

**T.C.**

**BAYBURT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BULANIK MANTIK YARDIMIYLA ÜÇ EKSENLİ BETON BASINÇ  
MODELLERİNİN GÜVENİLİRLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Büşra PÖRGE**

**Mayıs - 2019**

**BAYBURT**



**BULANIK MANTIK YARDIMIYLA ÜÇ EKSENLİ BETON BASINÇ  
MODELLERİNİN GÜVENİLİRLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Büşra PÖRGE**

**Yüksek Lisans Tezi**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Ertekin ÖZTEKİN**

**T.C.**

**BAYBURT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BULANIK MANTIK YARDIMIYLA ÜÇ EKSENLİ BETON BASINÇ  
MODELLERİNİN GÜVENİLİRLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Büşra PÖRGE**

**2019**

**BAYBURT**

**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAY SAYFASI

### BULANIK MANTIK YARDIMIYLA ÜÇ EKSENLİ BETON BASINÇ MODELLERİNİN GÜVENİLİRLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Doç. Dr. Ertekin ÖZTEKİN danışmanlığında, Büşra PÖRGE tarafından hazırlanan bu tez çalışması 30/04/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Ertekin ÖZTEKİN

İmza:



Üye: Doç. Dr. İlker TEKİN

İmza:



Üye: Doç. Dr. Musa ARTAR

İmza:



Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

  
Prof. Dr. Metin UÇURUM

Enstitü Müdür V.

**Not:** Bu tezde kullanılan ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bu çalışmada şahsıma ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

  
Büşra PÖRGE

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### BULANIK MANTIK YARDIMIYLA ÜÇ EKSENLİ BETON BASINÇ MODELLERİNİN GÜVENİLİRLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Büşra PÖRGE

Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ertekin ÖZTEKİN

Üç eksenli beton basınç modelleri, betonun doğrusal olmayan analizlerindeki davranışlarının gerçekçi olarak modellenmesinde kullanılmaktadır. Teknik literatürde birçok matematiksel modele rastlamak mümkündür. Model sayısının fazlalığı, farklı beton dayanım sınıfları ve farklı yanal basınç düzeylerinde doğru model seçiminde tereddütler yaşanmaktadır. Bu nedenle bu modellerin 23 farklı beton dayanım sınıfı ve 5 farklı yanal basınç düzeyinde güvenilirliklerinin araştırılması bu çalışmanın ana amacını oluşturmaktadır. Bu amacı gerçekleştirmek için güvenilirlik çalışmalarında en hassas yaklaşım olan Monte Carlo Simülasyonu kullanılmıştır. Bu Simülasyon için gerekli olan çok sayıda deneysel veri; yapay zekâ yöntemlerinden olan Bulanık Mantık yöntemi vasıtasıyla yapay olarak üretilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen güvenilirlik indeksleri yardımıyla tüm modellere ait güvenilirlikler grafiklerle değerlendirilmiş ve nihayetinde modellerin güvenli olarak kullanılacakları yanal gerilme düzeyi ve beton basınç sınıfları çizelgeler ile verilmiştir.

**2019, 155 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Güvenilirlik, Monte Carlo Simülasyonu, Bulanık Mantık, Beton Basınç Dayanımı, Üç Eksenli Basınç

## ABSTRACT

MS Thesis

### INVESTIGATION OF RELIABILITIES OF THE TRIAXIAL CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH MODELS BY FUZZY LOGIC APPROACH

Büşra PÖRGE

Bayburt University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Ertekin ÖZTEKİN

Triaxial concrete compressive models have been used in the nonlinear analysis modeling of realistic behavior of concrete. It is possible to come across to a lot of mathematical models in the technical literature. Large numbers of models cause hesitations for different concrete strength and/or different lateral compression levels in the model selections. Therefore, investigations of reliabilities of the 25 triaxial concrete compressive models for 23 different concrete strength and 5 different lateral compression levels were determined as the main purpose of this study. In order to perform the reliability analyses, Monte Carlo Simulation was chosen as reliability method because of its accuracy and sensitivity. Great amount of experimental data required for Monte Carlo Simulations were supplied artificially by Fuzzy Logic approach. At the end of reliability analyses, reliability index values were obtained and evaluations were made by graphics. Finally, the reliable usage of the models were determined for combined different concrete strength and different lateral compressive stresses and summarized by tables.

**2019, 155 pages**

**Keywords :** Reliability, Monte Carlo Simulation, Fuzzy Logic, Concrete compressive strength, Triaxial compression

## TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐması Bayburt Üniversitesi (Atatürk Üniversitesi Ortak Programı), Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıŐtır.

Bu alıŐma sırasında desteğini esirgemeyen danıŐmanım, değerli hocam Sayın Doç. Dr. Ertekin ÖZTEKİN'e, ilgi ve alakaları için değerli hocalarım Sayın Doç. Dr. İlker TEKİN ve Doç. Dr. Musa ARTAR'a sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca her zaman desteklerini gördüğüm annem Őengül PÖRGE'ye, babam İrfan PÖRGE'ye, kardeŐlerim Cihat ve Talha PÖRGE'ye, her zaman inancımı taze tutan, her kararımda arkamda olan Sevgili Emre ALSAN'a, destek ve yardımlarını esirgemeyen tüm arkadaşlarıma sonsuz teŐekkürlerimi, sevgi ve saygılarımı sunarım.

Bu çalışmanın yapılacak olan diğer çalıŐmalara ıŐık tutmasını temenni ederim.

Büşra PÖRGE

Mayıs /2019



## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KURUMSAL TEMELLER</b> .....	<b>11</b>
2.1 Üç Eksenli Beton Basınç Dayanımı .....	11
2.2 Güvenilirlik Ve Monte-Carlo Simülasyonu .....	12
2.2.1 Yapısal Güvenilirlik .....	12
2.2.1.1 Birinci Düzey (Yarı Olasılıksal) Yöntemler .....	12
2.2.1.2 İkinci Düzey (Yaklaşık Olasılıksal) Yöntemler .....	13
2.2.1.2 Üçüncü Düzey (Tam Olasılıksal) Yöntemler .....	13
2.2.2 Monte-Carlo Simülasyonu .....	13
2.3 Bulanık Mantık .....	15
2.3.1 Bulanık Kümeler .....	18
2.3.2 Üyelik Fonksiyonları.....	19
2.3.3 Üyelik Fonksiyonlarının Kısımları .....	21
2.3.4 Bulanık Kontrol.....	23
2.3.5 Bulanık Mantık Denetleyicisi .....	25
2.3.6 Bulanıklaştırma .....	25
2.3.7 Bilgi Tabanı.....	26
2.3.8 Çıkarım (Karar Verme) Ünitesi .....	27

2.3.9 Durulaştırma Fonksiyonları .....	27
2.3.10 Durulaştırma Yöntemleri .....	28
2.3.11 Bulanık Denetimin Uygulama Alanları .....	33
<b>3. MATERYAL YÖNTEM .....</b>	<b>35</b>
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE İRDELEME.....</b>	<b>46</b>
4.1 Richart vd. Tarafından Önerilen Model (M <sub>1</sub> ) İçin İrdeleme .....	47
4.2 Balmer Tarafından Önerilen Model (M <sub>2</sub> ) İçin İrdeleme .....	51
4.3 Marteniz vd. Tarafından Önerilen Model (M <sub>3</sub> ) İçin İrdeleme .....	52
4.4 Saatçioğlu ve Razvi Tarafından Önerilen Model (M <sub>4</sub> ) İçin İrdeleme.....	56
4.5 Saatçioğlu ve Razvi (2) Tarafından Önerilen Model (M <sub>5</sub> ) İçin İrdeleme .....	60
4.6 Setunge vd. Tarafından Önerilen Model (M <sub>6</sub> ) İçin İrdeleme .....	64
4.7 Setunge vd. (2) Tarafından Önerilen Model (M <sub>7</sub> ) İçin İrdeleme .....	66
4.8 Setunge vd. (3) Tarafından Önerilen Model (M <sub>8</sub> ) İçin İrdeleme .....	68
4.9 Xie vd. Tarafından Önerilen Model (M <sub>9</sub> ) İçin İrdeleme .....	70
4.10 Legeon ve Paultre Tarafından Önerilen Model (M <sub>10</sub> ) İçin İrdeleme .....	72
4.11 Attard ve Setunge Tarafından Önerilen Model (M <sub>11</sub> ) İçin İrdeleme.....	77
4.12 Girgin vd. Tarafından Önerilen Model (M <sub>12</sub> ) İçin İrdeleme .....	81
4.13 Johnston Tarafından Önerilen Model (M <sub>13</sub> ) İçin İrdeleme .....	84
4.14 Lan ve Guo Tarafından Önerilen Model (M <sub>14</sub> ) İçin İrdeleme.....	84
4.15 Ansari ve Li Tarafından Önerilen Model (M <sub>15</sub> ) İçin İrdeleme .....	87
4.16 Li ve Ansari Tarafından Önerilen Model (M <sub>16</sub> ) İçin İrdeleme .....	92
4.17 Bohwan vd. Tarafından Önerilen Model (M <sub>17</sub> ) İçin İrdeleme .....	96
4.18 Chinn ve Zimmerman Tarafından Önerilen Model (M <sub>18</sub> ) İçin İrdeleme .....	100
4.19 Mullar Tarafından Önerilen Model (M <sub>19</sub> ) İçin İrdeleme.....	103
4.20 Avram vd. Tarafından Önerilen Model (M <sub>20</sub> ) İçin İrdeleme .....	105
4.21 Tang Tarafından Önerilen Model (M <sub>21</sub> ) İçin İrdeleme .....	109

4.22 Samaan vd. Tarafından Önerilen Model ( $M_{22}$ ) İçin İrdeleme.....	112
4.23 Babanajad vd.(1) Tarafından Önerilen Model ( $M_{23}$ ) İçin İrdeleme.....	116
4.24 Babanajad vd.(2) Tarafından Önerilen Model ( $M_{24}$ ) İçin İrdeleme.....	120
4.25 Öztekin Tarafından Önerilen Model ( $M_{25}$ ) İçin İrdeleme.....	123
4.26 Üç eksenli Beton basınç Modellerinin( $3 < \beta < 5$ )İçin Kullanılabilir Olduğu Durumlar .....	128
<b>5. SONUÇLAR .....</b>	<b>144</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>150</b>

## ÖZGEÇMİŞ

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	Bulanık Bir Denetleyicinin Yapısı(Afşar, 2008).....	17
Şekil 2.2	Üyelik Fonksiyonlarının Alabildikleri Değişik Şekiller(Altaş, 1999a).....	20
Şekil 2.3	Üyelik Fonksiyonu Kısımları(Uludağ, 2005).....	21
Şekil 2.4	Normal ve Normal Olmayan Bulanık Kümeler(Uludağ, 2005)..	22
Şekil 2.5	Dış Bükey ve Dış Bükey Olmayan Bulanık Kümeler(Uludağ, 2005).....	23
Şekil 2.6	Dış Bükey Bulanık Kümelerin Kesişimi(Uludağ, 2005).....	23
Şekil 2.7	Bulanık Mantık Çalışma Sistemi(Arslan, 2007).....	24
Şekil 2.8	Bulanık Mantık Denetleyici(Çobanoğlu, 2000).....	25
Şekil 2.9	Takagi-Sugeno-Kank (Tsk) Bulanık Sistem(Arslan, 2007).....	28
Şekil 2.10	En Büyük Üyelik Derecesi Durulaştırılması(Arslan, 2007).....	28
Şekil 2.11	Sentroid Yöntemi İle Durulaştırma(Arslan, 2007).....	29
Şekil 2.12	Ağırlıklı Ortalama Yöntemi İle Durulaştırma(Arslan, 2007).....	30
Şekil 2.13	Ortalama En Büyük Üyelik Durulaştırması(Arslan, 2007).....	30
Şekil 2.14	İlk Ve Son Üyelik Dereceleriyle Durulaştırma(Arslan, 2007)...	31
Şekil 2.15	Toplamların Merkezi Yöntemi İle Durulaştırma(Uludağ, 2005)	32
Şekil 2.16	En Büyük Alanın Merkezi Yöntemi İle Durulaştırma(Uludağ, 2005).....	32
Şekil 2.17	Ve Bağlacı İle Bağlanan Kurallarının Kullanıldığı Örnek(Beycioğlu, 2008).....	33

<b>Şekil 2.18</b>	Sistem Birimleri; A)Klasik Sistem, B)Genel Bulanık Sistem(Arslan, 2007).....	34
<b>Şekil 3.1</b>	Eksenel Basınç Dayanımı İçin Oluşturulan Bulanık Kümeler Ve Üçgen Üyelikler.....	38
<b>Şekil 3.2</b>	Yanal Basınç Gerilmesi İçin Oluşturulan Bulanık Kümeler Ve Üçgen Üyelikler.....	39
<b>Şekil 3.3</b>	Üç Eksenli Basınç İçin Oluşturulan Bulanık Kümeler Ve Üçgen Üyelikler .....	40
<b>Şekil 3.4</b>	Çalışmada Kullanılan Yazılım Akış Diyagramı.....	44
<b>Şekil 4.1</b>	$\beta$ değer aralığına göre oluşturulmuş renk skalası.....	47
<b>Şekil 4.2</b>	$M_1$ modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indeksleri için güvenilirliği.....	49
<b>Şekil 4.3</b>	$M_1$ modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	50
<b>Şekil 4.4</b>	$M_2$ modelinin $\beta_1$ indeksi için güvenilirliği.....	51
<b>Şekil 4.5</b>	$M_2$ modelinin $\beta_2$ ve $\beta_3$ indeksleri için güvenilirliği.....	52
<b>Şekil 4.6</b>	$M_2$ modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	53
<b>Şekil 4.7</b>	$M_3$ modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indeksleri için güvenilirliği.....	55
<b>Şekil 4.8</b>	$M_3$ modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	56
<b>Şekil 4.9</b>	$M_4$ modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indeksleri için güvenilirliği.....	58
<b>Şekil 4.10</b>	$M_4$ modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	59
<b>Şekil 4.11</b>	$M_5$ modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indeksleri için güvenilirliği.....	61
<b>Şekil 4.12</b>	$M_5$ modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	62

<b>Şekil 4.13</b>	M <sub>6</sub> modelinin $\beta_1, \beta_2$ ve $\beta_3$ indeksi için güvenilirliği.....	65
<b>Şekil 4.14</b>	M <sub>6</sub> modelinin $\beta_1, \beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	66
<b>Şekil 4.15</b>	M <sub>7</sub> modelinin $\beta_1, \beta_2$ ve $\beta_3$ indeksi için güvenilirliği.....	67
<b>Şekil 4.16</b>	M <sub>7</sub> modelinin $\beta_1, \beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	68
<b>Şekil 4.17</b>	M <sub>8</sub> modelinin $\beta_1, \beta_2$ ve $\beta_3$ indeksleri için güvenilirliği.....	69
<b>Şekil 4.18</b>	M <sub>8</sub> modelinin $\beta_1, \beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	70
<b>Şekil 4.19</b>	M <sub>9</sub> modelinin $\beta_1$ indeksi için güvenilirliği.....	71
<b>Şekil 4.20</b>	M <sub>9</sub> modelinin $\beta_2$ ve $\beta_3$ indeksleri için güvenilirliği.....	72
<b>Şekil 4.21</b>	M <sub>9</sub> modelinin $\beta_1, \beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk.....	73
<b>Şekil 4.22</b>	M <sub>10</sub> modelinin $\beta_1, \beta_2$ ve $\beta_3$ indeksleri için güvenilirliği.....	74
<b>Şekil 4.23</b>	M <sub>10</sub> modelinin $\beta_1, \beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	75
<b>Şekil 4.24</b>	M <sub>11</sub> modelinin $\beta_1, \beta_2$ ve $\beta_3$ indeksleri için güvenilirliği.....	78
<b>Şekil 4.25</b>	M <sub>11</sub> modelinin $\beta_1, \beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	79
<b>Şekil 4.26</b>	M <sub>12</sub> modelinin $\beta_1, \beta_2$ ve $\beta_3$ indeksleri için güvenilirliği.....	82
<b>Şekil 4.27</b>	M <sub>12</sub> modelinin $\beta_1, \beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	83
<b>Şekil 4.28</b>	M <sub>13</sub> modelinin $\beta_1, \beta_2$ ve $\beta_3$ indeksleri için güvenilirliği.....	85
<b>Şekil 4.29</b>	M <sub>13</sub> modelinin $\beta_1, \beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	86
<b>Şekil 4.30</b>	M <sub>14</sub> modelinin $\beta_1, \beta_2$ ve $\beta_3$ indeksleri için güvenilirliği.....	88

<b>Şekil 4.31</b>	M <sub>14</sub> modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	89
<b>Şekil 4.32</b>	M <sub>15</sub> modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indeksleri için güvenilirliği.....	90
<b>Şekil 4.33</b>	M <sub>15</sub> modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	91
<b>Şekil 4.34</b>	M <sub>16</sub> modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indeksleri için güvenilirliği.....	94
<b>Şekil 4.35</b>	M <sub>16</sub> modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	95
<b>Şekil 4.36</b>	M <sub>17</sub> modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indeksleri için güvenilirliği.....	98
<b>Şekil 4.37</b>	M <sub>17</sub> modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	99
<b>Şekil 4.38</b>	M <sub>18</sub> modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indeksleri için güvenilirliği.....	101
<b>Şekil 4.39</b>	M <sub>18</sub> modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	102
<b>Şekil 4.40</b>	M <sub>19</sub> modelinin $\beta_1$ indeksi için güvenilirliği.....	103
<b>Şekil 4.41</b>	M <sub>19</sub> modelinin $\beta_2$ ve $\beta_3$ indeksleri için güvenilirliği.....	104
<b>Şekil 4.42</b>	M <sub>19</sub> modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	105
<b>Şekil 4.43</b>	M <sub>20</sub> modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indeksleri için güvenilirliği.....	107
<b>Şekil 4.44</b>	M <sub>20</sub> modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	108
<b>Şekil 4.45</b>	M <sub>21</sub> modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indeksleri için güvenilirliği.....	110
<b>Şekil 4.46</b>	M <sub>21</sub> modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	111
<b>Şekil 4.47</b>	M <sub>22</sub> modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indeksleri için güvenilirliği.....	114

<b>Şekil 4.48</b>	$M_{22}$ modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	115
<b>Şekil 4.49</b>	$M_{23}$ modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indeksleri için güvenilirliği.....	117
<b>Şekil 4.50</b>	$M_{23}$ modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	118
<b>Şekil 4.51</b>	$M_{24}$ modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indeksleri için güvenilirliği.....	121
<b>Şekil 4.52</b>	$M_{24}$ modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	122
<b>Şekil 4.53</b>	$M_{25}$ modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indeksleri için güvenilirliği.....	125
<b>Şekil 4.54</b>	$M_{25}$ modelinin $\beta_1$ , $\beta_2$ ve $\beta_3$ indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası.....	126



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 3.1</b>	Üç Eksenli Basınç Dayanımı Önerilen Matematiksel Modeller.....	37
<b>Çizelge 3.2</b>	Kural Tablosu.....	41
<b>Çizelge 3.3</b>	Durulaştırıcılardaki En Büyük Hata Değerleri .....	42
<b>Çizelge 3.4</b>	Problem Değişkenleri Hakkında Bazı İstatistikî Bilgiler.....	43
<b>Çizelge 4.1</b>	Analizlerde $3 \leq B_1 \leq 5$ İçin Kullanılabilecek Üç Eksenli Beton Basınç Modelleri.....	129
<b>Çizelge 4.2</b>	Analizlerde $3 \leq B_2 \leq 5$ İçin Kullanılabilecek Üç Eksenli Beton Basınç Modelleri.....	134
<b>Çizelge 4.3</b>	Analizlerde $3 \leq B_3 \leq 5$ İçin Kullanılabilecek Üç Eksenli Beton Basınç Modelleri.....	139

## SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

$Q$	Yük Etkisi
$P_f$	Sistemin Risk Katsayısı
$P_s$	Sistemin Güvenilirlik Katsayısı
$S$	Yük Etkilerinin Vektörel Bileşeni
$R$	Tasarlanan Vektörel Bileşen
$z$	Rastgele Örnekler
$Z$	Yapısal Performans Fonksiyonu
$X_n$	Performans Fonksiyon Değişkenleri
$Y_{eb}$	En Büyük Yükseklik
$E_b$	En Büyük Üyelik
$B$	Bulanık Küme Çıkarımı
$\ddot{U}_b$	Bulanık Küme Üyelik
MPa	Megapascal
$f_{ck}$	Beton Basınç Dayanımı
$\sigma_3$	Yanal Gerilme
$\sigma_1$	Üç Eksenli Beton Basınç Dayanımı
$\sigma_{yan}$	Yanal Basınç Gerilmesi
$\sigma_{1BM}$	Bulanık Mantık İle Elde Edilen Yapay Üç Eksenli Beton Basınç Dayanımı

$\sigma_{1M}$  Analitik Modeller İle Elde Edilen Yapay Üç Eksenli Beton Basınç Dayanımı

$h$  Hata Miktarı

$\beta$  Güvenilirlik İndeksi

$\mu_{\sigma_{1BM}}$  Yapay Deneysel Veri Ortalaması

$\mu_{\sigma_{1M}}$  Analitik Model

$\sigma_{\sigma_{1BM}}^2$  Yapay Deneysel Verideki Standart Sapma

$\sigma_{\sigma_{1M}}^2$  Analitik Model Tahminlerindeki Standart Sapma

### **Kısaltmalar**

GBMİM 1. Mertebe 2. Moment Yöntemi

YSA Yapay Sinir Ağları

BM Bulanık Mantık

## 1. GİRİŞ

Betonarme yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerinde beton malzemesi için tek eksenli beton basınç deneylerinden elde edilen beton basınç dayanımı, gerilme-şekil değiştirme davranışı, elastisite modülü, poisson oranı gibi temel parametreler dikkate alınmaktadır. Bu parametrelerin hesaplamalarda gerçek değerleri temsil etmeleri durumunda hesaplamalarda yapılan kabuller ışığında gerçeğe daha yakın sonuçların elde edilmesi olağandır. Ancak yapı ve yapı elemanlarının önemine bağlı olarak çok daha hassas ve çok daha doğru analizlerin gerçekleştirilebilmesi için betonun üç eksenli gerilmeler altındaki doğrusal olmayan davranışını tanımlayan parametrelerin ve modellerin kullanılması gerekmektedir. Teknolojinin gelişmesi ile betonun üç eksenli davranışı deneysel olarak elde edilebilmekte ve hesaplamalarda artık rahatlıkla kullanılabilir.

Betona ait kırılma mekanizmalarının araştırılmasında üç eksenli beton basınç dayanımı özellikle kullanılan önemli bir mekanik özellik olmasına rağmen beton malzemesinde ki belirsizliklerden dolayı bir beton sınıfı veya cinsi için tek bir üç eksenli beton basınç davranışı önerilememektedir. Bu nedenle yapılan bilimsel araştırmalarda değişik beton sınıflandırmaları için betonun üç eksenli basınç davranışını temsilen birçok matematiksel model önerilmiştir. Sayısı 25'e varan bu modellerin her biri karakteristik beton dayanımı ve yanal basınç parametrelerinin farklı değer aralıkları için geliştirilmiştir.

