigma}}^6}{1 - v_{\bar{\sigma}}^6}} \right] \quad (7.38)$$

Şekil 7.24'de esnek PYB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.24 Esnek PYB olarak $\tilde{C}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

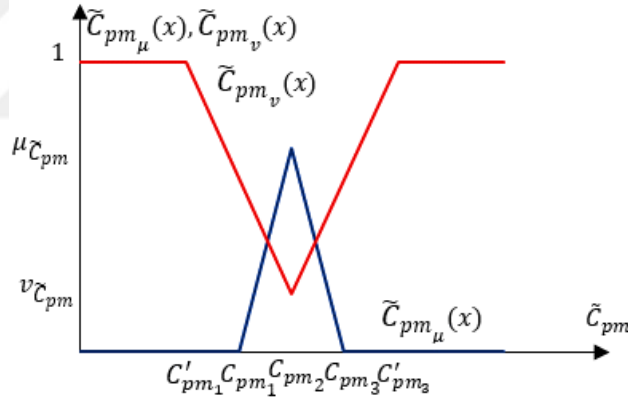
Esnek Pisagor $\tilde{C}_{pm}$ Süreç Yeterlilik İndeksi

$\tilde{C}_{pm}$ indeksi esnek PÜBS kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pm} = \frac{[(usl_1, usl_2, usl_3), (usl'_1, usl'_2, usl'_3); \mu_{\bar{USL}}, v_{\bar{USL}}] \ominus [(asl_1, asl_2, asl_3), (asl'_1, asl'_2, asl'_3); \mu_{\bar{ASL}}, v_{\bar{ASL}}]}{6 \sqrt{\left[((\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3); \mu_{\bar{\sigma}}, v_{\bar{\sigma}})^2 \oplus \left([(\mu_1, \mu_2, \mu_3), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3); \mu_{\bar{\mu}_p}, v_{\bar{\mu}_p}] \ominus [(t_1, t_2, t_3), (t'_1, t'_2, t'_3); \mu_{\bar{T}}, v_{\bar{T}}] \right)^2 \right]}} \quad (7.39)$$

$$\tilde{C}_{pm} = \left[\sqrt{\frac{\left(\frac{usl_1 - asl_3}{6\sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_1)^2}}, \frac{usl_2 - asl_2}{6\sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_2)^2}}, \frac{usl_3 - asl_1}{6\sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_3)^2}} \right), \left(\frac{usl'_1 - asl'_3}{6\sqrt{\sigma_3'^2 + (\mu'_3 - t'_1)^2}}, \frac{usl'_2 - asl'_2}{6\sqrt{\sigma_2'^2 + (\mu'_2 - t'_2)^2}}, \frac{usl'_3 - asl'_1}{6\sqrt{\sigma_1'^2 + (\mu'_1 - t'_3)^2}} \right); \frac{\sqrt{\frac{\mu_{\tilde{USL}}^2 - \mu_{\tilde{ASL}}^2}{1 - \mu_{\tilde{ASL}}^2}}}{\sqrt{1 - \left(1 - \sqrt{(\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 + \left(\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{\tilde{T}}^2}{1 - \mu_{\tilde{T}}^2} \right)^2} - (\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 \left(\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{\tilde{T}}^2}{1 - \mu_{\tilde{T}}^2} \right)^2} \right)^6}, \left(\frac{v_{\tilde{USL}}}{v_{\tilde{ASL}}} \right)^2 - \left(\sqrt{1 - \left(1 - \sqrt{\left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2)^2) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{\tilde{T}}} \right)^2 \right)^2} \right) \right) \right)} \right)^{12}}{1 - \left(\sqrt{1 - \left(1 - \sqrt{\left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2)^2) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{\tilde{T}}} \right)^2 \right)^2} \right) \right) \right)} \right)^{12}} \right] \quad (7.40)$$

Şekil 7.25’de esnek PÜB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



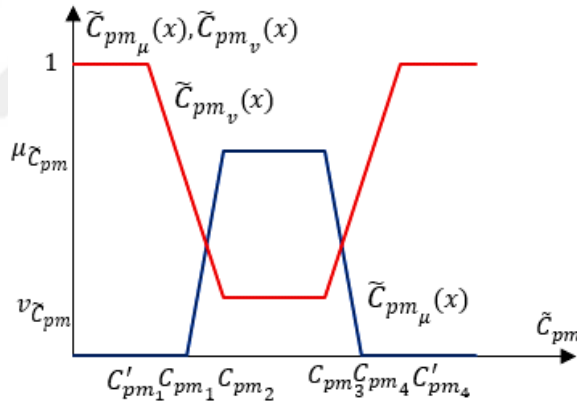
Şekil 7.25 Esnek PÜB olarak $\tilde{C}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

$\tilde{C}_{pm}$ indeksi esnek PYPS kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pm} = \frac{\left[(usl_1, usl_2, usl_3, usl_4), (usl'_1, usl'_2, usl'_3, usl'_4); \mu_{\tilde{USL}}, v_{\tilde{USL}} \right] \ominus \left[(asl_1, asl_2, asl_3, asl_4), (asl'_1, asl'_2, asl'_3, asl'_4); \mu_{\tilde{ASL}}, v_{\tilde{ASL}} \right]}{6 \sqrt{\left[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3, \sigma'_4); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}} \right]^2 \oplus \left(\left[(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3, \mu'_4); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p} \right] \ominus \left[(t_1, t_2, t_3, t_4), (t'_1, t'_2, t'_3, t'_4); \mu_{\tilde{T}}, v_{\tilde{T}} \right] \right)^2}} \quad (7.41)$$

$$\tilde{C}_{pm} = \left[\begin{array}{c} \left(\frac{usl_1 - asl_4}{6\sqrt{\sigma_4^2 + (\mu_4 - t_1)^2}}, \frac{usl_2 - asl_3}{6\sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_2)^2}}, \frac{usl_3 - asl_2}{6\sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_3)^2}}, \frac{usl_4 - asl_1}{6\sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_4)^2}} \right), \\ \left(\frac{usl'_1 - asl'_4}{6\sqrt{\sigma_4'^2 + (\mu'_4 - t'_1)^2}}, \frac{usl'_2 - asl'_3}{6\sqrt{\sigma_3'^2 + (\mu'_3 - t'_2)^2}}, \frac{usl'_3 - asl'_2}{6\sqrt{\sigma_2'^2 + (\mu'_2 - t'_3)^2}}, \frac{usl'_4 - asl'_1}{6\sqrt{\sigma_1'^2 + (\mu'_1 - t'_4)^2}} \right); \\ \sqrt{\frac{\mu_{\overline{USL}}^2 - \mu_{\overline{ASL}}^2}{1 - \mu_{\overline{ASL}}^2}}, \\ \sqrt{1 - \left(1 - \sqrt{(\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 + \left(\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{\tilde{\tau}}^2}{1 - \mu_{\tilde{\tau}}^2} \right)^2} - (\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 \left(\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{\tilde{\tau}}^2}{1 - \mu_{\tilde{\tau}}^2} \right)^2} \right)^2}, \\ \frac{\left(\frac{v_{\overline{USL}}}{v_{\overline{ASL}}} \right)^2 - \left(1 - \sqrt{1 - \left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2)^2) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{\tilde{\tau}}} \right)^2 \right)^2 \right) \right)} \right)^2}{1 - \left(1 - \sqrt{1 - \left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2)^2) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{\tilde{\tau}}} \right)^2 \right)^2 \right) \right)} \right)^2} \end{array} \right] \quad (7.42)$$

Şekil 7.26’de esnek PYB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.26 Esnek PYB olarak $\tilde{C}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

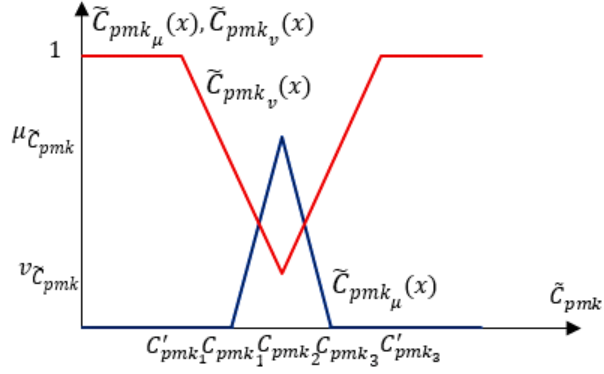
Esnek Pisagor $\tilde{C}_{pmk}$ Süreç Yeterlilik İndeksi

$\tilde{C}_{pmk}$ indeksi esnek PÜBS kullanılarak eşitlik 7.43’deki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left\{ \frac{[(\mu_1, \mu_2, \mu_3), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}] \ominus [(asl_1, asl_2, asl_3), (asl'_1, asl'_2, asl'_3); \mu_{\overline{ASL}}, v_{\overline{ASL}}]}{3\sqrt{[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}}]^2 \oplus [((\mu_1, \mu_2, \mu_3), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}) \ominus [(t_1, t_2, t_3), (t'_1, t'_2, t'_3); \mu_{\tilde{\tau}}, v_{\tilde{\tau}}]]^2}}, \frac{[(usl_1, usl_2, usl_3), (usl'_1, usl'_2, usl'_3); \mu_{\overline{USL}}, v_{\overline{USL}}] \ominus [(\mu_1, \mu_2, \mu_3), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}]}{3\sqrt{[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}}]^2 \oplus [((\mu_1, \mu_2, \mu_3), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}) \ominus [(t_1, t_2, t_3), (t'_1, t'_2, t'_3); \mu_{\tilde{\tau}}, v_{\tilde{\tau}}]]^2}} \right\} \quad (7.43)$$

$$\begin{aligned}
\tilde{C}_{pmk} = \min & \left[\left(\frac{\mu_1 - asl_3}{3\sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_1)^2}}, \frac{\mu_2 - asl_2}{3\sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_2)^2}}, \frac{\mu_3 - asl_1}{3\sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_3)^2}} \right), \right. \\
& \left(\frac{\mu'_1 - asl'_3}{6\sqrt{\sigma_3'^2 + (\mu'_3 - t'_1)^2}}, \frac{\mu_2 - asl_2}{6\sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_2)^2}}, \frac{\mu'_3 - asl'_1}{6\sqrt{\sigma_1'^2 + (\mu'_1 - t'_3)^2}} \right); \\
& \frac{\sqrt{\frac{\mu_{\tilde{p}}^2 - \mu_{ASL}^2}{1 - \mu_{ASL}^2}}}{\sqrt{1 - \left(1 - \sqrt{(\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 + \left(\frac{\mu_{\tilde{p}}^2 - \mu_{\tilde{T}}^2}{1 - \mu_{\tilde{T}}^2} \right)^2} - (\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 \left(\frac{\mu_{\tilde{p}}^2 - \mu_{\tilde{T}}^2}{1 - \mu_{\tilde{T}}^2} \right)^2} \right)^3}}; \\
& \frac{\left(\frac{v_{\tilde{p}}}{v_{ASL}} \right)^2 - \left(\sqrt{1 - \left(1 - \left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2))^2 \right) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{p}}}{v_{\tilde{T}}} \right)^2 \right)^2 \right) \right)}} \right)^6}{1 - \left(\sqrt{1 - \left(1 - \left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2))^2 \right) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{p}}}{v_{\tilde{T}}} \right)^2 \right)^2 \right) \right)}} \right)^6} \\
& \left(\frac{usl_1 - \mu_3}{3\sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_1)^2}}, \frac{usl_2 - \mu_2}{3\sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_2)^2}}, \frac{usl_3 - \mu_1}{3\sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_3)^2}} \right), \\
& \left(\frac{usl'_3 - \mu'_1}{6\sqrt{\sigma_3'^2 + (\mu'_3 - t'_1)^2}}, \frac{usl_2 - \mu_2}{6\sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_2)^2}}, \frac{usl'_1 - \mu'_3}{6\sqrt{\sigma_1'^2 + (\mu'_1 - t'_3)^2}} \right); \\
& \frac{\sqrt{\frac{\mu_{\tilde{U}SL}^2 - \mu_{\tilde{p}}^2}{1 - \mu_{\tilde{p}}^2}}}{\sqrt{1 - \left(1 - \sqrt{(\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 + \left(\frac{\mu_{\tilde{p}}^2 - \mu_{\tilde{T}}^2}{1 - \mu_{\tilde{T}}^2} \right)^2} - (\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 \left(\frac{\mu_{\tilde{p}}^2 - \mu_{\tilde{T}}^2}{1 - \mu_{\tilde{T}}^2} \right)^2} \right)^3}}; \\
& \frac{\left(\frac{v_{\tilde{U}SL}}{v_{\tilde{p}}} \right)^2 - \left(\sqrt{1 - \left(1 - \left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2))^2 \right) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{p}}}{v_{\tilde{T}}} \right)^2 \right)^2 \right) \right)}} \right)^6}{1 - \left(\sqrt{1 - \left(1 - \left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2))^2 \right) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{p}}}{v_{\tilde{T}}} \right)^2 \right)^2 \right) \right)}} \right)^6} \right]
\end{aligned} \tag{7.44}$$

Şekil 7.27’de esnek PÜB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.27 Esnek PÜB olarak $\tilde{C}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

$\tilde{C}_{pmk}$ indeksi esnek PYBS kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir:

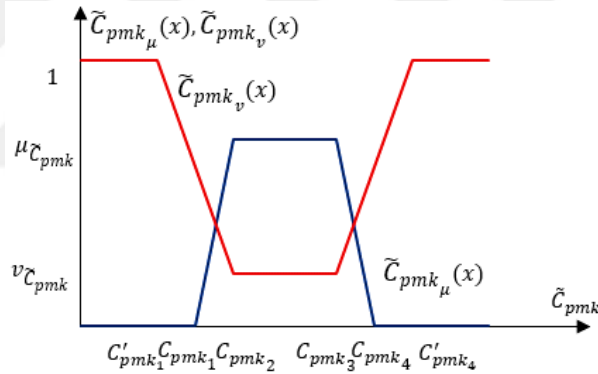
$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left\{ \frac{\left[\frac{[(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3, \mu'_4); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}] \ominus [(asl_1, asl_2, asl_3, asl_4); (asl'_1, asl'_2, asl'_3, asl'_4); \mu_{\tilde{ASL}}, v_{\tilde{ASL}}]}{3 \sqrt{[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3, \sigma'_4); w_{\tilde{\sigma}}, u_{\tilde{\sigma}}]^2 \oplus \left(\frac{[(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3, \mu'_4); w_{\tilde{\mu}_p}, u_{\tilde{\mu}_p}] \ominus [(t_1, t_2, t_3, t_4), (t'_1, t'_2, t'_3, t'_4); w_{\tilde{T}}, u_{\tilde{T}}]}{[(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3, \mu'_4); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}]} \right)^2}}}{[(usl_1, usl_2, usl_3, usl_4), (usl'_1, usl'_2, usl'_3, usl'_4); \mu_{\tilde{USL}}, v_{\tilde{USL}}] \ominus [(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3, \mu'_4); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}]} \right]}{3 \sqrt{[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3, \sigma'_4); \mu_{\tilde{\sigma}}, v_{\tilde{\sigma}}]^2 \oplus \left(\frac{[(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3, \mu'_4); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}] \ominus [(t_1, t_2, t_3, t_4), (t'_1, t'_2, t'_3, t'_4); \mu_{\tilde{T}}, v_{\tilde{T}}]}{[(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3, \mu'_4); \mu_{\tilde{\mu}_p}, v_{\tilde{\mu}_p}]} \right)^2}} \right\} \quad (7.45)$$

Esnek PYBS olarak tanımlanan $\tilde{C}_{pml}$ ve $\tilde{C}_{pmu}$ indeksleri aşağıdaki gibidir:

$$\tilde{C}_{pml} = \left[\left(\frac{\mu_1 - asl_4}{3\sqrt{\sigma_4^2 + (\mu_4 - t_1)^2}}, \frac{\mu_2 - asl_3}{3\sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_2)^2}}, \frac{\mu_3 - asl_2}{3\sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_3)^2}}, \frac{\mu_4 - asl_1}{3\sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_4)^2}} \right), \left(\frac{\mu'_1 - asl'_4}{3\sqrt{\sigma_4'^2 + (\mu'_4 - t'_1)^2}}, \frac{\mu'_2 - asl'_3}{3\sqrt{\sigma_3'^2 + (\mu'_3 - t'_2)^2}}, \frac{\mu'_3 - asl'_2}{3\sqrt{\sigma_2'^2 + (\mu'_2 - t'_3)^2}}, \frac{\mu'_4 - asl'_1}{3\sqrt{\sigma_1'^2 + (\mu'_1 - t'_4)^2}} \right); \frac{\sqrt{\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{\tilde{ASL}}^2}{1 - \mu_{\tilde{ASL}}^2}}}{\sqrt{1 - \left(1 - \sqrt{(\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 + \left(\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{\tilde{T}}^2}{1 - \mu_{\tilde{T}}^2} \right)^2} - (\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 \left(\frac{\mu_{\tilde{\mu}_p}^2 - \mu_{\tilde{T}}^2}{1 - \mu_{\tilde{T}}^2} \right)^2} \right)^3}, \frac{\left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{\tilde{ASL}}} \right)^2 - \left(1 - \sqrt{1 - \left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2)^2) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{\tilde{T}}} \right)^2 \right)^2 \right) \right)^2} \right)^6}{1 - \left(1 - \sqrt{1 - \left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2)^2) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{\mu}_p}}{v_{\tilde{T}}} \right)^2 \right)^2 \right) \right)^2} \right)^6} \right] \quad (7.46)$$

$$\tilde{C}_{pmu} = \left[\begin{array}{c} \left(\frac{usl_1 - \mu_4}{3\sqrt{\sigma_4^2 + (\mu_4 - t_1)^2}}, \frac{usl_2 - \mu_3}{3\sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_2)^2}}, \frac{usl_3 - \mu_2}{3\sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_3)^2}}, \frac{usl_4 - \mu_1}{3\sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_4)^2}} \right), \\ \left(\frac{usl'_1 - \mu'_4}{6\sqrt{\sigma_4'^2 + (\mu'_4 - t'_1)^2}}, \frac{usl'_2 - \mu'_3}{6\sqrt{\sigma_3'^2 + (\mu'_3 - t'_2)^2}}, \frac{usl'_3 - \mu'_2}{6\sqrt{\sigma_2'^2 + (\mu'_2 - t'_3)^2}}, \frac{usl'_4 - \mu'_1}{6\sqrt{\sigma_1'^2 + (\mu'_1 - t'_4)^2}} \right); \\ \sqrt{\frac{\mu_{\tilde{USL}}^2 - \mu_{\tilde{p}}^2}{1 - \mu_{\tilde{p}}^2}}, \\ \sqrt{1 - \left(1 - \sqrt{(\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 + \left(\frac{\mu_{\tilde{p}}^2 - \mu_{\tilde{T}}^2}{1 - \mu_{\tilde{T}}^2} \right)^2} - (\mu_{\tilde{\sigma}}^2)^2 \left(\frac{\mu_{\tilde{p}}^2 - \mu_{\tilde{T}}^2}{1 - \mu_{\tilde{T}}^2} \right)^2} \right)^2}, \\ \frac{\left(\frac{v_{\tilde{USL}}}{v_{\tilde{p}}} \right)^2 - \left(1 - \sqrt{1 - \left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2))^2 \right) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{p}}}{v_{\tilde{T}}} \right)^2 \right)^2 \right)} \right)^2}{1 - \left(1 - \sqrt{1 - \left(1 - (1 - (v_{\tilde{\sigma}}^2))^2 \right) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{v_{\tilde{p}}}{v_{\tilde{T}}} \right)^2 \right)^2 \right)} \right)^2} \end{array} \right] \quad (7.47)$$

Şekil 7.28'de esnek PYB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



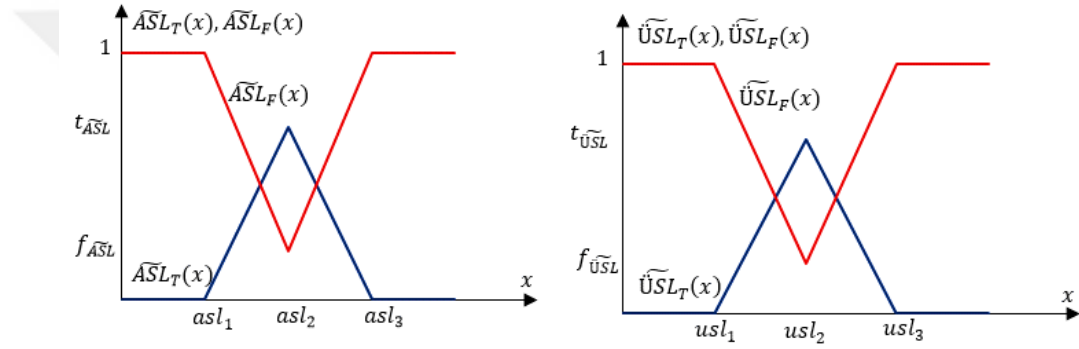
Şekil 7.28 Esnek PYB olarak $\tilde{C}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

7.1.2 Min-Max Yöntemiyle Pisagor Bulanık Süreç Yeterlilik İndeksleri

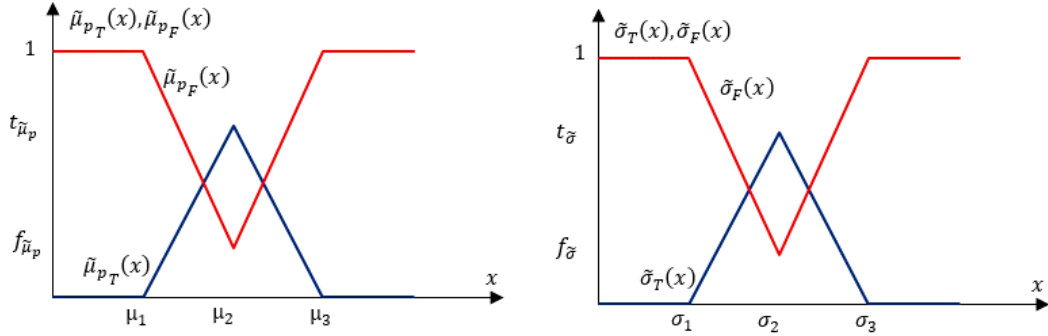
Luqman vd. [151] PBK'nin esnekliğinden ve belirsizliği tanımlamadaki avantajlarından yararlanarak tanım 5.4.9'daki PBS'nin aritmetik işlemlerini geliştirmişlerdir. Bu bölümde de, geliştirilen aritmetik işlemler kullanılarak PBSYİ türetilmiştir. Klasik yöntemle geliştirilen PBSYİ'deki işlemlerin zor ve karmaşık olması sebebiyle alternatif olarak Min-Max yöntemiyle PBSYİ geliştirilmiştir. Min-Max yöntemiyle geliştirilen PBSYİ, işlem kolaylığı sebebiyle gerçek hayat problemlerine daha kolay uygulanabilmektedir.

7.1.2.1 Süreç Parametrelerinin Min-Max Yöntemiyle Elde Edilmesi

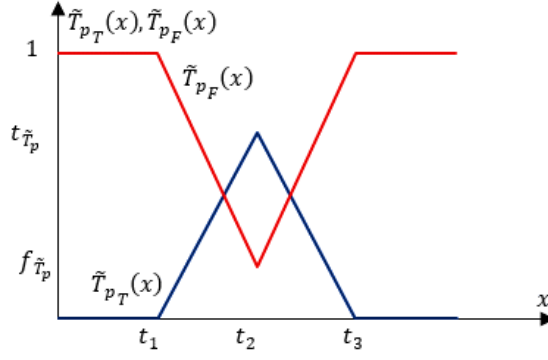
Bu alt bölümde, Min-Max yöntemi kullanılarak süreç parametrelerinin PBS olma durumu ele alınmıştır. Spesifikasyon limitleri (SL), ortalama ($\tilde{\mu}_p$), varyans ($\tilde{\sigma}^2$) ve hedef değer ($\tilde{T}$) parametrelerini $t_{\tilde{p}}$ doğruluk ve $f_{\tilde{p}}$ yanlışlık üyelik dereceleriyle PÜBS şeklinde ifade edersek, PÜB olarak süreç parametreleri $\tilde{ASL} = [(asl_1, asl_2, asl_3); t_{\tilde{ASL}}, f_{\tilde{ASL}}]$, $\tilde{USL} = [(usl_1, usl_2, usl_3); t_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{USL}}]$, $\tilde{\mu}_p = [(\mu_1, \mu_2, \mu_3); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p}]$, $\tilde{\sigma} = [(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}]$, $\tilde{T} = [(t_1, t_2, t_3); t_{\tilde{T}}, f_{\tilde{T}}]$ tanımlanır. Şekil 7.29, Şekil 7.30 ve Şekil 7.31’de Min-Max yöntemiyle elde edilen PÜB süreç parametreleri grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.29 Min-Max yöntemiyle PÜB olarak $\tilde{ASL}$ ve $\tilde{USL}$ 'nin üyelik fonksiyonları

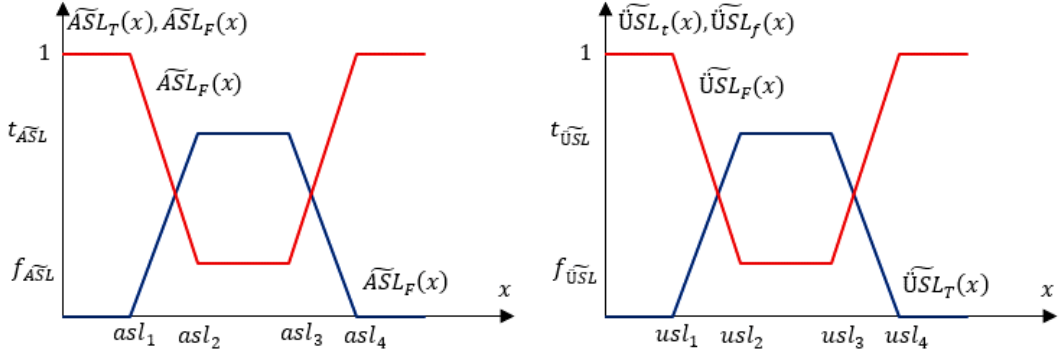


Şekil 7.30 Min-Max yöntemiyle PÜB olarak $\tilde{\mu}_p$ ve $\tilde{\sigma}$ 'nın üyelik fonksiyonları