Yapı ve yapı elemanlarının hesap ve tasarımlarında kullanılan yapı malzemelerinin davranışları gerçek davranışla bire bir dikkate alınsa bile bu durum yapı ve yapı elemanlarının güvenilirliği için yeterli olmamaktadır. Bunun nedeni yapı hesap ve tasarımlarında kullanılan yüklerdeki, malzeme dayanım ve davranışlarındaki, yapı ve yapı elemanı boyutlarındaki ve hesap ve tasarımlarda kullanılan yöntemlerin kabullerindeki vb. belirsizliklerdir. Bu belirsizliklerin varlığı yapı güvenilirliği için yapılan araştırmaların olasılık ve istatistik tabanlı araştırma ve hesap yöntemlerine doğru yoğunlaşmasına sebep olmuştur.

Mühendislikte risk, istenmeyen bir durumun oluşma ihtimalidir. Güvenilirlik ise oluşmama ihtimalini belirtmektedir. Yapısal güvenilirlik, mühendislik hizmeti almış yapılarda limit durumun aşılması olasılığının yapı ömrü için hesaplanmasıyla ilgilidir. Güvenilirlik açısından limit durum istenen ve istenmeyen yapı performansı arasındaki sınır durumdur. Limit durum toptan göçme, kullanılabilirlik ve yorulma limiti olarak yapısal sistemlerde üçe ayrılmaktadır. (Hançerlioğulları, 2006). Yapısal güvenilirlik olasılıksal bir kavram olarak düşünülür ve güvenilirlik teorisi için olasılıksal ve istatistiksel teorilerine hâkim olmak gerekmektedir. (Hançerlioğulları, 2006).

Güvenilirlik analizleri üç seviyede gerçekleştirilmektedir. Seviye 1’de yapının göçme olasılığından çok yapının güvenilir olup olmadığı üzerine durulur. Bu yöntem genellikle kısmi güvenlik faktörlerinin ortalamalarının hesabı ile oluşturulur. Seviye 2’de göçme olasılığı üzerinde durulmaktadır ve birinci derece güvenilirlik ile ikinci derece güvenilirlik yöntemleri idealleştirilmiş limit durum fonksiyonunun ortalaması kullanılarak hesaplanmaktadır. Seviye 3 ise hassasiyet seviyesi en yüksek olan yöntemdir. Bu yöntem monte carlo benzeşimi olarak bilinmektedir. (Başaga vd. , 2007). Monte carlo rasgele değişkenlerin simülasyonu metodu ile birçok matematiksel problem çözümünde kullanılmaktadır. (Çavuş vd. , 2003). Monte carlo yönteminde her eleman için rasgele sayılar üretilmektedir. Üretilen sayılar için oluşturulmuş olan sistemin sağlanıp sağlanamadığı ölçülmektedir. Yapılan güvenilirlik analizleri limit durum koşulları altında göçme olasılığıdır. Limit durum fonksiyonu dayanım ve yük etkisi ile alakalıdır. ( $g(R,Q) = R - Q$ , ( $R = \text{dayanım}$ ,  $Q = \text{yük etkisi}$ )). Yapıları temsil eden yük ve dayanım parametreleri  $X_1, X_2, \dots, X_n$  olmak üzere limit durum fonksiyon şartları sıfırdan büyük ise emniyetli, sıfırda eşit ise sınır durum ve sıfırdan küçük ise emniyetsiz durum olarak tanımlanabilir. (Başaga vd. , 2007). Değişkenler sisteminde, sistemin orijinden minimum uzaklıkta ve göçme yüzeyi üzerinde bulunan noktası en olası göçme noktasını belirtmektedir. Bu uzaklık güvenilirlik indeksi olarak belirlenmektedir. (Arslan vd. , 2014)

Başaga vd. (2007), deprem etkisindeki binaların güvenilirlik analizi adlı çalışmalarında çerçeve sistemlerin deprem etkisi altındaki davranışlarını malzeme özellikleri, kesit özellikleri ve eşdeğer deprem yükleri rastgele değişken alınarak güvenlik analizi belirlenmeye çalışılmıştır. Makalede 3 seviyede gerçekleşen güvenilirlik analizinde yalnızca seviye 1 yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada sonlu

elemanlar yöntemi kullanılarak çözüm yapan ANSYS programı ile 1. Derece güvenilirlik yöntemi birleştirilmiştir. Sonuç olarak malzeme kalitesinin iyileştirilmesi güvenilirliği artırdığı tespit edilmiştir. Düzensizliği sahip yapı sistemlerinin güvenilirlikleri ve kat açıklığının fazla olduğu sistemlerinin güvenilirliklerinin diğerlerine göre daha az olduğu belirlenmiştir.

Korkmaz ve Orbay (2007), betonarme çerçeve tipi binaların güvenilirlik esaslı analizinde yük katsayılarının optimizasyonu adlı çalışmada, güvenilirlik esaslı analizlere optimizasyonun dahil edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, betonarme çerçeve tipi binalar için güvenilirlik esaslı analizde tasarım aşamasında kullanılan yük katsayılarının TS500 temel alınarak, farklı depremler için optimum değerinin belirlenmesi sağlanmıştır. Elde ki verilerden mevcut bir amaç fonksiyonun yanında doğrudan optimizasyona izin veren yeni bir amaç fonksiyonu önerilmiştir. Ele alınan dokuz farklı betonarme çerçeve tipi bina için 20 farklı deprem verisi altında amaç fonksiyonlarının optimum değerine karşı gelen yük katsayıları, en büyük yer ivmesi ve en büyük yer hızı şeklinde iki farklı parametre için elde edilmiştir. Böylelikle güvenilirlik esaslı analizde optimum yük katsayısı değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak önerilen amaç fonksiyonu mevcut amaç fonksiyonuna yakın değerler verdiği görülmüştür. Bu da doğrudan optimizasyon sağlayan yeni amaç fonksiyonun kullanılmasını destekler yöndedir.

Fırat ve Yüçemen (2014) betonarme yapı elemanları için güvenilirliğe dayalı yeni yük ve dayanım katsayılarının belirlenmesi adlı çalışmada, deprem sonrasında değişen tasarım ve uygulama koşullarına dayalı olarak, betonarme yapı elemanları için yeni yük ve dayanım katsayıları belirleme yöntemi sunulmuştur. Güvenilirlik analizi yapmak için ilk önce elde bulunan veriler ile tasarım değişkeninde bulunan belirsizlikler istatistiksel parametreler ile sayısallaştırılmıştır. Sabit ve hareketli yükler irdelenmiş ve belirsizlikler sayısallaştırılmıştır. Bu değerler kullanılarak hedeflenmiş güvenilirlik düzeyine dayalı yük ve dayanım katsayıları GBMİM yöntemine göre hesaplanmıştır. Çalışma sonunda bulunan yük ve dayanım katsayıları ile mevcut katsayılar arasında dikkate değer farklılıklar olduğu görülmüştür. Çalışmada kullanılan elemanların güvenilirlik analizi yapılırken modellerde kullanılan diğer tasarım değişkenlerinin de istatistiksel parametreleri bu çalışmada önerilen yöntemle sonuca varabileceği öngörülmüştür. Bu çalışmada önerilen sabit ve hareketli yük

istatistiksel parametrelerinin diğerk çalışmalarda da aynen kullanılabilceği bilgisi verilmiştir.

Arslan vd. (2014) enine donatısız betonarme kiriş kesme mukavemeti bağıntılarının gúvenilirliđinin irdelenmesi adlı çalışmasında farklı geometri ve malzeme özelliklerine sahip kiriş toplumu göz önüne alınarak dört farklı yönetmelik ve yedi farklı araştırmada önerilen bağıntılara ilişkin performans fonksiyonları oluşturulmuştur. Bu performans fonksiyonları esas alınarak enine donatısız betonarme kiriş kesme mukavemeti bağıntılarının gúvenilirliđi ikinci-moment yaklaşımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak gúvenilirlik irdelendiğinde doğrudan normal çözümler, iterasyonlu normal çözümler ve iterasyonlu kendi dağılımlarıyla çözümler için belirlenen göçme olasılıklarına göre seçilen ve gúvenilirliđi araştırılan bağıntılar arasında gúvenilirliđi en yüksek olan bağıntının EN92, en düşük ise Okamura tarafından önerilen bağıntı olduğu görülmüştür ve yorumlanmıştır.

Son yıllardaki bilgisayar ve yazılım teknolojilerindeki gelişmeler ile birlikte yapay sinir ağları, bulanık mantık, genetik algoritma ve diğer birçok yapay zekâ yöntem, model ve algoritmasının geliştirilerek mühendislik problemlerinde de kullanılmaya başlaması yeni birçok araştırmaya kapı aralamıştır. Yapay zekâ tekniklerinden en yaygın olarak kullanılanlarından biri 1960 tarihinde Lotfi Zadeh tarafından ortaya konulan ve bulanık küme kavramına dayanan Bulanık Mantık Yöntemidir. Bulanık mantık ayırt edilemeyen, kesinlik içermeyen, belirsizlik halinde ki durum ve olaylarda karşımıza sıkça çıkmaktadır. Bulanıklık, herhangi bir konunun kesin olarak bilinmemesi durumunda elimizde bulunan eksik ve belirsiz bilgilerdir. Böyle belirsiz durumlarda elimizdeki analitik yöntemler tam doğru sonuç vermez veya doğrudan kullanılamaz. Kesin kurallı çözümlerde kullanılan denklemler yerine, tamamlayıcı olan sözel bilgiler tanımlanabilir ve modellenabilir. (Afşar, 2008).

Bulanık yöntem, doğrusal olmayan, iyi tanımlanmamış ve zamanla değişen sistemlerin çözümleri için uygun bir yöntemdir. Özellikle karmaşık sistemlerde geleneksel yöntemlere göre bulanık yöntem belirgin bir üstünlüğe sahiptir. Bulanık yöntem ile geniş bir alana sahip değerler az sayıda üyelik işlemleriyle belirlenebilmektedir. Bu sebeple genellikle daha küçük yazılımlar ile daha hızlı bir şekilde sonuca ulaşılır. (Arslan, 2007).

Bulanık mantık, ikili mantık sistemine karşıt olarak geliştirilen olaylarda ki değişkenlere üyelik dereceleri vererek, olayların ne oranda gerçekleştiğini belirleyen çoklu mantık sistemidir. Bulanık mantık, klasik mantığın 0-1 önermelerine karşın sonsuz sayıda önerme üretebilmektedir. Klasik mantığın kesin sınırlarına karşılık bulanık mantık esnek yapısı çok daha hassas sonuçlar doğurmaktadır. (Çobanoğlu, 2000). Yani bulanık mantık ve bulanık küme kullanılarak makinelerle insan gibi karar verme özelliği atanabilmektedir. (Altaş, 1999a).

Bulanık mantık yaklaşımının kullanıldığı sistemlerde performans artar aynı zamanda uygulama daha basittir ve mali giderler azalmaktadır. Gerçek sisteme daha yakın ve daha doğal bir kural tabanı ile doğrusal olmayan sistem denetimleri daha iyi biçimde gerçekleştirilir.(Altaş, 1999a).

İlk kez 1963'te profesör olan H. Mamdani tarafından bir buhar makinesinde kullanılan bulanık mantık, ticari olarak ise bir çimento fabrikası fırınının kontrolü için Danimarka'da kullanılmıştır. (Çobanoğlu, 2000). Bulanık mantığın özellikle elektronik ve kontrol sistemlerinde uygulandığı ve bu alanlarda çok başarılı olduğu bilinmektedir. Bu yöntemin görüntüleme, seste ve tıpta görüntülü teşhiste iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Kabul ve ihmallerin az olduğu yöntemlerden biri olması onu tercih edilebilir yapmıştır. Ayrıca, diğer istatistiksel yöntemler ile Yapay Sinir Ağları ve benzeri yöntemlerle de bağlantılı çalışmaktadır. Sadece eldeki verileri taklit etmek gibi bir özelliği yoktur. Özellikle çözümleri zor diferansiyel denklemlere gereksinim duyulmadığı için karmaşık ve belirsizlik içeren problemlerin çözümünü kolaylaştırmaktadır. (Arslan, 2007). Bulanık küme teorisinin inşaat mühendisliği alanında uygulaması ise 1978 yılında, bulanık yapı analizleri, akıllı analizler, data işleme, sistem analizleri vb. alanlarda yapılmıştır. (Kömür ve Altan, 2005).

Yıldırım vd. (1998), bulanık mantıklı yapay sinir ağı ile doğrusal olmayan sistem modelleme adlı tez çalışmasında bulanık mantıklı yapay sinir ağı kullanılarak doğrusal olmayan sistem modelleme incelenmiştir. Bulanık mantıklı YSA hem sistem hakkındaki bilgileri hem de sistem girişi-çıkışı verileri kullanmaktadır. Bulanık mantıklı YSA'nın parametreleri ağı eğitimi ile elde edilmiştir. Parametrelerinin farklı değerlerinde eğitim gerçekleştirilmiş ve en iyi sonucu veren değerler model parametreleri olarak alınmıştır. Eğitim sonunda model çıkışı ile sistem çıkışı arasındaki



hata incelenmiş ve kabul edilebilir seviyede olduğu görülmüştür. Bulanık mantıklı YSA, BM'nin ve YSA'nın avantajlarını birleştirilmiş ve bu yöntemin klasik YSA'ya göre daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Altaş (1999) tarafından hazırlanan çalışmada bulanık mantık ve bulanık denetimin işleyişi hakkında bilgi verilmektedir. Bulanıklık kavramı, tarihçesi, bulanık kümeler ve bulanıklık kavramı ile ilgili tüm detaylar eğitici bir bakış açısı ile sunulmuştur.

Çobanoğlu (2000) bulanık mantık ve bulanık küme teorisi adlı çalışmasında bulanık mantık ve yöntemleri, bulanık küme teorisi ve işlemleri, bulanık kontrol ve detayları, bulanık denetimin uygulama alanları detaylı bir şekilde araştırmış ve eğitici bir dille sunmuştur.

Kahvecioğlu ve Kıyak (2003) tarafından yapılan çalışmada bulanık mantık ve uçuş kontrol problemine uygulaması araştırılıp sunulmuştur. Bulanık sistem bu sistemin işleyişi bulanıklaştırmadan durulaştırmaya kadar ön bilgi verilip uçuş iniş kontrol problemine uygulaması ele alınmıştır. Veriler kopyalanıp MATLAB programı ile durulaştırma uygulaması ve daha önce hesaplanan kontrol kuvvetlerini bulanık mantık ile yaklaşık sonuçlar elde edildiği ve bu sistemin kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır.

Demir, Gençoğlu ve Güler (2004), çelik tel takviyeli betonların gerilme-şekil değiştirme davranışı için bir bulanık mantık yaklaşımı adlı çalışmalarında, tek eksenli basınç altında çelik tel takviyeli betonlarda gerilme-şekil değiştirme eğrisini bulanık mantık yardımıyla oluşturduğu model ile elde etmiştir. 8 adet üyelik fonksiyonundan oluşan güçlendirme indeksi modülü ve 13 üyelikten oluşan şekil değiştirme oranı 2 girdi parametresini oluşturmuştur. Çıktı parametresi olarak ise 17 adet bulanık kümeden oluşan gerilme oranı kullanılmıştır. Durulaştırılan sonuçlar literatürdeki benzer deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmış ve yaklaşık değerler saptanmıştır. Bu modelin farklı tür lifli betonlarda kullanılması amaçlanmıştır.

Uygunoğlu ve Ünal (2005) tarafından yapılan çalışmada Seyitömer uçucu külünün beton basınç dayanımına etkisi üzerinde bulanık mantık yaklaşımı incelenmiş ve elde edilen veriler ile karşılaştırma yapılmıştır. Bulanık mantık ile deneysel verileri çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Betonun ilk yaşlarda beton basınç dayanımı azalma

eğilimindedir. Betonun ileriki yaşlarında ise % 10, 15 ikame oranı en uygun oran olarak belirlenmiştir. Çalışma sonunda Bulanık Mantık yaklaşımı ile betona en iyi basınç dayanımını kazandıracak optimum uçucu kül miktarı belirlenmiştir.

Kömür ve Altan (2005) yaptığı çalışmada deprem hasarı gören binaların hasar tespitinde bulanık mantık yaklaşımı incelenmiş. Bayındırlık ve İskân bakanlığı normlarında hasar tespit belirleme yöntemi ile bulanık mantık yöntemi karşılaştırılmış. Sonuç olarak klasik mantığın keskin ve tavizsiz sınırlarına kıyasla bulanık mantığın insan düşünüş ve yargısına daha uygun ve güvenilir sonuçlar verdiği yargısına varılmıştır.

Uygunoğlu ve Yurtçu (2005)'nin yapay zekâ tekniklerinin inşaat mühendisliği problemlerinde kullanımı adlı çalışmasında yapay zekâ teknikleri tanımlanmış, kullanılan yöntemlerle inşaat mühendisliği problemleri alanında sonuçlar çıkarılmış ve çıkan sonuçlar klasik yöntemlere göre daha güvenilir olduğu problemin optimizasyonu ve kontrolün daha iyi yapılabildiğini ve önemli oranda zaman ve ekonomik kazanç sağladığı görülmüştür.

Işıklı (2008) hazırladığı bulanık mantık ve bulanık teknolojiler adlı çalışmasında bulanık mantığa kadar olan çalışmalar BM kuramı ve bulanık uygulamalar ele alınmıştır. L. Zadeh 'in tüm çalışmaları bulanık mantığa katkıları ve devamlılığı araştırılmış tüm çalışmaları makalede sunulmuştur. Soft-computing ile sonucu bağlayıp BM'nin hayatımıza sunduğu katkılar sunulmuştur.

Afşar vd. (2008), yapay sinir ağları ve bulanık mantık yöntemleri kullanılarak tava buharlaşma tahmini yapılması adlı tez çalışmasında yapay sinir ağları ve çeşitleri, bulanık çıkarım kuralı ve çoklu doğrusal regresyona yöntemlerinin buharlaşma tahminindeki performansları araştırılmıştır. 4 şehir merkez istasyonları için oluşturulan modellerin performansları değerlendirilmiştir. Yapay sinir ağları ve bulanık mantık için en iyi kombinezonu ve sonuçlar karşılaştırılmış. Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ)'den bazı verilerin elde edilememesinden dolayı sadece nem ve sıcaklık verilerinin kullanılmasıyla oluşturulan modellerin buharlaşma tahminindeki performanslarını olumsuz yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.

Beycioğlu (2008) hazırladığı yapı eğitimi anabilim dalı yüksek lisans tezinde endüstriyel atıkların hafif beton özelliklerine etkilerinin bulanık mantık yöntemiyle modellenmesi konusunu araştırmıştır. Tez içerisinde hafif beton hakkında tanımlar, sınıflandırılması, üstünlükleri, doğal bir agregata olarak pomza kullanılmış olup, tanımı, özellikleri, beton içerisinde kullanılmak üzere, silis duman ve uçucu küller bunların işlenebilirliği, priz süresi, hidrasyon ısı, dayanımı, dayanıklılığı, ekonomikliği araştırılmıştır. Kullanılacak olan süper akışkanlaştırıcı ve özellikleri ile birlikte agregada fiziksel özelliklerin tayini, taze beton deneyleri, sertleşmiş beton deneyleri, basınç dayanımı ve betonda ultra ses hızı ile ölçümler yapılarak sonuç çıkartılmak istenmiştir. Tezin devamında bulanık mantık kavramı, bulanık kümeler, üyelik dereceleri, bulanıklaştırma, bulanık kurallar, durulaştırma ve durulaştırmada kullanılan yedi yöntem hakkında bilgi verilmiş ve elde edilen sonuçları bulanık yöntem ile de araştırıp sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda taze beton ve sertleşmiş beton açısından silis dumanı ve uçucu küllerin % oranları ile işlenebilirliği, dayanımı, çalışma yüzey sertlik ve ultra ses geçiş hızı değerleri ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak Taze beton birim ağırlık değerleri ile uçucu kül ve silis dumanı ikame miktarları arasında anlamlı bir ilişki görülmemektedir. İşlenebilirlik bakımından ise silis dumanı ikame oranı artışı işlenebilirliği olumsuz yönde etkilerken uçucu kül artırmıştır. Beton basınç dayanımında ise uçucu kül ikame miktarı %0-5-10 sabit alınan beton serilerinde silis dumanının %15 seviyesine kadar çıkması betonda basınç dayanımını artırırken, %15'den sonraki silis dumanı ikame oranı basınç dayanımını düşürmektedir. Beton serilerinde yüzey sertlik ultra ses geçiş hızı değerleri açısından anlamlı bir ilişki bulunamayıp, pomza agregasının boşluklu yapısına bağlanmıştır. Bu sonuçlar bulanık mantık yöntemi ile ulaşılan sonuçlarla karşılaştırıldığında deney sonuçları ile uyum içerisinde olduğu ve bütün serilerde deney sonuçlarını yüksek oranda tahmin edebildiği görülmüştür.

Subaşı vd. (2009) mineral katkı içeren betonların sertleşme sürelerinin belirlenmesinde bulanık mantık yaklaşımı adlı çalışmada belirli oranlarda uçucu kül ikame yapılan beton karışımlarında priz alma esnasında belirli dayanıma ulaştığı süreler belirlenmiş ve bu süreler kullanılarak bulanık mantık yöntemiyle sertleşme süresi tahmin modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin güvenliğini belirlemek için

model sonuçları ve deneysel veriler karşılaştırılmış ve sonuç olarak geliştirilen modelin yüksek oranda başarı elde ettiği görülmüştür.

Alkan Çakıroğlu vd. (2010), tarafından hazırlanan çalışmada beton basınç dayanımının Bulanık Mantık yöntemiyle tahmin edilmesi üzerinde çalışılmıştır. 9'ar adet küp ve silindir numuneler ile 7, 14, 28 günlük basınç deneylerine tabi tutulup, klasik yöntem ve bulanık mantık teorisini karşılaştırmışlardır. Bulanık mantık yönteminin daha güvenilir sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır.

Büyükkaracıoğlu vd. (2011) farklı çimento karışımları ile üretilen beton dayanımlarının bulanık mantık yöntemi ile araştırılması adlı çalışmasında farklı miktarda çimento, uçucu kül ve katkı maddesi içeren C25 beton türü için basınç dayanımı değerleri bulanık mantık yöntemiyle değerlendirilmeye çalışılmıştır. Makale içerisinde bulanık mantık sistemi hakkında bilgilendirme yapılmış ve deney sonuçları ile karşılaştırıldığında %97 oranında başarı ile tahmin edildiği görülmüştür.

Polat ve Özel (2012)'in tarafından düzenlenen çalışmada TS EN 206-1'e göre tasarlanan ve zararlı kimyasal ortamlarda maruz kalacak betonların basınç dayanımının bulanık mantıkla tayini, araştırılmıştır. Bu çalışmada 7, 14, 28 günlük kür süresine tabi tutulmuş betonun 3 farklı çimento dozajı ve 3 farklı s/ç oranındaki basınç dayanımı bulanık mantık yöntemi ile araştırılmıştır. Bulanık mantık yönteminin %95 güvenilir sonuç verdiği bulgusuna rastlanmıştır.

Özdemir (2012)'in inşaat mühendisliği anabilim dalında bulanık mantık metodu ile inşaat sektöründe strateji belirleme konulu tez içeriğinde strateji kavramı, stratejik yönetim, inşaat sektörü ve stratejik yönetim ve bulanık mantık konuları üzerinde eğitici bir dille bilgi sunulmuştur. Bulanık mantık temelli bir program yazılarak yapılan anket sonucunda inşaat sektöründe başarılı firmaların 3 tip profile sahip oldukları görülmüştür. Sonuç olarak 50 firma için 4 hedef belirleme yapılmış ve buda programın %92 başarı oranına sahip olduğunu göstermektedir.

Öztekin ve Kumaş (2015), beton gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin bulanık mantık yaklaşımıyla elde edilmesi adlı bildiri çalışmalarında, literatürde mevcut bulunan beton dayanımı, şekil değiştirmesi ve gerilmesi parametrelerinin deneysel sonuçları, üçgen üyelik fonksiyonları kullanılarak bulanıklaştırılmış ve yazılan kural tabanı ile

bir bulanık mantık modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model ile gerilme şekil değiştirme eğrilerine ait sonuçlar çıkarılmış ve durulaştırma işlemine tabi tutulduktan sonra mevcut deneysel sonuçlar ile karşılaştırma yapılmıştır. Bulanık mantık hesaplamaları için visual basic programlama dili kullanılmıştır. Programa tanıtmak için 2 girdi 1 çıktı parametresi kullanılmıştır. 1. Girdi parametresini beton karakteristik dayanımı 0-120 MPa arasında 13 bulanık küme oluşturmuştur. 2. Girdi parametresi şekil değiştirme için 22 adet sabit, 1 adet değişken bulanık küme tanımlanmıştır. Çıktı parametresi olan gerilme/karakteristik dayanım için ise 101 adet bulanık küme oluşturulmuştur. Program da tüm değişkenler için üçgen üyelikler kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında normal ve yüksek dayanımlı betonların gerilme-şekil değiştirme grafiklerinin bulanık mantık ile geliştirilen model tahminleri mevcut deneysel eğrilere oldukça yakın değerler üretmiştir.

## 2. KURUMSAL TEMELLER

### 2.1 Üç Eksenli Beton Basınç Dayanımı

Yapısal analizler için malzeme davranışına bağlı olarak gerçekleştirilen doğrusal olmayan analizler doğrusal analizlere kıyasla çok daha hassas ve doğru sonuçlar üretebilmektedir. Özellikle malzemelerin basınç altındaki elastik ötesi davranışlarını tasarımların bir parçası olarak kullanılmaya başlaması ile özellikle malzemenin taşıma gücü sınırına kadar davranışının hatta kırılma mekanizmasının bilinmesi gerekmektedir. Gerçekte üç boyutlu uzayda inşa ettiğimiz yapılardaki yapısal elemanlarımızda üç boyutludur ve gerçekte üç ekseninde sınır şartlarına ve dış etkilere maruzdurlar. Bu nedenle malzemelerin gerçeğe en yakın davranışı üç boyutlu uzaydaki etkilere karşı gösterdiği davranışın kaydedilmesi ile belirlenir.

Yapısal analizlerde beton malzemesinin davranışı için yaygın olarak tek eksenli basınç dayanım testleri ile elde edilen gerilme - birim şekil değiştirme eğrileri kullanılsa da, betonun üç boyutlu uzaydaki gerçek davranışı için üç eksenli beton basınç deneylerinden elde edilen yük-deplasman ilişkileri ve/veya gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri kullanılmaktadır.

Üç eksenli beton basınç dayanımı, betonun kırılma mekanizması araştırmalarında özellikle kullanılan önemli bir mekanik özelliktir. Tek eksenli beton basınç davranışında olduğu gibi üç eksenli beton basınç davranışı için farklı beton tip ve sınıfları için tek bir davranış elde edilememektedir. Bunun sonucu olarak farklı beton tip ve sınıfları için çok sayıda tek eksenli beton basınç modeli ve üç eksenli beton basınç modeline rastlamak mümkündür. Model sayısı fazla olunca hangi modelin hangi durumlarda daha hassas ve/veya daha doğru sonuç ürettiği ve bununla birlikte yapılacak analizler için model seçimi hususlarında kararsızlık ve kafa karışıklıkları ile karşılaşılması olağan olmaktadır(Öztek, 2016).

## 2.2 Güvenilirlik ve Monte Carlo Simülasyonu

### 2.2.1 Yapısal güvenilirlik

Mühendislikte risk, istenmeyen bir durumun oluşma ihtimalidir. Güvenilirlik ise oluşmama ihtimali belirtmektedir. Yapısal güvenilirlik, mühendislik hizmeti almış yapılarda limit durumun aşılması olasılığının yapı ömrün için hesaplanmasıyla ilgilidir. Güvenilirlik açısından limit durum istenen ve istenmeyen yapı performansı arasındaki sınır durumdur. Limit durum toptan göçme, kullanılabilirlik ve yorulma limiti olarak yapısal sistemlerde üçe ayrılmaktadır. (Hançerlioğulları, 2006).

Yapısal güvenilirlik olasılıksal bir kavram olarak düşünülür ve güvenilirlik teorisi için olasılıksal ve istatistiksel teorilerine hâkim olmak gerekmektedir. (Hançerlioğulları, 2006).

Yapısal bir sistem güvenilirliği, limit durumun aşılmama olasılığı yani yapının beklenen performansı gösterebilme olasılığı olarak tanımlanır. Risk kavramı ise bunun tam tersinin belirtmektedir. Yapısal bir sistem ne kadar güvenilir ise riskten o kadar uzaktır. Bir sistem de güvenilirliğe  $p_s$  ve riske  $p_f$  denilirse,  $p_s=1-p_f$  olmaktadır. (Hançerlioğulları, 2006).

Güvenilirlik çözümlenmesinin amacı, yapısal sistemin veya elemanın belirlenen kullanım ömrü boyunca yapıya etkileyen yük etkilerinin vektörel bileşkesinin (S) tasarlanan vektörel bileşenden (R) daha küçük olmasıdır. Bu durum ( $R>S$ ) yapıyı güvence altına almaktadır. (Hançerlioğulları, 2006).

Yapısal güvenilirlik sorunlarının çözülme yöntemleri Yapısal Güvenlik Orta Komitesi tarafından 3 düzeyde sınıflandırılmıştır. (Hançerlioğulları, 2006).

#### 2.2.1.1 Birinci düzey (yarı olasılıksal) yöntemler

Kısmi güvenlik katsayıları yaklaşımı olarak da bilinmektedir. Bu yöntemle belirli bir risk ya da güvenilirlik hesabı yapılmaz. Riskin kısmi güvenlik katsayıları ile istenilen düzeyde sabit kalındığı varsayılır. Bu katsayı değerleri, göçme riskleri için belirli olan malzeme mukavemetlerine ve varyasyon katsayılarının fonksiyonu olarak olasılıksal yaklaşımlarla belirlenmektedir. Türk ve İngiliz standartları ile “Uluslararası Avrupa

Beton Komitesi” yönetmeliklerinde hem malzeme mukavemetleri hem de yükler için kısmi güvenlik katsayıları bulunmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri standartlarında ise yükler için kısmi güvenlik katsayıları, yapısal elemanlar için kapasite azaltma katsayıları kullanılmaktadır. (Haçerlioğulları, 2006).

### **2.2.1.2 İkinci düzey (yaklaşık olasılıksal) yöntemler**

Bu yöntem güvenilirlik ve riskin yaklaşık hesabı kapsar. Ortak olasılıksal yoğunluk fonksiyonunun integre edilememesi durumunda kullanılmaktadır. İkinci moment yaklaşım metodu bu yöntemler arasındadır. (Haçerlioğulları, 2006).

### **2.2.1.3 Üçüncü düzey (tam olasılıksal) yöntemler**

Bu yöntem güvenilirlik ve risk belirlemede en ideal yöntemdir. Ortak olasılıksal yoğunluk fonksiyonunun integralinin çözülmesidir. Ortak olasılıksal yoğunluk fonksiyonlarının elde edilmesi ve çözümündeki zorluklar bu yöntemin daha az kullanılmasına sebep olmuştur. (Haçerlioğulları, 2006).

Üçüncü düzey yöntemlerden birisi Monte Carlo Simülasyonu ile çözüm yöntemidir. Performans fonksiyonları ne kadar karmaşık ve değişkenleri ne kadar fazla olursa olsun Monte Carlo Simülasyon yöntemi ile fonksiyonla alakalı rastgele sayılar üretilebilmektedir. Bu yöntemle de büyük boyutlu örnekler oluşturulabilmektedir. Bu yapay örnekler değerlendirilerek güvenilirlik ve risk oluşumu belirlenebilir. (Haçerlioğulları, 2006).

## **2.2.2 Monte-Carlo simülasyon yöntemi**

Monte Carlo Yöntemi, rasgele sayılar üreterek deneysel ve istatistiksel problem çözümlerinde kullanılan bir benzeşim yöntemidir. 1930’lardan sonra hızla gelişmeye başlamış bir yöntemdir. Los Alamos laboratuvarlarından nükleer silah geliştirmek amacıyla ilk kez ortaya atılmıştır. Olasılık teorisini tabi olan metodlar bir problemde tesadüfi sayılar kullanılarak simülasyon edilip hesap edilmek istenen problemin bu simülasyon sonuçları baz alınarak yaklaşık hesaplama durumuna dayanmaktadır. Metod basit integral hesaplamalarından modern simülasyon tekniklerine uzanan bir gelişim izlemiştir. Simülasyon kelimesi ilk olarak 1940 yılı sonlarından John Von Neumann ve Stanislaw Ulam’ın çalışmalarında modern anlamda Monte Carlo



simülasyonu adını vermeleri ile başlamaktadır. Monte Carlo simülasyonu, duyarlılık metodu, tam cebirsel çözümlenme ve momentler metodu gibi risk analizi yapan yöntemlerden birisidir. Sonuçları karşılaştırıldığında mühendislik, eğitim ölçme değerlendirme, askeri savunma teknolojisi, fen ve mühendislik, nükleer teknoloji ve uzay bilimleri gibi sahalarda Monte Carlo Yöntemi sıkça kullanılan yöntemlerdendir. (Hançerlioğulları, 2006).

Simülasyon' un amacı gerçeği temsil eden bir sistemi girdi ve çıktılarıyla matematiksel olarak ifade etmek, bu sistemi model üzerinden araştırmak, değişik karar ve seçenekleri model üzerinden gerçekte değişim olmadan deneyebilmektir. Bu yöntem ile pahalı deneyleri ve karmaşık sistemleri olan nükleer savunma problemleri başarı ile çözülmüştür. Simülasyon, 1950 yılı başlarında sayısal bilgisayar gelişimi sayesinde, sosyal bilimciler ve fizik kimyacılar yaptıkları laboratuvar deneylerini bilgisayar ortamında gerçekleştirme olanağı sunmuştur. (Hançerlioğulları, 2006).

Güvenilirlik hesabında kullanılan Monte Carlo Yöntemi ile çözüm üçüncü düzey/tam olasılıksal yöntemler sınıfındadır. Olasılıksal sorunların çözümünde Monte Carlo Simülasyon yöntemi bir benzeşim yöntemidir. Performans fonksiyonlarının karmaşıklığı ve içerdikleri değişkenlerin fazlalığı bu yöntemle çözülebilir. (Günay, 2012).

Yapısal bir sisteme ve ya elemana ait performans fonksiyonu  $Z=g(X)$ 'in değişkenleri  $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$  olsun. Değişkenlerin olasılık dağılımları tanımlanabiliyorsa ve parametreler bulunabiliyorsa, bu dağılımları özgü rasgele sayılar üretilebilir. Üretilen sayılardan  $(X_{11}, X_{21}, \dots, X_{m1})_1, (X_{12}, X_{22}, \dots, X_{m2})_2, \dots, (X_{1n}, X_{2n}, \dots, X_{mn})_n$  bağımsız rasgele sayı takımları oluşturulur. Oluşturulan rasgele takımlar performans fonksiyonu üzerinde yerlerine konularak fonksiyonla alakalı  $(z_1, z_2, \dots, z_n)$  rasgele örnekler elde edilebilir. Örnek üzerinden  $p_r=P(Z \leq 0)$  risk ve  $p_s=1-p_r=P(Z > 0)$  kalıcılık olasılıkları bulunabilir. (Günay, 2012).

Monte Carlo simülasyon yönteminin sonuçları sonu belli olan örnekleri içerir. Örnek boyutları sonsuza yakın olacak kadar büyüklükte seçilmedikçe kesin sonuç vermez.

Monte Carlo Simülasyonunda üretilen rasgele sayıların bilgisayar yardımıyla üretilmesi en pratik ve etkili çözümdür. Belirlenmiş dağılımlara ait rasgele sayıların

belirlenmesi bilgisayar tarafından daha otomatik oluşturulmaktadır. Bunu sistematik olarak gerçekleştirmek için 0 ile 1 arasında üniform dağılmış bir sayı üretilir ve belirlenen olasılıksal dağılım kullanılarak uygun dönüşümlerle rasgele sayılar belirlenebilir. (Günay, 2012).

### 2.3. Bulanık Mantık

Matematiğin doğruluğu ve bütünlüğünde Aristoteles ve izinden giden düşünürlerin büyük başarısı vardır. Yaptıkları çalışmalarla “düşüncenin yasaları” oluşturulmuştur. Bu yasalardan biri her önerme için sonuçların “doğru” ya da “yanlış” olacağını öngörmüştür. Perminedes bu yaklaşımı ilk öne sürdüğünde karşıt görüşler çıkmaya başlamıştır. Heraclitus ise önermelerin aynı anda hem doğru olması hem de doğru olmaması durumunu savunmuştur. (Uludağ, 2005). Büyük Müslüman Türk düşünürü Farabi bin yıl kadar önce birimleri sınıflandırırken mutlak birimler ve ihtimali yani belirsizlik içeren bilimler olmak üzere iki kısma ayırmıştır. İhtimali olan sınıfa fizik, matematik, geometri ve mantık bilimlerini koymuştur. Aristocu olan Farabi ikili mantık ile bu bilimlerin özümlemeyeceğini sezebilmiştir. (Şen, 2012). Plato, bulanık mantığı oluşturacak temel düşünceyi doğru ve yanlışın iç içe girdiği üçüncü bir olasılığı belirterek oluşturmuştur. Hegel ve Marx gibi düşünürler bu fikri desteklemiş olsa da ilk kez Lukasiewicz 1900’lerin başında üçüncü bir değer olarak “olası” kavramını ortaya atmıştır. Lukasiewicz çalışmalarında ilerledikçe doğru ve yanlış arasında sonsuz değer atanabileceğini göstermiştir. Lukasiewicz ve onu izleyen matematikçiler bu değerleri nümerik olarak ifade etmiş olsa da 1965 yılında Lotfi A. Zadeh [0.0, 1.0] aralığındaki sayıları ifade eden teorisini “bulanık mantık” ismiyle adlandırmıştır.(Uludağ, 2005). Keskin mantık yani Aristo mantığı gibi doğru felsefesi düşüncesinden çıkan bulanık mantık yani çoklu mantık bilimde yerini almıştır.

Bulanık mantık sezgilere dayanarak çıkarım yapabilen bir yöntemdir. Bu çıkarımlar ile bulanık mantık bir insanın günlük yaşantısında farkında olmadan deneyimlerine bağlı olarak çözdüğü birçok sorun ve problemde kullanılmaktadır. Bilim insanlarının bulanık sistemleri kullanmaları için genel olarak iki nedenleri vardır. (Arslan, 2007). Bunlar:

1) Doğa olaylarının çok karmaşık olmaları nedeniyle kesin sonuç verebilecek denklemlerle ifade edilememesi ve kesin olmasa bile yaklaşık çözümleri olan yöntemlerin tercih edilmesi,

2) Mühendislikte kullanılan teori ve denklemlerin, gerçek dünyayı yaklaşık bir şekilde ifade etmesidir.

Bulanık mantık sistemleri, yetersiz bilgi temin edilse bile tıpkı insanların yaptığı gibi bir tür akıl yürütmeler yaparak işlemleri gerçekleştirebilmektedir. Bulanık uygulamalar birçok alanda devam etmekte ve son zamanlarda yapılan araştırmalar bulanık mantık ve işleyişini yapay sinir ağları ile birleştirilmesi konularında yoğunlaşmaktadır. Bulanık mantığın yapay sinir ağları ile birleştirilmesiyle amaçlanan “öğrenme” yeteneğine sahip bulanık kontrol sistemleri oluşturmaktır. (Çobanoğlu, 2000).

Bulanık kontrolün ilk uygulama alanları genellikle endüstriyel alanlarda, çimento sanayinde ve su arıtma sistemlerinde gerçekleştirilmiştir. Devamı olarak otomatik tren çalışma sistemleri, otomatik konteyner vinç çalışma sistemleri, asansör kontrolü, nükleer reaktör kontrolü, otomobil aktarma sistemi (vites organları) kontrolü, hava uçuş kontrolü, bulanık mantık kontrol edici donanım sistemi, bulanık hafıza araçları ve bulanık bilgisayar uygulamalarında kullanılmıştır. (Çobanoğlu, 2000).

Bulanık Mantık, makineleri daha zeki ve kullanabilir yapmıştır. Bu makineler arasında fotoğraf makineleri, kameralar, televizyonlar, mikro dalga fırınlar, çamaşır makineleri, elektrikli süpürgeler, otomatik şanzımanlar, motor kontrolü, metro denetim mekanizmaları, asansörler ve mikro devreler bulunmaktadır. Bulanık teori, anlamında belirsizlik saklı olan kelimeleri temsil etmektedir. Bu teorinin bir uygulaması olan bulanık yapay zekânın insanlar ve elektronik aletler arasındaki ilişkide büyük bir rol oynayacağı beklenmektedir.(Çobanoğlu, 2000).

Bulanık yaklaşım ile çözülmek istenen (Bknz. Şekil 2.1 ) olay veya durumlarda bulanıklık olsa da, bulanık sistem işleyişi açık ve nettir. Bulanık sistemlerin kullanılması nedeni olarak dünya karmaşası ve bu karmaşada bulunan olayların denklemlerle açıklanmasının zor olması gösterilebilir. (Afşar, 2008).



**Şekil 2.1** Bulanık bir denetleyicinin yapısı (Afşar, 2008).

Çoğu kontrol uygulamaları çok girişli ve çok parametrelidir olup daha çok zaman alır ve uygulamayı zorlaştırır. Fakat bulanık mantık tabanlı denetleyiciler, kuralları ve doğrusal olmayan özellikleri de dikkat alınarak, çok sayıda girişi tekli *Eğer... ise.. (if...then...)* sözel ifadeleri ile birleştirip basitleştirmektedir. Çıkış büyüklüğü ise *ve (and)* gibi işlemcilerle birbirine bağlanmış giriş parametrelerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilmektedir. Giriş ve çıkış arasındaki ilişki ise kural tablosu ile sağlanmaktadır. Bulanık sayılar olarak isimlendirilen bu büyüklükler bulanık kümeleri karakterize eden üyelik fonksiyonları ile tanımlanmaktadır. Bu sayılar *Eğer... ise.. .değilse (if...then...else...)* biçimindeki önerme ve kural yürütme işlemleri ile bulanık sonuçlar çıkarmaktadır. (Altaş, 1999a).

Bir bulanık modelde en önemli parametreler bulanık giriş ve çıkış parametrelerinin sayısı, kullanılan üyelik fonksiyonlarının tipi ve adedi, kural tabanını oluşturan kurallar, kural çözümleme yöntemi, birleştirme operatörleri, durulaştırma yöntemi belirlenmesidir. Bu parametrelerin belirlenmesinde sayısal yaklaşımlar olmasına karşın çoğunlukla bu parametreler bir uzman tarafından veya deneme yanılma yöntemi ile test edilerek oluşturulmaktadır. (Arslan, 2007) Bulanık mantığın sağladığı avantajlar şu şekilde sıralanabilir;(Kıyak ve Kahvecioğlu, 2003).

- İnsan düşünce sistemine yakındır.
- Uygulama sırasında mutlaka matematiksel bir modele ihtiyaç duymaz.
- Yazılımının kolay olması sebebiyle ekonomik olarak avantaj sağlar.
- Bulanık mantığı kavramak kolaydır.
- Üyelik değerleri kullanılması diğer kontrol tekniklerine nazaran daha esnek bir yapıya sahip olduğunu gösterir.
- Kesinlik içermeyen bilgiler kullanılabilir.

- g) Doğrusal olmayan fonksiyonların modellenmesinde kullanılabilir.
- h) Uzman kişilerin tecrübelerine dayanarak kolaylıkla bir sistem tasarlanabilir.
- i) Geleneksel kontrol teknikleriyle uyumlu bir işleyişi vardır.
- j) İnsanların ifadeleri olan sözel bilgiler ile olumlu sonuçlar alınabilir.

### 2.3.1 Bulanık kümeler

Bulanık sistemlerde bulanık küme, değişik üyelik yani ait olma derecelerine sahip elemanları olan bir kümedir ve bulanık sistemin en temel elemanıdır. Bulanık kümeler elemanlarının her birine 0 ve 1 arasında üyelik tanımlayan üyelik fonksiyonları ile karakterize edilir. (Altaş, 1999a).

Klasik kümelerde kullanılan elemandır ya da değildir ifadesi yerine bulanık kümelerde şu kadar elemandır ya da şu kadar elemanı değildir ifadeleri bulunur. Bulanık kümeler, 0 veya 1 yerine 0 ile 1 arasında üyelik dereceleri atamaktadır. (Çobanoğlu, 2000)

Bulanık mantıkta, kümenin sınırları ve elemanlarının özellikleri kesinlik içermemektedir. Örneğin, bulanık mantık anlayışında siyah ve beyaz arasında grinin tüm ton farklılıkları yer almaktadır. Gerçek hayatta da her hangi bir küme oluşumunun sınırları ve eleman özellikleri o kadar keskin değildir. Bulanık küme anlayışı bu sebeple gerçek hayatın ruhuna yakınlık göstermektedir.

Klasik kümelerde, kümeler arası geçiş 1 veya 0 için keskin ve aniden değişiklik gösterir. Fakat bulanık bir kümede bu yapı oldukça yumuşak ve sürekli bir şekilde olmaktadır. Klasik bir kümede herhangi bir elemanın o kümeye ait olması için üyelik derecesinin mutlaka 1'e eşit olması gerekmektedir. Bulanık kümede ise elemanlar değişik derecelerle kümeye ait olabilmektedir. Yani bulanık kümelerde bir eleman başka bir kümenin de aynı veya farklı üyelik dereceleri ile elemanı olabilmektedir. Her hangi bir elemanın hangi kümelere üye olduğunun bilinmesi yeterli değildir. Söz konusu elemanın hangi kümeye ne kadar üyelik derecesi ile ait olduğunun bilinmesi gerekmektedir. (Arslan, 2007).

### 2.3.2 Üyelik fonksiyonları

Bulanık mantıkta, dilsel ifade kolaylığı sağlayacak bölgelerin sınırlarını belirlemekte ve gerçek bilgilere ait üyeliklerin tespit edilmesinde kullanılmak üzere uygun üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi gerekir.

Üyelik fonksiyonları her bir değişken için giriş büyüklüğünün grafiksel gösterimleridir. Üyelik fonksiyonları giriş verilerinin ağırlıklarını birleştirir, girişlerin kesişme durumlarını tanımlar ve çıkışı hesaplar. Her bir elemanın bulanık kümeye üyelik “aitlik” derecesi vardır. (Arslan, 2007).