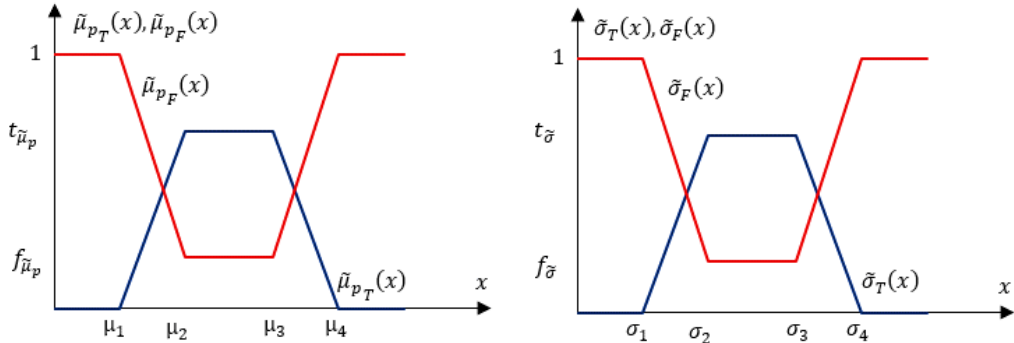


Şekil 7.31 Min-Max yöntemiyle PÜB olarak $\tilde{T}$ 'nin üyelik fonksiyonları

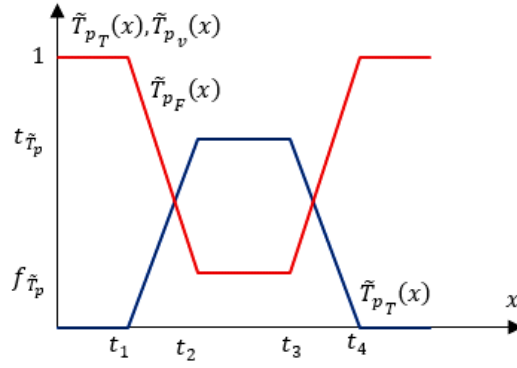
Spesifikasyon limitleri (SL), ortalama ($\tilde{\mu}_p$), varyans ($\tilde{\sigma}^2$) ve hedef değer ($\tilde{T}$) parametrelerini PYBS şeklinde ifade edersek, PYB olarak süreç parametreleri $\tilde{ASL} = [(asl_1, asl_2, asl_3, asl_4); t_{\tilde{ASL}}, f_{\tilde{ASL}}]$, $\tilde{USL} = [(usl_1, usl_2, usl_3, usl_4); t_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{USL}}]$, $\tilde{\mu}_p = [(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p}]$, $\tilde{\sigma} = [(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}]$, $\tilde{T} = [(t_1, t_2, t_3, t_4); t_{\tilde{T}}, f_{\tilde{T}}]$ tanımlanır. Şekil 7.32, Şekil 7.33 ve Şekil 7.34'de Min-Max yöntemle elde edilen PYB süreç parametreleri grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.32 Min-Max yöntemiyle PYB olarak $\tilde{ASL}$ ve $\tilde{USL}$ 'nin üyelik fonksiyonları



Şekil 7.33 Min-Max yöntemiyle PYB olarak $\tilde{\mu}_p$ ve $\tilde{\sigma}$ 'nin üyelik fonksiyonları



Şekil 7.34 Min-Max yöntemiyle PYB olarak $\tilde{T}$ 'nin üyelik fonksiyonları

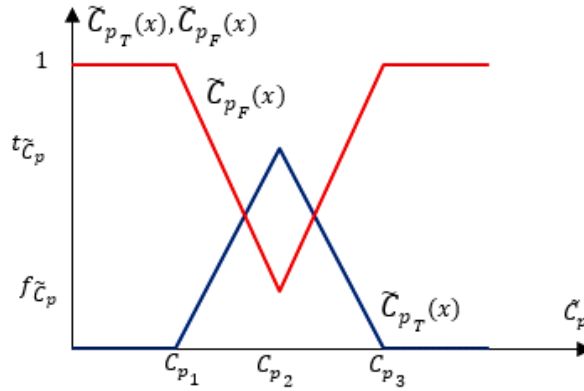
Min-Max Yöntemiyle Pisagor $\tilde{C}_p$ Süreç Yeterlilik İndeksi

Min-Max yöntemiyle $\tilde{C}_p$ indeksi PÜBS kullanılarak eşitlik 7.48'deki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_p = \frac{[(usl_1, usl_2, usl_3); t_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{USL}}] \ominus [(asl_1, asl_2, asl_3); t_{\tilde{ASL}}, f_{\tilde{ASL}}]}{6[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}]} \quad (7.48)$$

$$\tilde{C}_p = \left[\left(\frac{usl_1 - asl_3}{6\sigma_3}, \frac{usl_2 - asl_2}{6\sigma_2}, \frac{usl_3 - asl_1}{6\sigma_1} \right); \min\{\min\{t_{\tilde{USL}}, t_{\tilde{ASL}}\}, t_{\tilde{\sigma}}\}, \max\{\max\{f_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{ASL}}\}, f_{\tilde{\sigma}}\} \right] \quad (7.49)$$

Şekil 7.35'de PÜB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



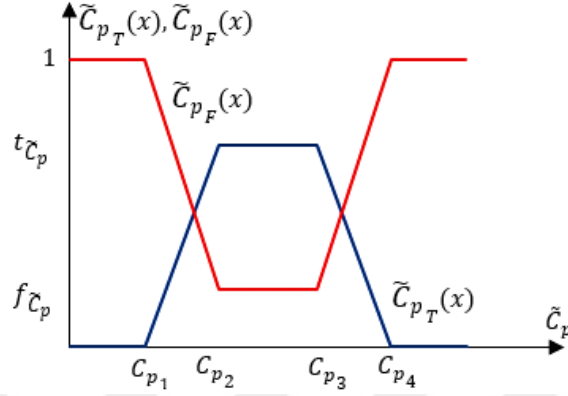
Şekil 7.35 Min-Max yöntemiyle PÜB olarak $\tilde{C}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları

$\tilde{C}_p$ indeksi PYBS'nin aritmetik işlemlerini kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_p = \frac{[(usl_1, usl_2, usl_3, usl_4); t_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{USL}}] \ominus [(asl_1, asl_2, asl_3, asl_4); t_{\tilde{ASL}}, f_{\tilde{ASL}}]}{6[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}]} \quad (7.50)$$

$$\tilde{C}_p = \left[\begin{array}{c} \left(\frac{usl_1 - asl_4}{6\sigma_4}, \frac{usl_2 - asl_3}{6\sigma_3}, \frac{usl_3 - asl_2}{6\sigma_2}, \frac{usl_4 - asl_1}{6\sigma_1} \right); \\ \min\{\min\{t_{\tilde{U}_{SL}}, t_{\tilde{A}_{SL}}, t_{\tilde{\sigma}}\}, \max\{\max\{f_{\tilde{U}_{SL}}, f_{\tilde{A}_{SL}}, f_{\tilde{\sigma}}\}\} \end{array} \right] \quad (7.51)$$

Şekil 7.36'da PYB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.36 Min-Max yöntemiyle PYB olarak $\tilde{C}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Min-Max Yöntemiyle Pisagor $\tilde{C}_{pk}$ Süreç Yeterlilik İndeksi

Min-Max yöntemiyle $\tilde{C}_{pk}$ indeksi PÜBS kullanılarak eşitlik 7.52'deki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pk} = \min \left\{ \frac{\left[\frac{(\mu_1, \mu_2, \mu_3); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p}}{3[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}]} \ominus \frac{(asl_1, asl_2, asl_3); t_{\tilde{A}_{SL}}, f_{\tilde{A}_{SL}}}{3[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}]} \right]}{\left[\frac{(usl_1, usl_2, usl_3); t_{\tilde{U}_{SL}}, f_{\tilde{U}_{SL}}}{3[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}]} \ominus \frac{(\mu_1, \mu_2, \mu_3); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p}}{3[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}]} \right]} \right\} \quad (7.52)$$

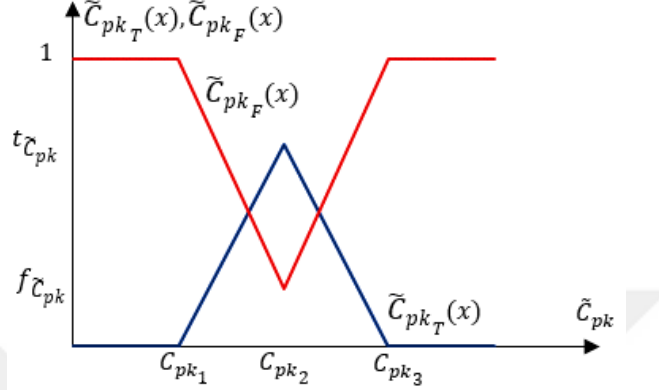
$$\tilde{C}_{pk} = \min \left\{ \left[\begin{array}{c} \left(\frac{\mu_1 - asl_3}{3\sigma_3}, \frac{\mu_2 - asl_2}{3\sigma_2}, \frac{\mu_3 - asl_1}{3\sigma_1} \right); \\ \min\{\min\{t_{\tilde{\mu}_p}, t_{\tilde{A}_{SL}}, t_{\tilde{\sigma}}\}, \max\{\max\{f_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{A}_{SL}}, f_{\tilde{\sigma}}\}\} \end{array} \right]; \left[\begin{array}{c} \left(\frac{usl_1 - \mu_3}{3\sigma_3}, \frac{usl_2 - \mu_2}{3\sigma_2}, \frac{usl_3 - \mu_1}{3\sigma_1} \right); \\ \min\{\min\{t_{\tilde{U}_{SL}}, t_{\tilde{\mu}_p}, t_{\tilde{\sigma}}\}, \max\{\max\{f_{\tilde{U}_{SL}}, f_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\sigma}}\}\} \end{array} \right] \right\} \quad (7.53)$$

Min-Max yöntemiyle tek taraflı PÜBS olarak $\tilde{C}_{pl}$ ve $\tilde{C}_{pu}$ indeksleri aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pl} = \left[\begin{array}{c} \left(\frac{\mu_1 - asl_3}{3\sigma_3}, \frac{\mu_2 - asl_2}{3\sigma_2}, \frac{\mu_3 - asl_1}{3\sigma_1} \right); \\ \min\{\min\{t_{\tilde{\mu}_p}, t_{\tilde{A}_{SL}}, t_{\tilde{\sigma}}\}, \max\{\max\{f_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{A}_{SL}}, f_{\tilde{\sigma}}\}\} \end{array} \right] \quad (7.54)$$

$$\tilde{C}_{pu} = \left[\begin{array}{c} \left(\frac{usl_1 - \mu_3}{3\sigma_3}, \frac{usl_2 - \mu_2}{3\sigma_2}, \frac{usl_3 - \mu_1}{3\sigma_1} \right); \\ \min \left\{ \min \{ t_{\tilde{U}_{SL}}, t_{\tilde{\mu}_p} \}, t_{\tilde{\sigma}} \right\}, \max \left\{ \max \{ f_{\tilde{U}_{SL}}, f_{\tilde{\mu}_p} \}, f_{\tilde{\sigma}} \right\} \end{array} \right] \quad (7.55)$$

Şekil 7.37’de PÜB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.37 Min-Max yöntemiyle PÜB olarak $\tilde{C}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları $\tilde{C}_{pk}$ indeksi PYBS kullanılarak eşitlik 7.56’daki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pk} = \min \left\{ \frac{[(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p}] \ominus [(asl_1, asl_2, asl_3, asl_4); t_{\tilde{A}_{SL}}, f_{\tilde{A}_{SL}}]}{3[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}]}, \frac{[(usl_1, usl_2, usl_3, usl_4); t_{\tilde{U}_{SL}}, f_{\tilde{U}_{SL}}] \ominus [(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p}]}{3[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}]} \right\} \quad (7.56)$$

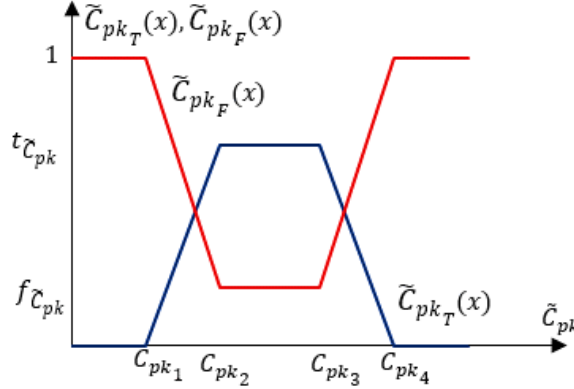
$$\tilde{C}_{pk} = \min \left\{ \left[\begin{array}{c} \left(\frac{\mu_1 - asl_4}{3\sigma_4}, \frac{\mu_2 - asl_3}{3\sigma_3}, \frac{\mu_3 - asl_2}{3\sigma_2}, \frac{\mu_4 - asl_1}{3\sigma_1} \right); \\ \min \left\{ \min \{ t_{\tilde{\mu}_p}, t_{\tilde{A}_{SL}} \}, t_{\tilde{\sigma}} \right\}, \max \left\{ \max \{ f_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{A}_{SL}} \}, f_{\tilde{\sigma}} \right\} \end{array} \right]; \left[\begin{array}{c} \left(\frac{usl_1 - \mu_4}{3\sigma_4}, \frac{usl_2 - \mu_3}{3\sigma_3}, \frac{usl_3 - \mu_2}{3\sigma_2}, \frac{usl_4 - \mu_1}{3\sigma_1} \right); \\ \min \left\{ \min \{ t_{\tilde{U}_{SL}}, t_{\tilde{\mu}_p} \}, t_{\tilde{\sigma}} \right\}, \max \left\{ \max \{ f_{\tilde{U}_{SL}}, f_{\tilde{\mu}_p} \}, f_{\tilde{\sigma}} \right\} \end{array} \right] \right\} \quad (7.57)$$

Min-Max yöntemiyle tek taraflı PYBS olarak $\tilde{C}_{pl}$ ve $\tilde{C}_{pu}$ indeksleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$\tilde{C}_{pl} = \left[\begin{array}{c} \left(\frac{\mu_1 - asl_4}{3\sigma_4}, \frac{\mu_2 - asl_3}{3\sigma_3}, \frac{\mu_3 - asl_2}{3\sigma_2}, \frac{\mu_4 - asl_1}{3\sigma_1} \right); \\ \min \left\{ \min \{ t_{\tilde{\mu}_p}, t_{\tilde{A}_{SL}} \}, t_{\tilde{\sigma}} \right\}, \max \left\{ \max \{ f_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{A}_{SL}} \}, f_{\tilde{\sigma}} \right\} \end{array} \right] \quad (7.58)$$

$$\tilde{C}_{pu} = \left[\begin{array}{c} \left(\frac{usl_1 - \mu_4}{3\sigma_4}, \frac{usl_2 - \mu_3}{3\sigma_2}, \frac{usl_3 - \mu_2}{3\sigma_3}, \frac{usl_4 - \mu_1}{3\sigma_1} \right); \\ \min \left\{ \min \left\{ t_{\tilde{U}_{SL}}, t_{\tilde{\mu}_p} \right\}, t_{\tilde{\sigma}} \right\}, \max \left\{ \max \left\{ f_{\tilde{U}_{SL}}, f_{\tilde{\mu}_p} \right\}, f_{\tilde{\sigma}} \right\} \right\end{array} \right] \quad (7.59)$$

Şekil 7.38’de PYB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.38 Min-Max yöntemiyle PYB olarak $\tilde{C}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

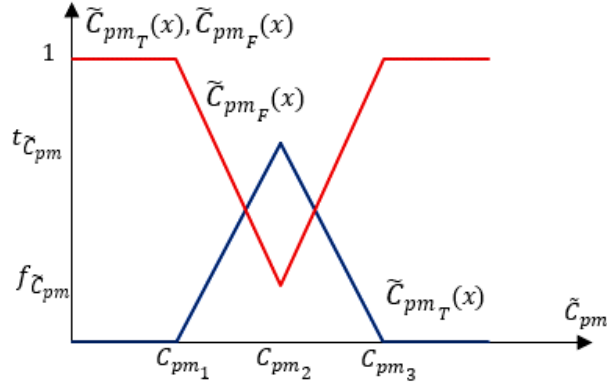
Min-Max Yöntemiyle Pisagor $\tilde{C}_{pm}$ Süreç Yeterlilik İndeksi

Min-Max yöntemiyle $\tilde{C}_{pm}$ indeksi PÜBS kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pm} = \frac{[(usl_1, usl_2, usl_3); t_{\tilde{U}_{SL}}, f_{\tilde{U}_{SL}}] \ominus [(asl_1, asl_2, asl_3); t_{\tilde{A}_{SL}}, f_{\tilde{A}_{SL}}]}{6\sqrt{[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}]^2 \oplus \left([(\mu_1, \mu_2, \mu_3); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p}] \ominus [(t_1, t_2, t_3); t_{\tilde{T}}, f_{\tilde{T}}] \right)^2}} \quad (7.60)$$

$$\tilde{C}_{pm} = \left[\begin{array}{c} \left(\frac{usl_1 - asl_3}{6\sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_1)^2}}, \frac{usl_2 - asl_2}{6\sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_2)^2}}, \frac{usl_3 - asl_1}{6\sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_3)^2}} \right); \\ \min \left\{ \min \left\{ t_{\tilde{U}_{SL}}, t_{\tilde{A}_{SL}} \right\}, \min \left\{ t_{\tilde{\sigma}}, \min \left\{ t_{\tilde{\mu}_p}, t_{\tilde{T}} \right\} \right\} \right\}, \\ \max \left\{ \max \left\{ f_{\tilde{U}_{SL}}, f_{\tilde{A}_{SL}} \right\}, \max \left\{ f_{\tilde{\sigma}}, \max \left\{ f_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{T}} \right\} \right\} \right\} \end{array} \right] \quad (7.61)$$

Şekil 7.39’da PÜB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



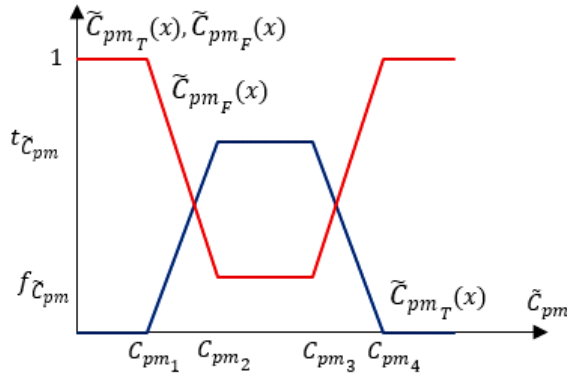
Şekil 7.39 Min-Max yöntemiyle PÜB olarak $\tilde{C}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

$\tilde{C}_{pm}$ indeksi PYBS kullanılarak eşitlik 7.62'deki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pm} = \frac{[(usl_1, usl_2, usl_3, usl_4); t_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{USL}}] \ominus [(asl_1, asl_2, asl_3, asl_4) t_{\tilde{ASL}}, f_{\tilde{ASL}}]}{6\sqrt{[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}]^2 \oplus [(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p}] \ominus [(t_1, t_2, t_3, t_4); t_{\tilde{T}}, f_{\tilde{T}}]}}^2} \quad (7.62)$$

$$\tilde{C}_{pm} = \left[\left(\frac{usl_1 - asl_4}{6\sqrt{\sigma_4^2 + (\mu_4 - t_1)^2}}, \frac{usl_2 - asl_3}{6\sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_2)^2}}, \frac{usl_3 - asl_2}{6\sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_3)^2}}, \frac{usl_4 - asl_1}{6\sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_4)^2}} \right); \right. \\ \left. \min \left\{ \min \{t_{\tilde{USL}}, t_{\tilde{ASL}}\}, \min \{t_{\tilde{\sigma}}, \min \{t_{\tilde{\mu}_p}, t_{\tilde{T}}\}\} \right\}, \right. \\ \left. \max \left\{ \max \{f_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{ASL}}\}, \max \{f_{\tilde{\sigma}}, \max \{f_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{T}}\}\} \right\} \right] \quad (7.63)$$

Şekil 7.40'da PYB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.40 Min-Max yöntemiyle PYB olarak $\tilde{C}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Min-Max Yöntemiyle Pisagor $\tilde{C}_{pmk}$ Süreç Yeterlilik İndeksi

Min-Max yöntemiyle $\tilde{C}_{pmk}$ indeksi PÜBS kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir:

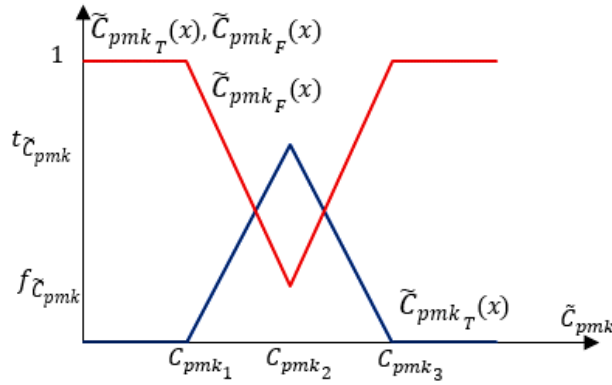
$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left\{ \frac{\left[(\mu_1, \mu_2, \mu_3); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p} \right] \ominus \left[(asl_1, asl_2, asl_3); t_{\tilde{ASL}}, f_{\tilde{ASL}} \right]}{3 \sqrt{\left[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}} \right]^2 \oplus \left(\left[(\mu_1, \mu_2, \mu_3); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p} \right] \ominus \left[(t_1, t_2, t_3); t_{\tilde{T}}, f_{\tilde{T}} \right] \right)^2}} \right\} \quad (7.64)$$

$$\left\{ \frac{\left[(usl_1, usl_2, usl_3); t_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{USL}} \right] \ominus \left[(\mu_1, \mu_2, \mu_3); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p} \right]}{3 \sqrt{\left[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}} \right]^2 \oplus \left(\left[(\mu_1, \mu_2, \mu_3); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p} \right] \ominus \left[(t_1, t_2, t_3); t_{\tilde{T}}, f_{\tilde{T}} \right] \right)^2}} \right\}$$

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left\{ \left[\begin{array}{l} \frac{\mu_1 - asl_3}{3 \sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_1)^2}}, \frac{\mu_2 - asl_2}{3 \sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_2)^2}}, \frac{\mu_3 - asl_1}{3 \sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_3)^2}}; \\ \min \left\{ \min \{ t_{\tilde{\mu}_p}, t_{\tilde{ASL}} \}, \min \{ t_{\tilde{\sigma}}, \min \{ t_{\tilde{\mu}_p}, t_{\tilde{T}} \} \} \right\}; \\ \max \left\{ \max \{ f_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{ASL}} \}, \max \{ f_{\tilde{\sigma}}, \max \{ f_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{T}} \} \} \right\} \end{array} \right]; \right. \quad (7.65)$$

$$\left. \left[\begin{array}{l} \frac{usl_1 - \mu_3}{3 \sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_1)^2}}, \frac{usl_2 - \mu_2}{3 \sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_2)^2}}, \frac{usl_3 - \mu_1}{3 \sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_3)^2}}; \\ \min \left\{ \min \{ t_{\tilde{USL}}, t_{\tilde{\mu}_p} \}, \min \{ t_{\tilde{\sigma}}, \min \{ t_{\tilde{\mu}_p}, t_{\tilde{T}} \} \} \right\}; \\ \max \left\{ \max \{ f_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{\mu}_p} \}, \max \{ f_{\tilde{\sigma}}, \max \{ f_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{T}} \} \} \right\} \end{array} \right] \right\}$$

Şekil 3.53'de PÜB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



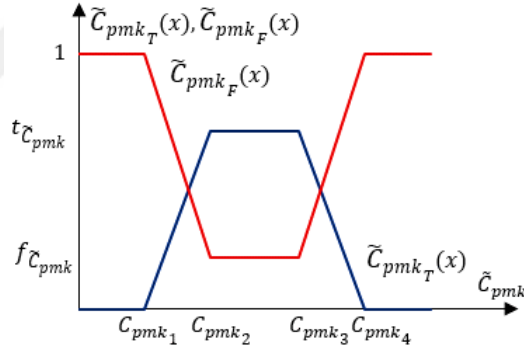
Şekil 7.41 Min-Max yöntemiyle PÜB olarak $\tilde{C}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

$\tilde{C}_{pmk}$ indeksi PYBS kullanılarak eşitlik 7.66'daki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left\{ \frac{\left[(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p} \right] \ominus \left[(asl_1, asl_2, asl_3, asl_4); t_{\tilde{ASL}}, f_{\tilde{ASL}} \right]}{3 \sqrt{[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}]^2 \oplus \left(\left[(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p} \right] \ominus \left[(t_1, t_2, t_3, t_4); t_{\tilde{T}}, f_{\tilde{T}} \right] \right)^2}}, \right. \\ \left. \frac{\left[(usl_1, usl_2, usl_3, usl_4); t_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{USL}} \right] \ominus \left[(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p} \right]}{3 \sqrt{[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}]^2 \oplus \left(\left[(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p} \right] \ominus \left[(t_1, t_2, t_3, t_4); t_{\tilde{T}}, f_{\tilde{T}} \right] \right)^2}} \right\} \quad (7.66)$$

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left[\left(\frac{\mu_1 - asl_4}{3 \sqrt{\sigma_4^2 + (\mu_4 - t_1)^2}}, \frac{\mu_2 - asl_3}{3 \sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_2)^2}}, \frac{\mu_3 - asl_2}{3 \sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_3)^2}}, \frac{\mu_4 - asl_1}{3 \sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_4)^2}} \right); \right. \\ \left. \min \left\{ \min \{ t_{\tilde{\mu}_p}, t_{\tilde{ASL}} \}, \min \{ t_{\tilde{\sigma}}, \min \{ t_{\tilde{\mu}_p}, t_{\tilde{T}} \} \} \right\}, \right. \\ \left. \max \left\{ \max \{ f_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{ASL}} \}, \max \{ f_{\tilde{\sigma}}, \max \{ f_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{T}} \} \} \right\} \right] \\ \left[\left(\frac{usl_1 - \mu_4}{3 \sqrt{\sigma_4^2 + (\mu_4 - t_1)^2}}, \frac{usl_2 - \mu_3}{3 \sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_2)^2}}, \frac{usl_3 - \mu_2}{3 \sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_3)^2}}, \frac{usl_4 - \mu_1}{3 \sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_4)^2}} \right); \right. \\ \left. \min \left\{ \min \{ t_{\tilde{USL}}, t_{\tilde{\mu}_p} \}, \min \{ t_{\tilde{\sigma}}, \min \{ t_{\tilde{\mu}_p}, t_{\tilde{T}} \} \} \right\}, \right. \\ \left. \max \left\{ \max \{ f_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{\mu}_p} \}, \max \{ f_{\tilde{\sigma}}, \max \{ f_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{T}} \} \} \right\} \right] \quad (7.67)$$

Şekil 7.42'de PYB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.42 Min-Max yöntemiyle PYB olarak $\tilde{C}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

7.1.2.2 Süreç Parametrelerinin Min-Max Yöntemiyle Esnek Olma Durumu

Bu alt bölümde, Min-Max yöntemi kullanılarak süreç parametrelerinin esnek PBS olma durumu ele alınmıştır. $\tilde{P} = [(p_1, p_2, p_3), (p'_1, p_2, p'_3); t_{\tilde{p}}, f_{\tilde{p}}]$ esnek PÜBS olarak tanımlanmıştır. Spesifikasyon limitleri (SL), ortalama ($\tilde{\mu}_p$), varyans ($\tilde{\sigma}^2$) ve hedef değer ($\tilde{T}$) parametreleri $\tilde{P}$ esnek PÜBS referans alınarak geliştirilmiştir. Min-Max yöntemiyle esnek PÜB olarak süreç parametreleri