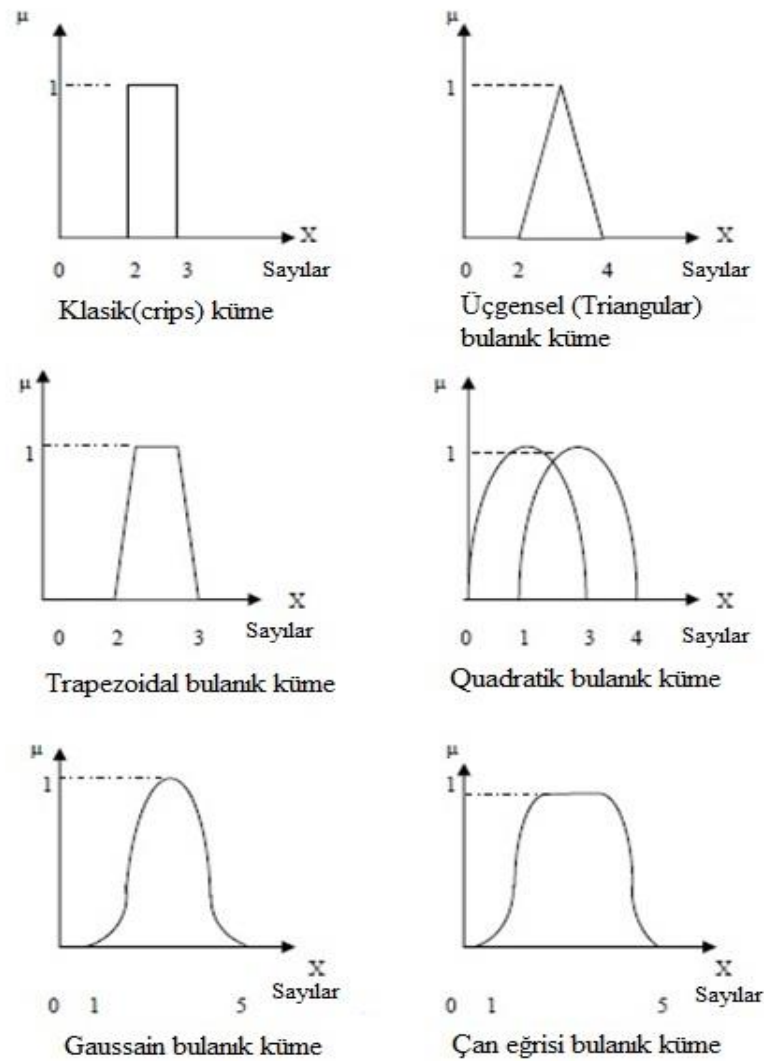
Klasik kümelerde değerler 1 veya 0 üyelik derecesi almaktadır. Bulanık kümelerde ise bir aralıkta bulunabilecek öğelerin bulanıklaştırma sonucunda 0 ile 1 arasında değişik değerlere sahip olması düşünülmektedir. Durum böyle olunca, bazı öğelerin belirsizlik içerdikleri kabul görür. Bu belirsizliklerin, sayısal olmayan durumlardan kaynaklanması halinde bulanıklıktan söz edilmektedir.

Bulanıklaştırma için oluşturulan üyelik fonksiyonları, problemin yapısına ve amacına uygun olmalıdır. Genel anlamda üyelik fonksiyonları oluşturmak için sezgisel, matematik, geometrik ya da istatistik yaklaşımlar kullanılmaktadır.(Arslan, 2007).

Bulanık küme için gerek üyelik derecesi oluşturmak gerekse üyelik fonksiyonu belirlemek için kişisel sezgi, mantık ve tecrübelerin kullanılmasına sık rastlanmaktadır. Zaten pratikte birçok sorunu çözme kavuşturabilmek için bu yaklaşımlar çoğu zaman yeterli olmaktadır.

Farklı öğelere uygun üyelik derecesi atayabilme becerisi bulanık kümelerin kullanılışılığını göstermektedir. Bu öğelerin en az bir tanesi en büyük üyelik derecesi olan 1'e sahip olması gerekmektedir. Bu durum kümenin normal olması durumudur. Üyelik derecesi 1 olan öğenin sağındaki ve solundaki üyelikler 1'e yakın olmalıdır. Bu bulanık kümenin monoton olduğunu göstermektedir. Üyelik derecesi 1 olan öğenin sağındaki ve solundaki üyeliklerden eşit mesafede gidildiğinde, buradaki üyelik derecelerinin eşit olması durumu ise bulanık kümenin simetrik özelliğidir. (Arslan, 2007).

Üyelik fonksiyonları, sistem parametrelerini tanımlamaktadır. Üyelik fonksiyonlarının sayısına ve sekline ait kısıtlama bulunmamaktadır. Tamamıyla isteğe bağlıdır. (Çobanoğlu, 2000). En çok kullanılan bulanık küme fonksiyonları, üçgen, yamuk, gaussian ve çan fonksiyonudur. Bunların yanı sıra sigmoid, sinüsoid ve Cauchy türü fonksiyon çeşitleri de kullanılmaktadır. (Altaş, 1999a).

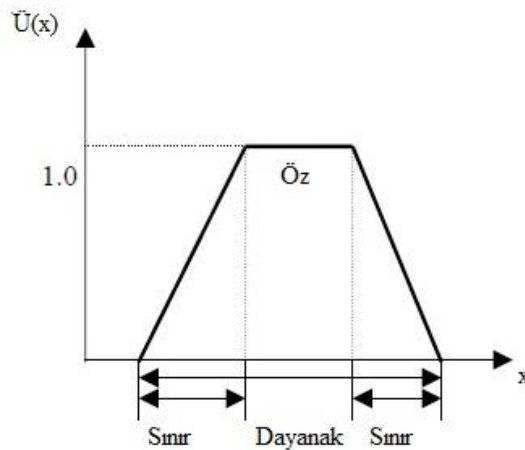


Şekil 2.2 Üyelik fonksiyonlarının alabildikleri değişik şekiller (Altaş, 1999a).

### 2.3.3 Üyelik fonksiyonlarının kısımları

Üyelik fonksiyonları birçok şekilde gösterilebilir. Üçgen, yamuk, gauss, yamuk, çan eğrisi vs. bunlardandır. Yamuk şeklindeki üyelik fonksiyonu en genel haliyle şekil 2.3'de gösterilmiştir. (Uludağ, 2005).

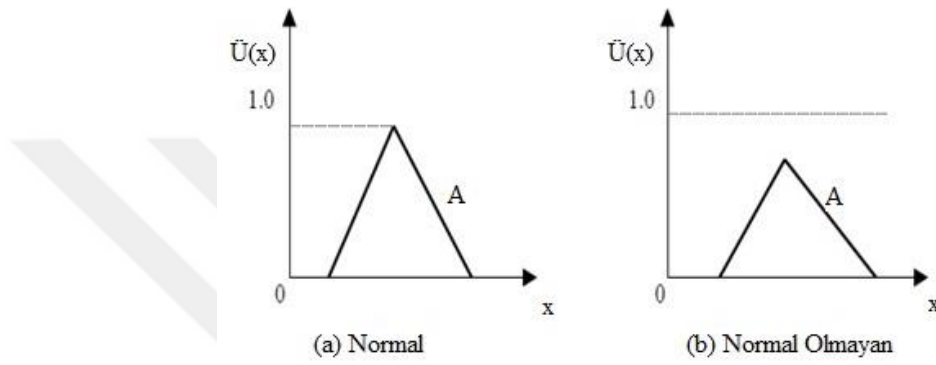
Verilmiş olan bulanık bir alt kümede, üyelik derecesi değeri 1 olan öğelerin bulunduğu kısım Öz (core) olarak adlandırılır. Burada bulunan öğeler için  $\tilde{U}(x)=1$  olmaktadır. Üçgen üyelik fonksiyonlarında tek bir değer 1'e eşit olduğu için kümenin özü bir nokta olmaktadır. (Uludağ, 2005). Bir alt kümenin tüm öğelerini içinde barındıran kısım dayanak kısmıdır. Bu kısımda bulunan tüm üyelik dereceleri 0 ile 1 arasında bir değer almaktadır. (Uludağ, 2005). Bu kısım  $\tilde{U}(x) > 0$  şeklinde gösterilmektedir. Bir alt kümede bulunan üyeliklerin 0 ile 1 haricinde değer aldığı tüm kısımlar geçiş bölgelerini yani sınırları oluşturmaktadır. Matematiksel olarak sınırlar  $0 < \tilde{U}(x) < 1$  şeklinde ifade edilmektedir. (Uludağ, 2005). Bulanık kümelerin üyelik dereceleri 0.5 olan üyelik fonksiyonlarının bulunduğu noktaya geçiş noktası adı verilmektedir. (Uludağ, 2005). Bulanık kümede bulunan en büyük üyelik derecesinin değeri o kümenin yüksekliğidir.



Şekil 2.3 Üyelik fonksiyonu kısımları(Uludağ, 2005).

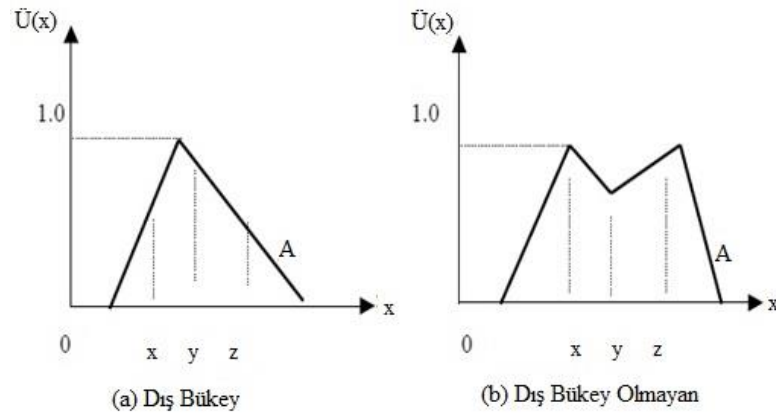


Normal bulanık kümelerde bu değer 1 iken, normal olmayan bulanık kümelerde normal bulanık kümeye dönüştürmek için küme de bulunan her üyelik derecesinin en büyük üyelik derecesine bölünmesi gerekmektedir. Normal bir küme de en az bir tane üyelik derecesi 1'e eşit olan üyelik bulabilmemiz bu kümenin normal olup olmadığını bulmamızı sağlamaktadır. (Uludağ, 2005).

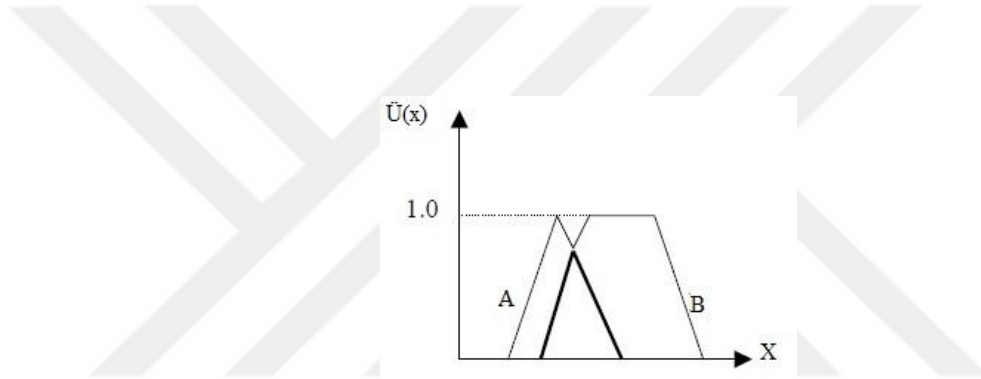


**Şekil 2.4** Normal ve normal olmayan bulanık kümeler(Uludağ, 2005).

Üyelik fonksiyonlarının bir başka özelliği bulanık kümenin dış bükey olup olmadığını saptamamıza yaramaktadır. A ve B gibi iki dış bükey bulanık kümenin kesişimi de dış bükey olacaktır.



Şekil 2.5 Dış bükey ve Dış bükey olmayan bulanık kümeler(Uludağ, 2005).



Şekil 2.6 Dış bükey bulanık kümelerin kesişimi(Uludağ, 2005).

### 2.3.4 Bulanık kontrol

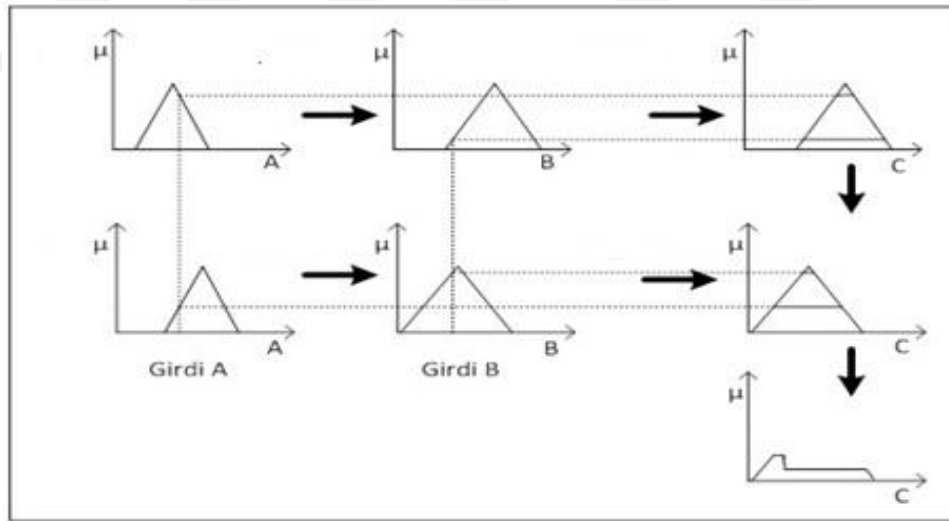
Bulanık kontrol bir insanın uzmanlığına ( Eğer-İse kuralları yapısında ) ve ya gözlemlerine dayanmaktadır. Klasik ve modern kontrol teorisindeki gibi kesin ve tam matematik modellere ihtiyaç duymamaktadır. Denetlemesi zor olan karmaşık süreçte bulanık kontrol kullanımı zorunlu hale gelmektedir. (Çobanoğlu, 2000). Oluşturulmak istenen Bulanık Mantık Denetleyicisi'nin tasarımında bilinmesi gereken faktörler: (Çobanoğlu, 2000).

- Gerçek giriş ve çıkışlar ile bunların alması muhtemel değerler aralığı
- Giriş ve çıkış değişkenlerinin ölçme faktörleri

- Her bir giriş çıkış verisi için bulanık üyelik fonksiyonları
- Bulanık kontrol kural tabanı

Bir bulanık modelin temelini kural tabanlı sistem oluşturmaktadır. Bu kısımda kural tabanında EĞER-İSE yapısında oluşturulan kurallar, veri tabanında ise kullanılan üyelik fonksiyonlarının tipleri ve sınır değerleri bulunmaktadır.

Bir bulanık kural tabanlı sistemde, farklı çözümleme yöntemleri uygulanmaktadır. En önemlileri Mamdani ve Sugeno modelidir. Ayrıca birleştiricide birden fazla kural arasında oluşturulmuş olan ilişkilerde uygulanan farklı çıkarım yöntemleri mevcuttur. Bulanık sistemde kullanılan birden çok durulaştırma yöntemleri de vardır. Kullanılmak için seçilen durulaştırma yöntemi bulanık sistemin performansını önemli ölçüde etkilemektedir. (Arslan, 2007). Bulanık mantık algoritmasının çalışma şekli Şekil 2.7’de özetlenmiştir.



Şekil 2.7 Bulanık mantık çalışma sistemi (Arslan, 2007).

### 2.3.5 Bulanık mantık denetleyici

Bulanık mantık denetleyicinin temeli, uzman bir sistemin bilgi, deneyim, sezgi ve denetim stratejisini kullanarak denetleyici tasarımında bilgi tabanı olarak oluşturmaktır. Denetleme işlemleri, karmaşık ve klasik denetim kullanılmadan bilgi ve deneyime dayanan sözel kurallarla gerçekleştirilir. (Çobanoğlu, 2000). Şekil 2.8’ de Görüldüğü gibi bulanık mantık denetleyicileri dört temel bileşenden oluşmaktadır. Bunlar bulanıklaştırma ünitesi, bilgi tabanı, çıkarım ünitesi ve netleştirme ünitesidir.(Çobanoğlu, 2000).



Şekil 2.8 Bulanık mantık denetleyici (Çobanoğlu, 2000).

### 2.3.6 Bulanıklaştırma

Giriş değişkenleri değerlerini ölçen ve değer aralığı atayarak giriş verilerini bulanık değerlere dönüştürecek uygun bulanıklaştırma fonksiyonu oluşturulan kısımdır. Sayısal giriş değişkenlerini bunlara karşılık gelen bulanık kümeye dönüştürme işlemidir. Bulanıklaştırma işlemi için birçok bulanık küme şekli vardır. Bu şekiller üyelik fonksiyonu olarak adlandırılır. Bu fonksiyonlar 0 ile 1 arasında bir üyelik derecesine sahiptir ve bu derece belirli bir değer o küme içerisindeki güvenilirliğinin veya kesinliğinin bir ifadesidir. (Çobanoğlu, 2000). Bulanıklaştırıcıda elde edilen

üyelik değerleri, bulanık kümeye ait kesin girişlerin bulanıklık dereceleridir. (Altaş, 1999b).

### 2.3.7 Bilgi tabanı

Bulanık veri kullanmayı tanımlamada kullanılan gerekli tanımlar içeren veri tabanı ile bulanık şart cümlelerinin tamamı olan ve çıkarım ünitesine verilen denetim kurallarını içeren kural tabanından oluşur. Veri tabanı bulanık parametreleri her bir değişken için evrensel kümede tanımlanmış üyelik fonksiyonları ile bulanık kümeler olarak sağlamaktadır. Kural tabanı ise kontrol amacını gerçekleştirmek için kullanılan bulanık kontrol kurallarını içermektedir. Çıkarım ünitesinde karar verme işlemleri için, veri tabanından üyelik fonksiyonlarıyla ilgili bilgileri, kural tabanından ise giriş değişkenlerinin her biri için denetim çıkışları bilgisini alır. (Çobanoğlu, 2000).

✓ Veri Tabanı: Her bir değişken için evrensel küme tanımlanması, bulanık kümelerinin sayısının belirlenmesi ve üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi ile veri tabanı oluşturulmaktadır. (Çobanoğlu, 2000).

✓ Kural tabanı: Kontrol kurallarının saklandığı veri tabanıdır. Kural tabanı geliştirmek için, sistem çıkışını etkileyebilecek giriş değerleri tespit edilmelidir. Birçok paralel kural ve denetim değişkenleri ile karar verme işlemlerinde kullanılır. Bu kurallar, sistem giriş ve çıkışları arasında mantıksal ilişkiden oluşmuştur. Kurallar 'eğer' ve 'ise' komutlarıyla oluşturulur. (Çobanoğlu, 2000).

EĞER-İSE komutları arasında bulunan kısma öncül veya ön şartlar adı verilmektedir. İSE komutundan sonraki kısma soncul veya çıkarım adı verilmektedir. Bu tür ifadeler EĞER - İSE kural tabanlı biçim adını alır.(Arslan, 2007).

Bulanık kontrol kural tablosu çok girişli tek çıkışlı bir sistem için şöyle olabilir.

*Kural – 1. EĞER*     $X_1 = A_{11}$     *VE ... VE*     $X_m = A_{1m}$     *İSE*     $Y = B_1$

*Kural – 2. EĞER*     $X_2 = A_{21}$     *VE ... VE*     $X_m = A_{2m}$     *İSE*     $Y = B_2$

.

.

*Kural – n. EĞER  $X_1 = A_{n1}$  VE ... VE  $X_m = A_{nm}$  İSE  $Y = B_n$*   
(Çobanoğlu, 2000).

### 2.3.8 Çıkarım (Karar verme) ünitesi

Bulanık mantık kontrolünün esası olan çıkarım ünitesi, bulanık kavramlara dayanan insani karar vermeyi taklit etme, bulanık kontrol işlemlerinden çıkarsama yapma kabiliyetine ve çıkarsama kurullarına sahiptir. (Çobanoğlu, 2000). Bu kısımda veriler kurallardan faydalanılarak değerlendirilir ve mantıksal bir sonuca bağlanır. Giriş ve çıkış bulanık kümelerinin arasında kurulmuş olan parçalı ilişkileri bir araya toplayarak sistemin tek çıkışlı davranmasını belirleyen işlemlerin mekanizmasıdır. Her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayan bu ünite tüm sistem için girdiler altında nasıl çıktı verileceğini belirler. (Arslan, 2007). Bulanıklaştırma arabirimin çıkışları çıkarım ünitesinin girişleridir. (Çobanoğlu, 2000).

### 2.3.9 Durulaştırma fonksiyonları

Çıkarsama yapılmış bulanık kontrol işlemlerini bulanık olmayan kontrol faaliyetlerine çeviren bulanıksızlaştırma işlemidir. Çıkarım ünitesinden gelen bulanık girişleri kural tabanında değerlendirir. Çıkan bulanık değerler netleştirme arabiriminde ölçeklenir ve gerçek sayılara dönüştürülür. (Çobanoğlu, 2000). Bu sistemde tüm birimler bulanık kümelerden oluşmaktadır. Böyle bir bulanık sistemin en önemli sakıncası, sayısal veri tabanının böyle bir bulanık sisteme girmemesi ve çıktılarının sayısal verilememesidir.

Dolayısıyla böyle bir sistem mühendislik tasarımlarında doğrudan kullanılamamaktadır. Genel bulanık sistemlerin bu eksikliklerini bir nebze ortadan kaldırmak için, Takagi ve Sugeno (1985) ve Sugeno ve Kank (1988) tarafından önerilmiş olan Takagi-Sugeno-Kank (TSK) bulanık sistemi denilen sistem kullanılmaktadır. Bu sistemde, veri tabanındaki girdiler birer sayı, bulanık kural ve çıkarım motorundan elde edilen çıktılar ise girdilerin bir fonksiyonu şeklindedir. Kural tabanındaki giriş kısımların değişkenleri İSE'den sonraki kural soncul kısmına, birer doğrusal fonksiyon olarak oluşturulmaktadır. Böyle bir yapıda oluşturulmuş olan bulanık sistem ve sonucullar bulanık küme şeklinde olmadıklarından Şekil 2.9'da bulanık çıkarım ünitesi yerine giriş kısmında hesaplanan üyelik dereceleri ağırlık olmak üzere ağırlıklı çıkarım hesaplaması birimi gelmektedir. (Arslan, 2007).



**Şekil 2.9** Takagi-Sugeno-Kank (TSK) bulanık sistem (Arslan, 2007).

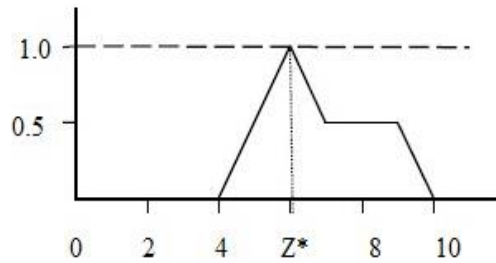
Takagi-Sugeno-Kank (TSK) bulanık sisteminde çıktı uzayı girdilerin fonksiyonu olarak, her bir alt uzayda geçerli bir kural olmak üzere temsil edilmektedir. TSK bulanık sisteminin en büyük dezavantajı İSE kısmından sonra matematiksel bir ilişki bulunduğundan, kuralların çıktı kısımlarının insan tarafından verilmiş olan sözel bilgileri modelleyememesi ve giriş-çıkış değişkenleri arasında bulunan tüm kuralların çıktı kısımlarının bulanık olmaması bu yüzden de yazılamamasıdır. (Arslan, 2007).

### 2.3.10 Durulaştırma yöntemleri

#### En büyük üyelik yöntemi

Yükseklik yöntemi olarak da bilinmektedir. Tepeleri olan çıkarım bulanık kümelerde kullanılabilir. Bu durulaştırma yönteminin aritmetik notasyon şeklinde gösterilmiş hali denklem (2.1)'de belirtilmiştir. (Arslan, 2007).

$$\underline{u}_c(z^*) \geq \underline{u}_c(z) \quad , z \in Z \quad (2.1)$$

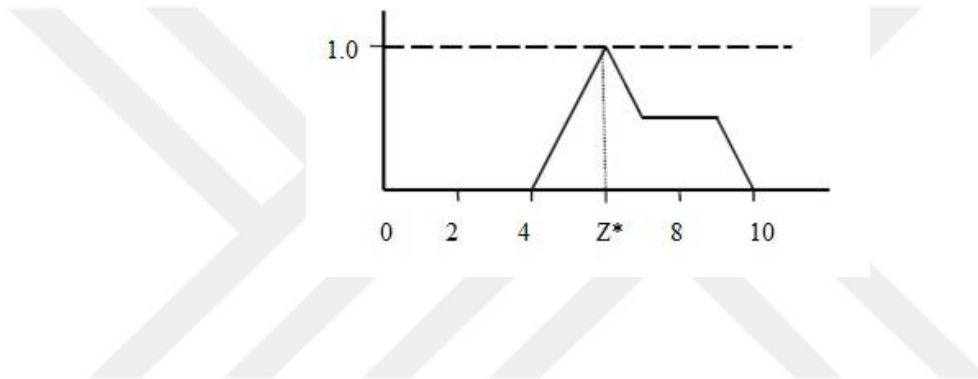


**Şekil 2.10** En büyük üyelik derecesi durulaştırılması(Arslan, 2007).

### Sentroid yöntemi

Ağırlık merkezi yöntemi diğer bir adıdır. Durulaştırma işlemi için en yaygın kullanılan işlemlerdendir. Denklem (2.2) bu durulaştırmanın matematiksel işlem aracıdır. (Arslan, 2007).

$$z^* = \frac{\int \mu_{\zeta}(z)xzdz}{\int \mu_{\zeta}(z)x dz} \quad (2.2)$$



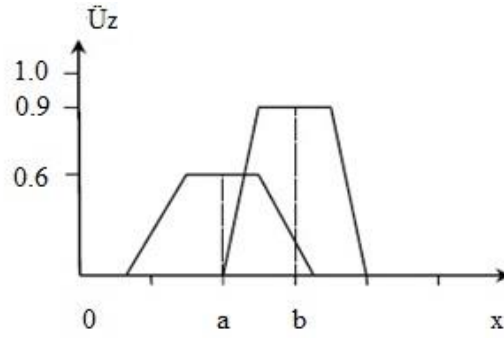
Şekil 2.11 Sentroid yöntemi ile durulaştırma(Arslan, 2007).

### Ağırlıklı Ortalama Yöntemi

Bu yöntemin kullanılması için simetrik üyelik fonksiyonlarının bulunması gerekmektedir. Çıkışı oluşturan bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarının her biri sahip oldukları üyelik derecesi değerleri ile çarpılır. Daha sonra ağırlıklı ortalamaları alınarak durulaştırma değeri bulunur. (Arslan, 2007).

$$z^* = \frac{\sum \mu_{\zeta}(\bar{z})\bar{z}}{\sum \mu_{\zeta}(\bar{z})} \quad (2.3)$$



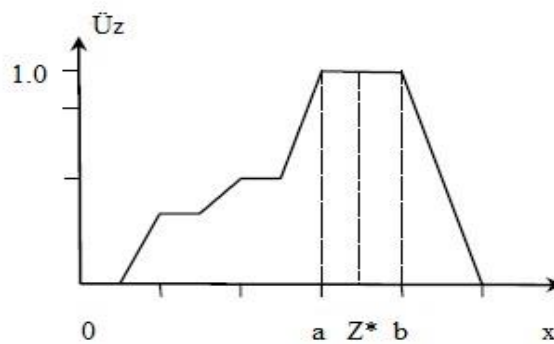


Şekil 2.12 Ağırlıklı ortalama yöntemi ile durulaştırma(Arslan, 2007).

### Ortalama en büyük üyelik Yöntemi

En büyüklerin ortası olarak bilinen bir yöntemdir. Birinci durulaştırma ilkesi oldukça yakındır. Fakat en büyük üyelik konumu tekil olmayabilir. Yani en büyük üyelik derecesine sahip olan,  $\mu_A(z)=1$ , bir nokta plato gibi düzlük bir kısım olabilir. (Arslan, 2007).

$$z^* = \frac{a+b}{2} \quad (2.4)$$



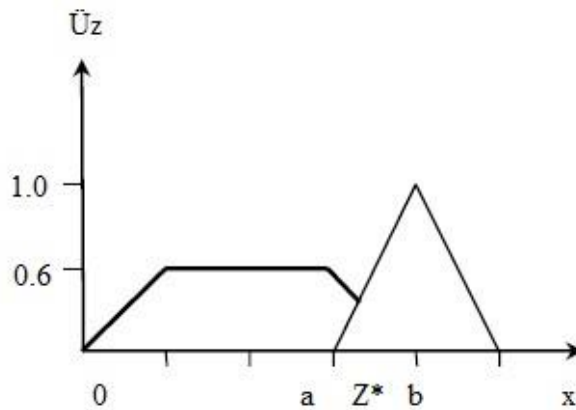
Şekil 2.13 Ortalama en büyük üyelik durulaştırması(Arslan, 2007).

### En büyük ilk ve son üyelik derecesi Yöntemi

Bu yöntemin esası çıktıkların birleşimi olarak ortaya çıkan bulanık kümede en büyük üyelik derecesine sahip en küçük (veya en büyük) bulanık küme değerini seçmektir. Bulanık küme çıkarımı,  $B$ , en büyük üyelik derecesi,  $E_B$ , bulanık küme üyeliği,  $\tilde{U}_B$ , bileşimdeki en büyük yükseklik,  $y_{eb}$  olmak üzere, aşağıdaki formül kullanılır.

$$y_{eb}(B) = EB[\tilde{u}_B(z)] \quad (2.5)$$

Bu formülden sonra birinci en büyük değer,  $z^*$ , bulunur. Bu yöntemin diğer bir seçeneği ise ilk yerine son bulanık küme değerinin de,  $z^*$ , bulunabilmesidir. (Arslan, 2007).

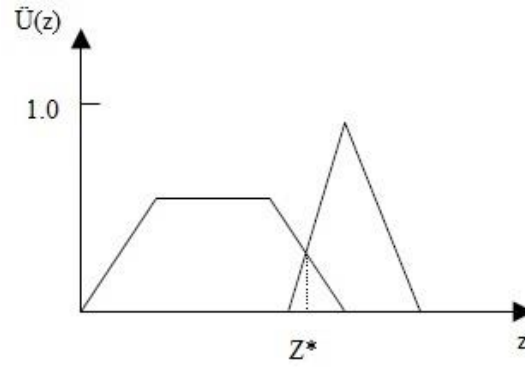


Şekil 2.14 ilk ve son üyelik dereceleriyle durulaştırma(Arslan, 2007).

### Toplamların merkezi yöntemi

Durulaştırma yöntemleri arasında kullanılan en hızlı yöntemdir. İki bulanık kümenin birleşimi yerine cebirsel olarak toplamaları alınmaktadır. Fakat bu durumda örtüşen kısım iki defa toplama girmektedir. (Uludağ, 2005).

$$z^* = \frac{\int_z z \sum_{k=1}^n \tilde{u}_c(z) dz}{\int_z \sum_{k=1}^n \tilde{u}_c(z) dz} \quad (2.6)$$

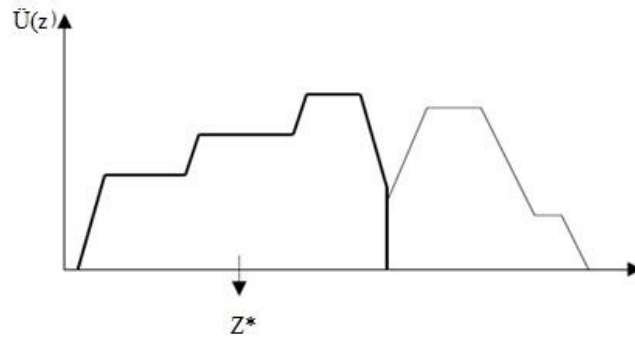


Şekil 2.15 Toplamların merkezi yöntemi ile durulaştırma(Uludağ, 2005).

### En büyük alanın merkezi yöntemi

Çıktı bulanık kümesi en az iki dış bükey bulanık kümeden oluşuyorsa, dış bükey bulanık kümelerden alanca büyük olanının ağırlık merkezi durulaştırma işleminde kullanılmaktadır.(Uludağ, 2005).

$$z^* = \frac{\int \bar{u}_{eBC}(z)zdz}{\int \bar{u}_{ebc}(z)dz} \quad (2.7)$$

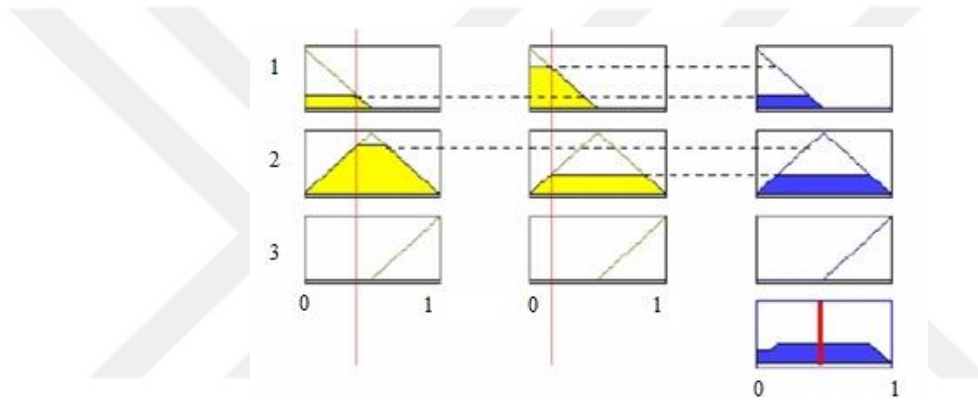


Şekil 2.16 En büyük alanın merkezi yöntemi ile durulaştırma(Uludağ, 2005).

Burada  $\mu_{B(z)}$  en büyük alanlı dış bükey bulanık kümenin bulunduğu alt bölgeyi göstermektedir. (Uludağ, 2005).

### Durulaştırmada “ve” operatörünün çalışma prensibi

Bulanık bir sistem, iki girdi ve bir çıktı parametresi ile oluşturulmuş kurallar arası VE bağlacı ile bağlanmış ise her iki girdi parametresinin üyelik derecelerinden küçük olanın üyelik derecesi çıktı parametresinin üyelik derecesi olacaktır. Bu durum şekil 2.17’ de gösterilmiştir.(Beycioğlu, 2008).



Şekil 2.17 VE bağlacı ile bağlanan kurallarının kullanıldığı örnek(Beycioğlu, 2008).

### 2.3.11 Bulanık denetimin uygulama alanları

Bulanık yöntem, doğrusal olmayan, iyi tanımlanmamış ve zamanla değişen sistemlerin çözümü için uygun bir yöntemdir. Özellikle karmaşık sistemlerde geleneksel yöntemlere göre bulanık yöntem belirgin bir üstünlüğe sahiptir. Bulanık yöntem ile geniş bir alana sahip değerler az sayıda üyelik işlemleriyle belirlenebilmektedir. Bu sebeple genellikle daha küçük yazılımlar ile daha hızlı bir şekilde sonuca ulaşılır. (Arslan, 2007).

Bulanık mantığın özellikle elektronik ve kontrol sistemlerinde uygulandığı ve bu alanlarda çok başarılı olduğu bilinmektedir. Bu yöntemin görüntüleme, seste ve tıpta

görüntülü teşhiste iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Kabul ve ihmallerin az olduğu yöntemlerden biri olması onu tercih edilebilir yapmıştır. Ayrıca, diğer istatistiksel yöntemler ile yapay sinir ağları ve benzeri yöntemlerle de bağlantılı çalışmaktadır. Sadece eldeki verileri taklit etmek gibi bir özelliği yoktur. Özellikle çözümleri zor diferansiyel denklemlere gereksinim duyulmadığı için karmaşık ve belirsizlik içeren problemlerin çözümünü kolaylaştırmaktadır. (Arslan, 2007).

Diğer taraftan, bütün gelişmelere rağmen bulanık mantığın bilim ve teknolojiye yer edinmiş klasik mantık ile birlikte aynı şartlarda yer alması için henüz erkendir. Bununla birlikte klasik mantığa göre daha güvenilir ölçüm yöntemlerine henüz sahip değildir. Bulanık mantık özellikle boyutlandırmaya yönelik mühendislik uygulamalarında henüz istenen konuma ulaşamamıştır. (Arslan, 2007).



**Şekil 2.18** Sistem birimleri; a)Klasik sistem, b)Genel bulanık sistem (Arslan, 2007).

Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde ve kuralların atanmasında henüz deneme-yanılma yapılmadan oluşturulacak mekanizmalar gelişmiş değildir. Ulaşılan sağlıklı veriler yanında uzman görüşüne de ihtiyaç duyulmaktadır. Herhangi bir problemin çözümünde deneme-yanılmaya ihtiyaç duyulduğu takdirde bu problem için program geliştirmek çok zaman alabilir ve çok uzun programlara gereksinim duyulabilir. Bu sebeple, BM kullanmaya hemen karar vermek güçleşmektedir. (Arslan, 2007).

### 3. MATERYAL YÖNTEM

Üç eksenli beton basınç modellerinin farklı beton sınıflarında ve farklı yanal gerilme durumları için güvenilirliklerinin araştırıldığı bu çalışmada, yapay zekâ tekniklerinden Bulanık mantık yaklaşımı ve güvenilirlik araştırmalarında en hassas ve doğru sonuçlar üreten Monte Carlo Simülasyonu kullanılmıştır. Monte Carlo Simülasyonunun hassas ve doğru sonuç üretme avantajına karşılık en büyük dezavantajı çok sayıda veriye ihtiyaç duymasındır. Öte yandan, üç eksenli beton basınç modellerinin güvenilirliklerinin araştırılması, analitik modeller ile üretilen tahminlerin gerçek ya da deneysel veriler ile karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Başka bir deyişle çalışmanın gerçekleştirilmesi için çok sayıda gerçek ve/veya deneysel veriye ihtiyaç duyulmaktadır ve bu kadar gerçek ve/veya deneysel verinin üretilmesi imkânsız denecek kadar zordur. Durum böyle olunca, ihtiyaç olan deneysel verinin üretilmesi için yapay zekâ tekniklerinden olan Bulanık Mantık yaklaşımından faydalanılmıştır. Bu amaçla kapsamlı bir tarama ile teknik literatürde bulunan üç eksenli beton basınç modelleri ve deneysel veriler toplanarak kayıt altına alınmıştır.

Toplam 237 adet deneysel data ve 25 adet analitik model literatürden toplanmıştır. Deneysel datalar Imran ve Pantazopoulou (1996), Richart vd. (1928), Tan (2005), Sfer vd. (2002), Lu (2005), Xie vd. (1995), Attard ve Setunge (1996), Gandomi vd. (2012), Reinhardt(2000), Sovják vd.(2013), Smith vd. (1989) ve Öztekin (2016) 'in çalışmalarından toplanmıştır. Literatürden araştırılarak bulunan 25 tane üç eksenli beton basınç modeli ise Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Bulanık Mantık yaklaşımıyla yapay deneysel veri üretmek için toplanan 237 deneysel verideki yanal gerilme ( $\sigma_3$ ) ve beton basınç dayanımları ( $f_{ck}$ ) ile üç eksenli beton basınç dayanımlarının ( $\sigma_1$ ) değer aralıklarına göre bulanık kümeler oluşturulmuştur. Hem giriş hem de çıkış parametreleri için üçgen üyelik fonksiyonlarının kullanıldığı bulanık kümeler Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 te gösterilmektedir. Bu şekillerden de görülebileceği gibi tek eksenli basınç değerleri 0-120 MPa arasında 23 tane bulanık

küme, Beton yanal basınç değerleri için, 0-64 MPa arasında 28 tane bulanık küme ve üç eksenli beton basınç dayanımı için ise 0 ile 350 arasında toplam 264 adet bulanık küme oluşturulmuştur. Bu bulanık kümeler bulanık mantık algoritması içindeki işlemlerde kural tablosu olarak kullanılmak üzere birleştirilerek Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3 de verilen bulanık kümeler ile Çizelge 3.2’de verilen kural tablosu tek seferde ortaya çıkmamıştır. Bu kümeleri ve kural tablosunu oluşturmak için birçok defa farklı sayıda bulanık küme ve farklı boyutta kural tablosu kullanılarak birçok farklı bulanık model oluşturulmuş ve oluşturulan modellerin gerçek deneysel verilere ne kadar yakın sonuçlar ürettiğine bakılmıştır. Bu amaçla Visual Basic programlama dilinde tez danışmanı tarafından daha önce yazılmış olan Bulanık Mantık yazılımı kullanılmıştır.

Deneysel veriler birçok farklı kaynaktan derlenerek alındığı için, bu verilerin farklı üretim, farklı malzeme, farklı yöntem, farklı cihaz vb. parametrelerin etkilerini de dikkate alarak yaklaşık en fazla % 15 ‘lik bir hatanın makul olacağı bu tez kapsamında düşünülmüştür. Çalışmada diğer deneysel veriler ile uyumlu olmayan ve bulanık mantık modelinde bozucu etki yaptığı görülen 41 adet deneysel veri çalışma kapsamından çıkarılarak toplam 196 deneysel veri ile hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık hesaplamalarında 7 farklı durulaştırıcı kullanılmış, bunlardan deneysel verilere en yakın değer üreteninin seçilerek güvenilirlik çalışmalarında kullanılabilmesi için bu durulaştırıcılar ile üretilen yapay deneysel veriler gerçek veriler ile karşılaştırılmıştır.

Durulaştırma seçimi için yapılan karşılaştırmalarda Denklem 3.1 ile verilen Yüzde hata hesabı (PE) her bir durulaştırıcı için hesaplanmıştır ve Çizelge 3.3’ de verilmiştir.

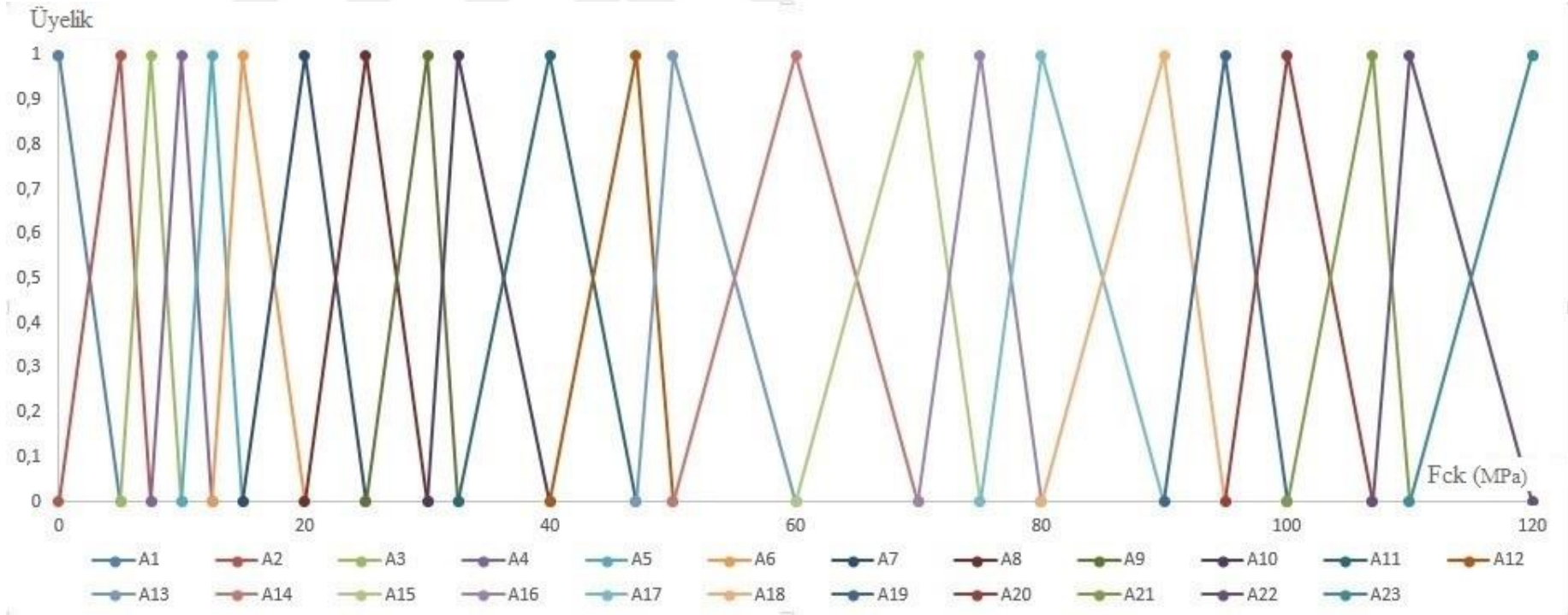
$$PE = \max \left( \frac{(h_i - t_i)}{h_i} * 100 \right) \quad (3.1)$$

$h_i$  ; i numaralı gerçek değerler,  $t_i$  ;i numaralı hesaplanan değerler.