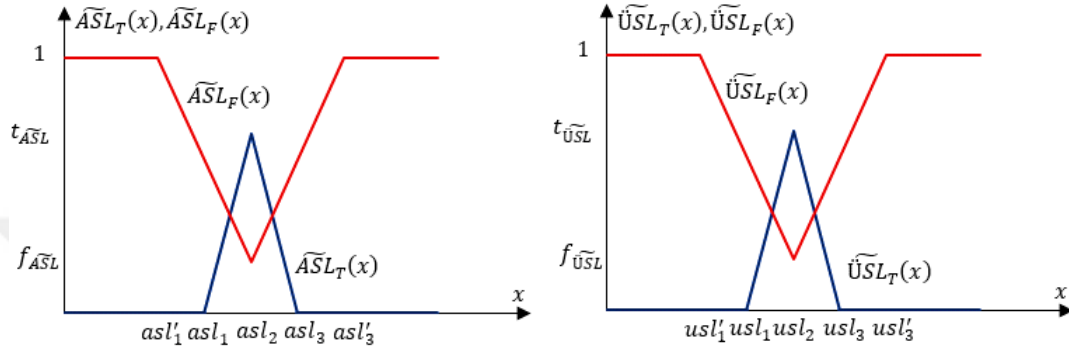
$$\tilde{ASL} = [(asl_1, asl_2, asl_3), (asl'_1, asl_2, asl'_3); t_{\tilde{ASL}}, f_{\tilde{ASL}}],$$

$$\tilde{USL} = [(usl_1, usl_2, usl_3), (usl'_1, usl'_2, usl'_3); t_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{USL}}],$$

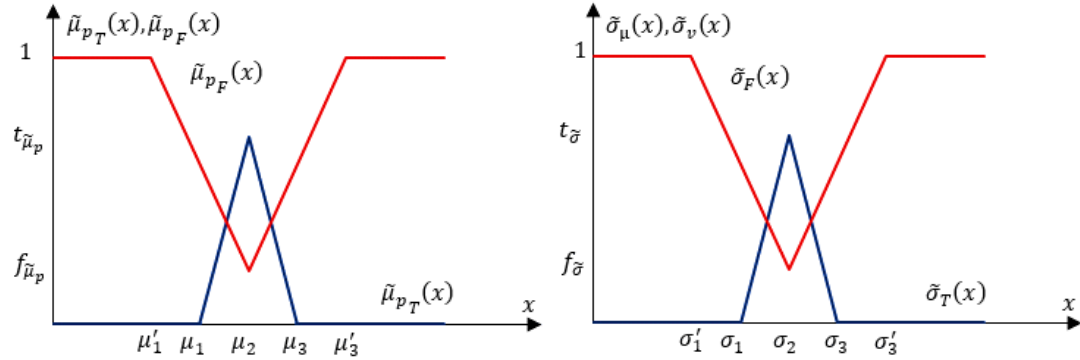
$$\tilde{\mu}_p = [(\mu_1, \mu_2, \mu_3); (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p}],$$

$$\tilde{\sigma} = [(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}],$$

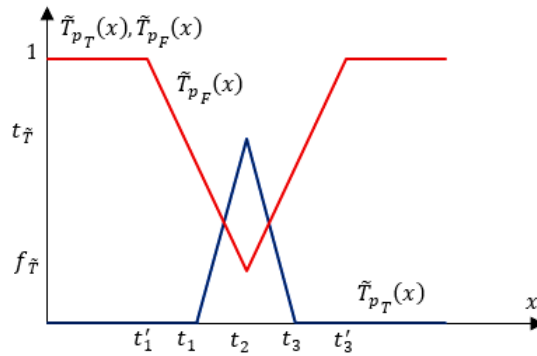
$\tilde{T} = [(t_1, t_2, t_3), (t'_1, t'_2, t'_3); t_{\tilde{T}}, f_{\tilde{T}}]$ şeklinde tanımlanır. Şekil 7.43, Şekil 7.44 ve Şekil 7.45'te Min-Max yöntemiyle elde edilen esnek PÜB süreç parametreleri grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.43 Min-Max yöntemiyle esnek PÜB olarak $\tilde{ASL}$ ve $\tilde{USL}$ 'nin üyelik fonksiyonları



Şekil 7.44 Min-Max yöntemiyle esnek PÜB olarak $\tilde{\mu}_p$ ve $\tilde{\sigma}$ 'nin üyelik fonksiyonları



Şekil 7.45 Min-Max yöntemiyle esnek PÜB olarak $\tilde{T}$ 'nin üyelik fonksiyonları

$\tilde{P} = [(p_1, p_2, p_3, p_4), (p'_1, p_2, p_3, p'_4); \mu_{\tilde{p}}, v_{\tilde{p}}]$ esnek PYBS olarak tanımlanmıştır. Spesifikasyon limitleri (SL), ortalama ($\tilde{\mu}_p$), varyans ($\tilde{\sigma}^2$) ve hedef değeri ($\tilde{T}$) parametreleri $\tilde{P}$ esnek PYBS referans alınarak geliştirilmiştir. Min-Max yöntemiyle esnek PYB olarak süreç parametreleri

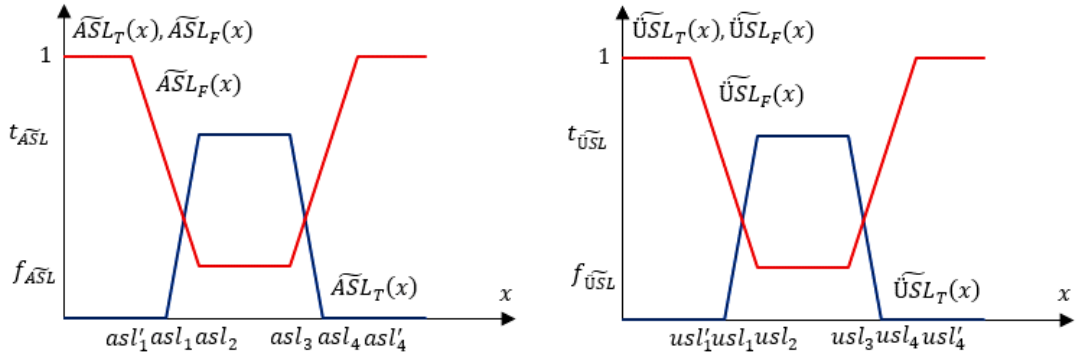
$$\tilde{ASL} = [(asl_1, asl_2, asl_3, asl_4), (asl'_1, asl_2, asl_3, asl'_4); t_{\tilde{ASL}}, f_{\tilde{ASL}}],$$

$$\tilde{USL} = [(usl_1, usl_2, usl_3, usl_4), (usl'_1, usl_2, usl_3, usl'_4); t_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{USL}}],$$

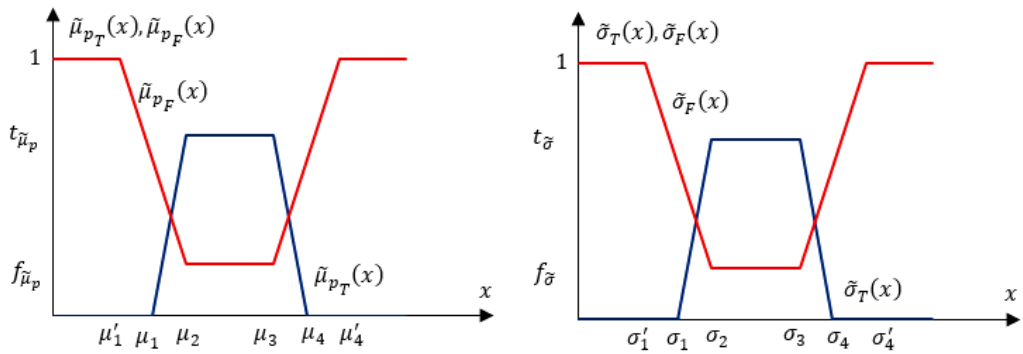
$$\tilde{\mu} = [(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4); (\mu'_1, \mu_2, \mu_3, \mu'_4) t_{\tilde{\mu}}, f_{\tilde{\mu}}],$$

$$\tilde{\sigma} = [(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4), (\sigma'_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma'_4); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}],$$

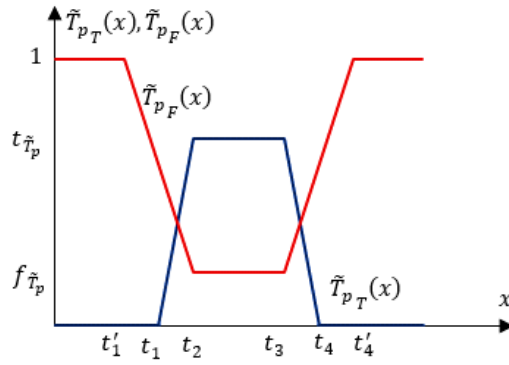
$\tilde{T} = [(t_1, t_2, t_3, t_4), (t'_1, t_2, t_3, t'_4); t_{\tilde{T}}, f_{\tilde{T}}]$ şeklinde tanımlanır. Şekil 7.46, Şekil 7.47 ve Şekil 7.48'de Min-Max yöntemiyle elde edilen esnek PYB süreç parametreleri grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.46 Min-Max yöntemiyle esnek PYB olarak $\tilde{ASL}$ ve $\tilde{USL}$ 'nin üyelik fonksiyonları



Şekil 7.47 Min-Max yöntemiyle esnek PÜB olarak $\tilde{\mu}$ ve $\tilde{\sigma}$ 'nin üyelik fonksiyonları



Şekil 7.48 Min-Max yöntemiyle esnek PYB olarak $\tilde{T}$ 'nin üyelik fonksiyonları

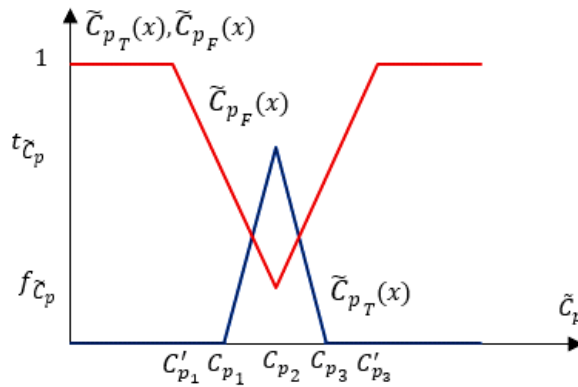
Min-Max Yöntemiyle Esnek Pisagor $\tilde{C}_p$ Süreç Yeterlilik İndeksi

Min-Max yöntemiyle $\tilde{C}_p$ indeksi esnek PÜBS kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_p = \frac{[(usl_1, usl_2, usl_3), (usl'_1, usl_2, usl'_3); t_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{USL}}] \ominus [(asl_1, asl_2, asl_3), (asl'_1, asl_2, asl'_3); t_{\tilde{ASL}}, f_{\tilde{ASL}}]}{6[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3), (\sigma'_1, \sigma_2, \sigma'_3); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}]} \quad (7.68)$$

$$\tilde{C}_p = \left[\left(\frac{usl_1 - asl_3}{6\sigma_3}, \frac{usl_2 - asl_2}{6\sigma_2}, \frac{usl_3 - asl_1}{6\sigma_1} \right), \left(\frac{usl'_1 - asl'_3}{6\sigma'_3}, \frac{usl_2 - asl_2}{6\sigma_2}, \frac{usl'_3 - asl'_1}{6\sigma'_1} \right); \min\{\min\{t_{\tilde{USL}}, t_{\tilde{ASL}}\}, t_{\tilde{\sigma}}\}, \max\{\max\{f_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{ASL}}\}, f_{\tilde{\sigma}}\} \right] \quad (7.69)$$

Şekil 7.49'da esnek PÜB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



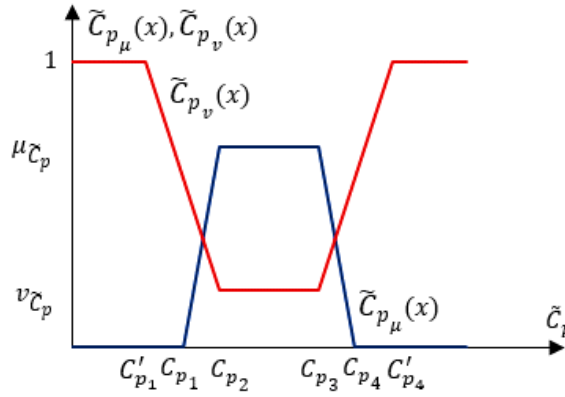
Şekil 7.49 Min-Max yöntemiyle esnek PÜB olarak $\tilde{C}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları

$\tilde{C}_p$ indeksi esnek PYBS kullanılarak eşitlik 7.70'deki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_p = \frac{\left[(usl_1, usl_2, usl_3, usl_4), (usl'_1, usl'_2, usl'_3, usl'_4); t_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{USL}} \right] \ominus \left[(asl_1, asl_2, asl_3, asl_4), (asl'_1, asl'_2, asl'_3, asl'_4); t_{\tilde{ASL}}, f_{\tilde{ASL}} \right]}{6[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3, \sigma'_4); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}]} \quad (7.70)$$

$$\tilde{C}_p = \left[\left(\frac{usl_1 - asl_4}{6\sigma_4}, \frac{usl_2 - asl_3}{6\sigma_3}, \frac{usl_3 - asl_2}{6\sigma_2}, \frac{usl_4 - asl_1}{6\sigma_1} \right), \left(\frac{usl'_1 - asl'_4}{6\sigma'_4}, \frac{usl'_2 - asl'_3}{6\sigma'_3}, \frac{usl'_3 - asl'_2}{6\sigma'_2}, \frac{usl'_4 - asl'_1}{6\sigma'_1} \right); \min\{\min\{t_{\tilde{USL}}, t_{\tilde{ASL}}\}, t_{\tilde{\sigma}}\}, \max\{\max\{f_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{ASL}}\}, f_{\tilde{\sigma}}\} \right] \quad (7.71)$$

Şekil 7.50'de esnek PYB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.50 Min-Max yöntemiyle esnek PYB olarak $\tilde{C}_p$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Min-Max Yöntemiyle Esnek Pisagor $\tilde{C}_{pk}$ Süreç Yeterlilik İndeksi

Min-Max yöntemiyle $\tilde{C}_{pk}$ indeksi esnek PÜBS kullanılarak eşitlik 7.72'deki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pk} = \min \left\{ \frac{\left[(\mu_1, \mu_2, \mu_3), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p} \right] \ominus \left[(asl_1, asl_2, asl_3), (asl'_1, asl'_2, asl'_3); t_{\tilde{ASL}}, f_{\tilde{ASL}} \right]}{3[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}]}; \frac{\left[(usl_1, usl_2, usl_3), (usl'_1, usl'_2, usl'_3); t_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{USL}} \right] \ominus \left[(\mu_1, \mu_2, \mu_3), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p} \right]}{3[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}]} \right\} \quad (7.72)$$

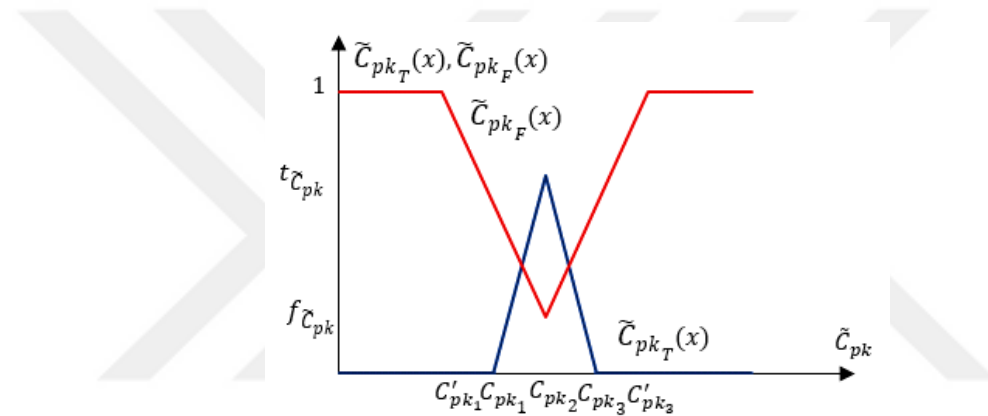
$$\tilde{C}_{pk} = \min \left\{ \left[\left(\frac{\mu_1 - asl_3}{3\sigma_3}, \frac{\mu_2 - asl_2}{3\sigma_2}, \frac{\mu_3 - asl_1}{3\sigma_1} \right), \left(\frac{\mu'_1 - asl'_3}{3\sigma'_3}, \frac{\mu'_2 - asl'_2}{3\sigma'_2}, \frac{\mu'_3 - asl'_1}{3\sigma'_1} \right); \min\{\min\{t_{\tilde{\mu}_p}, t_{\tilde{ASL}}\}, t_{\tilde{\sigma}}\}, \max\{\max\{f_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{ASL}}\}, f_{\tilde{\sigma}}\} \right]; \left[\left(\frac{usl_1 - \mu_3}{3\sigma_3}, \frac{usl_2 - \mu_2}{3\sigma_2}, \frac{usl_3 - \mu_1}{3\sigma_1} \right), \left(\frac{usl'_1 - \mu'_3}{3\sigma'_3}, \frac{usl'_2 - \mu'_2}{3\sigma'_2}, \frac{usl'_3 - \mu'_1}{3\sigma'_1} \right); \min\{\min\{t_{\tilde{USL}}, t_{\tilde{\mu}_p}\}, t_{\tilde{\sigma}}\}, \max\{\max\{f_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{\mu}_p}\}, f_{\tilde{\sigma}}\} \right] \right\} \quad (7.73)$$

Min-Max yöntemiyle elde edilen tek taraflı esnek PÜB olan $\tilde{C}_{pl}$ ve $\tilde{C}_{pu}$ indeksleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$\tilde{C}_{pl} = \left[\left(\frac{\mu_1 - asl_3}{3\sigma_3}, \frac{\mu_2 - asl_2}{3\sigma_2}, \frac{\mu_3 - asl_1}{3\sigma_1} \right), \left(\frac{\mu'_1 - asl'_3}{3\sigma'_3}, \frac{\mu'_2 - asl'_2}{3\sigma'_2}, \frac{\mu'_3 - asl'_1}{3\sigma'_1} \right); \right. \\ \left. \min \left\{ \min \left\{ t_{\tilde{\mu}_p}, t_{A\bar{S}L} \right\}, t_{\tilde{\sigma}} \right\}, \max \left\{ \max \left\{ f_{\tilde{\mu}_p}, f_{A\bar{S}L} \right\}, f_{\tilde{\sigma}} \right\} \right] \quad (7.74)$$

$$\tilde{C}_{pu} = \left[\left(\frac{usl_1 - \mu_3}{3\sigma_3}, \frac{usl_2 - \mu_2}{3\sigma_2}, \frac{usl_3 - \mu_1}{3\sigma_1} \right), \left(\frac{usl'_1 - \mu'_3}{3\sigma'_3}, \frac{usl'_2 - \mu'_2}{3\sigma'_2}, \frac{usl'_3 - \mu'_1}{3\sigma'_1} \right); \right. \\ \left. \min \left\{ \min \left\{ t_{\widetilde{USL}}, t_{\widetilde{\mu}_p} \right\}, t_{\widetilde{\sigma}} \right\}, \max \left\{ \max \left\{ f_{\widetilde{USL}}, f_{\widetilde{\mu}_p} \right\}, f_{\widetilde{\sigma}} \right\} \right] \quad (7.75)$$

Şekil 7.51’de esnek PÜB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.51 Min-Max yöntemiyle esnek PÜB olarak $\tilde{C}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

$\tilde{C}_{pk}$ indeksi esnek PYBS kullanılarak eşitlik 7.76 ve 7.77'deki gibi türetilir:

$$\tilde{c}_{pk} = \min \left\{ \frac{\left[(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3, \mu'_4); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p} \right] \ominus \frac{[(asl_1, asl_2, asl_3, asl_4), (asl'_1, asl'_2, asl'_3, asl'_4)]; t_{\overline{ASL}}, f_{\overline{ASL}}}{3[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3, \sigma'_4)]; t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}}}{[(usl_1, usl_2, usl_3, usl_4), (usl'_1, usl'_2, usl'_3, usl'_4)]; t_{\overline{USL}}, f_{\overline{USL}}} \ominus \frac{[(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3, \mu'_4)]; t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p}}{3[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3, \sigma'_4)]; t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}} \right\} \quad (7.76)$$

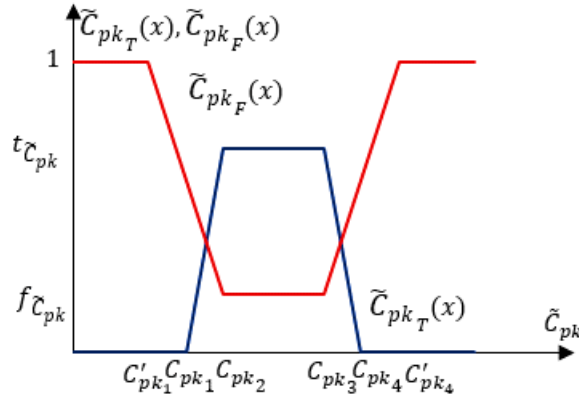
$$\tilde{C}_{pk} = \min \left\{ \left[\left(\frac{\mu_1 - asl_4}{3\sigma_4}, \frac{\mu_2 - asl_3}{3\sigma_3}, \frac{\mu_3 - asl_2}{3\sigma_2}, \frac{\mu_4 - asl_1}{3\sigma_1} \right), \left(\frac{\mu'_1 - asl'_4}{3\sigma'_4}, \frac{\mu'_2 - asl'_3}{3\sigma'_3}, \frac{\mu'_3 - asl'_2}{3\sigma'_2}, \frac{\mu'_4 - asl'_1}{3\sigma'_1} \right); \right. \right. \\ \left. \left. \min \left\{ \min \left\{ t_{\tilde{\mu}_p}, t_{\tilde{ASL}} \right\}, t_{\tilde{\sigma}} \right\}, \max \left\{ \max \left\{ f_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{ASL}} \right\}, f_{\tilde{\sigma}} \right\} \right\} \right] ; \left[\left(\frac{usl_1 - \mu_4}{3\sigma_4}, \frac{usl_2 - \mu_3}{3\sigma_2}, \frac{usl_3 - \mu_2}{3\sigma_3}, \frac{usl_4 - \mu_1}{3\sigma_1} \right), \left(\frac{usl'_1 - \mu'_4}{3\sigma'_4}, \frac{usl'_2 - \mu'_3}{3\sigma'_2}, \frac{usl'_3 - \mu'_2}{3\sigma'_3}, \frac{usl'_4 - \mu'_1}{3\sigma'_1} \right); \right. \right. \\ \left. \left. \min \left\{ \min \left\{ t_{\tilde{USL}}, t_{\tilde{\mu}_p} \right\}, t_{\tilde{\sigma}} \right\}, \max \left\{ \max \left\{ f_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{\mu}_p} \right\}, f_{\tilde{\sigma}} \right\} \right\} \right] \right\} \quad (7.77)$$

Min-Max yöntemiyle elde edilen tek taraflı esnek PYB olan $\tilde{C}_{pl}$ ve $\tilde{C}_{pu}$ indeksleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$\tilde{C}_{pl} = \left[\left(\frac{\mu_1 - asl_4}{3\sigma_4}, \frac{\mu_2 - asl_3}{3\sigma_3}, \frac{\mu_3 - asl_2}{3\sigma_2}, \frac{\mu_4 - asl_1}{3\sigma_1} \right), \left(\frac{\mu'_1 - asl'_4}{3\sigma'_4}, \frac{\mu'_2 - asl'_3}{3\sigma'_3}, \frac{\mu'_3 - asl'_2}{3\sigma'_2}, \frac{\mu'_4 - asl'_1}{3\sigma'_1} \right); \right. \\ \left. \min \left\{ \min \left\{ t_{\tilde{\mu}_p}, t_{\tilde{ASL}} \right\}, t_{\tilde{\sigma}} \right\}, \max \left\{ \max \left\{ f_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{ASL}} \right\}, f_{\tilde{\sigma}} \right\} \right] \quad (7.78)$$

$$\tilde{C}_{pu} = \left[\left(\frac{usl_1 - \mu_4}{3\sigma_4}, \frac{usl_2 - \mu_3}{3\sigma_2}, \frac{usl_3 - \mu_2}{3\sigma_3}, \frac{usl_4 - \mu_1}{3\sigma_1} \right), \left(\frac{usl'_1 - \mu'_4}{3\sigma'_4}, \frac{usl'_2 - \mu'_3}{3\sigma'_2}, \frac{usl'_3 - \mu'_2}{3\sigma'_3}, \frac{usl'_4 - \mu'_1}{3\sigma'_1} \right); \right. \\ \left. \min \left\{ \min \left\{ t_{\tilde{USL}}, t_{\tilde{\mu}_p} \right\}, t_{\tilde{\sigma}} \right\}, \max \left\{ \max \left\{ f_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{\mu}_p} \right\}, f_{\tilde{\sigma}} \right\} \right] \quad (7.79)$$

Şekil 7.52'de esnek PYB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.52 Min-Max yöntemiyle esnek PYB olarak $\tilde{C}_{pk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

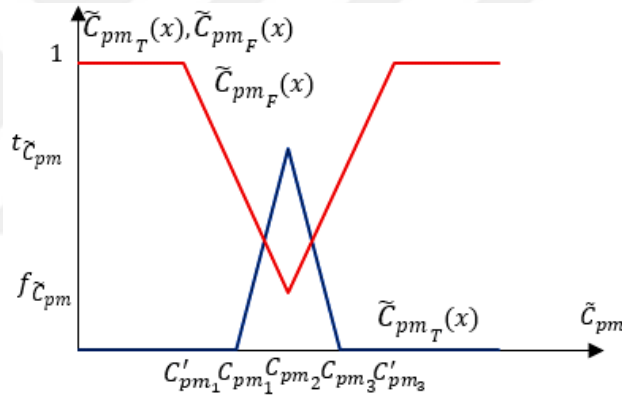
Min-Max Yöntemiyle Esnek Pisagor $\tilde{C}_{pm}$ Süreç Yeterlilik İndeksi

Min-Max yöntemiyle $\tilde{C}_{pm}$ indeksi esnek PÜBS kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pm} = \frac{[(usl_1, usl_2, usl_3), (usl'_1, usl'_2, usl'_3); t_{\widetilde{USL}}, f_{\widetilde{USL}}] \ominus [(asl_1, asl_2, asl_3), (asl'_1, asl'_2, asl'_3); t_{\widetilde{ASL}}, f_{\widetilde{ASL}}]}{6\sqrt{[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3); t_{\widetilde{\sigma}}, f_{\widetilde{\sigma}}]^2 \oplus \left([(\mu_1, \mu_2, \mu_3), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3); t_{\widetilde{\mu}_p}, f_{\widetilde{\mu}_p}] \ominus [(t_1, t_2, t_3), (t'_1, t'_2, t'_3); t_{\widetilde{T}}, f_{\widetilde{T}}] \right)^2}} \quad (7.80)$$

$$\tilde{C}_{pm} = \left[\begin{array}{l} \left(\frac{usl_1 - asl_3}{6\sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_1)^2}}, \frac{usl_2 - asl_2}{6\sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_2)^2}}, \frac{usl_3 - asl_1}{6\sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_3)^2}} \right), \\ \left(\frac{usl'_1 - asl'_3}{6\sqrt{\sigma_3'^2 + (\mu'_3 - t'_1)^2}}, \frac{usl'_2 - asl'_2}{6\sqrt{\sigma_2'^2 + (\mu'_2 - t'_2)^2}}, \frac{usl'_3 - asl'_1}{6\sqrt{\sigma_1'^2 + (\mu'_1 - t'_3)^2}} \right); \\ \min \left\{ \min \{t_{\widetilde{USL}}, t_{\widetilde{ASL}}\}, \min \{t_{\widetilde{\sigma}}, \min \{t_{\widetilde{\mu}_p}, t_{\widetilde{T}}\}\} \right\}, \\ \max \left\{ \max \{f_{\widetilde{USL}}, f_{\widetilde{ASL}}\}, \max \{f_{\widetilde{\sigma}}, \max \{f_{\widetilde{\mu}_p}, f_{\widetilde{T}}\}\} \right\} \end{array} \right] \quad (7.81)$$