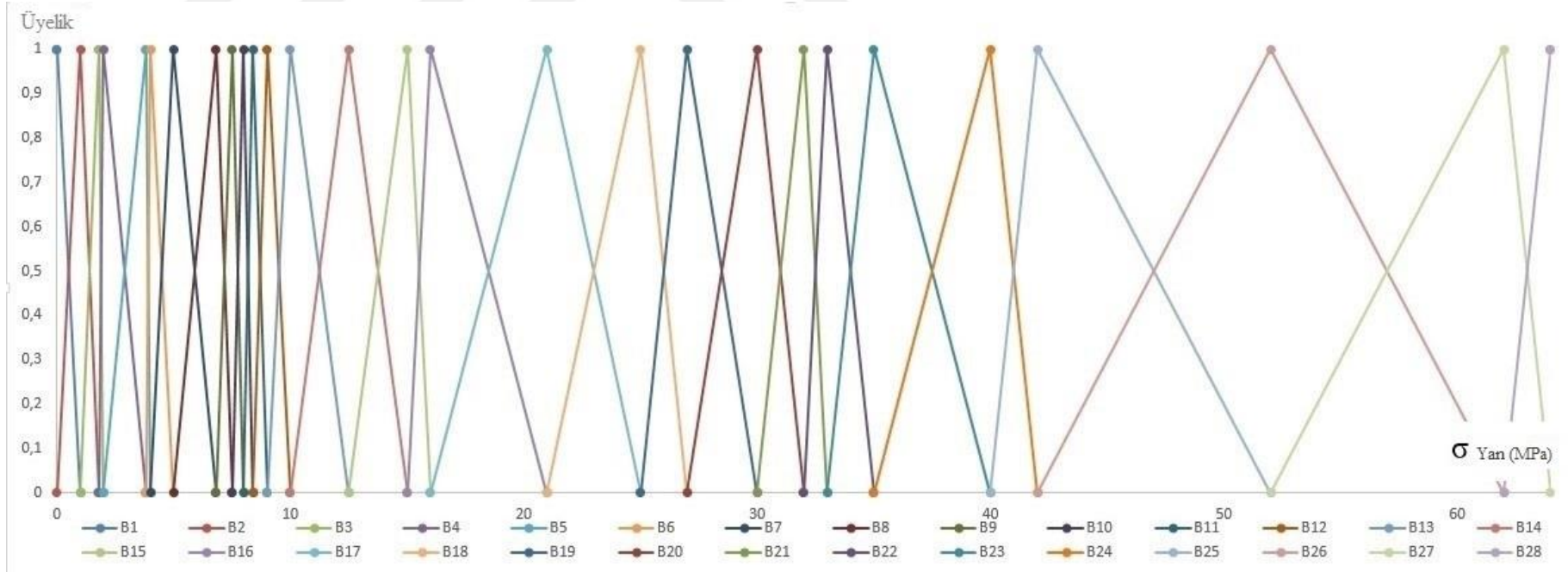
**Çizelge 3.1** Üç eksenli basınç dayanımı önerilen matematiksel modeller

Model ve Araştırmacı(lar)	Matematiksel Model
M <sub>1</sub> Richart vd. (1929)	$\sigma_1 = f_c + 4,1 * \sigma_3$
M <sub>2</sub> Balmer (1949)	$\sigma_1 = f_c + 9,175 * f_c^{0,27} * \sigma_3^{0,73}$
M <sub>3</sub> Marteniz vd. (1984)	$\sigma_1 = f_c + 4 * \sigma_3$
M <sub>4</sub> Saatcioglu ve Razvi (1992)	$\sigma_1 = 0,85 * f_c + 6,7 * \sigma_3^{0,83}$
M <sub>5</sub> Saatcioglu ve Razvi (2002)	$\sigma_1 = f_c + 6,7 * \sigma_3^{0,83}$
M <sub>6</sub> Setunge vd. (1993)-1	$\sigma_1 = f_c + 18,67 * \sigma_3^{0,45} * f_c^{0,55}$
M <sub>7</sub> Setunge vd. (1993)-2	$\sigma_1 = f_c + 14,67 * \sigma_3^{0,45} * f_c^{0,55}$
M <sub>8</sub> Setunge vd. (1993)-3	$\sigma_1 = f_c + 13,07 * \sigma_3^{0,63} * f_c^{0,37}$
M <sub>9</sub> Xie vd. (1995)	$\sigma_1 = f_c * \left(1 + \frac{(21,2 * \sigma_3)}{f_c} - 0,05 * \sigma_3 * f_c\right)^{0,5}$
M <sub>10</sub> Legeron ve Paultre (2003)	$\sigma_1 = f_c * \left(1 + 2,4 * \left(\frac{\sigma_3}{f_c}\right)^{0,7}\right)$
M <sub>11</sub> Attard ve Setunge (1996)	$\sigma_1 = f_c * \left(\frac{1 + \sigma_3}{0,3483 * f_c^{0,63}}\right)^{(1,25 * (1 + 0,062 * (\sigma_3 / f_c)) * f_c^{0,2})}$
M <sub>12</sub> Girgin vd. (2007)	$\sigma_1 = f_c + 4,08 * \sigma_3^{0,83} * f_c^{0,17}$
M <sub>13</sub> Johnston (1985)	$\sigma_1 = f_c * \left(1 + \frac{\sigma_3}{0,3483 * f_c^{0,63}}\right)^{1 - 0,0172 * (\log 1000 * f_c)}$
M <sub>14</sub> Lan ve Guo (1997)	$\sigma_1 = f_c + 6,74 * \sigma_3 - (2,03 * \sigma_3^2) / f_c$
M <sub>15</sub> Ansari ve Li (1998)	$\sigma_1 = f_c + 2,45 * \sigma_3^{0,703} * f_c^{0,297}$
M <sub>16</sub> Li ve Ansari (2000)	$\sigma_1 = f_c + 2,4305 * \sigma_3^{0,6376} * f_c^{0,3624}$
M <sub>17</sub> Bohwan vd. (2007)	$\sigma_1 = f_c + \frac{4,352 * \sigma_3 - 2,769 * \sigma_3^2}{f_c}$
M <sub>18</sub> Chinn ve Zimmerman (1965)	$\sigma_1 = f_c + 8,2 * \sigma_3^{0,883}$
M <sub>19</sub> Mullar (1975)	$\sigma_1 = f_c + 5,736229867 * \sigma_3^{1,25}$
M <sub>20</sub> Avram vd. (1981)	$\sigma_1 = f_c + 3,7 * \sigma_3^{0,86} * f_c^{0,14}$
M <sub>21</sub> Tang (2010)	$\sigma_1 = 1,2 * f_c + 3,4 * \sigma_3$
M <sub>22</sub> Samaan vd. (1998)	$\sigma_1 = f_c + 6 * \sigma_3^{0,7}$
M <sub>23</sub> Babanajad vd. (2013)-1	$\sigma_1 = f_c * \left(2 * \left(\frac{\sigma_3}{f_c}\right)^{\frac{5}{8}} + 2 * \left(\frac{\sigma_3}{f_c}\right) + 1\right)$
M <sub>24</sub> Babanajad vd. (2013)-2	$\sigma_1 = \sqrt{\sigma_3} + \sqrt{2 * \sigma_3 * f_c} + 2 * \sigma_3 - 4 + f_c$
M <sub>25</sub> Öztekin (2016)	$\sigma_1 = f_c + 2 * \sigma_3 * \left(0,8 + \frac{(\sigma_3^2 + f_c^2)}{(\sigma_3 + f_c)^2}\right)$

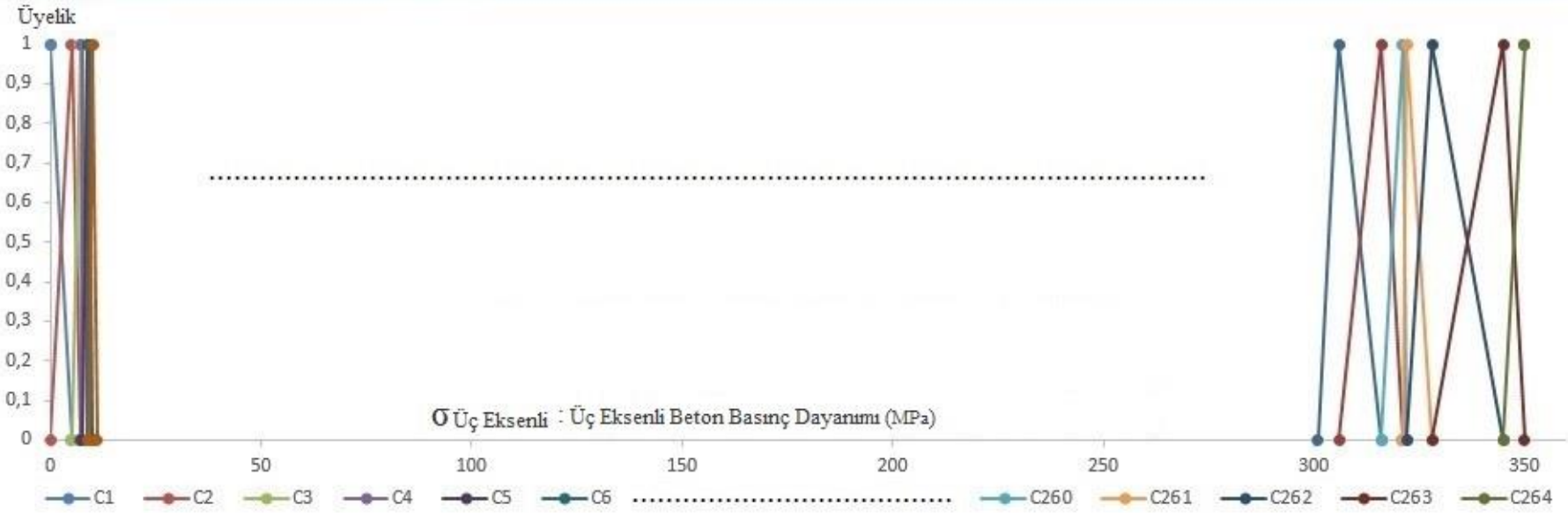




Şekil 3.1 Eksenel basınç dayanımı için oluşturulan bulanık kümeler ve üçgen üyelikler



Şekil 3.2 Yanal basınç gerilmesi için oluşturulan bulanık kümeler ve üçgen üyelikler



Şekil 3.3 Üç eksenli basınç için oluşturulan bulanık kümeler ve üçgen üyelikler

Çizelge 3.2 Kural tablosu

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23
<b>B1</b>	C1	C2	C4	C7	C11	C14	C21	C27	C31	C34	C42	C49	C52	C60	C70	C75	C80	C91	C96	C100	C107	C111	C121
<b>B2</b>	C1	C3	C7	C8	C14	C17	C25	C30	C35	C38	C44	C53	C55	C67	C73	C79	C86	C96	C101	C106	C116	C119	C130
<b>B3</b>	C1	C5	C9	C14	C16	C20	C27	C31	C37	C40	C48	C54	C57	C68	C77	C83	C89	C99	C104	C111	C118	C123	C133
<b>B4</b>	C1	C6	C10	C15	C17	C21	C28	C32	C38	C41	C49	C55	C58	C69	C78	C84	C90	C100	C105	C111	C119	C123	C135
<b>B5</b>	C1	C12	C13	C19	C23	C27	C32	C38	C43	C46	C54	C60	C63	C74	C86	C92	C97	C108	C115	C121	C131	C134	C146
<b>B6</b>	C1	C12	C13	C21	C25	C27	C33	C39	C44	C47	C55	C61	C64	C75	C87	C93	C98	C109	C116	C124	C132	C135	C147
<b>B7</b>	C1	C14	C16	C25	C28	C32	C40	C44	C49	C51	C58	C65	C70	C82	C92	C97	C103	C115	C120	C127	C137	C141	C154
<b>B8</b>	C1	C18	C23	C26	C38	C42	C49	C52	C54	C57	C62	C72	C79	C94	C100	C106	C113	C123	C121	C134	C147	C152	C170
<b>B9</b>	C1	C22	C26	C30	C42	C45	C53	C55	C57	C59	C65	C76	C84	C97	C103	C109	C117	C126	C132	C136	C150	C155	C176
<b>B10</b>	C1	C23	C27	C33	C44	C48	C55	C57	C59	C62	C67	C78	C86	C99	C105	C112	C119	C128	C134	C138	C153	C158	C178
<b>B11</b>	C1	C24	C29	C36	C45	C49	C55	C58	C61	C66	C71	C80	C88	C99	C105	C113	C119	C130	C136	C140	C153	C159	C178
<b>B12</b>	C1	C26	C30	C37	C47	C51	C59	C60	C62	C67	C72	C84	C91	C103	C108	C114	C124	C132	C138	C142	C156	C163	C184
<b>B13</b>	C1	C28	C33	C41	C48	C53	C60	C62	C70	C76	C81	C88	C95	C105	C112	C119	C127	C136	C143	C146	C159	C167	C185
<b>B14</b>	C1	C32	C41	C48	C56	C61	C70	C73	C82	C93	C95	C98	C106	C116	C121	C129	C137	C146	C153	C154	C171	C180	C197
<b>B15</b>	C1	C38	C49	C56	C62	C70	C79	C85	C96	C108	C109	C111	C119	C126	C130	C138	C147	C155	C163	C165	C181	C191	C208
<b>B16</b>	C1	C40	C53	C59	C66	C72	C84	C87	C100	C109	C111	C114	C119	C129	C133	C142	C149	C159	C167	C175	C185	C193	C214
<b>B17</b>	C1	C50	C73	C80	C87	C92	C99	C105	C115	C128	C129	C133	C138	C143	C146	C153	C161	C176	C181	C185	C199	C209	C223
<b>B18</b>	C1	C58	C94	C97	C101	C105	C113	C120	C124	C139	C141	C147	C149	C153	C155	C163	C172	C190	C192	C196	C211	C219	C232
<b>B19</b>	C1	C61	C102	C105	C109	C113	C120	C128	C135	C146	C147	C152	C154	C157	C160	C169	C177	C194	C197	C203	C216	C223	C235
<b>B20</b>	C1	C67	C116	C119	C121	C125	C130	C134	C144	C152	C154	C162	C164	C166	C168	C177	C184	C205	C206	C212	C223	C231	C241
<b>B21</b>	C1	C70	C116	C128	C130	C132	C137	C145	C150	C154	C160	C168	C170	C172	C175	C181	C190	C206	C211	C217	C228	C232	C245
<b>B22</b>	C1	C72	C128	C130	C132	C134	C139	C147	C152	C158	C162	C170	C172	C174	C176	C184	C191	C212	C213	C219	C230	C233	C247
<b>B23</b>	C1	C77	C132	C134	C136	C138	C143	C150	C154	C162	C166	C174	C175	C179	C181	C189	C195	C215	C216	C222	C232	C236	C249
<b>B24</b>	C1	C89	C142	C144	C146	C148	C152	C158	C163	C170	C174	C182	C184	C191	C193	C200	C207	C223	C225	C230	C238	C244	C254
<b>B25</b>	C1	C93	C145	C148	C149	C151	C155	C161	C167	C173	C177	C186	C188	C193	C197	C206	C211	C226	C227	C232	C240	C247	C255
<b>B26</b>	C1	C114	C163	C165	C167	C169	C174	C180	C184	C189	C193	C201	C204	C212	C220	C224	C229	C239	C241	C246	C252	C256	C261
<b>B27</b>	C1	C135	C181	C183	C186	C188	C192	C195	C199	C202	C208	C215	C219	C227	C234	C239	C243	C250	C253	C257	C259	C261	C263
<b>B28</b>	C1	C139	C184	C187	C190	C191	C194	C198	C203	C205	C210	C218	C221	C231	C237	C242	C246	C251	C255	C258	C260	C262	C264

Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3 de verilen bulanık kümeler ile Çizelge 3.2’de verilen kural tablosu tek seferde ortaya çıkmamıştır. Bu kümeleri ve kural tablosunu oluşturmak için birçok defa farklı sayıda bulanık küme ve farklı boyutta kural tablosu kullanılarak birçok farklı bulanık model oluşturulmuş ve oluşturulan modellerin gerçek deneysel verilere ne kadar yakın sonuçlar ürettiğine bakılmıştır. Bu amaçla Visual Basic programlama dilinde tez danışmanı tarafından daha önce yazılmış olan Bulanık Mantık yazılımı kullanılmıştır.

Deneysel veriler birçok farklı kaynaktan derlenerek alındığı için, bu verilerin farklı üretim, farklı malzeme, farklı yöntem, farklı cihaz vb. parametrelerin etkilerini de dikkate alarak yaklaşık en fazla % 15 ‘lik bir hatanın makul olacağı bu tez kapsamında düşünülmüştür. Çalışmada diğer deneysel veriler ile uyumlu olmayan ve bulanık mantık modelinde bozucu etki yaptığı görülen 41 adet deneysel veri çalışma kapsamından çıkarılarak toplam 196 deneysel veri ile hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık hesaplamalarında 7 farklı durulaştırıcı kullanılmış, bunlardan deneysel verilere en yakın değer üreteninin seçilerek güvenilirlik çalışmalarında kullanılabilmesi için bu durulaştırıcılar ile üretilen yapay deneysel veriler gerçek veriler ile karşılaştırılmıştır.

Durulaştırma seçimi için yapılan karşılaştırmalarda Denklem 3.1 ile verilen Yüzde hata hesabı (PE) her bir durulaştırıcı için hesaplanmıştır ve Çizelge 3.3’ de verilmiştir.

$$PE = \max \left( \frac{(h_i - t_i)}{h_i} * 100 \right) \quad (3.1)$$

$h_i$  ; i numaralı gerçek değerler,  $t_i$  ;i numaralı hesaplanan değerler.

**Çizelge 3.3** Durulaştırıcılardaki en büyük hata değerleri

<i>No</i>	Durulaştırıcı	<i>PE (%)</i>
1	SOM	29,8667
2	LOM	19,23047
3	MOM	48,74178
4	COA	18,49708
5	BOA	18,73937
6	COS	18,49456
7	WA	15,13901

Bu tablodan da anlaşılacağı gibi en doğru çözüme ulaşmak için 7 numaralı WA durulaştırıcısının güvenilirlik hesaplamalarında kullanılmasına karar verilmiştir.

Özetlemek gerekirse, güvenilirlik hesaplamalarında maksimum % '15 hata ile yapay deneysel veri üretimi için Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de verilen bulanık kümeler ile Çizelge 3.2' de verilen kural tablosu ile oluşturulan, WA durulaştırıcılı bulanık mantık modelinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Güvenilirlik hesaplamaları için yazılan program kodu ile literatürdeki 25 analitik modelin güvenilirlikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 3.4 de bu program kodunun akış şeması verilmektedir. Bu akış şemasından da görülebileceği gibi bulanık mantık ile yapay deneysel veri üretimi için gerekli kod parçası bu büyük kodun içine dâhil edilmiştir. Bu sayede Monte Carlo Simülasyonu ile bulanık mantık algoritmasının eş zamanlı kullanımı mümkün olmuştur.

Yapay deneysel veri üretimi ile güvenilirlik araştırıldığı için, yapay deneysel veri üretiminde yapılan hatalarında dikkate alınması gerekmektedir. Bu nedenle tipik güvenilirlik araştırmalarında verilen tek bir sınır durum yerine, bu çalışmada yapay deneysel verinin üretiminde yapılabilecek hatanın model güvenilirliğine olumlu ve olumsuz etkilerini de gösterecek olan üç adet sınır durum dikkate alınmıştır. Bu sınır durumlar aşağıda denklem (3.2), (3.3) ve (3.4) de verilmektedir.

$$g(\sigma_{1BM}, \sigma_{1M}) = (1 + h) \cdot \sigma_{1BM} - \sigma_{1M} \quad (3.2)$$

$$g(\sigma_{1BM}, \sigma_{1M}) = \sigma_{1BM} - \sigma_{1M} \quad (3.3)$$

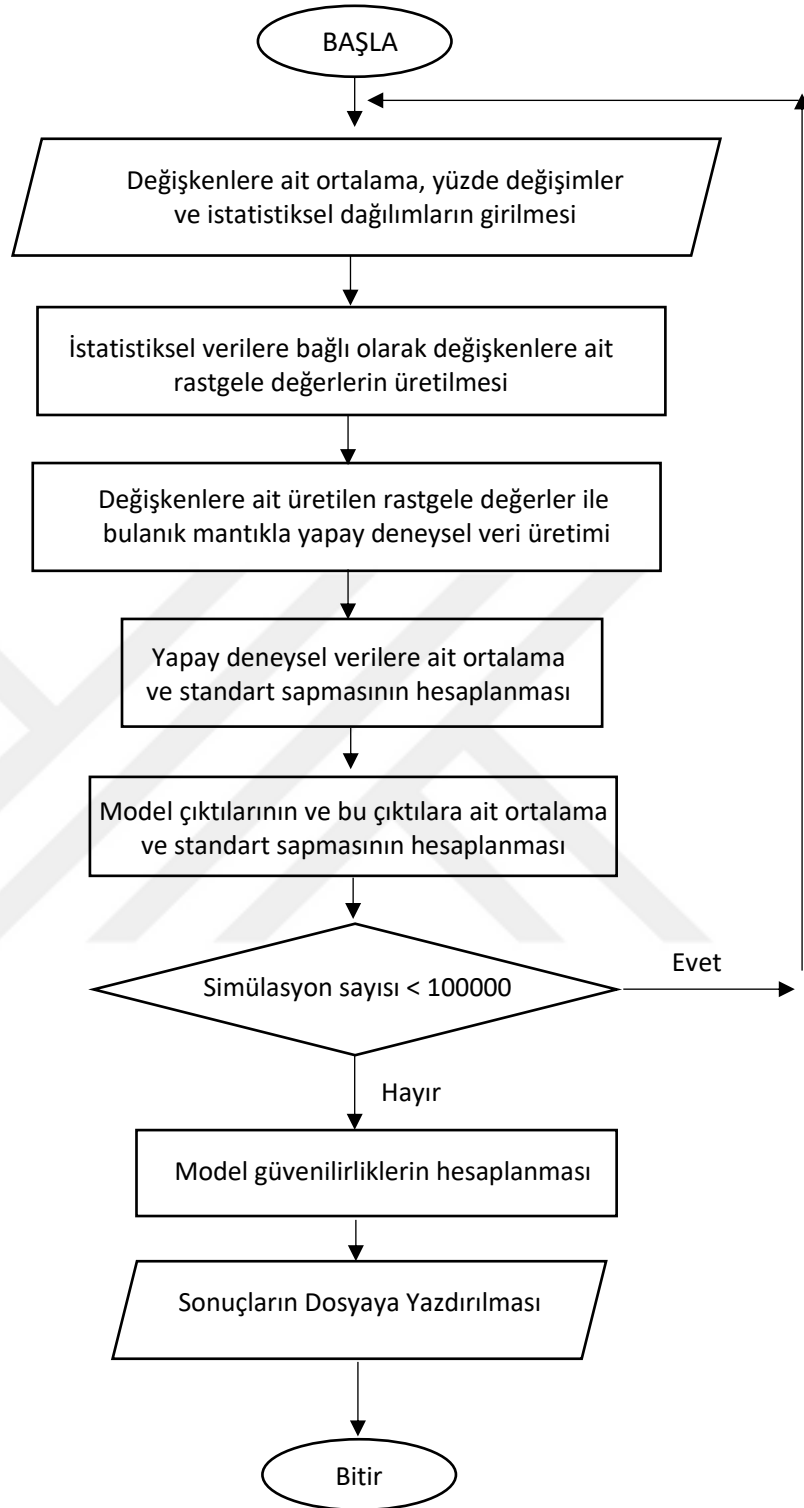
$$g(\sigma_{1BM}, \sigma_{1M}) = (1 - h) \cdot \sigma_{1BM} - \sigma_{1M} \quad (3.4)$$

Bu denklemlerdeki  $\sigma_{1BM}$ ; Bulanık mantıkla elde edilen yapay üç eksenli basınç dayanımı,  $\sigma_{1M}$ ; analitik modeller ile elde edilen tahmini üç eksenli beton basınç dayanımı ve  $h$ ; hata miktarı(0.15)dır.

Bu problemdeki değişken parametreler için Gauss dağılımı istatistiksel dağılım olarak kullanılmış ve bu parametrelerin değişim katsayıları Çizelge 3.4 de gösterildiği gibi dikkate alınmıştır. Monte Carlo Simülasyonunun sonunda güvenilirlik hesabının neticesi olarak bilinen güvenilirlik indeksi  $\beta$  denklem 3.5 de verilen eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır.

**Çizelge 3.4** Problem değişkenleri hakkında bazı istatistiki bilgiler

<i>Sembol</i>	<i>Değişkenler</i>	<i>Değerleri</i>	İstatistiksel dağılım	Varyasyon (değişim) katsayısı
$\sigma$	Yanal basınç gerilmesi (MPa)	$f_{ck} < 30 \Rightarrow 0.1f_{ck}, 0.2f_{ck}, 0.3f_{ck}, 0.4f_{ck}, 0.5f_{ck}$	Gauss	0,05
		$f_{ck} > 30 \Rightarrow 5, 10, 15, 20, 25$		
$f_c$	Beton basınç dayanımı (MPa)	10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 115, 120	Gauss	0,10



Şekil 3.4 Çalışmada kullanılan yazılım akış diyagramı



$$\beta = \frac{\mu_{\sigma_{1BM}} - \mu_{\sigma_{1M}}}{\sqrt{\sigma_{\sigma_{1BM}}^2 + \sigma_{\sigma_{1M}}^2}} \quad (3.5)$$

Bu bağıntıdaki  $\mu_{\sigma_{1BM}}$  ve  $\mu_{\sigma_{1M}}$  sırasıyla yapay deneysel veri ortalaması ile analitik model ile hesaplanan tahminlerin ortalamasıdır.  $\sigma_{\sigma_{1BM}}^2$  ve  $\sigma_{\sigma_{1M}}^2$  ise sırasıyla yapay deneysel verideki standart sapma ile analitik model tahminlerindeki standart sapmayı göstermektedir. Çalışmada denklem (3.2), (3.3) ve (3.4) ile verilen üç farklı sınır durum kullanıldığından üç farklı  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  güvenilirlik indeksi hesaplanmıştır.

Çizelge 3.4 de görüldüğü gibi yanal basınç gerilmesi; beton basınç dayanımı 30 MPa'nın altında olduğu durumda  $0.1f_{ck}$ ,  $0.2f_{ck}$ ,  $0.3f_{ck}$ ,  $0.4f_{ck}$ ,  $0.5f_{ck}$  ve beton basınç dayanımı 30 MPa ve üstüne çıkması durumunda ise 5, 10, 15, 20, 25 MPa olmak üzere 5 farklı değere sahip olabilmektedir. Yanal Basınç gerilmesinin ayrıca Gauss dağılımına uyan ve 0.05 değişim katsayısı değerine sahip olduğu da bu tabloda görülmektedir. Aynı tabloda aynı dağılıma ve 0.10 değişim katsayısı değerine sahip diğer değişkenin beton basınç dayanımı olduğu görülmektedir. Bu değişken bu çalışmada 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 115 ve 120 olmak üzere toplam 23 farklı değer almıştır.

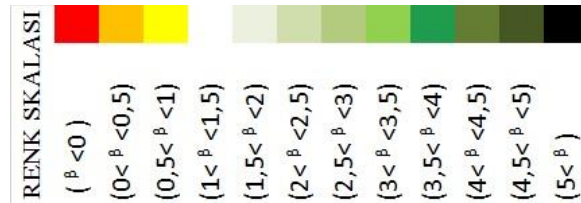
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE İRDELEME

Üç eksenli beton basınç dayanımı modellerinin güvenilirliklerini araştırmak için yapılan analizlerin sonucunda elde edilen güvenilirlik indeksi değerleri kullanılarak renk haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalar üç güvenilirlik indeksi ( $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$ ) tanımlaması için üç farklı bölümden oluşmaktadır. Her bir model için ayrı ayrı oluşturulan bu renk haritalarında yanıl basınç ve beton basınç dayanımı değişken parametreler olarak dikkate alınmıştır. Bunlardan beton basınç dayanımı 10-120 MPa arasında iken beş farklı yanıl basınç değeri ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ,  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$ ) ise beton basınç dayanımına göre daha önceden belirtildiği gibi hesaplanarak haritalarda kullanılmıştır. 12 farklı renk ve/veya renk tonunun kullanıldığı bu haritalarda, her bir renk farklı bir güvenilirlik indeksi aralığını ifade edecek şekilde düzenlenmiştir. Haritalardaki kırmızı renk; sıfırdan küçük güvenilirlik indeksi değerlerini, siyah renk; 5 den büyük güvenilirlik indeksi değerlerini temsil etmektedir. Diğer renk ve/veya renk tonları sırasıyla turuncudan sarıya, beyaza, yeşilin açık ve koyu tonlarına doğru 0 ile 5 aralığındaki güvenilirlik indeksi değerlerine karşılık gelmektedir (Bkz Şekil 4.1).

Çalışmanın bu bölümünde her bir modelin farklı basınç dayanımı ve yanıl basınç kombinasyonlarında  $\beta < 0$ ,  $0 < \beta < 3$ ,  $3 < \beta < 5$  ve  $\beta > 5$  güvenilirlik aralıklarından hangisinde kaldığını daha kolay ve anlaşılır şekilde değerlendirebilmek için tablolu grafikler düzenlenmiştir. Renk haritası düzenlemesinde olduğu gibi tablolu grafikler için de üç güvenilirlik indeksi ( $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$ ) tanımlaması için üç farklı tablolu grafik oluşturulmuştur. Her bir modele ait renk haritaları ve tablolu grafikler, bu modellerin ayrı ayrı değerlendirilmesi esnasında bu bölüm içeriğinde verilmiştir.

Şekil 4.1 de görüldüğü gibi güvenilirlik aralıkları 12 farklı renk tonu kullanılarak sunulmuştur. Renkler ile güvenilirlik arasında uyumun sağlanmasına çalışılmıştır.

Kırmızı tonu güvenilir olmayan tarafı temsil ederken koyu yeşil ve siyah, büyük ve ekonomik olmayan güvenilirlik endeks değerleridir. Açık renkli alanlara karşılık gelen yanal basınç ve beton mukavemet değerleri modelin hem ekonomik hem güvenilir olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.1  $\beta$  değer aralığına göre oluşturulmuş renk skalası

#### 4.1 Richart vd. Tarafından Önerilen Model ( $M_1$ ) İçin İrdeleme

Richart vd.(1929) tarafından önerilen ve bu çalışmada  $M_1$  olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlenmesiyle sırasıyla Şekil 4.2 ve Şekil4.3’de verilen tablolu grafikler ve renk haritası elde edilmiştir.

Bu modelin  $\beta_1$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; çok düşük beton basınç dayanımlarında güvensiz, yüksek beton basınç dayanımlarında ise ekonomiklikten uzak ancak çok güvenli sonuçlar verebilmektedir, denilebilir. Modelin  $\beta_1$  güvenilirlik indeksi ile ilgili olarak söylenebilecek diğer hususlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

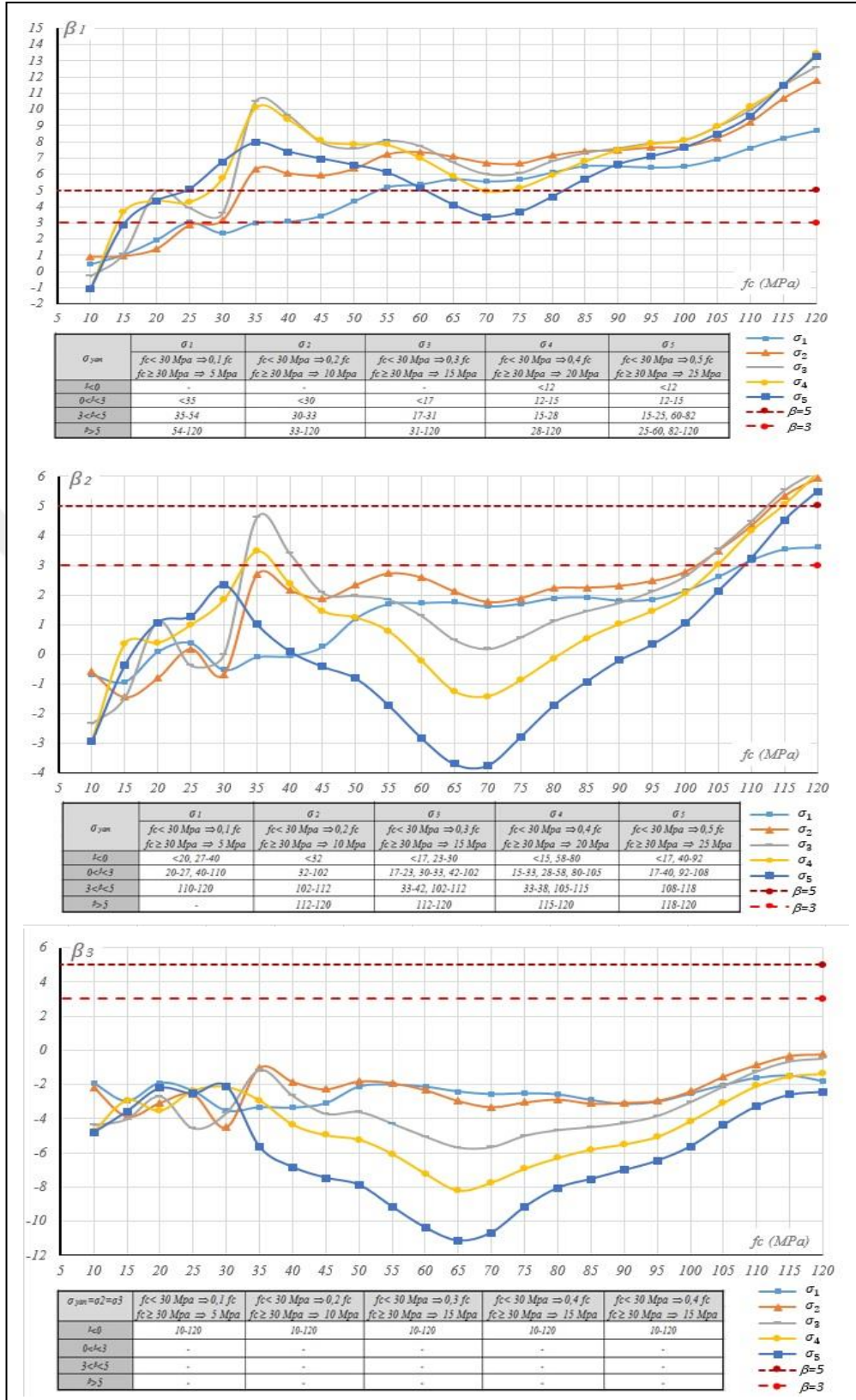
- $\beta_1 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar yaratacağı  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için dayanımı 12 MPa’dan küçük olan betonlardır.
- $0 < \beta_1 < 3$  için modelin kullanılabileceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 10-35 MPa arasındaki,  $\sigma_2$  için 10-30 MPa arasındaki değerlerdir  $\sigma_3$  için 10-

17 MPa arasında bulunan değerlerdir.  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için bu kullanım 12-15 MPa arasındaki beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.

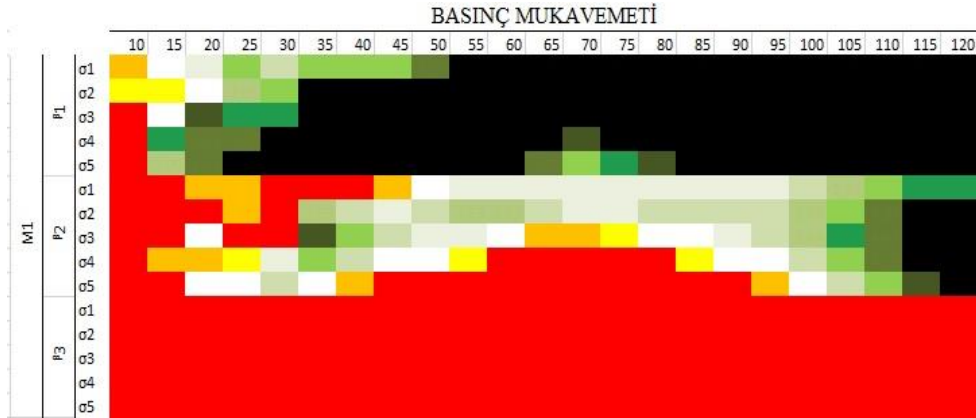
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_1 < 5$ ) sonuçlar 35-54 MPa arasındadır.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 30-33 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basınçta dalgalanmalar söz konusu olup en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 17-31 MPa arasındadır.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 15-28 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır. Bu beton dayanımı aralıklarında kullanımı ekonomik olmayabilir.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise dalgalanmalar olup en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 15-25 ve 60-82 MPa 'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 54-120 MPa 'lık,  $\sigma_2$  için 33-120 MPa 'lık,  $\sigma_3$  için 31-120 MPa 'lık değerlerdir. Modelin kullanımı  $\sigma_4$  için 28-120 MPa 'lık ve  $\sigma_5$  için 25-60 ile 82-120 MPa 'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\beta_1$  güvenilirlik indeksi için  $M_1$  modeli çok düşük beton basınç dayanımlarında güvensiz, yüksek beton basınç dayanımlarında ise ekonomiklikten uzak ancak çok güvenli sonuçlar verebilmektedir.

$M_1$  modelinin  $\beta_2$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; güvenilirlik düzeyi  $\beta_2 < 3$  düzeyindedir denilebilir. Ayrıca  $M_1$  modelinin  $\beta_2$  güvenilirlik indeksi ile ilgili olarak söylenebilecek diğer hususlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- $\beta_2 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar yaratacağı betonlar  $\sigma_1$  için dayanım 20 MPa ve altındaki değerler ile 27-40 MPa arasındaki değerler,  $\sigma_2$  için ise 32 MPa ve altında değerler güvensiz kısımda kalmaktadır.  $\sigma_3$  için 17 MPa ve altındaki değerler ile 23-30 MPa arasındaki değerlerde,  $\sigma_4$  için 15 MPa ve altındaki değerler ile 58-80 MPa arasındaki değerlerde ve  $\sigma_5$  için 17 MPa ve altındaki değerler ile 40-92 MPa arasındaki değerlerde modelin kullanımı güvenilir değildir.



Şekil 4.2  $M_1$  modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği



Şekil 4.3 M<sub>1</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

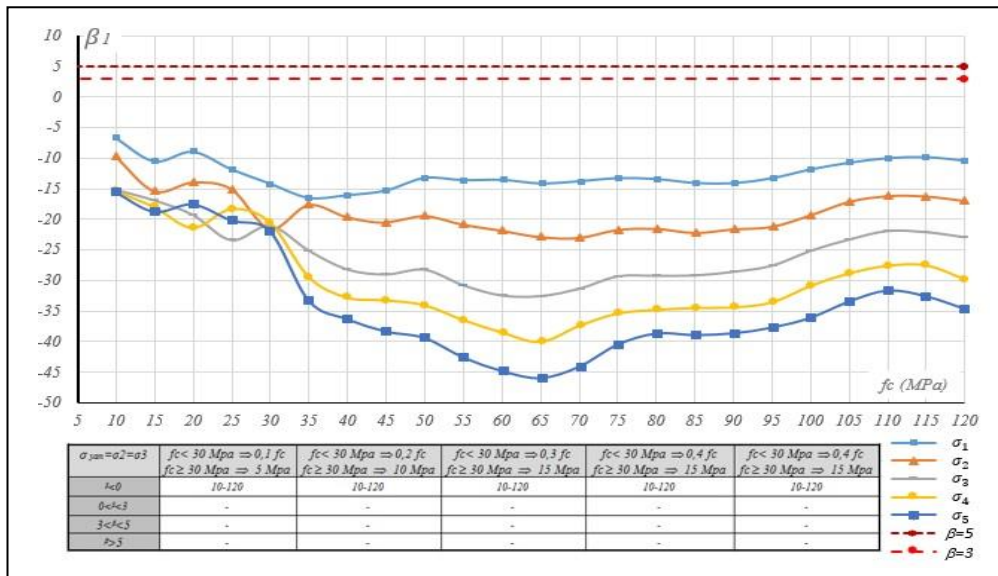
- $0 < \beta_2 < 3$  için modelin kullanılabileceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 20-27, 40-110 MPa,  $\sigma_2$  için 32-102 MPa,  $\sigma_3$  için 17-23, 30-33, 42-102 MPa arasında bulunan değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 15-33, 28-58, 80-105 MPa arasındaki ve  $\sigma_5$  için 17-40, 92-108 MPa arasındaki beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuçlar 110-120 MPa arasındadır.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 102-112 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basınçta dalgalanmalar söz konusu olup en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 102-112 MPa arasındadır.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 30-38, 105-115 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 108-118 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- Modelin;  $\beta_2 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde bulunmamaktadır.  $\sigma_2$  ve  $\sigma_3$  için 112-120 MPa'lık,  $\sigma_4$  için 115-120 MPa'lık ve  $\sigma_5$  için 118-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.

- Model farklı beton basınç dayanımları altında dalgalanmalar göstermektedir. Çok yüksek beton basınç dayanımlarında ise ekonomiklikten uzak ancak çok güvenli sonuçlar verebilmektedir.
- $M_1$  modelinin  $\beta_3$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; güvenilirlik düzeyi  $\beta_3 < 0$  düzeyindedir denilebilir. Başka bir deyişle bu modelin  $\beta_3$  için güvenilirliği yoktur.

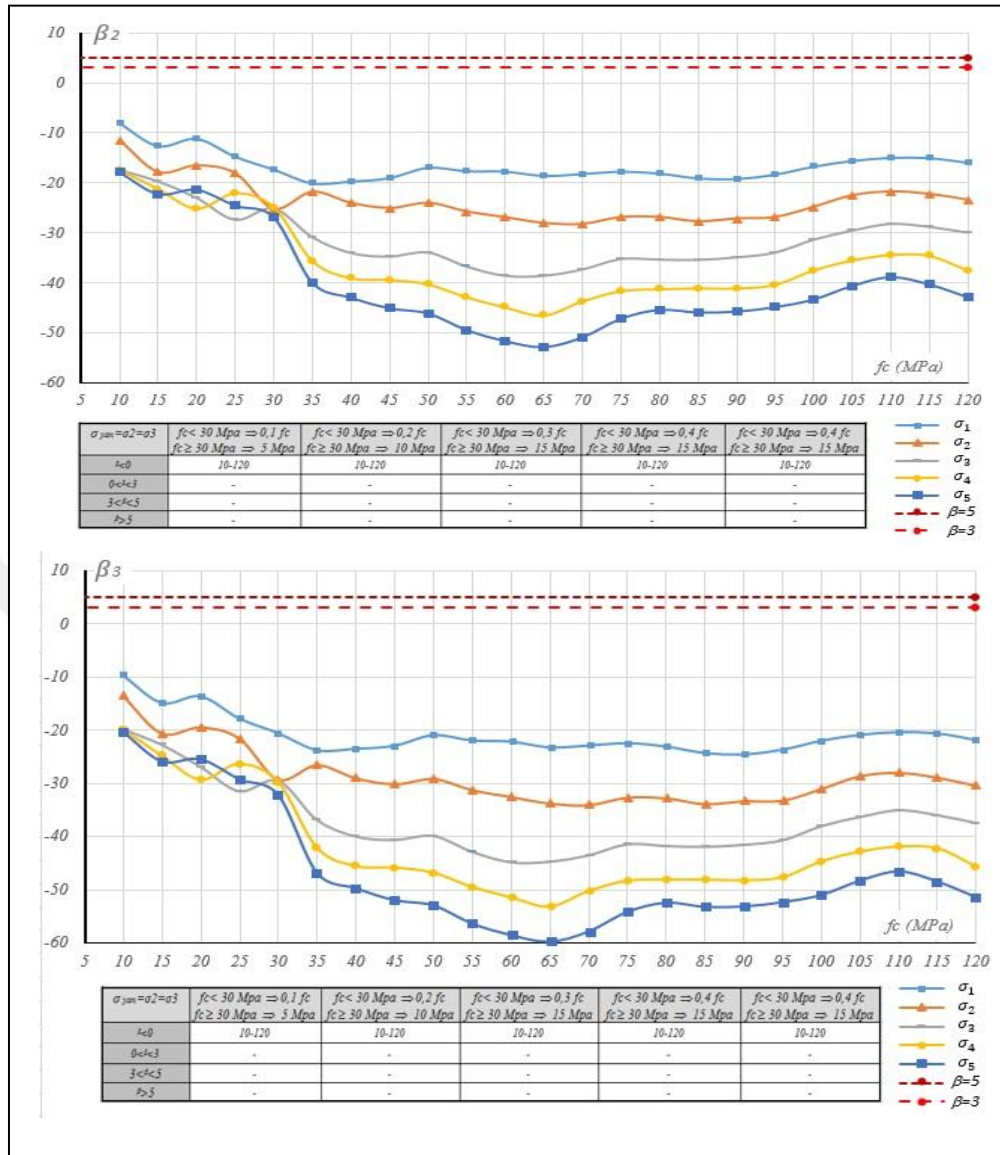
#### 4.2 Balmer Tarafından Önerilen Model ( $M_2$ ) İçin İrdeleme

Balmer (1949) tarafından önerilen ve bu çalışmada  $M_2$  olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlenmesiyle sırasıyla Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilen tablolular grafikler ve renk haritası elde edilmiştir.

Bu şekillerden de anlaşılacağı gibi Balmer tarafından önerilen  $M_2$  modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  güvenilirlik indeksleri için; dikkate alınan beş farklı yanal gerilme durumları ve tüm beton basınç dayanımlarında güvensiz ( $\beta_1 < 0$ ,  $\beta_2 < 0$ ,  $\beta_3 < 0$ ) sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 4.4  $M_2$  modelinin  $\beta_1$  indeksi için güvenilirliği

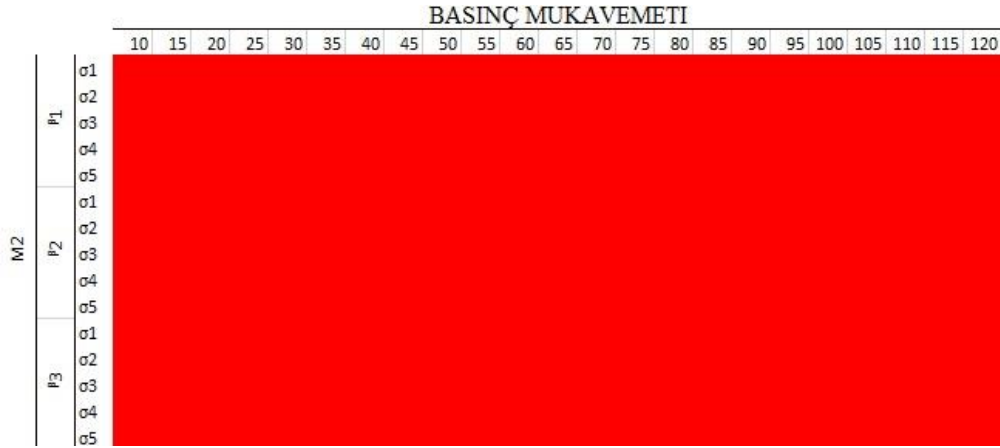


Şekil 4.5 M<sub>2</sub> modelinin  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği

### 4.3 Marteniz vd. Tarafından Önerilen Model (M<sub>3</sub>) İçin İrdeleme

Marteniz vd.(1984) tarafından önerilen ve bu çalışmada M<sub>3</sub> olarak numaralandırılan modelin  $\beta_1$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; çok düşük beton basınç dayanımlarında güvensizdir denilebilir. Model ile ilgili olarak, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 yardımıyla ayrıca aşağıda verilen değerlendirmeler yapılabilir.