Şekil 7.53'te esnek PÜB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



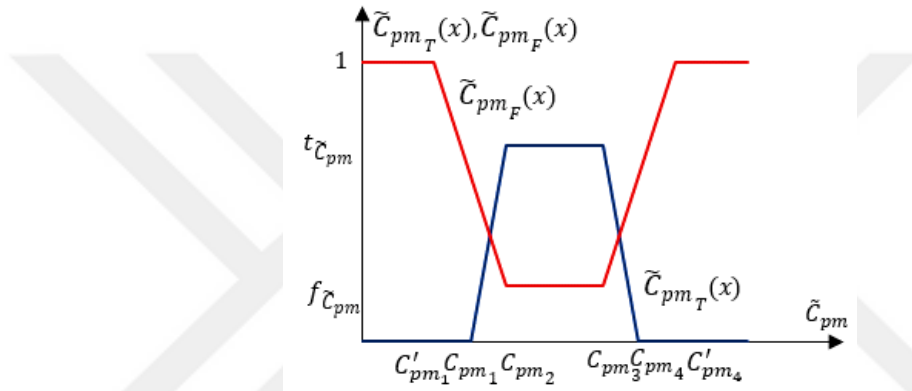
Şekil 7.53 Min-Max yöntemiyle esnek PÜB olarak $\tilde{C}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

$\tilde{C}_{pm}$ indeksi esnek PYBS kullanılarak eşitlik 7.82'deki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pm} = \frac{[(usl_1, usl_2, usl_3, usl_4), (usl'_1, usl'_2, usl'_3, usl'_4); t_{\widetilde{USL}}, f_{\widetilde{USL}}] \ominus [(asl_1, asl_2, asl_3, asl_4), (asl'_1, asl'_2, asl'_3, asl'_4); t_{\widetilde{ASL}}, f_{\widetilde{ASL}}]}{6\sqrt{[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3, \sigma'_4); t_{\widetilde{\sigma}}, f_{\widetilde{\sigma}}]^2 \oplus \left([(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3, \mu'_4); t_{\widetilde{\mu}_p}, f_{\widetilde{\mu}_p}] \ominus [(t_1, t_2, t_3, t_4), (t'_1, t'_2, t'_3, t'_4); t_{\widetilde{T}}, f_{\widetilde{T}}] \right)^2}} \quad (7.82)$$

$$\tilde{C}_{pm} = \left[\begin{array}{l} \left(\frac{usl_1 - asl_4}{6\sqrt{\sigma_4^2 + (\mu_4 - t_1)^2}}, \frac{usl_2 - asl_3}{6\sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_2)^2}}, \frac{usl_3 - asl_2}{6\sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_3)^2}}, \frac{usl_4 - asl_1}{6\sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_4)^2}} \right), \\ \left(\frac{usl'_1 - asl'_4}{6\sqrt{\sigma_4'^2 + (\mu'_4 - t'_1)^2}}, \frac{usl'_2 - asl'_3}{6\sqrt{\sigma_3'^2 + (\mu'_3 - t'_2)^2}}, \frac{usl'_3 - asl'_2}{6\sqrt{\sigma_2'^2 + (\mu'_2 - t'_3)^2}}, \frac{usl'_4 - asl'_1}{6\sqrt{\sigma_1'^2 + (\mu'_1 - t'_4)^2}} \right); \\ \min \left\{ \min \{t_{\tilde{U}_{SL}}, t_{\tilde{A}_{SL}}\}, \min \{t_{\tilde{\sigma}}, \min \{t_{\tilde{\mu}_p}, t_{\tilde{\tau}}\}\} \right\}, \\ \max \left\{ \max \{f_{\tilde{U}_{SL}}, f_{\tilde{A}_{SL}}\}, \max \{f_{\tilde{\sigma}}, \max \{f_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\tau}}\}\} \right\} \end{array} \right]; \quad (7.83)$$

Şekil 7.54'te esnek PYB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.54 Min-Max yöntemiyle esnek PYB olarak $\tilde{C}_{pm}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

Min-Max Yöntemiyle Esnek Pisagor $\tilde{C}_{pmk}$ Süreç Yeterlilik İndeksi

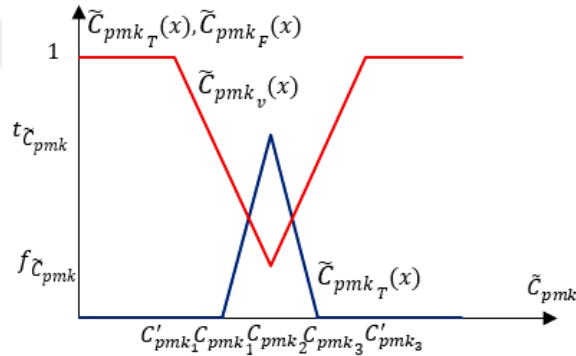
Min-Max yöntemiyle $\tilde{C}_{pmk}$ indeksi esnek PÜBS kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left\{ \frac{\left[(\mu_1, \mu_2, \mu_3), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p} \right] \ominus \left[(asl_1, asl_2, asl_3), (asl'_1, asl'_2, asl'_3); t_{\tilde{A}_{SL}}, f_{\tilde{A}_{SL}} \right]}{3 \sqrt{\left[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}} \right]^2 \oplus \left(\frac{\left[(\mu_1, \mu_2, \mu_3), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p} \right] \ominus \left[(t_1, t_2, t_3), (t'_1, t'_2, t'_3); t_{\tilde{\tau}}, f_{\tilde{\tau}}} \right]}{\left[(asl_1, asl_2, asl_3), (asl'_1, asl'_2, asl'_3); t_{\tilde{A}_{SL}}, f_{\tilde{A}_{SL}}} \right]^2}}, \frac{\left[(usl_1, usl_2, usl_3), (usl'_1, usl'_2, usl'_3); t_{\tilde{U}_{SL}}, f_{\tilde{U}_{SL}} \right] \ominus \left[(\mu_1, \mu_2, \mu_3), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p} \right]}{3 \sqrt{\left[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}} \right]^2 \oplus \left(\frac{\left[(\mu_1, \mu_2, \mu_3), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p} \right] \ominus \left[(t_1, t_2, t_3), (t'_1, t'_2, t'_3); t_{\tilde{\tau}}, f_{\tilde{\tau}}} \right]}{\left[(usl_1, usl_2, usl_3), (usl'_1, usl'_2, usl'_3); t_{\tilde{U}_{SL}}, f_{\tilde{U}_{SL}}} \right]^2}} \right\} \quad (7.84)$$

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left[\begin{array}{l} \left(\frac{\mu_1 - asl_3}{3\sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_1)^2}}, \frac{\mu_2 - asl_2}{3\sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_2)^2}}, \frac{\mu_3 - asl_1}{3\sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_3)^2}} \right), \\ \left(\frac{\mu'_1 - asl'_3}{3\sqrt{\sigma_3'^2 + (\mu'_3 - t'_1)^2}}, \frac{\mu_2 - asl_2}{3\sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_2)^2}}, \frac{\mu'_3 - asl'_1}{3\sqrt{\sigma_1'^2 + (\mu'_1 - t'_3)^2}} \right); \\ \min \left\{ \min \{t_{\tilde{\mu}_p}, t_{\tilde{ASL}}\}, \min \{t_{\tilde{\sigma}}, \min \{t_{\tilde{\mu}_p}, t_{\tilde{T}}\}\} \right\}, \\ \max \left\{ \max \{f_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{ASL}}\}, \max \{f_{\tilde{\sigma}}, \max \{f_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{T}}\}\} \right\} \end{array} \right];$$

$$\left[\begin{array}{l} \left(\frac{usl_1 - \mu_3}{3\sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_1)^2}}, \frac{usl_2 - \mu_2}{3\sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_2)^2}}, \frac{usl_3 - \mu_1}{3\sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_3)^2}} \right), \\ \left(\frac{usl'_1 - \mu'_3}{3\sqrt{\sigma_3'^2 + (\mu'_3 - t'_1)^2}}, \frac{usl_2 - \mu_2}{3\sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_2)^2}}, \frac{usl'_3 - \mu'_1}{3\sqrt{\sigma_1'^2 + (\mu'_1 - t'_3)^2}} \right); \\ \min \left\{ \min \{t_{\tilde{USL}}, t_{\tilde{\mu}_p}\}, \min \{t_{\tilde{\sigma}}, \min \{t_{\tilde{\mu}_p}, t_{\tilde{T}}\}\} \right\}, \\ \max \left\{ \max \{f_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{\mu}_p}\}, \max \{f_{\tilde{\sigma}}, \max \{f_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{T}}\}\} \right\} \end{array} \right] \quad (7.85)$$

Şekil 7.55'te esnek PÜB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



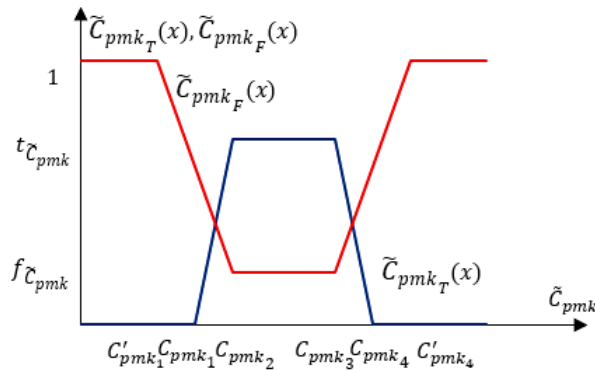
Şekil 7.55 Min-Max yöntemiyle esnek PÜB olarak $\tilde{C}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

$\tilde{C}_{pmk}$ indeksi esnek PYBS kullanılarak eşitlik 7.86'daki gibi elde edilir:

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left\{ \frac{\left[(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3, \mu'_4); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p} \right] \ominus \left[(asl_1, asl_2, asl_3, asl_4), (asl'_1, asl'_2, asl'_3, asl'_4); t_{\tilde{ASL}}, f_{\tilde{ASL}} \right]}{3 \sqrt{\left[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3, \sigma'_4); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}} \right]^2 \oplus \left(\left[(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3, \mu'_4); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p} \right] \ominus \left[(t_1, t_2, t_3, t_4), (t'_1, t'_2, t'_3, t'_4); t_{\tilde{T}}, f_{\tilde{T}}} \right]^2 \right)}}, \right. \\ \left. \frac{\left[(usl_1, usl_2, usl_3, usl_4), (usl'_1, usl'_2, usl'_3, usl'_4); t_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{USL}} \right] \ominus \left[(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3, \mu'_4); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p} \right]}{3 \sqrt{\left[(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4), (\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3, \sigma'_4); t_{\tilde{\sigma}}, f_{\tilde{\sigma}}} \right]^2 \oplus \left(\left[(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4), (\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3, \mu'_4); t_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{\mu}_p} \right] \ominus \left[(t_1, t_2, t_3, t_4), (t'_1, t'_2, t'_3, t'_4); t_{\tilde{T}}, f_{\tilde{T}}} \right]^2 \right)}}, \right. \quad (7.86)$$

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left[\left(\frac{\mu_1 - asl_4}{3\sqrt{\sigma_4^2 + (\mu_4 - t_1)^2}}, \frac{\mu_2 - asl_3}{3\sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_2)^2}}, \frac{\mu_3 - asl_2}{3\sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_3)^2}}, \frac{\mu_4 - asl_1}{3\sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_4)^2}} \right), \right. \\ \left(\frac{\mu'_1 - asl'_4}{3\sqrt{\sigma_4'^2 + (\mu'_4 - t'_1)^2}}, \frac{\mu'_2 - asl'_3}{3\sqrt{\sigma_3'^2 + (\mu'_3 - t'_2)^2}}, \frac{\mu'_3 - asl'_2}{3\sqrt{\sigma_2'^2 + (\mu'_2 - t'_3)^2}}, \frac{\mu'_4 - asl'_1}{3\sqrt{\sigma_1'^2 + (\mu'_1 - t'_4)^2}} \right); \\ \min \left\{ \min \{t_{\tilde{\mu}_p}, t_{\tilde{ASL}}\}, \min \{t_{\tilde{\sigma}}, \min \{t_{\tilde{\mu}_p}, t_{\tilde{T}}\}\} \right\}, \\ \max \left\{ \max \{f_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{ASL}}\}, \max \{f_{\tilde{\sigma}}, \max \{f_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{T}}\}\} \right\} \left. \right] \\ \left[\left(\frac{usl_1 - \mu_4}{3\sqrt{\sigma_4^2 + (\mu_4 - t_1)^2}}, \frac{usl_2 - \mu_3}{3\sqrt{\sigma_3^2 + (\mu_3 - t_2)^2}}, \frac{usl_3 - \mu_2}{3\sqrt{\sigma_2^2 + (\mu_2 - t_3)^2}}, \frac{usl_4 - \mu_1}{3\sqrt{\sigma_1^2 + (\mu_1 - t_4)^2}} \right), \right. \\ \left(\frac{usl'_1 - \mu'_4}{3\sqrt{\sigma_4'^2 + (\mu'_4 - t'_1)^2}}, \frac{usl'_2 - \mu'_3}{3\sqrt{\sigma_3'^2 + (\mu'_3 - t'_2)^2}}, \frac{usl'_3 - \mu'_2}{3\sqrt{\sigma_2'^2 + (\mu'_2 - t'_3)^2}}, \frac{usl'_4 - \mu'_1}{3\sqrt{\sigma_1'^2 + (\mu'_1 - t'_4)^2}} \right); \\ \min \left\{ \min \{t_{\tilde{USL}}, t_{\tilde{\mu}_p}\}, \min \{t_{\tilde{\sigma}}, \min \{t_{\tilde{\mu}_p}, t_{\tilde{T}}\}\} \right\}, \\ \max \left\{ \max \{f_{\tilde{USL}}, f_{\tilde{\mu}_p}\}, \max \{f_{\tilde{\sigma}}, \max \{f_{\tilde{\mu}_p}, f_{\tilde{T}}\}\} \right\} \left. \right] \quad (7.87)$$

Şekil 7.56'da esnek PYB şeklinde tanımlanan $\tilde{C}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.56 Min-Max yöntemiyle esnek PYB olarak $\tilde{C}_{pmk}$ indeksinin üyelik fonksiyonları

7.1.3 Pisagor Bulanık Kümelerde Netleştirme Yöntemi

Klasik ve Min-Max yöntemleriyle elde edilen esnek PBS için netleştirme yöntemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen netleştirme yöntemleri sayesinde iki esnek PBSYİ karşılaştırılmıştır.

7.1.3.1 Klasik Yöntemle Elde Edilen Esnek Pisagor Bulanık Sayılar için Netleştirme Yöntemi

Bulanık sayılarda netleştirme işlemi Roubens sıralama fonksiyonu yardımıyla $\frac{a+b+c+d}{4}$ şekline indirgenmiş eşitlikle yapılmaktadır [173], [174]. Roubens sıralama fonksiyonuyla SBS'nin skor fonksiyonu eşitlik 7.90'daki gibidir [9]. Eşitlik 7.90 kullanılarak esnek PBS için netleştirme yöntemi geliştirilmiştir. PBS'nin skor fonksiyonu $s(\tilde{A}) = \frac{a+b+c+d}{4}(\mu_{\tilde{A}}^2 - v_{\tilde{A}}^2)$ eşitliğiyle hesaplanmaktadır [149]. $\tilde{A} = [(a_1, a_2, a_3, a_4), (a'_1, a'_2, a'_3, a'_4); \mu_{\tilde{A}}, v_{\tilde{A}}]$ esnek PBS şeklinde ifade edilmektedir.

$$R_r(\mu_{\tilde{N}}) = \frac{1}{2} \int_0^1 (\inf \tilde{N}_\alpha + \sup \tilde{N}_\alpha) d\alpha \quad (7.88)$$

$\mu_{\tilde{N}}$ üyelik fonksiyonu ile ifade edilen $\tilde{N}$ bulanık bir sayıdır.

$$R(\tilde{A}) = \frac{R_r(\mu_{\tilde{A}}) + R_r(v_{\tilde{A}})}{2} \quad (7.89)$$

$$R(A) = \frac{\frac{a+b+c+d}{4} + \frac{a'+b+c+d'}{4}}{2} = \frac{a+a'+2b+2c+d+d'}{8} \quad (7.90)$$

$\mu_{\tilde{A}}$ üye olma ve $v_{\tilde{A}}$ üye olmama fonksiyonuyla tanımlanan $\tilde{A}$ PBS için netleştirme yöntemi eşitlik 7.90 kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$s(\tilde{A}) = \frac{a+a'+2b+2c+d+d'}{8}(w_{\tilde{A}}^2 - u_{\tilde{A}}^2), s(\tilde{A}) \in [-1,1] \quad (7.91)$$

7.1.3.2 Min-Max Yöntemiyle Elde Edilen Esnek Pisagor Bulanık Sayılar için

Netleştirme Yöntemi

Min-Max yönteminde PÜBS olarak ifade edilen $\tilde{P} = [(p_1, p_2, p_3), (p'_1, p_2, p'_3); t_{\tilde{P}}, f_{\tilde{P}}]$ için Luqman vd. [151] SBK'den esinlenerek $Scor(\tilde{P}) = \left(\frac{(p_1 + 2p_2 + p_3)(1 + t_{\tilde{P}}^2 - f_{\tilde{P}}^2)}{8} \right) (t_{\tilde{P}}^2 - f_{\tilde{P}}^2)$ skor fonksiyonunu tanımlamışlardır. Bu çalışmada da, Min-Max yöntemiyle elde ettiğimiz esnek PÜBS için netleştirme yöntemi geliştirilmiştir.

$$\tilde{P} = \frac{\int_{\alpha=0}^{t_{\tilde{P}}} \frac{\{T_{\tilde{P}_1}(\alpha) + T_{\tilde{P}_2}(\alpha)\}}{2} d\alpha + \int_{\beta=f_{\tilde{P}}}^1 \frac{\{F_{\tilde{P}_1}(\beta) + F_{\tilde{P}_2}(\beta)\}}{2} d\beta}{2} \quad (7.92)$$

$$\tilde{P} = \frac{\int_{\alpha=0}^{t_{\tilde{P}}} \left(\frac{\left(\frac{(t_{\tilde{P}} - \alpha)p_1 + \alpha p_2}{t_{\tilde{P}}} + \frac{(t_{\tilde{P}} - \alpha)p_3 + \alpha p_2}{t_{\tilde{P}}} \right)}{2} d\alpha + \int_{\beta=f_{\tilde{P}}}^1 \left(\frac{(1 - \beta)p_2 + (\beta - f_{\tilde{P}})p'_1}{1 - f_{\tilde{P}}} + \frac{(1 - \beta)p_2 + (\beta - f_{\tilde{P}})p'_3}{1 - f_{\tilde{P}}} \right)}{2} d\beta}{2} \quad (7.93)$$

$$\tilde{P} = \frac{\frac{(p_1 + 2p_2 + p_3)t_{\tilde{P}}}{4} + \frac{(p'_1 + 2p_2 + p'_3)(1 - f_{\tilde{P}})}{4}}{2} \quad (7.94)$$

$$\tilde{P} = \frac{(p_1 + 2p_2 + p_3)t_{\tilde{P}} + (p'_1 + 2p_2 + p'_3)(1 - f_{\tilde{P}})}{8} \quad (7.95)$$

$$\tilde{P} = \frac{(p_1 + 2p_2 + p_3)t_{\tilde{P}}^2 + (p'_1 + 2p_2 + p'_3)(1 - f_{\tilde{P}}^2)}{8} \quad (7.96)$$

$$\tilde{P} = \left(\frac{(p_1 + 2p_2 + p_3)t_{\tilde{P}}^2 + (p'_1 + 2p_2 + p'_3)(1 - f_{\tilde{P}}^2)}{8} \right) x(t_{\tilde{P}}^2 - f_{\tilde{P}}^2) \quad (7.97)$$

Min-Max yönteminde esnek PYBS olarak ifade edilen $\tilde{P} = [(p_1, p_2, p_3, p_4), (p'_1, p_2, p_3, p'_4); t_{\tilde{P}}, f_{\tilde{P}}]$ için netleştirme yöntemi aşağıdaki gibidir:

$$\tilde{p} = \frac{\int_{\alpha=0}^{t_{\tilde{p}}} \frac{\{T_{\tilde{p}_1}(\alpha) + T_{\tilde{p}_2}(\alpha)\}}{2} d\alpha + \int_{\beta=f_{\tilde{p}}}^1 \frac{\{F_{\tilde{p}_1}(\beta) + F_{\tilde{p}_2}(\beta)\}}{2} d\beta}{2} \quad (7.98)$$

$$\tilde{p} = \frac{\int_{\alpha=0}^{t_{\tilde{p}}} \left(\frac{(t_{\tilde{p}} - \alpha)p_1 + \alpha p_2}{t_{\tilde{p}}} + \frac{(t_{\tilde{p}} - \alpha)p_4 + \alpha p_3}{t_{\tilde{p}}} \right) d\alpha}{2} + \frac{\int_{\beta=f_{\tilde{p}}}^1 \left(\frac{(1 - \beta)p_2 + (\beta - f_{\tilde{p}})p'_1}{1 - f_{\tilde{p}}} + \frac{(1 - \beta)p_3 + (\beta - f_{\tilde{p}})p'_4}{1 - f_{\tilde{p}}} \right) d\beta}{2} \quad (7.99)$$

$$\tilde{p} = \frac{\frac{(p_1 + p_2 + p_3 + p_4)t_{\tilde{p}}}{4} + \frac{(p'_1 + p_2 + p_3 + p'_4)(1 - f_{\tilde{p}})}{4}}{2} \quad (7.100)$$

$$\tilde{p} = \frac{(p_1 + p_2 + p_3 + p_4)t_{\tilde{p}} + (p'_1 + p_2 + p_3 + p'_4)(1 - f_{\tilde{p}})}{8} \quad (7.101)$$

$$\tilde{p} = \frac{(p_1 + p_2 + p_3 + p_4)t_{\tilde{p}}^2 + (p'_1 + p_2 + p_3 + p'_4)(1 - f_{\tilde{p}}^2)}{8} \quad (7.102)$$

$$\tilde{p} = \left(\frac{(p_1 + p_2 + p_3 + p_4)t_{\tilde{p}}^2 + (p'_1 + p_2 + p_3 + p'_4)(1 - f_{\tilde{p}}^2)}{8} \right) x(t_{\tilde{p}}^2 - f_{\tilde{p}}^2) \quad (7.103)$$

7.1.4 Örnek Uygulama

PBK, tip-1 (geleneksel) bulanık kümelerle göre daha fazla bilgi içerdiği için belirsizliğin modellenmesinde daha başarılıdır. Kalite denetçileri süreç parametrelerinin değerlerini tanımlarken, tanımladıkları değerden tam olarak emin olamayabilirler. Bu da, gerçek hayat problemlerinde gerçekliğin yansıtılamamasına sebep olmaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak amacıyla üyelik ve üye olmama fonksiyonlarını içeren PBSYİ geliştirilmiştir. PBSYİ'nin üye olmama fonksiyonuyla da tanımlanması sürecin hangi sınırlar içerisinde olabileceğini göstermektedir. Bu bölümde, Şekil 6.31'de gösterilen dışlinin ölçüm değerleri ele alınarak sürecin değerlendirilmesinde önerilen PBSYİ'nin performansını değerlendirmek örnek bir uygulama çalışması yapılmıştır. Süreç

parametrelerinin PBS ve esnek PBS kullanılarak tanımlanması hem sürecin yeterliliğinin değerlendirilmesinde esneklik ve hassasiyet sağlayacak hem de SYİ'nin etkinliğini farklı yöntemlerle analiz edebilmemize yardımcı olacaktır. Dişlinin ortalaması 10 mm ve standart sapması 0,2 mm'dir [9].

7.1.4.1 Süreç Parametrelerinin Pisagor Bulanık Sayı Olma Durumu

Süreç parametrelerinin PBS olması durumunda klasik yöntem kullanılarak önerilen PBSYİ'nin performansı örnek bir uygulamayla değerlendirilmiştir. Dişlinin spesifikasyon limitleri (SL), ortalama ($\tilde{\mu}_p$), varyans ($\tilde{\sigma}^2$) ve hedef değer ($\tilde{T}$) parametreleri PÜB olarak $\tilde{ASL} = [(9,2; 9,4; 9,6); 0,90; 0,22]$, $\tilde{USL} = [(10,2; 10,4; 10,6); 0,98; 0,05]$, $\tilde{\mu}_p = [(9,95; 10,00; 10,05); 0,95; 0,10]$, $\tilde{\sigma} = [(0,19; 0,20; 0,21); 0,95; 0,22]$, $\tilde{T} = [(9,75; 9,80; 9,85); 0,92; 0,15]$, YPB olarak spesifikasyon limitleri, ortalama, sigma ve hedef değer parametreleri $\tilde{ASL} = [(9,2; 9,4; 9,6; 9,8); 0,90; 0,22]$, $\tilde{USL} = [(10,2; 10,4; 10,6; 10,80); 0,98; 0,05]$, $\tilde{\mu}_p = [(9,90; 9,95; 10,00; 10,05); 0,95; 0,10]$, $\tilde{\sigma} = [(0,18; 0,19; 0,20; 0,21); 0,95; 0,22]$, $\tilde{T} = [(9,70; 9,75; 9,80; 9,85); 0,92; 0,15]$ şeklinde belirlenmiştir.

PÜB olarak $\tilde{C}_p$, $\tilde{C}_{pk}$, $\tilde{C}_{pm}$ ve $\tilde{C}_{pmk}$ indeksleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\tilde{C}_p = \left[\left(\frac{10,20-9,60}{6 \times 0,21}, \frac{10,40-9,40}{6 \times 0,20}, \frac{10,60-9,20}{6 \times 0,19} \right); \sqrt{\frac{\frac{0,98^2-0,90^2}{1-0,90^2}}{1-(1-0,95^2)^6}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{0,05}{0,22}\right)^2-0,22^{12}}{1-0,22^{12}}} \right]$$

$$\tilde{C}_p = [(0,48; 0,83; 1,23); 0,89; 0,23].$$

Sürecin yeterliliği kesin değerlerle hesaplandığında 0,83'tür. Bu da, sürecin yetersiz olduğunu anlamına gelmektedir. Ancak, kalite denetçileri tanımladıkları süreç parametre değerlerinden tam anlamıyla emin olamayabilirler. Bu sorunu ortadan kaldırmak için C_p indeksi PÜBS şeklinde tanımlanarak sürecin yeterliliği analiz edilmiştir. PÜB olarak tanımlanan $\tilde{C}_p$ indeksi eşitlik 5.68 kullanılarak kesin değerle ifade edildiğinde, sürecin yeterliliği 0,62 olarak hesaplanmaktadır. PÜB olarak tanımlanan $\tilde{C}_p$ indeksine göre, sürecin yeterliliği 0,89 üye olma ve 0,23 üye olmama derecesiyle 0,62'dir. PÜB olarak tanımlanan $\tilde{C}_p$ indeksi hem doğası gereği

insanın karar vermesi gereken durumlarda kararsızlığı ortadan kaldırmakta hem de süreç hakkında daha fazla bilgi sahibi olmamızı sağlamaktadır.

$$\tilde{C}_{pk} = \min \left\{ \left[\left(\frac{9,95-9,60}{3x0,21}, \frac{10,00-9,40}{3x0,20}, \frac{10,05-9,20}{3x0,19} \right); \sqrt{\frac{\frac{0,95^2-0,90^2}{1-0,90^2}}{1-(1-0,95^2)^3}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{0,10}{0,22}\right)^2-0,22^6}{1-0,22^6}} \right]; \left[\left(\frac{10,20-10,05}{3x0,21}, \frac{10,40-10,00}{3x0,20}, \frac{10,60-9,95}{3x0,19} \right); \sqrt{\frac{\frac{0,98^2-0,95^2}{1-0,95^2}}{1-(1-0,95^2)^3}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{0,05}{0,10}\right)^2-0,22^6}{1-0,22^6}} \right] \right\}$$

$$\tilde{C}_{pk} = \min\{[(0,56; 1,00; 1,49); 0,70; 0,45]; [(0,24; 0,67; 1,14); 0,77; 0,50]\}$$

$$\tilde{C}_{pk} = [(0,24; 0,67; 1,14); 0,77; 0,50].$$

PÜB olarak tanımlanan $\tilde{C}_{pl}$ ve $\tilde{C}_{pu}$ indekslerinin skor değerleri eşitlik 5.68 kullanılarak 0,28 ve 0,23 bulunmuştur. $\tilde{C}_{pu}$ indeksi $\tilde{C}_{pl}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\tilde{C}_{pk}$ indeksi olarak seçilmiştir. $\tilde{C}_p$ indeksindeki benzer yorumlar PÜB olarak tanımlanan $\tilde{C}_{pk}$ indeksi için de geçerlidir.

$$\tilde{C}_{pm} = \left[\left(\frac{10,20-9,60}{6\sqrt{(0,21)^2+(10,05-9,75)^2}}, \frac{10,40-9,40}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,60-9,20}{6\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,85)^2}} \right); \sqrt{\frac{\frac{0,98^2-0,90^2}{1-0,90^2}}{1-\left(1-\sqrt{(0,95^2)^2+\left(\frac{0,95^2-0,92^2}{1-0,92^2}\right)^2-(0,95^2)^2\left(\frac{0,95^2-0,92^2}{1-0,92^2}\right)^2}\right)^6}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{0,05}{0,22}\right)^2-\left(1-\sqrt{1-\left(1-\left(1-(1-(0,22^2))^2\right)\left(1-\left(1-\left(\frac{0,10}{0,15}\right)^2\right)^2\right)\right)}\right)^{12}}{1-\left(1-\sqrt{1-\left(1-\left(1-(1-(0,22^2))^2\right)\left(1-\left(1-\left(\frac{0,10}{0,15}\right)^2\right)^2\right)\right)}\right)^{12}}}\right] \right]$$

$$\tilde{C}_{pm} = [(0,27; 0,59; 1,09); 0,89; 0,23].$$

Sürecin ortalamasının hedef değerden ne kadar saptığını dikkate alan Pisagor $\tilde{C}_{pm}$ ve $\tilde{C}_{pmk}$ indeksleri de hesaplanmıştır.

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left[\left(\frac{9,95-9,60}{3\sqrt{(0,21)^2+(10,05-9,75)^2}}, \frac{10,00-9,40}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,05-9,20}{3\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,85)^2}} \right); \right. \\ \left. \frac{\sqrt{\frac{0,95^2-0,90^2}{1-0,90^2}}}{\sqrt{1-\left(1-\sqrt{(0,95^2)^2+\left(\frac{0,95^2-0,92^2}{1-0,92^2}\right)^2-(0,95^2)^2\left(\frac{0,95^2-0,92^2}{1-0,92^2}\right)^2}\right)^3}}, \right. \\ \left. \frac{\left(\frac{0,10}{0,22}\right)^2-\left(\sqrt{1-\left(1-\left(1-(1-(0,22^2))^2\right)\left(1-\left(1-\left(\frac{0,10}{0,15}\right)^2\right)^2\right)\right)}\right)^6}{\sqrt{1-\left(1-\left(1-\left(1-\left(1-(1-(0,22^2))^2\right)\left(1-\left(1-\left(\frac{0,10}{0,15}\right)^2\right)^2\right)\right)\right)}\right)^6}} \right)^6; \\ \left(\frac{10,20-10,05}{3\sqrt{(0,21)^2+(10,05-9,75)^2}}, \frac{10,40-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,60-9,95}{3\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,85)^2}} \right); \\ \frac{\sqrt{\frac{0,98^2-0,95^2}{1-0,95^2}}}{\sqrt{1-\left(1-\sqrt{(0,95^2)^2+\left(\frac{0,95^2-0,92^2}{1-0,92^2}\right)^2-(0,95^2)^2\left(\frac{0,95^2-0,92^2}{1-0,92^2}\right)^2}\right)^3}}, \\ \frac{\left(\frac{0,05}{0,10}\right)^2-\left(\sqrt{1-\left(1-\left(1-\left(1-(1-(0,22^2))^2\right)\left(1-\left(1-\left(\frac{0,10}{0,15}\right)^2\right)^2\right)\right)}\right)^6}{\sqrt{1-\left(1-\left(1-\left(1-\left(1-(1-(0,22^2))^2\right)\left(1-\left(1-\left(\frac{0,10}{0,15}\right)^2\right)^2\right)\right)\right)}\right)^6}} \right)^6; \end{array} \right]$$

$$\tilde{C}_{pmk} = \min\{[(0,32; 0,71; 1,32); 0,70; 0,45]; [(0,14; 0,47; 1,01); 0,77; 0,50]\}$$

$$\tilde{C}_{pmk} = [(0,14; 0,47; 1,01); 0,77; 0,50].$$

PÜB olarak tanımlanan $\tilde{C}_{pml}$ ve $\tilde{C}_{pmu}$ indekslerinin skor değerleri 0,21 ve 0,18 bulunmuştur. $\tilde{C}_{pmu}$ indeksi $\tilde{C}_{pml}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\tilde{C}_{pmk}$ indeksi olarak seçilmiştir.

PYB olarak $\tilde{C}_p$, $\tilde{C}_{pk}$, $\tilde{C}_{pm}$ ve $\tilde{C}_{pmk}$ indeksleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\tilde{C}_p = \left[\left(\frac{10,20-9,80}{6x0,21}, \frac{10,40-9,60}{6x0,20}, \frac{10,60-9,40}{6x0,19}, \frac{10,80-9,20}{6x0,18} \right); \sqrt{\frac{\frac{0,98^2-0,90^2}{1-0,90^2}}{1-(1-0,95^2)^6}}, \sqrt{\frac{\frac{0,05^2-0,22^{12}}{0,22}}{1-0,22^{12}}} \right]$$

$$\tilde{C}_p = [(0,32; 0,67; 1,05; 1,48); 0,89; 0,23].$$

$$\tilde{C}_{pk} = \min \left\{ \left[\left(\frac{9,90-9,80}{3x0,21}, \frac{9,95-9,60}{3x0,20}, \frac{10,00-9,40}{3x0,19}, \frac{10,05-9,20}{3x0,18} \right); \sqrt{\frac{\frac{0,95^2-0,90^2}{1-0,90^2}}{1-(1-0,95^2)^3}}, \sqrt{\frac{\frac{0,10^2}{0,22} - 0,22^6}{1-0,22^6}} \right]; \left[\left(\frac{10,20-10,05}{3x0,21}, \frac{10,40-10,00}{3x0,20}, \frac{10,60-9,95}{3x0,19}, \frac{10,80-9,90}{3x0,18} \right); \sqrt{\frac{\frac{0,98^2-0,95^2}{1-0,95^2}}{1-(1-0,95^2)^3}}, \sqrt{\frac{\frac{0,05^2}{0,10} - 0,22^6}{1-0,22^6}} \right] \right\}$$

$$\tilde{C}_{pk} = \min\{[(0,16; 0,58; 1,05; 1,57); 0,70; 0,45]; [(0,24; 0,67; 1,14; 1,67); 0,77; 0,50]\}$$

$$\tilde{C}_{pk} = [(0,16; 0,58; 1,05; 1,57); 0,70; 0,45].$$

PÜB olarak tanımlanan $\tilde{C}_{pl}$ ve $\tilde{C}_{pu}$ indekslerinin skor değerleri eşitlik 5.68 kullanılarak 0,24 ve 0,32 bulunmuştur. $\tilde{C}_{pl}$ indeksi $\tilde{C}_{pu}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\tilde{C}_{pk}$ indeksi olarak seçilmiştir. PÜB olan $\tilde{C}_p$ indeksindeki gibi benzer yorumlar $\tilde{C}_{pk}$ indeksi için de yapılabilir.

$$\tilde{C}_{pm} = \left[\sqrt{\left(\frac{\frac{10,20-9,80}{6\sqrt{(0,21)^2+(10,05-9,70)^2}}, \frac{10,40-9,60}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,75)^2}}, \frac{10,60-9,40}{6\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,80)^2}}, \frac{10,80-9,20}{6\sqrt{(0,18)^2+(9,90-9,85)^2}} \right); \sqrt{\frac{\frac{0,98^2-0,90^2}{1-0,90^2}}{1-\left(1-\sqrt{(0,95^2)^2+\left(\frac{0,95^2-0,92^2}{1-0,92^2}\right)^2-(0,95^2)^2\left(\frac{0,95^2-0,92^2}{1-0,92^2}\right)^2}\right)^6}, \sqrt{\frac{\left(\frac{0,05}{0,22}\right)^2-\left(\sqrt{1-\sqrt{\left(1-\left(1-(1-(0,22^2))^2\right)\left(1-\left(1-\left(\frac{0,10}{0,15}\right)^2\right)^2\right)\right)}}\right)^{12}}{1-\left(\sqrt{1-\sqrt{\left(1-\left(1-(1-(0,22^2))^2\right)\left(1-\left(1-\left(\frac{0,10}{0,15}\right)^2\right)^2\right)\right)}}\right)^{12}} \right]} \right]$$

$$\tilde{C}_{pm} = [(0,16; 0,42; 0,83; 1,43); 0,89; 0,23].$$

Süreç yeterliliğinin ölçülmesinde sıklıkla kullanılan $\tilde{C}_{pmk}$ değeri de hesaplanmıştır.

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left\{ \left[\sqrt{\frac{\left(\frac{9,90-9,80}{3\sqrt{(0,21)^2+(10,05-9,70)^2}}, \frac{9,95-9,60}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,75)^2}} \right)}{\frac{10,00-9,40}{3\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,80)^2}}, \frac{10,05-9,20}{3\sqrt{(0,18)^2+(9,90-9,85)^2}} \right)} \sqrt{\frac{0,95^2-0,90^2}{1-0,90^2}} \right]^3, \sqrt{1-\left(1-\sqrt{(0,95^2)^2+\left(\frac{0,95^2-0,92^2}{1-0,92^2}\right)^2}-(0,95^2)^2\left(\frac{0,95^2-0,92^2}{1-0,92^2}\right)^2\right)}^3, \left[\left(\frac{0,10}{0,22} \right)^2 - \left(\sqrt{1-\sqrt{1-\left(1-\left(1-(0,22^2)\right)^2}\right)\left(1-\left(1-\left(\frac{0,10}{0,15}\right)^2\right)^2\right)}} \right)^6 \right], \left[1-\left(\sqrt{1-\sqrt{1-\left(1-\left(1-(0,22^2)\right)^2}\right)\left(1-\left(1-\left(\frac{0,10}{0,15}\right)^2\right)^2\right)}} \right)^6 \right] \right], \left[\sqrt{\frac{\left(\frac{10,20-10,05}{3\sqrt{(0,21)^2+(10,05-9,70)^2}}, \frac{10,40-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,75)^2}} \right)}{\frac{10,60-9,95}{3\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,80)^2}}, \frac{10,80-9,90}{3\sqrt{(0,18)^2+(9,90-9,85)^2}} \right)} \sqrt{\frac{0,98^2-0,95^2}{1-0,95^2}} \right]^3, \sqrt{1-\left(1-\sqrt{(0,95^2)^2+\left(\frac{0,95^2-0,92^2}{1-0,92^2}\right)^2}-(0,95^2)^2\left(\frac{0,95^2-0,92^2}{1-0,92^2}\right)^2\right)}^3, \left[\left(\frac{0,05}{0,10} \right)^2 - \left(\sqrt{1-\sqrt{1-\left(1-\left(1-(0,22^2)\right)^2}\right)\left(1-\left(1-\left(\frac{0,10}{0,15}\right)^2\right)^2\right)}} \right)^6 \right], \left[1-\left(\sqrt{1-\sqrt{1-\left(1-\left(1-(0,22^2)\right)^2}\right)\left(1-\left(1-\left(\frac{0,10}{0,15}\right)^2\right)^2\right)}} \right)^6 \right] \right]$$

$$\tilde{C}_{pmk} = \min\{[(0,08; 0,36; 0,83; 1,52); 0,70; 0,45], [(0,12; 0,42; 0,90; 1,61); 0,77; 0,50]\}$$

$$\tilde{C}_{pmk} = [(0,08; 0,36; 0,83; 1,52); 0,70; 0,45].$$

$\tilde{C}_{pml}$ ve $\tilde{C}_{pmu}$ indekslerinin skor değerleri eşitlik 5.68 yardımıyla hesaplanarak 0,20 ve 0,26 bulunmuştur. $\tilde{C}_{pml}$ indeksi $\tilde{C}_{pmu}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\tilde{C}_{pmk}$ indeksi olarak seçilmiştir. Tablo 7.1’de süreç parametrelerinin PBS olması durumunda klasik yöntemle elde edilen PBSYİ değerleri özet olarak verilmiştir.

Tablo 7.1 PBS olarak elde edilen PBSYİ değerleri

SL	PÜB	Kesin D.
$\tilde{C}_p$	$[(0,48; 0,83; 1,23), 0,89; 0,23]$	0,62
$\tilde{C}_{pk}$	$[(0,24; 0,67; 1,14), 0,77; 0,50]$	0,23
$\tilde{C}_{pm}$	$[(0,27; 0,59; 1,09), 0,89; 0,23]$	0,47
$\tilde{C}_{pmk}$	$[(0,14; 0,47; 1,01), 0,77; 0,50]$	0,18
SL	PYB	Kesin D.
$\tilde{C}_p$	$[(0,32; 0,67; 1,05; 1,48), 0,89; 0,23]$	0,65
$\tilde{C}_{pk}$	$[(0,16; 0,58; 1,05; 1,57), 0,70; 0,45]$	0,24
$\tilde{C}_{pm}$	$[(0,16; 0,42; 0,83; 1,43), 0,89; 0,23]$	0,52
$\tilde{C}_{pmk}$	$[(0,08; 0,36; 0,83; 1,52); 0,70; 0,45]$	0,20

7.1.4.2 Süreç Parametrelerinin Esnek Pisagor Bulanık Sayı Olma Durumu

Süreç parametrelerinin esnek PBS olması durumunda klasik yöntem kullanılarak önerilen esnek PBSYİ'nin performansı örnek bir uygulamayla değerlendirilmiştir. Dişlinin spesifikasyon limitleri (SL), ortalama ($\tilde{\mu}_p$), varyans ($\tilde{\sigma}^2$) ve hedef değer ($\tilde{T}$) parametreleri esnek PÜB olarak

$$\tilde{A\tilde{S}L} = [(9,20; 9,40; 9,60), (9,10; 9,40; 9,70); 0,90; 0,22],$$

$$\tilde{U\tilde{S}L} = [(10,20; 10,40; 10,60), (10,10; 10,40; 10,70); 0,98; 0,05],$$

$$\tilde{\mu}_p = [(9,95; 10,00; 10,05), (9,93; 10,00; 10,07); 0,95; 0,10],$$

$$\tilde{\sigma} = [(0,19; 0,20; 0,21), (0,18; 0,20; 0,22); 0,95; 0,22],$$

$$\tilde{T} = [(9,75; 9,80; 9,85), (9,73; 9,80; 9,87); 0,92; 0,15] \text{ belirlenmiştir.}$$

Dişlinin spesifikasyon limitleri (SL), ortalama ($\tilde{\mu}_p$), varyans ($\tilde{\sigma}^2$) ve hedef değer ($\tilde{T}$) parametreleri esnek PYB olarak

$$\tilde{A\tilde{S}L} = [(9,20; 9,40; 9,60; 9,80), (9,15; 9,40; 9,60; 9,85); 0,90; 0,22],$$

$$\tilde{U\tilde{S}L} = [(10,20; 10,40; 10,60; 10,80), (10,10; 10,40; 10,60; 10,90); 0,98; 0,05],$$

$$\tilde{\mu}_p = [(9,90; 9,95; 10,00; 10,05), (9,88; 9,95; 10,00; 10,07); 0,95; 0,10],$$

$$\tilde{\sigma} = [(0,18; 0,19; 0,20; 0,21), (0,17; 0,19; 0,20; 0,22); 0,95; 0,22],$$

$$\tilde{T} = [(9,70; 9,75; 9,80; 9,85), (9,68; 9,75; 9,80; 9,87); 0,92; 0,15] \text{ belirlenmiştir.}$$

Esnek PÜB olarak $\tilde{C}_p$, $\tilde{C}_{pk}$, $\tilde{C}_{pm}$ ve $\tilde{C}_{pmk}$ indeksleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\tilde{C}_p = \left[\left(\frac{10,20-9,60}{6x0,21}, \frac{10,40-9,40}{6x0,20}, \frac{10,60-9,20}{6x0,19} \right), \left(\frac{10,10-9,70}{6x0,22}, \frac{10,40-9,40}{6x0,20}, \frac{10,70-9,10}{6x0,18} \right); \sqrt{\frac{\frac{0,98^2-0,90^2}{1-0,90^2}}{1-(1-0,95^2)^6}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{0,05}{0,22}\right)^2-0,22^{12}}{1-0,22^{12}}} \right]$$

$$\tilde{C}_p = [(0,48; 0,83; 1,23), (0,30; 0,83; 1,48); 0,89; 0,23].$$

Sürecin yeterliliği 0,83'tür. Esnek PÜB olarak tanımlanan $\tilde{C}_p$ indeksi eşitlik 7.91 kullanılarak kesin değerle ifade edildiğinde, sürecin yeterliliği 0,63 olarak hesaplanmaktadır. Esnek Pisagor $\tilde{C}_p$ indeksi, sürecin yeterliliğinin 0,30'dan az ve 1,48'den fazla olamayacağını ifade etmektedir. Ek olarak, üyelik ve üye olmama derecelerini de içerdiği için süreç hakkında daha fazla bilgi sahibi olmamızı sağlamaktadır.

$$\tilde{C}_{pk} = \min \left\{ \left(\frac{9,95-9,60}{3x0,21}, \frac{10,00-9,40}{3x0,20}, \frac{10,05-9,20}{3x0,19} \right), \left(\frac{9,93-9,70}{3x0,22}, \frac{10,00-9,40}{3x0,20}, \frac{10,07-9,10}{3x0,18} \right); \sqrt{\frac{\frac{0,95^2-0,90^2}{1-0,90^2}}{1-(1-0,95^2)^3}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{0,10}{0,22}\right)^2-0,22^6}{1-0,22^6}} \right\}$$

$$\left(\frac{10,20-10,05}{3x0,21}, \frac{10,40-10,00}{3x0,20}, \frac{10,60-9,95}{3x0,19} \right), \left(\frac{10,10-10,07}{3x0,22}, \frac{10,40-10,00}{3x0,20}, \frac{10,70-9,93}{3x0,18} \right); \sqrt{\frac{\frac{0,98^2-0,95^2}{1-0,95^2}}{1-(1-0,95^2)^3}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{0,05}{0,10}\right)^2-0,22^6}{1-0,22^6}} \right\}$$

$$\tilde{C}_{pk} = \min \{ [(0,56; 1,00; 1,49), (0,35; 1,00; 1,80); 0,70; 0,45], [(0,24; 0,67; 1,14), (0,05; 0,67; 1,43); 0,77; 0,50] \}$$

$$\tilde{C}_{pk} = [(0,24; 0,67; 1,14), (0,05; 0,67; 1,43); 0,77; 0,50].$$

Esnek PÜB olarak tanımlanan $\tilde{C}_{pl}$ ve $\tilde{C}_{pu}$ indekslerinin skor değerleri eşitlik 7.91 kullanılarak 0,29 ve 0,24 bulunmuştur. $\tilde{C}_{pu}$ indeksi $\tilde{C}_{pl}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\tilde{C}_{pk}$ indeksi olarak seçilmiştir. Esnek Pisagor $\tilde{C}_{pk}$ indeksine göre süreç yetersizdir.

$$\tilde{C}_{pm} = \left[\begin{array}{l} \left(\frac{10,20-9,60}{6\sqrt{(0,21)^2+(10,05-9,75)^2}}, \frac{10,40-9,40}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,60-9,20}{6\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,85)^2}} \right), \\ \left(\frac{10,10-9,70}{6\sqrt{(0,22)^2+(10,07-9,73)^2}}, \frac{10,40-9,40}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,70-9,10}{6\sqrt{(0,18)^2+(9,93-9,87)^2}} \right), \\ \frac{\sqrt{\frac{0,98^2-0,90^2}{1-0,90^2}}}{\sqrt{1-\left(1-\sqrt{(0,95^2)^2+\left(\frac{0,95^2-0,92^2}{1-0,92^2}\right)^2}-(0,95^2)^2\left(\frac{0,95^2-0,92^2}{1-0,92^2}\right)^2}\right)^6}, \\ \frac{\left(\frac{0,05}{0,22}\right)^2 - \left(\sqrt{1-\left(1-\sqrt{\left(1-\left(1-(0,22^2)\right)^2}\right)\left(1-\left(1-\left(\frac{0,10}{0,15}\right)^2\right)^2\right)\right)}\right)^{12}}{\sqrt{1-\left(\sqrt{1-\left(1-\sqrt{\left(1-\left(1-(0,22^2)\right)^2}\right)\left(1-\left(1-\left(\frac{0,10}{0,15}\right)^2\right)^2\right)\right)}\right)^{12}}}} \end{array} \right]$$

$$\tilde{C}_{pm} = [(0,27; 0,59; 1,09), (0,16; 0,59; 1,41); 0,89; 0,23].$$

Esnek PÜB olarak tanımlanan Pisagor $\tilde{C}_{pml}$ ve $\tilde{C}_{pmu}$ indeksleri bulunarak $\tilde{C}_{pmk}$ indeksi elde edilmiştir.

$$\tilde{C}_{pml} = \left[\begin{array}{l} \left(\frac{9,95-9,60}{3\sqrt{(0,21)^2+(10,05-9,75)^2}}, \frac{10,00-9,40}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,05-9,20}{3\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,85)^2}} \right), \\ \left(\frac{9,93-9,70}{3\sqrt{(0,22)^2+(10,07-9,73)^2}}, \frac{10,00-9,40}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,07-9,10}{3\sqrt{(0,18)^2+(9,93-9,87)^2}} \right); \\ \frac{\sqrt{\frac{0,95^2-0,90^2}{1-0,90^2}}}{\sqrt{1-\left(1-\sqrt{(0,95^2)^2+\left(\frac{0,95^2-0,92^2}{1-0,92^2}\right)^2}-(0,95^2)^2\left(\frac{0,95^2-0,92^2}{1-0,92^2}\right)^2}\right)^3}, \\ \frac{\left(\frac{0,10}{0,22}\right)^2 - \left(\sqrt{1-\left(1-\sqrt{\left(1-\left(1-(0,22^2)\right)^2}\right)\left(1-\left(1-\left(\frac{0,10}{0,15}\right)^2\right)^2\right)\right)}\right)^6}{\sqrt{1-\left(\sqrt{1-\left(1-\sqrt{\left(1-\left(1-(0,22^2)\right)^2}\right)\left(1-\left(1-\left(\frac{0,10}{0,15}\right)^2\right)^2\right)\right)}\right)^6}} \end{array} \right]$$

$$\tilde{C}_{pmu} = \left[\begin{array}{c} \left(\frac{10,20-10,05}{3\sqrt{(0,21)^2+(10,05-9,75)^2}}, \frac{10,40-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,60-9,95}{3\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,85)^2}} \right), \\ \left(\frac{10,10-10,02}{3\sqrt{(0,22)^2+(10,07-9,73)^2}}, \frac{10,40-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,70-9,88}{3\sqrt{(0,18)^2+(9,93-9,87)^2}} \right); \\ \sqrt{\frac{0,98^2-0,95^2}{1-0,95^2}}, \\ \sqrt{1-\left(1-\sqrt{(0,95^2)^2+\left(\frac{0,95^2-0,92^2}{1-0,92^2}\right)^2}-(0,95^2)^2\left(\frac{0,95^2-0,92^2}{1-0,92^2}\right)^2\right)^3}, \\ \sqrt{\frac{\left(\frac{0,05}{0,10}\right)^2-\left(\sqrt{1-\left(1-\left(1-(1-(0,22^2))^2\right)\left(1-\left(1-\left(\frac{0,10}{0,15}\right)^2\right)^2\right)\right)\right)^6}{1-\left(\sqrt{1-\left(1-\left(1-\left(1-(1-(0,22^2))^2\right)\left(1-\left(1-\left(\frac{0,10}{0,15}\right)^2\right)^2\right)\right)\right)^6}\right)^6}} \end{array} \right]$$

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \{[(0,32; 0,71; 1,32), (0,19; 0,71; 1,70); 0,70; 0,45]\}$$

$$\{[(0,14; 0,47; 1,01), (0,02; 0,47; 1,35); 0,77; 0,50]\}$$

$$\tilde{C}_{pmk} = [(0,14; 0,47; 1,01), (0,02; 0,47; 1,35); 0,77; 0,50].$$

$\tilde{C}_{pml}$ ve $\tilde{C}_{pmu}$ indekslerinin skor değerleri eşitlik 7.91 kullanılarak 0,22 ve 0,19 bulunmuştur. $\tilde{C}_{pmu}$ indeksi $\tilde{C}_{pml}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\tilde{C}_{pmk}$ indeksi olarak seçilmiştir.

Esnek PYB olarak $\tilde{C}_p$, $\tilde{C}_{pk}$, $\tilde{C}_{pm}$ ve $\tilde{C}_{pmk}$ indeksleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\tilde{C}_p = \left[\begin{array}{c} \left(\frac{10,20-9,80}{6x0,21}, \frac{10,40-9,60}{6x0,20}, \frac{10,60-9,40}{6x0,19}, \frac{10,80-9,20}{6x0,18} \right), \\ \left(\frac{10,10-9,85}{6x0,22}, \frac{10,40-9,60}{6x0,20}, \frac{10,60-9,40}{6x0,19}, \frac{10,90-9,15}{6x0,17} \right); \\ \sqrt{\frac{0,98^2-0,90^2}{1-0,90^2}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{0,05}{0,22}\right)^2-0,22^{12}}{1-0,22^{12}}} \end{array} \right]$$

$$\tilde{C}_p = [(0,32; 0,67; 1,05; 1,48), (0,19; 0,67; 1,05; 1,72); 0,89; 0,23].$$

$$\tilde{C}_{pk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{9,90-9,80}{3x0,21}, \frac{9,95-9,60}{3x0,20}, \frac{10,00-9,40}{3x0,19}, \frac{10,05-9,20}{3x0,18} \right), \\ \left(\frac{9,88-9,85}{3x0,22}, \frac{9,95-9,60}{3x0,20}, \frac{10,00-9,40}{3x0,19}, \frac{10,07-9,15}{3x0,17} \right); \\ \sqrt{\frac{\frac{0,95^2-0,90^2}{1-0,90^2}}{1-(1-0,95^2)^3}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{0,10}{0,22}\right)^2-0,22^6}{1-0,22^6}} \\ \left(\frac{10,20-10,05}{3x0,21}, \frac{10,40-10,00}{3x0,20}, \frac{10,60-9,95}{3x0,19}, \frac{10,80-9,90}{3x0,18} \right), \\ \left(\frac{10,10-10,07}{3x0,22}, \frac{10,40-10,00}{3x0,20}, \frac{10,60-9,95}{3x0,19}, \frac{10,90-9,88}{3x0,17} \right); \\ \sqrt{\frac{\frac{0,98^2-0,95^2}{1-0,95^2}}{1-(1-0,95^2)^3}}, \sqrt{\frac{\left(\frac{0,05}{0,10}\right)^2-0,22^6}{1-0,22^6}} \end{array} \right\}$$

$$\tilde{C}_{pk} = \min \{ [(0,16; 0,58; 1,05; 1,57), (0,05; 0,58; 1,05; 1,80); 0,70; 0,45], \\ [(0,24; 0,67; 1,14; 1,67), (0,05; 0,67; 1,14; 2,00); 0,77; 0,50] \}$$

$$\tilde{C}_{pk} = [(0,16; 0,58; 1,05; 1,57), (0,05; 0,58; 1,05; 1,80); 0,70; 0,45].$$

$\tilde{C}_{pl}$ ve $\tilde{C}_{pu}$ indekslerinin skor değerleri eşitlik 7.91 yardımıyla hesaplanarak 0,24 ve 0,33 bulunmuştur. $\tilde{C}_{pl}$ indeksi $\tilde{C}_{pu}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\tilde{C}_{pk}$ indeksi olarak seçilmiştir. Benzer yorumlar, esnek Pisagor $\tilde{C}_{pk}$ indeksi için yapılabilmektedir.

$$\tilde{C}_{pm} = \sqrt[6]{ \frac{ \left(\frac{10,20-9,80}{6\sqrt{(0,21)^2+(10,05-9,70)^2}}, \frac{10,40-9,60}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,75)^2}}, \right. }{ \left(\frac{10,60-9,40}{6\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,80)^2}}, \frac{10,80-9,20}{6\sqrt{(0,18)^2+(9,90-9,85)^2}} \right) } } \cdot \sqrt[6]{ \frac{ \left(\frac{10,10-9,85}{6\sqrt{(0,22)^2+(10,07-9,68)^2}}, \frac{10,40-9,60}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,75)^2}}, \right. }{ \left(\frac{10,60-9,40}{6\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,80)^2}}, \frac{10,90-9,15}{6\sqrt{(0,17)^2+(9,88-9,87)^2}} \right) } } \cdot \sqrt[6]{ \frac{ \sqrt{\frac{0,98^2-0,90^2}{1-0,90^2}} }{ 1 - \left(1 - \sqrt{(0,95^2)^2 + \left(\frac{0,95^2-0,92^2}{1-0,92^2} \right)^2} - (0,95^2)^2 \left(\frac{0,95^2-0,92^2}{1-0,92^2} \right)^2 \right) } } } \cdot \sqrt[12]{ \frac{ \left(\frac{0,05}{0,22} \right)^2 - \left(\sqrt[12]{ 1 - \sqrt{ 1 - \left(1 - \left(1 - (0,22^2) \right)^2 \right) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{0,10}{0,15} \right)^2 \right)^2 \right) } } \right) }{ 1 - \left(\sqrt[12]{ 1 - \sqrt{ 1 - \left(1 - \left(1 - (0,22^2) \right)^2 \right) \left(1 - \left(1 - \left(\frac{0,10}{0,15} \right)^2 \right)^2 \right) } } \right) } } \right\}}$$

$$\tilde{C}_{pm} = [(0,16; 0,42; 0,83; 1,43), (0,09; 0,42; 0,83; 1,71); 0,89; 0,23].$$

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left\{ \begin{aligned} & \left(\frac{9,90-9,80}{3\sqrt{(0,21)^2+(10,05-9,70)^2}}, \frac{9,95-9,60}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,75)^2}}, \right. \\ & \left. \frac{10,00-9,40}{3\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,80)^2}}, \frac{10,05-9,20}{3\sqrt{(0,18)^2+(9,90-9,85)^2}} \right), \\ & \left(\frac{9,88-9,85}{3\sqrt{(0,22)^2+(10,07-9,68)^2}}, \frac{9,95-9,60}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,75)^2}}, \right. \\ & \left. \frac{10,00-9,40}{3\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,80)^2}}, \frac{10,07-9,15}{3\sqrt{(0,17)^2+(9,88-9,87)^2}} \right); \\ & \frac{\sqrt{\frac{0,95^2-0,90^2}{1-0,90^2}}}{\sqrt{1-\left(1-\sqrt{(0,95^2)^2+\left(\frac{0,95^2-0,92^2}{1-0,92^2}\right)^2}-(0,95^2)^2\left(\frac{0,95^2-0,92^2}{1-0,92^2}\right)^2}\right)^3}, \\ & \frac{\left(\frac{0,10}{0,22}\right)^2 - \left(1-\sqrt{1-\left(1-\left(1-(1-(0,22^2))^2\right)\left(1-\left(1-\left(\frac{0,10}{0,15}\right)^2\right)^2\right)\right)}\right)^6}{1-\left(1-\sqrt{1-\left(1-\left(1-(1-(0,22^2))^2\right)\left(1-\left(1-\left(\frac{0,10}{0,15}\right)^2\right)^2\right)\right)}\right)^6} \end{aligned} \right\}$$

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \{[(0,08; 0,36; 0,83; 1,52), (0,02; 0,36; 0,83; 1,80); 0,70; 0,45]\}$$

$$\tilde{C}_{pmk} = [(0,08; 0,36; 0,83; 1,52), (0,02; 0,36; 0,83; 1,80); 0,70; 0,45].$$

$\tilde{C}_{pml}$ ve $\tilde{C}_{pmu}$ indekslerinin skor değerleri eşitlik 7.91 yardımıyla hesaplanarak 0,22 ve 0,27 bulunmuştur. $\tilde{C}_{pml}$ indeksi $\tilde{C}_{pmu}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\tilde{C}_{pmk}$ indeksi olarak seçilmiştir.

Tablo 7.2’de süreç parametrelerinin esnek PBS olması durumunda klasik yöntemle elde edilen esnek PBSYİ değerleri özet olarak verilmiştir.

Tablo 7.2 Esnek PBS olarak elde edilen PBSYİ değerleri

SL	Esnek PÜB	Kesin D.
$\tilde{C}_p$	[(0,48; 0,83; 1,23), (0,30; 0,83; 1,48); 0,89; 0,23]	0,63
$\tilde{C}_{pk}$	[(0,24; 0,67; 1,14), (0,05; 0,67; 1,43); 0,77; 0,50]	0,24
$\tilde{C}_{pm}$	[(0,27; 0,59; 1,09), (0,16; 0,59; 1,41); 0,89; 0,23]	0,49
$\tilde{C}_{pmk}$	[(0,14; 0,47; 1,01), (0,02; 0,47; 1,35); 0,77; 0,50]	0,19
SL	Esnek PYB	Kesin D.
$\tilde{C}_p$	[(0,32; 0,67; 1,05; 1,48), (0,19; 0,67; 1,05; 1,72); 0,89; 0,23]	0,66
$\tilde{C}_{pk}$	[(0,16; 0,58; 1,05; 1,57), (0,05; 0,58; 1,05; 1,80); 0,70; 0,45]	0,24
$\tilde{C}_{pm}$	[(0,16; 0,42; 0,83; 1,43), (0,09; 0,42; 0,83; 1,71); 0,89; 0,23]	0,58
$\tilde{C}_{pmk}$	[(0,08; 0,36; 0,83; 1,52), (0,02; 0,36; 0,83; 1,80); 0,70; 0,45]	0,22

7.1.4.3 Min-Max Yöntemiyle Süreç Parametrelerinin Pisagor Bulanık Sayı Olma Durumu

Süreç parametrelerinin PBS olması durumunda Min-Max yöntemi kullanılarak önerilen PBSYİ’nin performansı örnek bir uygulamayla değerlendirilmiştir. Dişlinin PÜB olarak spesifikasyon limitleri (SL), ortalama ($\tilde{\mu}_p$), varyans ($\tilde{\sigma}^2$) ve hedef değer ($\tilde{T}$) parametreleri $\tilde{A}SL = [(9,2; 9,4; 9,6); 0,90; 0,22]$, $\tilde{U}SL = [(10,2; 10,4; 10,6); 0,98; 0,05]$, $\tilde{\mu}_p = [(9,95; 10,00; 10,05); 0,95; 0,10]$, $\tilde{\sigma} = [(0,19; 0,20; 0,21); 0,95; 0,22]$, $\tilde{T} = [(9,75; 9,80; 9,85); 0,92; 0,15]$, YPB olarak spesifikasyon limitleri (SL), ortalama ($\tilde{\mu}_p$), varyans ($\tilde{\sigma}^2$) ve hedef değer ($\tilde{T}$) parametreleri $\tilde{A}SL = [(9,2; 9,4; 9,6; 9,8); 0,90; 0,22]$, $\tilde{U}SL = [(10,2; 10,4; 10,6; 10,80); 0,98; 0,05]$, $\tilde{\mu}_p = [(9,90; 9,95; 10,00; 10,05); 0,95; 0,10]$, $\tilde{\sigma} = [(0,18; 0,19; 0,20; 0,21); 0,95; 0,22]$, $\tilde{T} = [(9,70; 9,75; 9,80; 9,85); 0,92; 0,15]$ şeklinde belirlenmiştir.

Min-Max yöntemiyle PÜB olarak $\tilde{C}_p$, $\tilde{C}_{pk}$, $\tilde{C}_{pm}$ ve $\tilde{C}_{pmk}$ indeksleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\tilde{C}_p = \left[\left(\frac{10,20-9,60}{6 \times 0,21}, \frac{10,40-9,40}{6 \times 0,20}, \frac{10,60-9,20}{6 \times 0,19} \right); \min\{\min\{0,98; 0,90\}, 0,95\}, \max\{\max\{0,05; 0,22\}, 0,22\} \right]$$

$$\tilde{C}_p = [(0,48; 0,83; 1,23); 0,90; 0,22].$$

Sürecin yeterliliği tip-1 (geleneksel) bulanık kümelerle ifade edilirken üyelik derecesi 1'dir. Burada, sürecin yeterliliği üyelik ve üye olmama dereceleriyle ifade edilmesi sürecin değerlendirilmesinde daha fazla bilgi sahibi olmamızı sağlamaktadır. Klasik yöntemle de benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir. PÜB olarak tanımlanan $\tilde{C}_p$ indeksinin analiz edilmesinde klasik yöntemden ziyade işlem kolaylığı sunan Min-Max yönteminin tercih edilmesi önerilmektedir.

$$\tilde{C}_{pk} = \min \left\{ \left[\begin{array}{c} \left(\frac{9,95-9,60}{3x0,21}, \frac{10,00-9,40}{3x0,20}, \frac{10,05-9,20}{3x0,19} \right); \\ \min\{\min\{0,95; 0,90\}, 0,95\}, \max\{\max\{0,10; 0,22\}, 0,22\} \end{array} \right]; \left[\begin{array}{c} \left(\frac{10,20-10,05}{3x0,21}, \frac{10,40-10,00}{3x0,20}, \frac{10,60-9,95}{3x0,19} \right); \\ \min\{\min\{0,98; 0,95\}, 0,95\}, \max\{\max\{0,05; 0,10\}, 0,22\} \end{array} \right] \right\}$$

$$\tilde{C}_{pk} = \min\{[(0,56; 1,00; 1,49); 0,90; 0,22]; [(0,24; 0,67; 1,14); 0,95; 0,22]\}$$

$$\tilde{C}_{pk} = [(0,24; 0,67; 1,14); 0,95; 0,22].$$

$\tilde{C}_{pl}$ ve $\tilde{C}_{pu}$ indekslerinin skor değerleri eşitlik 5.78 kullanılarak 0,68 ve 0,54 bulunmuştur. $\tilde{C}_{pu}$ indeksi $\tilde{C}_{pl}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\tilde{C}_{pk}$ indeksi olarak seçilmiştir.

$$\tilde{C}_{pm} = \left[\begin{array}{c} \left(\frac{10,20-9,60}{6\sqrt{(0,21)^2+(10,05-9,75)^2}}, \frac{10,40-9,40}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,60-9,20}{6\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,85)^2}} \right); \\ \min\{\min\{0,98; 0,90\}, \min\{0,95, \min\{0,95; 0,92\}\}\}, \\ \max\{\max\{0,05; 0,22\}, \max\{0,22, \max\{0,10; 0,15\}\}\} \end{array} \right]$$

$$\tilde{C}_{pm} = [(0,27; 0,59; 1,09); 0,90; 0,22].$$

Min-Max yöntemiyle süreç ortalamasının hedef değerden sapması durumunda uyarı veren Pisagor $\tilde{C}_{pmk}$ indeksi de ele alınmıştır.

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left\{ \left[\begin{array}{c} \left(\frac{9,95-9,60}{3\sqrt{(0,21)^2+(10,05-9,75)^2}}, \frac{10,00-9,40}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,05-9,20}{3\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,85)^2}} \right); \\ \min\{\min\{0,95; 0,90\}, \min\{0,95, \min\{0,95; 0,92\}\}\} \\ \max\{\max\{0,10; 0,22\}, \max\{0,22, \max\{0,10; 0,15\}\}\} \end{array} \right]; \left[\begin{array}{c} \left(\frac{10,20-10,05}{3\sqrt{(0,21)^2+(10,05-9,75)^2}}, \frac{10,40-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,60-9,95}{3\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,85)^2}} \right); \\ \min\{\min\{0,98; 0,95\}, \min\{0,95, \min\{0,95; 0,92\}\}\} \\ \max\{\max\{0,05; 0,10\}, \max\{0,22, \max\{0,10; 0,15\}\}\} \end{array} \right] \right\}$$

$$\tilde{C}_{pmk} = \min\{[(0,32; 0,71; 1,32); 0,90; 0,22]; [(0,14; 0,47; 1,01); 0,92; 0,22]\}$$

$$\tilde{C}_{pmk} = [(0,14; 0,47; 1,01); 0,92; 0,22].$$

$\tilde{C}_{pml}$ ve $\tilde{C}_{pmu}$ indekslerinin skor değerleri 0,51 ve 0,37 bulunmuştur. $\tilde{C}_{pmu}$ indeksi $\tilde{C}_{pml}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\tilde{C}_{pmk}$ indeksi olarak seçilmiştir.

Min-Max yöntemiyle PYB olarak $\tilde{C}_p$, $\tilde{C}_{pk}$, $\tilde{C}_{pm}$ ve $\tilde{C}_{pmk}$ indeksleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\tilde{C}_p = \left[\left(\frac{10,20-9,80}{6 \times 0,21}, \frac{10,40-9,60}{6 \times 0,20}, \frac{10,60-9,40}{6 \times 0,19}, \frac{10,80-9,20}{6 \times 0,18} \right); \right. \\ \left. \min\{\min\{0,98; 0,90\}, 0,95\}, \max\{\max\{0,05; 0,22\}, 0,22\} \right]$$

$$\tilde{C}_p = [(0,32; 0,67; 1,05; 1,48); 0,90; 0,22].$$

$$\tilde{C}_{pk} = \min \left\{ \left[\left(\frac{9,90-9,80}{3 \times 0,21}, \frac{9,95-9,60}{3 \times 0,20}, \frac{10,00-9,40}{3 \times 0,19}, \frac{10,05-9,20}{3 \times 0,18} \right); \right. \right. \\ \left. \left[\min\{\min\{0,95; 0,90\}, 0,95\}, \max\{\max\{0,10; 0,22\}, 0,22\} \right] \right]; \\ \left[\left(\frac{10,20-10,05}{3 \times 0,21}, \frac{10,40-10,00}{3 \times 0,20}, \frac{10,60-9,95}{3 \times 0,19}, \frac{10,80-9,90}{3 \times 0,18} \right); \right. \\ \left. \left[\min\{\min\{0,98; 0,95\}, 0,95\}, \max\{\max\{0,05; 0,10\}, 0,22\} \right] \right] \right\}$$

$$\tilde{C}_{pk} = \min\{[(0,16; 0,58; 1,05; 1,57); 0,90; 0,22]; [(0,24; 0,67; 1,14; 1,67); 0,95; 0,22]\}$$

$$\tilde{C}_{pk} = [(0,16; 0,58; 1,05; 1,57); 0,90; 0,22].$$

$\tilde{C}_{pl}$ ve $\tilde{C}_{pu}$ indekslerinin skor değerleri eşitlik 5.78 yardımıyla hesaplanarak 0,56 ve 0,73 bulunmuştur. $\tilde{C}_{pl}$ indeksi $\tilde{C}_{pu}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\tilde{C}_{pk}$ indeksi olarak seçilmiştir.

$$\tilde{C}_{pm} = \left[\left(\frac{10,20-9,80}{6\sqrt{(0,21)^2+(10,05-9,70)^2}}, \frac{10,40-9,60}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,75)^2}}, \right. \right. \\ \left. \frac{10,60-9,40}{6\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,80)^2}}, \frac{10,80-9,20}{6\sqrt{(0,18)^2+(9,90-9,85)^2}} \right); \\ \min\{\min\{0,98; 0,90\}, \min\{0,95, \min\{0,95; 0,92\}\}\}, \\ \max\{\max\{0,05; 0,22\}, \max\{0,22, \max\{0,10; 0,15\}\}\} \right]$$

$$\tilde{C}_{pm} = [(0,16; 0,42; 0,83; 1,43); 0,90; 0,22].$$

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \left(\begin{array}{l} \frac{9,90-9,80}{3\sqrt{(0,21)^2+(10,05-9,70)^2}}, \frac{9,95-9,60}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,75)^2}}, \\ \frac{10,00-9,40}{3\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,80)^2}}, \frac{10,05-9,20}{3\sqrt{(0,18)^2+(9,90-9,85)^2}} \end{array} \right); \\ \min \{ \min \{ 0,95; 0,90 \}, \min \{ 0,95, \min \{ 0,95; 0,92 \} \} \} \\ \max \{ \max \{ 0,10; 0,22 \}, \max \{ 0,22, \max \{ 0,10; 0,15 \} \} \} \end{array} \right\};$$

$$\left(\begin{array}{l} \frac{10,20-10,05}{3\sqrt{(0,21)^2+(10,05-9,70)^2}}, \frac{10,40-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,75)^2}}, \\ \frac{10,60-9,95}{3\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,80)^2}}, \frac{10,80-9,90}{3\sqrt{(0,18)^2+(9,90-9,85)^2}} \end{array} \right);$$

$$\min \{ \min \{ 0,98; 0,95 \}, \min \{ 0,95, \min \{ 0,95; 0,92 \} \} \}$$

$$\max \{ \max \{ 0,05; 0,10 \}, \max \{ 0,22, \max \{ 0,10; 0,15 \} \} \} \}$$

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \{ [(0,08; 0,36; 0,83; 1,52); 0,90; 0,22]; [(0,12; 0,42; 0,90; 1,61); 0,92; 0,22] \}$$

$$\tilde{C}_{pmk} = [(0,08; 0,36; 0,83; 1,52); 0,90; 0,22].$$

$\tilde{C}_{pml}$ ve $\tilde{C}_{pmu}$ indekslerinin skor değerleri hesaplanarak 0,47 ve 0,55 bulunmuştur. $\tilde{C}_{pml}$ indeksi $\tilde{C}_{pmu}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\tilde{C}_{pmk}$ indeksi olarak seçilmiştir. PBSYİ hesaplamalarından elde edilen sonuçlar sürecin yetersiz olduğunu göstermektedir. Tablo 7.3'de süreç parametrelerinin PBS olması durumunda Min-Max yöntemiyle elde edilen PBSYİ değerleri özet olarak verilmiştir.

Tablo 7.3 Min-Max yöntemiyle PBS olarak elde edilen PBSYİ değerleri

SL	PÜB	Kesin D.
$\tilde{C}_p$	[(0,48; 0,83; 1,23), 0,90; 0,22]	0,57
$\tilde{C}_{pk}$	[(0,24; 0,67; 1,14), 0,95; 0,22]	0,54
$\tilde{C}_{pm}$	[(0,27; 0,59; 1,09), 0,90; 0,22]	0,43
$\tilde{C}_{pmk}$	[(0,14; 0,47; 1,01), 0,92; 0,22]	0,37
SL	PYN	Kesin D.
$\tilde{C}_p$	[(0,32; 0,67; 1,05; 1,48), 0,90; 0,22]	0,59
$\tilde{C}_{pk}$	[(0,16; 0,58; 1,05; 1,57), 0,90; 0,22]	0,56
$\tilde{C}_{pm}$	[(0,16; 0,42; 0,83; 1,43), 0,90; 0,22]	0,48
$\tilde{C}_{pmk}$	[(0,08; 0,36; 0,83; 1,52); 0,90; 0,22]	0,47

7.1.4.4 Min-Max Yöntemiyle Süreç Parametrelerinin Esnek Pisagor Bulanık Sayı Olma Durumu

Süreç parametrelerinin esnek PBS olması durumunda Min-Max yöntemi kullanılarak önerilen esnek PBSYİ'nin performansı örnek bir uygulamayla değerlendirilmiştir. Dişlinin esnek PÜB olarak spesifikasyon limitleri (SL), ortalama ($\tilde{\mu}_p$), varyans ($\tilde{\sigma}^2$) ve hedef değer ($\tilde{T}$) parametreleri

$$\tilde{ASL} = [(9,20; 9,40; 9,60), (9,10; 9,40; 9,70); 0,90; 0,22],$$

$$\tilde{ÜSL} = [(10,20; 10,40; 10,60), (10,10; 10,40; 10,70); 0,98; 0,05],$$

$$\tilde{\mu}_p = [(9,95; 10,00; 10,05), (9,93; 10,00; 10,07); 0,95; 0,10],$$

$$\tilde{\sigma} = [(0,19; 0,20; 0,21), (0,18; 0,20; 0,22); 0,95; 0,22],$$

$$\tilde{T} = [(9,75; 9,80; 9,85), (9,73; 9,80; 9,87); 0,92; 0,15] \text{ şeklinde belirlenmiştir.}$$

Esnek PYB olarak spesifikasyon limitleri (SL), ortalama ($\tilde{\mu}_p$), varyans ($\tilde{\sigma}^2$) ve hedef değer ($\tilde{T}$) parametreleri

$$\tilde{ASL} = [(9,20; 9,40; 9,60; 9,80), (9,15; 9,40; 9,60; 9,85); 0,90; 0,22],$$

$$\tilde{ÜSL} = [(10,20; 10,40; 10,60; 10,80), (10,10; 10,40; 10,60; 10,90); 0,98; 0,05],$$

$$\tilde{\mu}_p = [(9,90; 9,95; 10,00; 10,05), (9,88; 9,95; 10,00; 10,07); 0,95; 0,10],$$

$$\tilde{\sigma} = [(0,18; 0,19; 0,20; 0,21), (0,17; 0,19; 0,20; 0,22); 0,95; 0,22],$$

$$\tilde{T} = [(9,70; 9,75; 9,80; 9,85), (9,68; 9,75; 9,80; 9,87); 0,92; 0,15]$$

şeklinde belirlenmiştir. Min-Max yöntemiyle esnek PÜB olarak $\tilde{C}_p$, $\tilde{C}_{pk}$, $\tilde{C}_{pm}$ ve $\tilde{C}_{pmk}$ indeksleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\tilde{C}_p = \left[\left(\frac{10,20-9,60}{6x0,21}, \frac{10,40-9,40}{6x0,20}, \frac{10,60-9,20}{6x0,19} \right), \left(\frac{10,10-9,70}{6x0,22}, \frac{10,40-9,40}{6x0,20}, \frac{10,70-9,10}{6x0,18} \right); \right. \\ \left. \min\{\min\{0,98; 0,90\}, 0,95\}, \max\{\max\{0,05; 0,22\}, 0,22\} \right]$$

$$\tilde{C}_p = [(0,48; 0,83; 1,23), (0,30; 0,83; 1,48); 0,90; 0,22].$$

$$\tilde{C}_{pk} = \min \left\{ \left[\left(\frac{9,95-9,60}{3x0,21}, \frac{10,00-9,40}{3x0,20}, \frac{10,05-9,20}{3x0,19} \right), \left(\frac{9,93-9,70}{3x0,22}, \frac{10,00-9,40}{3x0,20}, \frac{10,07-9,10}{3x0,18} \right); \right. \right. \\ \left. \min\{\min\{0,95; 0,90\}, 0,95\}, \max\{\max\{0,10; 0,22\}, 0,22\} \right]; \\ \left[\left(\frac{10,20-10,05}{3x0,21}, \frac{10,40-10,00}{3x0,20}, \frac{10,60-9,95}{3x0,19} \right), \left(\frac{10,10-10,07}{3x0,22}, \frac{10,40-10,00}{3x0,20}, \frac{10,70-9,93}{3x0,18} \right); \right. \\ \left. \min\{\min\{0,98; 0,95\}, 0,95\}, \max\{\max\{0,05; 0,10\}, 0,22\} \right] \right\}$$

$$\tilde{C}_{pk} = \min \left\{ [(0,56; 1,00; 1,49), (0,35; 1,00; 1,80); 0,90; 0,22]; \right. \\ \left. [(0,24; 0,67; 1,14), (0,05; 0,67; 1,43); 0,95; 0,22] \right\}$$

$$\tilde{C}_{pk} = [(0,24; 0,67; 1,14), (0,05; 0,67; 1,43); 0,95; 0,22].$$

$\tilde{C}_{pl}$ ve $\tilde{C}_{pu}$ indekslerinin skor değerleri eşitlik 7.97 yardımıyla 0,55 ve 0,44 bulunmuştur. $\tilde{C}_{pu}$ indeksi $\tilde{C}_{pl}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\tilde{C}_{pk}$ indeksi olarak seçilmiştir. Pisagor bulanık $\tilde{C}_{pk}$ indeksi, sürecin yeterliliğinin 0,05'den az 1,43'den fazla olamayacağını ifade etmektedir. Ek olarak, sürecin bu aralıkta olma veya olmama derecesini de verdiği için tüm olasılıkları dikkate alması kalite denetçilerinin süreci analiz ederken her türlü olasılığı göz önünde bulundurarak planlarını yapmasına olanak sağlamaktadır.

$$\tilde{C}_{pm} = \left[\begin{array}{l} \left(\frac{10,20-9,60}{6\sqrt{(0,21)^2+(10,05-9,75)^2}}, \frac{10,40-9,40}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,60-9,20}{6\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,85)^2}} \right), \\ \left(\frac{10,10-9,70}{6\sqrt{(0,22)^2+(10,07-9,73)^2}}, \frac{10,40-9,40}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,70-9,10}{6\sqrt{(0,18)^2+(9,93-9,87)^2}} \right); \\ \min \{ \min\{0,98; 0,90\}, \min\{0,95, \min\{0,95; 0,92\}\} \}, \\ \max \{ \max\{0,05; 0,22\}, \max\{0,22, \max\{0,10; 0,15\}\} \} \end{array} \right]$$

$$\tilde{C}_{pm} = [(0,27; 0,59; 1,09), (0,16; 0,59; 1,41); 0,90; 0,22].$$

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left\{ \left[\begin{array}{l} \left(\frac{9,95-9,60}{3\sqrt{(0,21)^2+(10,05-9,75)^2}}, \frac{10,00-9,40}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,05-9,20}{3\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,85)^2}} \right), \\ \left(\frac{9,93-9,70}{3\sqrt{(0,22)^2+(10,02-9,73)^2}}, \frac{10,00-9,40}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,07-9,10}{3\sqrt{(0,18)^2+(9,88-9,87)^2}} \right); \\ \min \{ \min\{0,95; 0,90\}, \min\{0,95, \min\{0,95; 0,92\}\} \} \\ \max \{ \max\{0,10; 0,22\}, \max\{0,22, \max\{0,10; 0,15\}\} \} \end{array} \right], \left[\begin{array}{l} \left(\frac{10,20-10,05}{3\sqrt{(0,21)^2+(10,05-9,75)^2}}, \frac{10,40-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,60-9,95}{3\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,85)^2}} \right), \\ \left(\frac{10,10-10,07}{3\sqrt{(0,22)^2+(10,02-9,73)^2}}, \frac{10,40-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,80)^2}}, \frac{10,70-9,93}{3\sqrt{(0,18)^2+(9,88-9,87)^2}} \right); \\ \min \{ \min\{0,98; 0,95\}, \min\{0,95, \min\{0,95; 0,92\}\} \} \\ \max \{ \max\{0,05; 0,10\}, \max\{0,22, \max\{0,10; 0,15\}\} \} \end{array} \right] \right\}$$

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \{ [(0,32; 0,71; 1,32), (0,19; 0,71; 1,70); 0,90; 0,22]; [(0,14; 0,47; 1,01), (0,02; 0,47; 1,35); 0,92; 0,22] \}$$

$$\tilde{C}_{pmk} = [(0,14; 0,47; 1,01), (0,02; 0,47; 1,35); 0,92; 0,22].$$

$\tilde{C}_{pml}$ ve $\tilde{C}_{pmu}$ indekslerinin skor değerleri hesaplanarak 0,54 ve 0,40 bulunmuştur. $\tilde{C}_{pmu}$ indeksi $\tilde{C}_{pml}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\tilde{C}_{pmk}$ indeksi olarak seçilmiştir.

Min-Max yöntemiyle esnek PYB olarak $\tilde{C}_p$, $\tilde{C}_{pk}$, $\tilde{C}_{pm}$ ve $\tilde{C}_{pmk}$ indeksleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\tilde{C}_p = \left[\begin{array}{c} \left(\frac{10,20-9,80}{6x0,21}, \frac{10,40-9,60}{6x0,20}, \frac{10,60-9,40}{6x0,19}, \frac{10,80-9,20}{6x0,18} \right), \\ \left(\frac{10,10-9,85}{6x0,22}, \frac{10,40-9,60}{6x0,20}, \frac{10,60-9,40}{6x0,19}, \frac{10,90-9,15}{6x0,17} \right); \\ \min\{\min\{0,98; 0,90\}, 0,95\}, \max\{\max\{0,05; 0,22\}, 0,22\} \end{array} \right]$$

$$\tilde{C}_p = [(0,32; 0,67; 1,05; 1,48), (0,19; 0,67; 1,05; 1,72); 0,90; 0,22].$$

$$\tilde{C}_{pk} = \min \left\{ \left[\begin{array}{c} \left(\frac{9,90-9,80}{3x0,21}, \frac{9,95-9,60}{3x0,20}, \frac{10,00-9,40}{3x0,19}, \frac{10,05-9,20}{3x0,18} \right), \\ \left(\frac{9,88-9,85}{3x0,22}, \frac{9,95-9,60}{3x0,20}, \frac{10,00-9,40}{3x0,19}, \frac{10,07-9,15}{3x0,17} \right); \\ \min\{\min\{0,95; 0,90\}, 0,95\}, \max\{\max\{0,10; 0,22\}, 0,22\} \end{array} \right]; \right. \\ \left. \left[\begin{array}{c} \left(\frac{10,20-10,05}{3x0,21}, \frac{10,40-10,00}{3x0,20}, \frac{10,60-9,95}{3x0,19}, \frac{10,80-9,90}{3x0,18} \right), \\ \left(\frac{10,10-10,07}{3x0,22}, \frac{10,40-10,00}{3x0,20}, \frac{10,60-9,95}{3x0,19}, \frac{10,90-9,88}{3x0,17} \right); \\ \min\{\min\{0,98; 0,95\}, 0,95\}, \max\{\max\{0,05; 0,10\}, 0,22\} \end{array} \right] \right\}$$

$$\tilde{C}_{pk} = \min \left\{ [(0,16; 0,58; 1,05; 1,57), (0,05; 0,58; 1,05; 1,80); 0,90; 0,22], \right. \\ \left. [(0,24; 0,67; 1,14; 1,67), (0,05; 0,68; 1,14; 2,00); 0,95; 0,22] \right\}$$

$$\tilde{C}_{pk} = [(0,16; 0,58; 1,05; 1,57), (0,05; 0,58; 1,05; 1,80); 0,90; 0,22].$$

$\tilde{C}_{pl}$ ve $\tilde{C}_{pu}$ indekslerinin skor değerleri eşitlik 7.103 kullanılarak hesaplanmış 0,58 ve 0,75 bulunmuştur. $\tilde{C}_{pl}$ indeksi $\tilde{C}_{pu}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\tilde{C}_{pk}$ indeksi olarak seçilmiştir.

$$\tilde{C}_{pm} = \left[\begin{array}{c} \left(\frac{10,20-9,80}{6\sqrt{(0,21)^2+(10,05-9,70)^2}}, \frac{10,40-9,60}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,75)^2}}, \right. \\ \left. \frac{10,60-9,40}{6\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,80)^2}}, \frac{10,80-9,20}{6\sqrt{(0,18)^2+(9,90-9,85)^2}} \right), \\ \left(\frac{10,10-9,85}{6\sqrt{(0,22)^2+(10,07-9,68)^2}}, \frac{10,40-9,60}{6\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,75)^2}}, \right. \\ \left. \frac{10,60-9,40}{6\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,80)^2}}, \frac{10,90-9,15}{6\sqrt{(0,17)^2+(9,88-9,87)^2}} \right); \\ \min\{\min\{0,98; 0,90\}, \min\{0,95, \min\{0,95; 0,92\}\}\}, \\ \max\{\max\{0,05; 0,22\}, \max\{0,22, \max\{0,10; 0,15\}\}\} \end{array} \right]$$

$$\tilde{C}_{pm} = [(0,16; 0,42; 0,83; 1,43), (0,09; 0,42; 0,83; 1,71); 0,90; 0,22].$$

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \left(\begin{array}{l} \frac{9,90-9,80}{3\sqrt{(0,21)^2+(10,05-9,70)^2}}, \frac{9,95-9,60}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,75)^2}}, \\ \frac{10,00-9,40}{3\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,80)^2}}, \frac{10,05-9,20}{3\sqrt{(0,18)^2+(9,90-9,85)^2}} \end{array} \right), \\ \left(\begin{array}{l} \frac{9,88-9,85}{3\sqrt{(0,22)^2+(10,07-9,68)^2}}, \frac{9,95-9,60}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,75)^2}}, \\ \frac{10,00-9,40}{3\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,80)^2}}, \frac{10,07-9,15}{3\sqrt{(0,17)^2+(9,88-9,87)^2}} \end{array} \right); \\ \min \{ \min \{ 0,95; 0,90 \}, \min \{ 0,95, \min \{ 0,95; 0,92 \} \} \} \\ \max \{ \max \{ 0,10; 0,22 \}, \max \{ 0,22, \max \{ 0,10; 0,15 \} \} \} \end{array} \right\};$$

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \left(\begin{array}{l} \frac{10,20-10,05}{3\sqrt{(0,21)^2+(10,05-9,70)^2}}, \frac{10,40-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,75)^2}}, \\ \frac{10,60-9,95}{3\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,80)^2}}, \frac{10,80-9,90}{3\sqrt{(0,18)^2+(9,90-9,85)^2}} \end{array} \right), \\ \left(\begin{array}{l} \frac{10,10-10,07}{3\sqrt{(0,22)^2+(10,07-9,68)^2}}, \frac{10,40-10,00}{3\sqrt{(0,20)^2+(10,00-9,75)^2}}, \\ \frac{10,60-9,95}{3\sqrt{(0,19)^2+(9,95-9,80)^2}}, \frac{10,90-9,88}{3\sqrt{(0,17)^2+(9,88-9,87)^2}} \end{array} \right); \\ \min \{ \min \{ 0,98; 0,95 \}, \min \{ 0,95, \min \{ 0,95; 0,92 \} \} \} \\ \max \{ \max \{ 0,05; 0,10 \}, \max \{ 0,22, \max \{ 0,10; 0,15 \} \} \} \end{array} \right\};$$

$$\tilde{C}_{pmk} = \min \{ [(0,08; 0,36; 0,83; 1,52), (0,02; 0,36; 0,83; 1,80); 0,90; 0,22], \\ [(0,12; 0,42; 0,90; 1,61), (0,02; 0,42; 0,90; 2,00); 0,92; 0,22] \}$$

$$\tilde{C}_{pmk} = [(0,08; 0,36; 0,83; 1,52), (0,02; 0,36; 0,83; 1,80); 0,90; 0,22].$$

$\tilde{C}_{pml}$ ve $\tilde{C}_{pmu}$ indekslerinin skor değerleri 0,42 ve 0,40 bulunmuştur. $\tilde{C}_{pml}$ indeksi $\tilde{C}_{pmu}$ indeksinden daha küçük olduğu için $\tilde{C}_{pmk}$ indeksi olarak seçilmiştir. Benzer yorumlar yapılabilmektedir. Tablo 7.4'de süreç parametrelerinin esnek PBS olması durumunda Min-Max yöntemiyle elde edilen PBSYİ değerleri özet olarak verilmiştir.

Tablo 7.4 Min-Max yöntemiyle esnek PBS olarak elde edilen PBSYİ değerleri

SL	Esnek PÜB	Kesin D.
$\tilde{C}_p$	[(0,48; 0,83; 1,23), (0,30; 0,83; 1,48); 0,90; 0,22]	0,57
$\tilde{C}_{pk}$	[(0,24; 0,67; 1,14), (0,05; 0,67; 1,43); 0,95; 0,22]	0,55
$\tilde{C}_{pm}$	[(0,27; 0,59; 1,09), (0,16; 0,59; 1,41); 0,90; 0,22]	0,44
$\tilde{C}_{pmk}$	[(0,14; 0,47; 1,01), (0,02; 0,47; 1,35); 0,92; 0,22]	0,40
SL	Esnek PYN	Kesin D.
$\tilde{C}_p$	[(0,32; 0,67; 1,05; 1,48), (0,19; 0,67; 1,05; 1,72); 0,90; 0,22]	0,60
$\tilde{C}_{pk}$	[(0,16; 0,58; 1,05; 1,57), (0,05; 0,58; 1,05; 1,80); 0,90; 0,22]	0,58
$\tilde{C}_{pm}$	[(0,16; 0,42; 0,83; 1,43), (0,09; 0,42; 0,83; 1,71); 0,90; 0,22]	0,49
$\tilde{C}_{pmk}$	[(0,08; 0,36; 0,83; 1,52), (0,02; 0,36; 0,83; 1,80); 0,90; 0,22]	0,49

7.1.5 Pisagor Bulanık Süreç Yeterlilik İndekslerinin Değerlendirilmesi

PBK'nin üye olma ve üye olmama fonksiyonları sayesinde geleneksel bulanık kümelerle yapılan SYA'ya kıyasla sürecin yeterliliği hakkında daha ayrıntılı bilgi sahibi olabileceğimiz görülmüştür. Sürecin analiz edilmesinde kalite denetçilerine esneklik sağlamaktadır. Uygulama çalışmasından elde edilen sonuçlar PBSYI'nin tanımlamasında üye olmama derecesinin kritik önemde olduğunu göstermektedir. Bu sebeple, gerçek hayat problemlerindeki belirsizliğin modellenmesinde de başarılı olduğu görülmektedir. PBK'nin sürecin yeterliliğini analiz etmede etkili sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Literatürde geliştirilen aritmetik operatörler ve skor fonksiyonlarının PBK için oldukça önemli olduğu da analiz edilmiştir.



8.1 Literatüre Katkı

Süreç yeterlilik analizi (SYA), müşterinin taleplerini karşılayabilmek için sürecin yeterliliğini ölçen istatistiksel bir yöntemdir. Bir ürünün üretilme süreci, hammadde temininden başlayarak nihai ürün oluşumuna kadar birçok aşamadan geçmektedir. Kalite denetçilerinin süreç tamamlandıktan sonra inceledikleri numunelerde hata bulması büyük maliyetlere sebebiyet vermektedir. Bunun olmaması için sürecin düzenli olarak kontrol edilmesi, süreçteki değişkenliklerin fark edilip değişkenliğe neden olan sebeplerin ortadan kaldırılması gerekmektedir. SYA, süreçte içerisinde meydana gelen değişkenliği ele almaktadır. Sürecin kontrol altında olup olmadığının analizi kontrol diyagramları ile yapılmaktadır. Kontrol diyagramları sayesinde süreçte yer alan kontrol dışı noktalar açıkça görülmektedir. Kontrol altında olmayan süreçlerin yeterliliği hakkında doğru yorumlamalar yapılamamaktadır. Kontrol altına alınmayan süreçlerde parametreler de sabit değildir. SYA'nın yapılabilmesi için sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olması gerekmektedir. Üretim süreçlerinin hassasiyeti veya kontrolör faktörlerinden kaynaklı ölçüm hatalarının olması spesifikasyon limitlerinin kalite denetçileri tarafından belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Süreçten elde edilen veriler belirsizlik içerebileceğinden klasik yöntemler SYA üzerinde etkili sonuçlar veremeyebilir. Bu sebeple, bulanık küme uzantılarının daha esnek ve kolay uygulanabilir olması süreç yeterliliğinin analiz edilmesinde oldukça önemlidir. Belirsizlik altında ve uzmanların değerlendirme yaparken kararsız kaldığı durumlarda bulanık küme uzantılarının başarılı sonuçlar vermesi, sürecin yeterliliğinin analiz edilmesinde de daha doğru ve gerçekçi bilgiler edinmemizi sağlayacaktır.

Literatürde SYA'nın tip-1(geleneksel) bulanık kümeler yardımıyla sıkça incelendiği fakat bulanık kümelerin uzantılarıyla yapılan çalışmaların çok sınırlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışma kapsamında, literatürdeki eksikliğin giderilebilmesi için nütrosifik kümeler (NK) ve Pisagor bulanık kümeler (PBK) kullanılarak SYA incelenmiştir. NK'nin farklı formlarda tanımlanabilmesinin sağladığı esneklik kullanılarak spesifikasyon limitlerinin nütrosifik olma durumu ele alınmıştır. Spesifikasyon limitlerinin esnek olması, gerçek hayat problemlerine uygulanabilirliği kolaylaştırmaktadır. Farklı formlardaki TDN spesifikasyon limitleriyle NSYİ geliştirilmiş ve performansları analiz edilmiştir. NSYİ'nin asimetric görünümüleri de tez çalışmasına dâhil edilerek tezin zenginleştirilmesi sağlanmıştır. Süreç yeterlilik analizinde kullanmak üzere önerilen NSYİ üzerine örnek bir uygulama çalışması yapılarak SYA'nın daha iyi anlaşılması sağlanmıştır. NK'nin avantajlarından yararlanılarak sürecin spesifikasyon limitleri dışında olma olasılığı incelenmiştir. NK'nin üç üyelik fonksiyonuyla belirsizliği modellemedeki başarısı da değerlendirilerek SYİ'lerin etkinliği ve performansı attırılmıştır. Diğer bulanık küme uzantıları kullanılarak SYİ'nin analiz edilmesinin yararlı olacağı sonucuna varılmıştır. Bu sebeple, PBK'nin SYA üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. PBK'nin üye olma ve üye olmama dereceleriyle ifade edilmesi, kalite denetçilerinin süreci daha gerçekçi değerlendirmesine olanak sağlayacaktır. Sürecin tek bir üyelik fonksiyonu yerine birden fazla üyelik fonksiyonuyla değerlendirilmesi daha doğru ve daha objektif sonuçlar elde etmemizi sağlayacaktır. Süreç parametrelerinin Pisagor olma durumları ele alınarak PBSYİ geliştirilmiştir. Süreç parametrelerinin PBS ile ele alınması sürece daha fazla hassasiyet kazandırmaktadır. Bu sebeple, PBSYİ'nin performansı değerlendirilirken hassasiyetlik derecesine göre iki yöntem önerilmiştir. SYA'nın değerlendirilmesinde önerilen PBSYİ üzerine örnek bir uygulama çalışması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, bulanık küme uzantılarının SYA'ya daha fazla esneklik ve daha fazla hassasiyet kazandırdığını göstermektedir. Aynı zamanda daha fazla bilgi içeren sonuçlar vermesine de katkıda bulunmuştur. Bulanık küme uzantılarının tanımlanmasındaki üyelik derecelerinin SYA üzerinde ne kadar önemli olduğu sonucuna da varılmıştır.

Gelecek çalışma olarak, bulanık küme uzantılarının farklı SYİ üzerindeki etkileri analiz edilebilir ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir. Farklı bulanık küme uzantılarının SYA'ya etkileri değerlendirilebilir. Sürecin normal dağılım göstermediği durumlarda bulanık küme uzantıları incelenebilir. Literatürde yer alan farklı skor fonksiyonları ile karşılaştırma yapılarak hangi skor fonksiyonunun daha iyi sonuçlar verdiği hesaplanabilir. Elde edilen sonuçların nasıl daha hızlı üretilebileceğine dair karar destek sistemi geliştirilebilir. Hizmet sektörüne de bulanık küme uzantıları uygulanabilir.



- [1] M. Albing, *Process capability analysis with focus on indices for one-sided specification limits*, Sweden: Doctoral dissertation, Luleå University of Technology, 2006.
- [2] İ. Kaya ve M. Çolak, «A literature review on fuzzy process capability analysis,» *Journal of Testing and Evaluation*, cilt 48, no. 5, pp. 3963-3985, 2020.
- [3] S. Yalçın ve İ. Kaya, «Design and analysis of process capability indices Cpm and Cpmk by neutrosophic sets,» *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, cilt 19, no. 1, pp. 13-30, 2022.
- [4] S. M. Chen ve T. M. Hung, «What can fuzziness do for capability analysis based on fuzzy data,» *Scientia Iranica*, cilt 28, no. 2, pp. 1049-1064, 2021.
- [5] E. Haktanır ve C. Kahraman, «Design for six sigma and process capability using pentagorean fuzzy sets,» *Intelligent and Fuzzy Techniques: Smart and Innovative Solutions. INFUS 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer, Cham, 2020.
- [6] E. Haktanır ve C. Kahraman, «Process design and capability analysis using pentagorean fuzzy sets: surgical mask production machines comparison,» *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, cilt 42, no. 1, pp. 477-489, 2022.
- [7] M. Aslam ve M. Albassam, «Inspection plan based on the process capability index using the neutrosophic statistical method,» *Mathematics*, cilt 7(7), no. 631, pp. 1-10, 2019.

- [8] G. Hesamian ve M. G. Akbari, «A process capability index for normal random variable with intuitionistic fuzzy information,» *Operational Research*, cilt 21, no. 2, pp. 951-964, 2021.
- [9] C. Kahraman, A. Parchami, S. Cevik Onar ve B. Oztaysi, «Process capability analysis using intuitionistic fuzzy sets,» *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, cilt 32, no. 3, pp. 1659-1671, 2017.
- [10] A. Parchami, S. Ç. Onar, B. Öztayşı ve K. Kahraman, «Process capability analysis using interval type-2 fuzzy sets,» *International Journal of Computational Intelligence Systems*, cilt 10, no. 1, pp. 721-733, 2017.
- [11] Y. Cao, Z. Wu, T. Liu, Z. Gao ve J. Yang, «Multivariate process capability evaluation of cloud manufacturing resource based on intuitionistic fuzzy set,» *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, cilt 84, no. (1-4), pp. 227-237, 2016.
- [12] O. Senvar ve C. Kahraman, «Type-2 fuzzy process capability indices for non-normal processes,» *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, cilt 27, no. 2, p. 769–781, 2014.
- [13] İ. H. Altaş, «Bulanık mantık: Bulanıklık kavramı,» *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, cilt 62, pp. 80-85, 1999.
- [14] A. Organ ve M. D. Kenger, «Bulanık analitik hiyerarşi süreci ve mortgage banka kredisi seçim problemine uygulanması,» *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, cilt 5, no. 2, pp. 119-135, 2012.
- [15] E. Aytaç, «Kalite kontrolde bulanık mantık yaklaşımı ve bir uygulama,» Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli, 2006.
- [16] L. A. Zadeh, «Fuzzy sets,» *Information and Control*, cilt 8, no. 3, pp. 338-353, 1965.

- [17] T. Paksoy, N. Y. Pehlivan ve E. Özceylan, Bulanık küme teorisi, Ankara: Nobel Yayın, 2013.
- [18] N. Karakaşoğlu, «Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ve uygulama,» Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli, 2008.
- [19] E. Çakır, «Bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinin altı sigma projeleri seçiminde uygulanması,» Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aydın, 2015.
- [20] A. Tuş, «Bulanık doğrusal programlama ve bir üretim planlamasında uygulama örneği,» Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli, 2006.
- [21] İ. H. Özdamar, «Bulanık istatistiksel kalite kontrolü ve bir orman endüstrisi işletmesinde uygulama,» Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta, 2006.
- [22] T. J. Ross, Fuzzy logic with engineering applications, UK: John Wiley & Sons, 2005.
- [23] B. Gülcan, «Bulanık doğrusal programlama ve bir bisküvi işletmesinde optimum ürün formülü oluşturma,» Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Karaman, 2012.
- [24] P. Güçlü, «Tedarik zinciri modelleme problemine bulanık hedef programlama yaklaşımı ve bir uygulama,» Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, 2011.
- [25] H. J. Zimmermann, Fuzzy set theory—and its applications, Springer Science & Business Media, 2011.

- [26] E. Massad, N. Ortega, L. de Barros ve C. Struchiner, «Basic concepts of fuzzy sets theory. In: Fuzzy Logic in Action: Applications in Epidemiology and Beyond,» *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, cilt 232, pp. 11-40, 2008.
- [27] K. H. Lee, «First course on fuzzy theory and applications,» *Advances in Intelligent and Soft Computing*, cilt 27, pp. 1-348, 2004.
- [28] R. E. Giachetti ve R. E. Young, «A parametric representation of fuzzy numbers and their arithmetic operators,» *Fuzzy Sets and Systems*, cilt 91, no. 2, pp. 185-202, 1997.
- [29] D. Samanta, «Chapter 3 fuzzy membership function formulation and parameterization,» India, Indian Institute of Technology Kharagpur, 2018, pp. 1-10.
- [30] M. Suneel, K. K. Rao, M. Lavanya ve M. S. Sasanka, «Fuzzy enhancement technique using S-membership function in medical applications,» *International Journal of Electronic and Communication Engineering (IJECE)*, cilt 2, no. 2, pp. 121-126, 2013.
- [31] T. J. Ross, «Membership functions, fuzzification and defuzzification,» *In: Szczepaniak P.S., Lisboa P.J.G., Kacprzyk J. (eds) Fuzzy Systems in Medicine. Studies in Fuzziness and Soft Computing*, cilt 41, Physica, Heidelberg, 2000, pp. 48-77.
- [32] S. Sivanandam, S. Sumathi ve S. N. Deepa, Introduction to fuzzy logic using MATLAB, Berlin Heidelberg: Springer, 2007.
- [33] İ. Kaya, «Altı sigma yaklaşımında bulanık süreç yeterliliği analizleri,» İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.

- [34] S. Çimen, «Servis ve yedek parça satışı gerçekleştiren bir hizmet işletmesinin satış sürecinde altı sigma metodu ve bir uygulama,» Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2008.
- [35] Z. Sönmez, «Altı sigma metodolojisi ile süreç iyileştirme ve hizmet sektöründe bir uygulama,» İstanbul Kültür Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2013.
- [36] Y. H. Hou, X. Liang ve X. Y. Mu, «AUV hull lines optimization with uncertainty parameters based on six sigma reliability design,» *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, cilt 10, no. 4, pp. 499-507, 2018.
- [37] V. Arslan, «Bakır konsantre tesislerinde kontrol kartlarının ve çok boyutlu ölçekleme analizinin uygulanması,» *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, cilt 32, no. 1, pp. 99-108, 2017.
- [38] L. J. Porter ve J. S. Oakland, «Process capability indices-an overview of theory and practice,» *Quality and Reliability Engineering International*, cilt 7, no. 6, pp. 437-448, 1991.
- [39] M. S. Can, Ö. F. Özgüven ve H. Arpacı, «Adaptive PID controller design with 6 sigma process capability index,» *Journal of New Results in Engineering and Natural Science*, cilt 8, pp. 84-99, 2018.
- [40] S. Y. Uğurlu, «Yolculuk süresi yeterlilik indeksi ile türler-arası ulaşımda erişim modellemesi,» İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
- [41] V. E. Kane, «Process capability indices,» *Journal of Quality Technology*, cilt 18, no. 1, pp. 41-52, 1986.

- [42] İ. Kaya ve C. Kahraman, «Fuzzy process capability indices with asymmetric tolerances,» *Expert Systems with Applications*, cilt 38, pp. 14882-14890, 2011.
- [43] W. L. Pearn ve S. Kotz, Encyclopedia and handbook of process capability indices: a comprehensive exposition of quality control measures, World Scientific, 2006.
- [44] D. C. Montgomery, Introduction to statistical quality control, New York: John Wiley & Sons, 2009.
- [45] C. C. Tsai ve C. C. Chen, «Making decision to evaluate process capability index C_p with fuzzy numbers,» *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, cilt 30, pp. 334-339, 2006.
- [46] İ. Kaya ve C. Kahraman, «Process capability analyses based on fuzzy measurements and fuzzy control charts,» *Expert Systems with Applications*, cilt 38, no. 4, pp. 3172-3184, 2011.
- [47] H. Soysal ve S. Boran, «Bulanık x-R diyagramları kullanılarak bulanık süreç yeterlilik analizi,» *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, cilt 19, no. 1, pp. 15-26, 2015.
- [48] C. C. Tsai ve C. C. Chen, «Measuring process capability index C_{pk} with fuzzy data,» *Journal of Information and Optimization Sciences*, cilt 27, no. 3, pp. 733-746, 2006.
- [49] T. C. Hsiang ve G. Taguchi, Tutorial on quality control and assurance-the Taguchi methods, In ASA Annual Meeting LA, 1985.
- [50] R. A. Boyles, «The Taguchi capability index,» *Journal of Quality Technology*, cilt 23, no. 1, pp. 17-26, 1991.

- [51] M. Perakis ve E. Xekalaki, «A new method for constructing confidence intervals for the index Cpm,» *Quality and Reliability Engineering International*, cilt 20, no. 7, pp. 651-665, 2004.
- [52] W. L. Pearn, S. Kotz ve N. L. Johnson, «Distributional and inferential properties of process capability indices,» *Journal of Quality Technology*, cilt 24, p. 216-231, 1992.
- [53] S. M. Chen ve N. F. Hsu, «The asymptotic distribution of the process capability index Cpmk,» *Communications in Statistics: Theory and Methods*, cilt 24, no. 5, pp. 1270-1291, 1995.
- [54] M. Z. Anis, «Basic process capability indices: An expository review,» *International Statistical Review.*, cilt 76, no. 3, pp. 347-367, 2008.
- [55] B. M. Hsu, M. H. Shu ve W. L. Pearn, «Measuring process capability based on Cpmk with gauge measurement errors,» *Quality and Reliability Engineering International*, cilt 23, no. 5, pp. 597-614, 2007.
- [56] W. L. Pearn, G. H. Lin ve K. S. Chen, «Distributional and inferential properties of the process accuracy and process precision indices,» *Communications in Statistics: Theory and Methods*, cilt 27, no. 4, pp. 985-1000, 1998.
- [57] M. Greenwich ve B. L. Jahr-Schaffrath, «A process incapability index,» *International Journal of Quality and Reliability Management*, cilt 12, no. 4, pp. 58-71, 1995.
- [58] L. K. Chan, S. W. Cheng ve F. A. Spiring, «A new measure of process capability:Cpm,» *Journal of Quality Technology*, cilt 20, no. 3, pp. 162-175, 1988.

- [59] W. L. Pearn ve G. H. Lin, «On the reliability of the estimated incapability index,» *Quality and Reliability Engineering International*, cilt 17, no. 4, pp. 279-290, 2001.
- [60] İ. Kaya, «The process incapability index under fuzziness with an application for decision making,» *International Journal of computational intelligence systems*, cilt 7, no. 1, pp. 114-128, 2014.
- [61] İ. Kaya ve C. Kahraman, «A new perspective on fuzzy process capability indices: Robustness,» *Expert systems with applications*, cilt 37, no. 6, pp. 4593-4600, 2010.
- [62] X. Yan ve X. Su, *Linear regression analysis: theory and computing*, World Scientific, 2009.
- [63] S. Prasad ve T. Bramorski, «Robust process capability indices,» *Omega*, cilt 26, no. 3, pp. 425-435, 1998.
- [64] S. A. Darestani, N. Ghane, M. Ismail ve A. M. Tadi, «Developing fuzzy tool capability measurement system analysis,» *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, cilt 14, no. 1, pp. 79-92, 2021.
- [65] Z. A. Ganji ve B. S. Gildeh, «Fuzzy process capability indices for simple linear profile,» *Journal of Applied Statistics*, cilt 47, no. 12, pp. 2136-2158, 2020.
- [66] G. Hesamian, M. G. Akbari ve R. Yaghoobpoor, «Quality control process based on fuzzy random variables,» *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, cilt 27, no. 4, pp. 671-685, 2019.
- [67] F. Momeni, B. S. Gildeh ve G. Hesamian, «Fuzzy nonparametric estimation of capability index Cpk,» *Soft Computing*, cilt 23, no. 20, pp. 10485-10494, 2019.

- [68] G. Hesamian ve M. G. Akbari, «Fuzzy process capability indices based on imprecise observations induced from non-normal distributions,» *Computational and Applied Mathematics*, cilt 37, no. 5, pp. 5715-5726, 2018.
- [69] M. L. A. Sierra, M. C. Flórez, J. M. C. Flórez ve A. L. F. Rendón, «Optimal estimation of process capability indices with non-normal data and inaccurate parameters using metaheuristics,» *Calitatea*, cilt 18, no. 161, pp. 73-79, 2017.
- [70] S. A. Darestani ve M. Nasiri, «Statistical process control: Fuzzy X-S control chart and process capability indices in normal data environment,» *Journal of Quality & Reliability Management*, cilt 33, no. 1, pp. 2-24, 2016.
- [71] H. S. Bidabadi, D. Shishebori ve A. A. Yazdi, «Multivariate process incapability index considering measurement error in fuzzy environment,» *Advances in Industrial Engineering*, cilt 54, no. 2, pp. 205-220, 2020.
- [72] Z. A. Ganji ve B. S. Gildeh, «A new fuzzy process capability index for asymmetric tolerance interval,» *International Journal of Fuzzy System Applications (IJFSA)*, cilt 6, no. 3, pp. 74-104, 2017.
- [73] Z. Sheng ve L. Cheng, «Method to construct the confidence intervals for process capability indices based on fuzzy set theory,» *In 2016 3rd International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE)*, 2016.
- [74] Z. A. Ganji ve B. S. Gildeh, «On the multivariate process capability vector in fuzzy environment,» *Iranian Journal of fuzzy systems*, cilt 13, no. 5, pp. 147-159, 2016.

- [75] Z. A. Ganji ve B. S. Gildeh, «Assessing process performance with incapability index based on fuzzy critical value,» *Iranian Journal of fuzzy systems*, cilt 13, no. 5, pp. 21–34, 2016.
- [76] Z. A. Ganji ve B. S. Gildeh, «Fuzzy multivariate process capability vector,» *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, cilt 30, no. 2, pp. 1007-1017, 2016.
- [77] M. Abdolshah, «Measuring loss-based process capability index Le and its Le 'generation with fuzzy numbers,» *Mathematical problems in engineering*, pp. 8p, 2015.
- [78] A. Parchami, «Testing fuzzy quality in engineering management,» *In Intelligent Techniques in Engineering Management*, Cham, Switzerland, 2015.
- [79] Z. A. Ganji ve S. B. Gildeh, «On the fuzzy multivariate process capability vector,» %1 içinde *Presented at the Fourth Iranian Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems, Zahedan, Iran, Sep. 9–11, 2015*, IEEE, Piscataway, NJ, 2015.
- [80] A. Parchami, S. B. Gildeh, M. Nourbakhsh ve M. Mashinchi, «A new generation of process capability indices based on fuzzy measurements,» *Journal of Applied Statistics*, cilt 41, no. 5, pp. 1122-1136, 2014.
- [81] O. Senvar ve C. Kahraman, «Fuzzy process capability indices using Clements' method for non-normal processes,» *Journal of Multiple-Valued Logic & Soft Computing*, cilt 22, no. 1-2, pp. 95-121, 2014.
- [82] C. W. Wu, M. Y. Liao ve C. Y. Lin, «On ranking multiple touch-screen panel suppliers through the CTQ: applied fuzzy techniques for inspection with unavoidable measurement errors,» *Neural Computing and Applications*, cilt 25, no. 2, pp. 481-490, 2014.

- [83] R. Keshavarzi ve M. H. Abooei, «Performance evaluation of continuous production process by trapezoidal fuzzy process capability indices,» *International Journal of Process Management and Benchmarking*, cilt 3, no. 3, pp. 371-385, 2013.
- [84] M. Abdolshah, «A fuzzy Taguchi loss-based process capability index,» *International Journal of Quality Engineering and Technology*, cilt 3, no. 4, pp. 303-318, 2013.
- [85] A. Parchami ve M. Mashinchi, «Confidence interval of generalized Taguchi index,» *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, cilt 25, no. 3, pp. 577-585, 2013.
- [86] D. Grau, «Measuring process capability index $C^2_p(u, v)$ for fuzzy data and fuzzy requirements,» *International Journal of Quality Engineering and Technology*, cilt 3, no. 4, pp. 273-288, 2013.
- [87] I. Kaya ve H. Baracli, «Fuzzy process incapability index with asymmetric tolerances,» *Journal of Multiple-Valued Logic & Soft Computing*, cilt 18, no. 5-6, pp. 493-511, 2012.
- [88] M. H. Shu ve H. C. Wu, «Manufacturing process performance evaluation for fuzzy data based on loss-based capability index,» *Soft Computing*, cilt 16, no. 1, pp. 89-99, 2012.
- [89] S. Khodaygan ve M. R. Movahhedy, «Fuzzy-based analysis of process capability for assembly quality assessment in mechanical assemblies,» *Journal of production research*, cilt 50, no. 12, pp. 3395-3415, 2012.
- [90] B. S. Gildeh ve V. Moradi, «Fuzzy tolerance region and process capability analysis,» *In Fuzzy engineering and operations research*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2012.

- [91] B. Gildeh ve S. Asghari, «Confidence interval for Cpm based on Dp,q distance,» *Journal of Mathematics and Statistics*, cilt 8, no. 1, pp. 114-121, 2012.
- [92] B. S. Gildeh ve S. Asghari, «Inertial capability index based on fuzzy data,» *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, cilt 2, no. 1, pp. 45-49, 2011.
- [93] İ. Kaya, «Fuzzy estimations of process incapability index,» *Presented at the Seventh Research/Expert Conference with International Participation, Quality 2011*, Neum, Bosnia and Herzegovina, June 1–4, 2011, 2011.
- [94] İ. Kaya ve C. Kahraman, «Fuzzy process capability indices with asymmetric tolerances,» *Expert Systems with Applications*, cilt 38, no. 12, pp. 14882-14890, 2011.
- [95] K. Zhao, «Process control of minimax based on the process target and on process capability index, in fuzzy environment,» *In 2011 Eighth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, 2011.
- [96] A. Parchami, M. Mashinchi ve M. H. Mashinchi, «Approximate confidence interval for generalized Taguchi process capability index,» *IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2011)*, 2011.
- [97] I. Kaya ve C. Kahraman, «Process capability analyses with fuzzy parameters,» *Expert systems with applications*, cilt 38, no. 9, pp. 11918-11927, 2011.
- [98] M. Abdolshah, R. M. Yusuff, T. S. Hong, M. Y. Ismail ve A. N. Sadigh, «Measuring process capability index Cpmk with fuzzy data and compare it

- with other fuzzy process capability indices,» *Expert Systems with Applications*, cilt 38, no. 6, pp. 6452-6457, 2011.
- [99] S. Ugurlu ve I. Kaya, «A new reliability index based on fuzzy process capability index for travel time in multimodal networks,» *International Journal of Computational Intelligence Systems*, cilt 4, no. 4, pp. 550-565, 2011.
- [100] İ. Kaya ve C. Kahraman, «A new tool for risk assessment of air pollution: Fuzzy process capability indices,» *Human and Ecological Risk Assessment*, cilt 17, no. 3, pp. 613-630, 2011.
- [101] İ. Kaya ve C. Kahraman, «Process capability analyses based on fuzzy measurements and fuzzy control charts,» *Expert systems with applications*, cilt 38, no. 4, pp. 3172-3184, 2011.
- [102] Z. Ramezani, A. Parchami ve M. Mashinchi, «Fuzzy confidence regions for the Taguchi capability index,» *International Journal of Systems Science*, cilt 42, no. 6, pp. 977-987, 2011.
- [103] C. Kahraman ve İ. Kaya, «Fuzzy estimations of process incapability index,» *Presented at the World Congress on Engineering, London, UK, July 6–8, 2011, International Association of Engineers*, Kowloon, Hong Kong, 2011.
- [104] C. Kahraman, İ. Kaya ve S. Cebi, «A process capability index with asymmetric tolerances under fuzzy environment,» *In 2010 IEEE International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering*, 2010.
- [105] M. Y. Liao ve C. W. Wu, «Evaluating process performance based on the incapability index for measurements with uncertainty,» *Expert Systems with Applications*, cilt 37, no. 8, pp. 5999-6006, 2010.

- [106] İ. Kaya ve C. Kahraman, «Fuzzy process capability analyses with fuzzy normal distribution,» *Expert Systems with Applications*, cilt 37, no. 7, pp. 5390-5403, 2010.
- [107] C. Kahraman ve İ. Kaya, «Fuzzy process capability analysis and applications,» *In Production Engineering and Management under Fuzziness*, Springer, Berlin, 2010.
- [108] C. C. Chen, C. M. Lai ve H. Y. Nien, «Measuring process capability index Cpm with fuzzy data,» *Quality & Quantity*, cilt 44, no. 3, pp. 529-535, 2010.
- [109] A. Parchami, M. Mashinchi ve A. Sharayei, «An effective approach for measuring the capability of manufacturing processes,» *Production Planning & Control*, cilt 21, no. 3, pp. 250-257, 2010.
- [110] İ. Kaya ve C. Kahraman, «Development of fuzzy process accuracy index for decision making problems,» *Information Sciences*, cilt 180, no. 6, pp. 861-872, 2010.
- [111] A. Parchami ve M. Mashinchi, «A new generation of process capability indices,» *Journal of Applied Statistics*, cilt 37, no. 1, pp. 77-89, 2010.
- [112] M. H. Shu ve H. C. Wu, «Measuring the manufacturing process yield based on fuzzy data,» *International Journal of Production Research*, cilt 48, no. 6, pp. 1627-1638, 2010.
- [113] C. W. Wu, «Decision-making in testing process performance with fuzzy data,» *European Journal of Operational Research*, cilt 193, no. 2, pp. 499-509, 2009.

- [114] C. Kahraman ve İ. Kaya, «Fuzzy process accuracy index to evaluate risk assessment of drought effects in Turkey,» *Human and Ecological Risk Assessment*, cilt 15, no. 4, pp. 789-810, 2009.
- [115] I. Kaya ve C. Kahraman, «Air pollution control using fuzzy process capability indices in the six-sigma approach,» *Human and Ecological Risk Assessment*, cilt 15, no. 4, pp. 689-713, 2009.
- [116] I. Kaya ve C. Kahraman, «Fuzzy process capability analyses: An application to teaching processes,» *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, cilt 19, no. (4-5), pp. 259-272, 2008.
- [117] I. Kaya ve C. Kahraman, «Fuzzy robust process capability indices for risk assessment of air pollution,» *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, cilt 23, no. 4, pp. 529-541, 2009.
- [118] A. Parchami, M. Mashinchi ve V. P. Nia, «A consistent confidence interval for fuzzy capability index,» *Applied and Computational Mathematics*, cilt 7, no. 1, p. 143–161, 2008.
- [119] K. S. Chen ve T. W. Chen, «Multi-process capability plot and fuzzy inference evaluation,» *International Journal of Production Economics*, cilt 111, no. 1, pp. 70-79, 2008.
- [120] B. M. Hsu ve M. H. Shu, «Fuzzy inference to assess manufacturing process capability with imprecise data,» *European Journal of Operational Research*, cilt 186, no. 2, pp. 652-670, 2008.
- [121] A. Parchami ve M. Mashinchi, «Fuzzy estimation for process capability indices,» *Information sciences*, cilt 177, no. 6, pp. 1452-1462, 2007.

- [122] A. Parchami, M. Mashinchi ve H. R. Maleki, «Fuzzy confidence interval for fuzzy process capability index,» *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, cilt 17, no. 3, pp. 287-295, 2006.
- [123] C. C. Tsai ve C. C. Chen, «Making decision to evaluate process capability index C_p with fuzzy numbers,» *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, cilt 30, no. (3-4), pp. 334-339, 2006.
- [124] A. Parchami, M. Mashinchi, A. R. Yavari ve H. R. Maleki, «Process capability indices as fuzzy numbers,» *Austrian Journal of Statistics*, cilt 34, no. 4, pp. 391-402, 2005.
- [125] A. Parchami, M. Mashinchi ve H. R. Maleki, «Confidence interval for fuzzy process capability index,» *WSEAS Transactions on Systems*, cilt 4, no. 5, pp. 546-551, 2005.
- [126] T. W. Chen, J. Y. Lin ve K. S. Chen, «Fuzzy evaluation of process capability for bigger-the-best type products,» *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, cilt 21, no. (10-11), pp. 820-826, 2003.
- [127] T. W. Chen, J. Y. Lin ve K. S. Chen, «Selecting a supplier by fuzzy evaluation of capability indices C_{pm} ,» *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, cilt 22, no. 7, pp. 534-540, 2003.
- [128] H. T. Lee, «Cpk index estimation using fuzzy numbers,» *European Journal of Operational Research*, cilt 129, no. 3, pp. 683-688, 2001.
- [129] Y. H. Lee, C. C. Wei ve C. L. Chang, «Fuzzy design of process tolerances to maximise process capability,» *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, cilt 15, no. 9, pp. 655-659, 1999.
- [130] C. Yongting, «Fuzzy quality and analysis on fuzzy probability,» *Fuzzy Sets Syst*, cilt 83, no. 2, pp. 283-290, 1996.

- [131] B. S. Gildeh ve T. Angoshtari, «Monitoring fuzzy capability index Cpk by using the EWMA control chart with imprecise data,» *Iranian Journal of fuzzy systems*, cilt 10, no. 2, pp. 111-132, 2013.
- [132] F. Kutlu Gündoğdu ve C. Kahraman, «From ordinary fuzzy sets to spherical fuzzy sets,» %1 içinde *In: Kahraman C., Kutlu Gündoğdu F. (eds) Decision Making with Spherical Fuzzy Sets. Studies in Fuzziness and Soft Computing*, cilt 392, Springer, Cham, 2021.
- [133] L. A. Zadeh, «The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning–I,» *Information Sciences*, cilt 8, no. 3, pp. 199-249, 1975.
- [134] İ. U. Sarı, B. Öztayşi ve C. Kahraman, «Fuzzy analytic hierarchy process using type-2 fuzzy sets: An application to warehouse location selection,» *Multicriteria Decision Aid and Artificial Intelligence: Links, Theory and Applications*, New York, John Wiley & Sons, 2013, pp. 285-308.
- [135] S. M. Chen ve L. W. Lee, «Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the interval type-2 TOPSIS method,» *Expert systems with applications*, cilt 37, no. 4, pp. 2790-2798, 2010.
- [136] V. Torra, «Hesitant fuzzy sets,» *International Journal of Intelligent Systems*, cilt 25, no. 6, pp. 529-539, 2010.
- [137] V. Torra ve Y. Narukawa, «On hesitant fuzzy sets and decision,» *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, Korea, 2009.
- [138] Z. Xu ve M. Xia, «Distance and similarity measures for hesitant fuzzy sets,» *Information Sciences*, cilt 181, no. 11, pp. 2128-2138, 2011.

- [139] N. Zhang ve G. Wei, «Extension of VIKOR method for decision making problem based on hesitant fuzzy set,» *Applied Mathematical Modelling*, cilt 37, no. 7, pp. 4938-4947, 2013.
- [140] K. T. Atanassov, «Intuitionistic fuzzy sets,» *Fuzzy sets and systems*, cilt 20, no. 1, p. 87–96, 1986.
- [141] K. T. Atanassov, «Intuitionistic Fuzzy Sets,» *In: Intuitionistic Fuzzy Sets. Studies in Fuzziness and Soft Computing*, Physica, Heidelberg, 1999, pp. 1-137.
- [142] P. Dutta, «Multi-criteria decision making under uncertainty via the operations of generalized intuitionistic fuzzy numbers,» *Granular Computing*, cilt 6, pp. 321-337, 2021.
- [143] D. F. Li, Decision and game theory in management with intuitionistic fuzzy sets, cilt 308, Berlin Heidelberg: Studies in Fuzziness and Soft Computing, Springer, 2014.
- [144] Z. Kheiri ve B. Cao, «Posynomial Geometric Programming with Intuitionistic Fuzzy Coefficients,» *Fuzzy Systems & Operations Research and Management. Advances in Intelligent Systems and Computing* , cilt 367, Springer, Cham, pp. 15–30, 2016.
- [145] R. R. Yager, «Pythagorean fuzzy subsets,» *In Proceedings of the 2013 Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting, IFSA/NAFIPS 2013*, Edmonton, AB, Canada, 2013.
- [146] C. Kahraman, E. Boltürk, S. C. Onar ve B. Oztaysi, «Modeling humanoid robots facial expressions using Pythagorean fuzzy sets,» *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, cilt 39, no. 5, pp. 6507–6515, 2020.

- [147] X. Peng ve Y. Yang, «Some results for Pythagorean fuzzy sets,» *International Journal of Intelligent Systems*, cilt 30, no. 11, pp. 1133–1160, 2015.
- [148] X. Zhang ve Z. Xu, «Extension of TOPSIS to multiple criteria decision making with pythagorean fuzzy sets,» *International Journal of Intelligent Systems*, cilt 29, no. 12, pp. 1061–1078, 2014.
- [149] M. Shakeel, S. Abdululah, M. Shahzad, T. Mahmood ve N. Siddiqui, «Averaging aggregation operators with Pythagorean trapezoidal fuzzy numbers and their application to group decision making,» *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, cilt 36, no. 2, pp. 1899-1915, 2019.
- [150] M. Aghamohagheghi, S. M. Hashemi ve R. Tavakkoli-Moghaddam, «An advanced decision support framework to assess sustainable transport projects using a new uncertainty modeling tool: Interval-valued Pythagorean trapezoidal fuzzy numbers,» *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, cilt 18, no. 1, pp. 53-73, 2021.
- [151] A. Luqman, M. Akram ve J. C. R. Alcantud, «Digraph and matrix approach for risk evaluations under Pythagorean fuzzy information,» *Expert Systems with Applications*, cilt 170, pp. 114518, 2021.
- [152] A. Nagoorgani ve K. Ponnalagu, «A new approach on solving intuitionistic fuzzy linear programming problem,» *Applied Mathematical Sciences*, cilt 6, no. 70, pp. 467-3474, 2012.
- [153] C. Kahraman ve F. K. Gündoğdu, «From 1D to 3D membership: spherical fuzzy sets,» *BOS/SOR2018 conference*, Warsaw, Poland, 2018.
- [154] F. Kutlu Gündoğdu ve C. Kahraman, «Properties and arithmetic operations of spherical fuzzy sets,» *In: Kahraman C., Kutlu Gündoğdu F. (eds)*

Decision Making with Spherical Fuzzy Sets. Studies in Fuzziness and Soft Computing, cilt 392, Springer, Cham, 2021.

- [155] F. Kutlu Gündoğdu ve C. Kahraman, «Spherical fuzzy sets and spherical fuzzy TOPSIS method,» *Journal of intelligent & fuzzy systems*, cilt 36, no. 1, pp. 337-352, 2019.
- [156] F. Smarandache, *A unifying field in logics neutrosophy: Neutrosophic probability, set and logic*, Rehoboth: American Research Press, 1998.
- [157] S. Broumi, M. Talea, A. Bakali, F. Smarandache, D. Nagarajan, M. Lathamaheswari ve M. Parimala, «Shortest path problem in fuzzy, intuitionistic fuzzy and neutrosophic environment: an overview,» *Complex & Intelligent Systems*, cilt 5, no. 4, pp. 371-378, 2019.
- [158] H. Wang, F. Smarandache, Y. Zhang ve R. Sunderraman, «Single Valued Neutrosophic Sets,» *Multispace and Multistructure*, cilt 4, pp. 410-413, 2010.
- [159] I. Deli ve Y. Şubaş, «Single valued neutrosophic numbers and their applications to multicriteria decision making problem,» *Neutrosophic Sets Systems*, cilt 2, no. 1, pp. 1-13, 2014.
- [160] I. Deli ve Y. Şubaş, «A ranking method of single valued neutrosophic numbers and its applications to multi-attribute decision making problems,» *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, cilt 8, pp. 1309-1322, 2017.
- [161] S. Broumi, A. Bakali, M. Talea, F. Smarandache ve L. Vladareanu, «Computation of shortest path problem in a network with SV-triangular neutrosophic numbers,» *IEEE International Conference on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA)*, Gdynia, Poland, 2017.

- [162] J. Ye, «Some weighted aggregation operators of trapezoidal neutrosophic numbers and their multiple attribute decision making method,» *Informatica*, cilt 28, no. 2, pp. 387-402, 2017.
- [163] S. Broumi, A. Bakali, M. Talea, F. Smarandache ve L. Vladareanu, «Computation of shortest path problem in a network with SV-trapezoidal neutrosophic numbers,» *In 2016 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS)*, Melbourne, Australia, 2016.
- [164] I. Deli, «A novel defuzzification method of SV-trapezoidal neutrosophic numbers and multi-attribute decision making: a comparative analysis,» *Soft Computing*, cilt 23, pp. 12529–12545, 2019.
- [165] P. Biswas, S. Pramanik ve B. C. Giri, «Value and ambiguity index based ranking method of single-valued trapezoidal neutrosophic numbers and its application to multi-attribute decision making,» *Neutrosophic Sets Systems*, cilt 12, pp. 127–138, 2016.
- [166] J. Ye, «Trapezoidal neutrosophic set and its application to multiple attribute decision making,» *Neural Comput Applications*, cilt 26, pp. 1157–1166, 2015.
- [167] A. Chakraborty, S. P. Mondal, A. Ahmadian, N. Senu, S. Alam ve S. Salahshour, «Different forms of triangular neutrosophic numbers, de-neutrosophication techniques, and their applications,» *Symmetry*, cilt 10(8), no. 327, pp. 1-27, 2018.
- [168] A. Chakraborty, S. P. Mondal, A. Mahata ve S. Alam, «Different linear and non-linear form of trapezoidal neutrosophic numbers, de-neutrosophication techniques and its application in time-cost optimization technique, sequencing problem,» *RAIRO Operations Research*, cilt 55, pp. S97-S118, 2021.

- [169] B. Mondal, S. Biswas, A. Garai ve T. K. Roy, «Posynomial geometric programming in EOQ Model with interval neutrosophic number,» *In: Castillo O., Jana D., Giri D., Ahmed A. (eds) Recent Advances in Intelligent Information Systems and Applied Mathematics. ICITAM 2019. Studies in Computational Intelligence*, cilt 863, Springer, Cham, 2020, pp. 434-449.
- [170] C. Kahraman, B. Oztaysi ve S. Cevik Onar, «Single & interval-valued neutrosophic AHP methods: Performance analysis of outsourcing law firms,» *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, cilt 38, no. 1, pp. 749-759, 2020.
- [171] M. Zhang, *Novel Approaches to Image Segmentation Based on Neutrosophic Logic*, Logan, Utah: Utah State University, 2010.
- [172] T. T. Allen, *Introduction to engineering statistics and six sigma: statistical quality control and design of experiments and systems*, Berlin/Heidelberg: Springer Science & Business Media, 2006.
- [173] P. Fortemps ve M. Roubens, «Ranking and Defuzzification Methods Based on Area Compensation,» *Fuzzy Sets and Systems*, cilt 82, pp. 319-330, 1996.
- [174] Z. Ramezani, A. Parchami ve M. Mashinchi, «Fuzzy Confidence regions for the Taguchi Index in Fuzzy Process,» *In 7th Iranian Conference on Fuzzy Systems and 8th Conference on Intelligent Systems*, 2007.

Makaleler

1. S. Yalçın ve İ. Kaya, “Design and Analysis of Process Capability Indices Cpm and Cpmk by Neutrosophic Sets”, Iranian Journal of Fuzzy Systems, cilt 19, no. 1, pp. 13-30, 2022.
2. S. Yalçın ve İ. Kaya, “Analyzing of Process Capability Indices based on Neutrosophic Sets”, Computational and Applied Mathematics, (Under Review).

Konferans Bildirileri

1. S. Yalçın ve İ. Kaya, “Effects of Neutrosophic Sets on Potential Process Capability Index”, International Marmara Sciences Congress, Kocaeli, pp. 473-479, June 19-20, 2020.
2. S. Yalçın ve İ. Kaya, ”Derivation of Actual Process Capability Index (Cpk) for Neutrosophic Sets”, International Marmara Sciences Congress, Kocaeli, pp. 465-472, June 19-20, 2020.