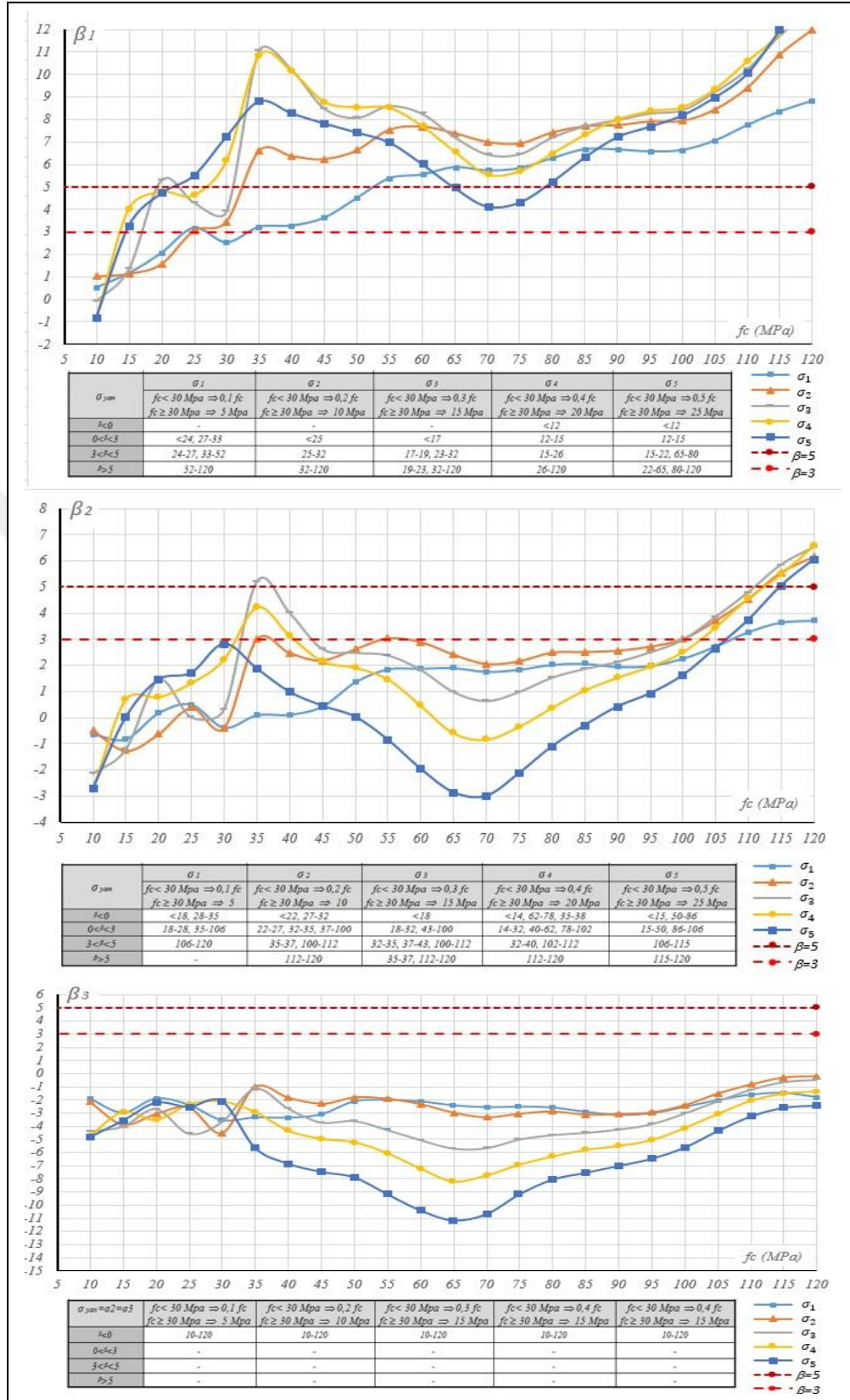
**Şekil 4.6** M<sub>2</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

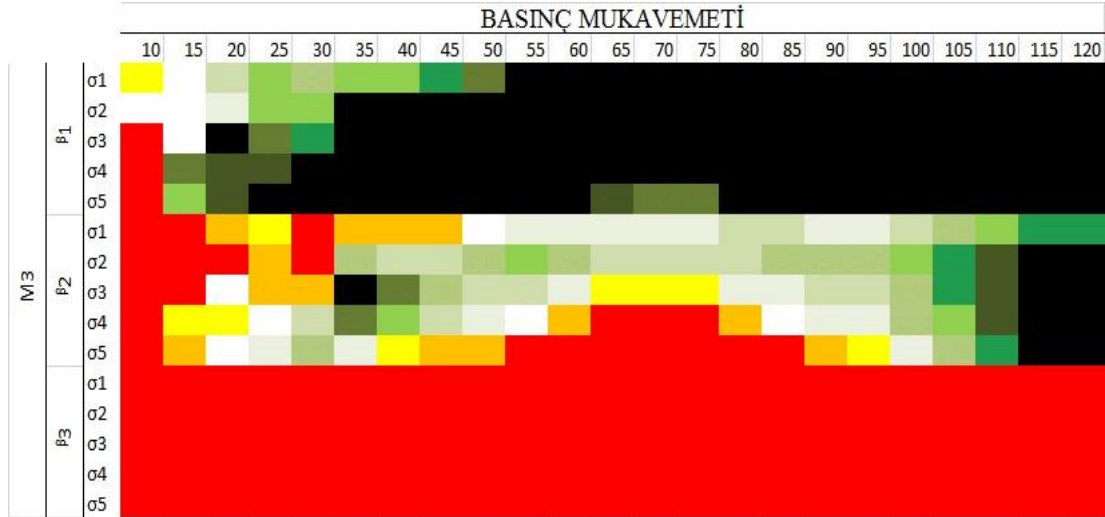
- $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  yanal gerilme ve  $f_{ck} \leq 12$  MPa için  $\beta_1 < 0$ 'dır. Başka bir deyişle modelin kullanımını bu şartlarda güvenilir değildir.
- $\sigma_1$  yanal basınç gerilmesi ve  $f_{ck} \leq 24$  MPa için,  $\sigma_2$  yanal basınç gerilmesi ve  $10 \text{ MPa} \leq f_{ck} \leq 24$  MPa için,  $\sigma_3$  yanal basınç gerilmesi ve  $10 \text{ MPa} \leq f_{ck} \leq 17$  MPa için ve son olarak,  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  yanal basınç gerilmesi ve  $12 \text{ MPa} \leq f_{ck} \leq 15$  MPa için model güvenilirliği  $0 < \beta_1 < 3$  olmaktadır.
- $3 < \beta_1 < 5$  için  $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir sonuçlar  $24 \leq f_{ck} \leq 27$  MPa ve  $33 \leq f_{ck} \leq 52$  MPa arasındadır.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 25-32 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basıncında en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 17-19 MPa ve 23-32 MPa arasındadır.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 15-26 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır. Bu beton dayanımı aralıklarında kullanımını ekonomik olmayabilir.

- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise dalgalanmalar olup en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 15-22 ve 65-80 MPa 'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı ,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 52-120 MPa 'lık,  $\sigma_2$  için 32-120 MPa 'lık,  $\sigma_3$  için 19-23 ile 32-120 MPa 'lık,  $\sigma_4$  için 26-120 MPa 'lık ve  $\sigma_5$  için 22-65 ile 80-120 MPa 'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- Model Çok düşük beton basınç dayanımlarında güvensiz, yüksek beton basınç dayanımlarında ise ekonomiklikten uzak ancak çok güvenli sonuçlar verebilmektedir.

$\beta_2$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; güvenilirlik düzeyi  $\beta_2 < 3$  düzeyindedir denilebilir. Ayrıca  $M_3$  modeli ile ilgili olarak;

- $\beta_2 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar yaratacağı değerler  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 10-18, 28-35 MPa arasındaki,  $\sigma_2$  için 10-22, 27-32 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_3$  için 10-18 MPa arasındaki,  $\sigma_4$  için dayanımı 10-14, 62-78, 35-38 MPa arasındaki betonlardır.  $\sigma_5$  için 10-15, 50-86 MPa beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $0 < \beta_2 < 3$  için modelin kullanılabileceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 18-28, 33-106 MPa arasındaki,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  ve  $\sigma_4$  için dalgalanmalar söz konusu olup,  $\sigma_5$  için 15-50, 86-106 MPa arasındaki beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuçlar 106-120 MPa arasındadır.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 35-37 ve 100-112 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basınçta dalgalanmalar söz konusu olup en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 100-112 MPa arasındadır.
- Modelin;  $\beta_2 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı ,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde bulunmayıp,  $\sigma_2$  ve  $\sigma_4$  için 112-120 MPa 'lık,  $\sigma_3$  için 35-37, 112-120 MPa 'lık, ve  $\sigma_5$  için 115-120 Mpa 'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.

Şekil 4.7 M<sub>3</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği



**Şekil 4.8** M<sub>3</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

- Model içinde  $3 < \beta_2 < 5$  arasında dalgalanmalar mevcut olup aynı zamanda çok yüksek beton basınç dayanımlarında ise ekonomiklikten uzak ancak çok güvenli sonuçlar verebilmektedir.

$\beta_3$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; güvenilirlik düzeyi  $\beta_3 < 3$  düzeyindedir. Ayrıca M<sub>3</sub> modeli ile ilgili olarak;

- Model her bir yanal basınç ve eksenel basınç değerleri için ne güvenilir ne ekonomik sonuç vermiştir. Bu  $\beta$  değeri için hem güvensiz kısımda hem de ekonomik olmayan kısımda yani  $\beta < 0$  değeri altında kalmıştır.  $\sigma_4$  yanal basıncında 32-40, 102-112 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 106-115 MPa 'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.

#### 4.4 Saatçioğlu ve Razvi Tarafından Önerilen Model (M<sub>4</sub>) İçin İrdeleme

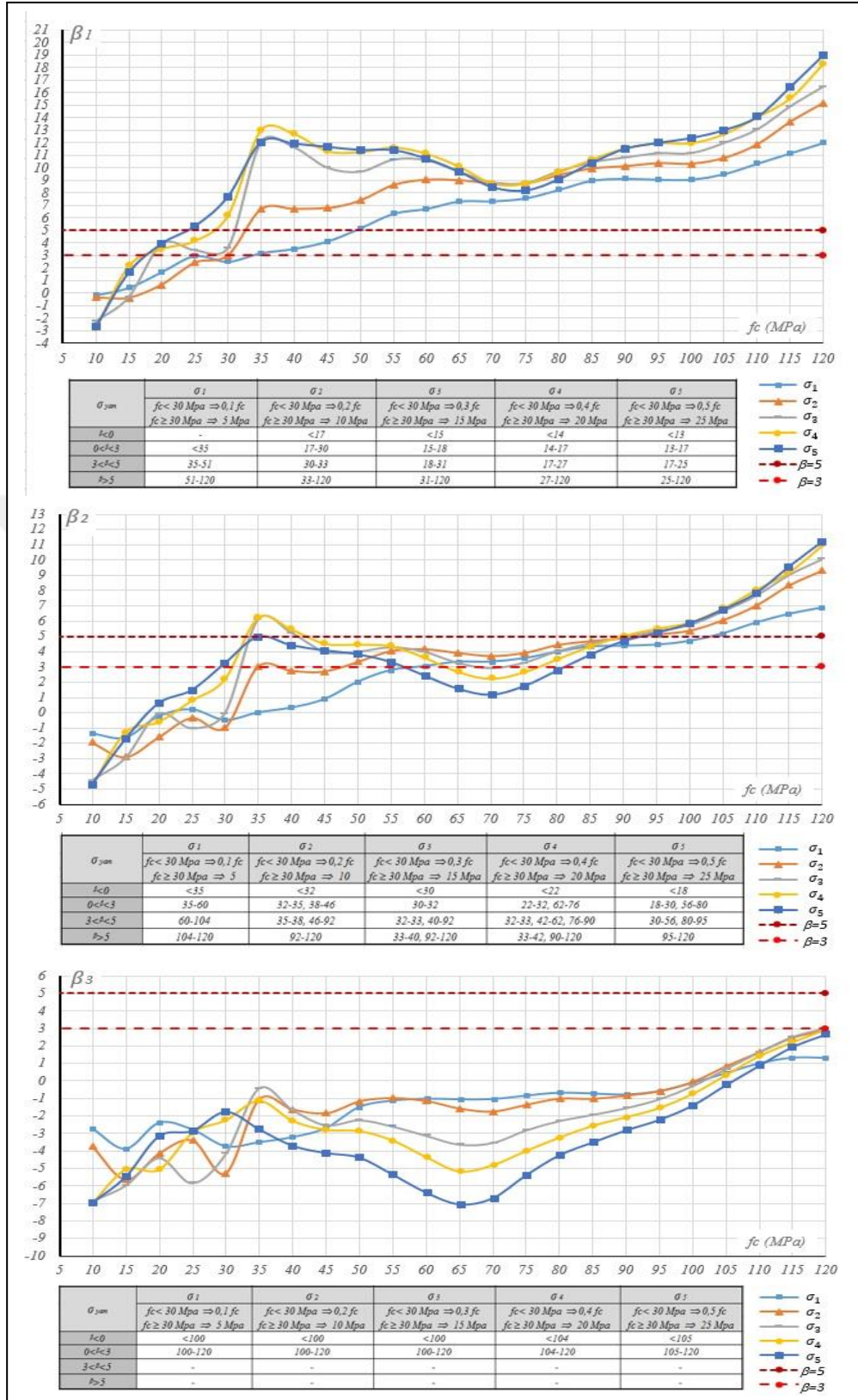
Saatçioğlu ve Razvi (1992) tarafından önerilen ve bu çalışmada M<sub>4</sub> olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlemesiyle

sırasıyla Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'de verilen tablolu grafikler ve renk haritası elde edilmiştir.

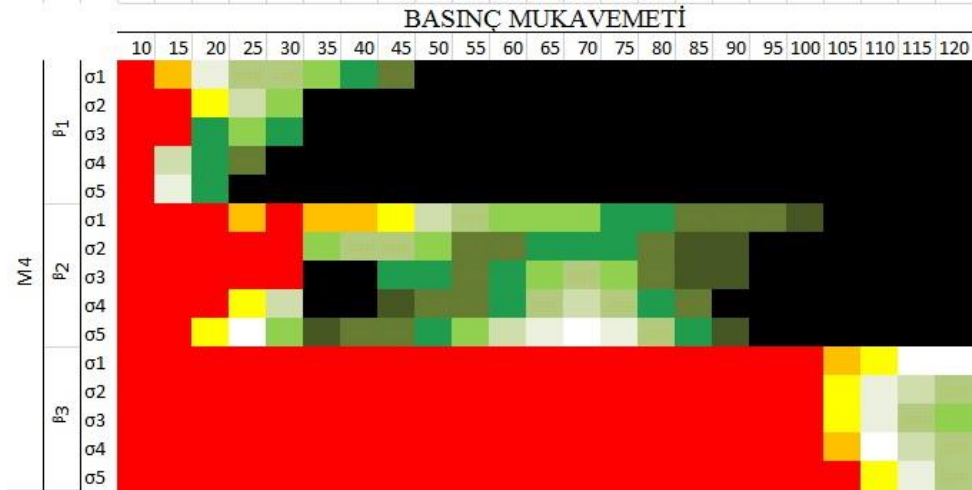
Modelin  $\beta_1$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; çok düşük beton basınç dayanımlarında güvensiz, aşağıda belirtilen değerler arasında ise ekonomiklikten uzak ancak çok güvenli sonuçlar verebilmektedir, denilebilir. Model ile ilgili olarak ayrıca;

- $\beta_1 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar yaratacağı  $\sigma_2$  için dayanımı 17 MPa'dan,  $\sigma_3$  için dayanımı 15 MPa'dan,  $\sigma_4$  için dayanımı 14 MPa'dan,  $\sigma_5$  için dayanımı 13 MPa'dan küçük olan betonlardır.
- $0 < \beta_1 < 3$  için modelin kullanılabilceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 35 MPa'dan küçük,  $\sigma_2$  için 17-30 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_3$  için 15-18 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için bu değerler yaklaşık 14-17 MPa arasındaki beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_1 < 5$ ) sonuçlar 35-51 MPa arasındadır.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 30-33 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basıncında en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 18-31 MPa arasındadır.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 17-27 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 17-25 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 51-120 MPa'lık,  $\sigma_2$  için 33-120 MPa'lık,  $\sigma_3$  için 31-120 MPa'lık,  $\sigma_4$  için 27-120 MPa'lık ve  $\sigma_5$  için 25-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- Model Çok düşük beton basınç dayanımlarında güvensiz,  $\sigma_1$ 'de 50 MPa diğer  $\sigma$  değerlerinde yaklaşık 25-30 MPa ve üzeri beton basınç dayanımlarında ise ekonomiklikten uzak ancak çok güvenli sonuçlar verebilmektedir.

$\beta_2$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; güvenilirlik düzeyi  $3 < \beta_2 < 5$  düzeyindedir denilebilir. Ayrıca M<sub>4</sub> modeli ile ilgili olarak;

Şekil 4.9 M<sub>4</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği





Şekil 4.10 M<sub>4</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

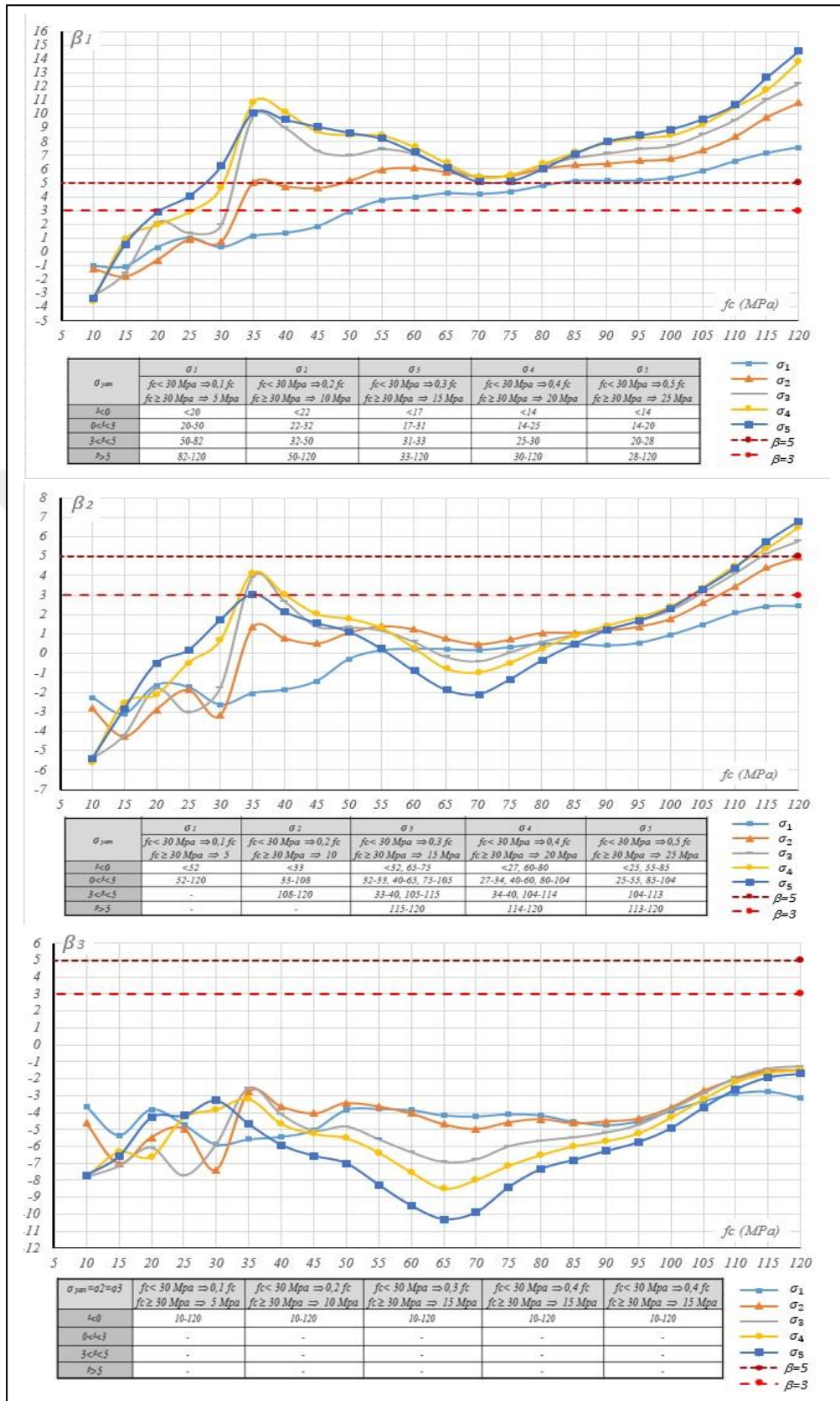
- $\beta_2 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar yaratacağı değerler  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 35 MPa'dan küçük,  $\sigma_2$  için 32 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_3$  için 30 MPa'dan,  $\sigma_4$  için 22 MPa'dan küçük değerli betonlardır.  $\sigma_5$  için 18 MPa'dan küçük beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $0 < \beta_2 < 3$  için modelin kullanılabilceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 35-60 MPa arasındaki,  $\sigma_2$  için 32-35, 38-46 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_3$  için 30-32 MPa arasında bulunan değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 22-32 ve 62-76 MPa arasındaki ve  $\sigma_5$  için 18-30, 50-80 MPa arasındaki beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuçlar 60-104 MPa arasındadır.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 35-38 ve 46-92 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basınçta dalgalanmalar söz konusu olup en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 32-33, 42-62 ve 76-90 MPa arasındadır.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 32-33, 42-62, 76-90 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.

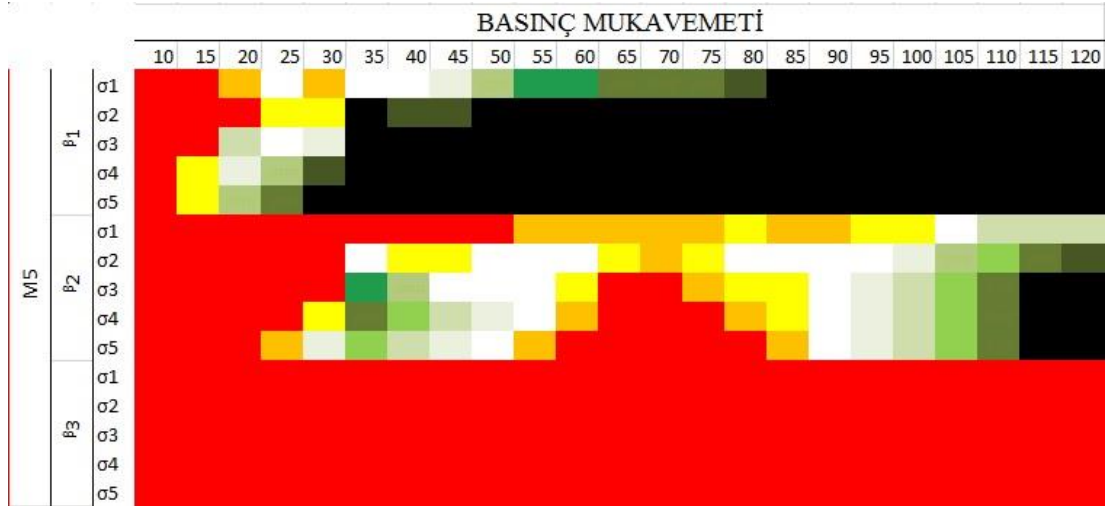
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 30-56 ve 80-95 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- Modelin;  $\beta_2 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 104-120 MPa'lık,  $\sigma_2$  için 92-120 MPa'lık,  $\sigma_3$  için 33-40, 92-120 MPa'lık,  $\sigma_4$  için 33-42 ile 90-120 MPa'lık ve  $\sigma_5$  için 95-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- Model yaklaşık 30 MPa beton basınç dayanımı altında güvensiz, 100 MPa ve üzeri yüksek beton basınç dayanımlarında ise ekonomiklikten uzak ancak çok güvenli sonuçlar verebilmektedir.
- $\beta_3$  güvenilirlik indeksi için güvenilirlik düzeyi  $\beta_3 < 3$  düzeyindedir. Ayrıca M4 modeli ile ilgili olarak;
- $\beta_3 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar yaratacağı  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  ve  $\sigma_3$  için 100 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_4$  için 104 MPa'dan küçük değerler,  $\sigma_5$  için 105 MPa'dan küçük tüm değerler güvensiz sonuçlar vermiştir.
- $0 < \beta_1 < 3$  için modelin kullanılabilmesi için dayanım aralıkları  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  ve  $\sigma_3$  yanal basınç seviyesinde 100-120 MPa arasında bulunan değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 104-120 MPa arasındaki ve  $\sigma_5$  için 105-120 MPa arasındaki beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- Modelin  $\beta_3$  için hiçbir değeri yüksek güvenilir isteyen ve tercih edilen güvenilirlik düzeyinde sonuçlar vermemiştir.

#### 4.5 Saatçioğlu ve Razvi (2) Tarafından Önerilen Model (M5) İçin İrdeleme

Saatçioğlu ve Razvi-2 (2002) tarafından önerilen ve bu çalışmada M5 olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlemesiyle sırasıyla Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de verilen tablolu grafikler ve renk haritası elde edilmiştir. Modelin  $\beta_1$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; çok düşük beton basınç dayanımlarında güvensiz, aşağıda belirtilen değerler arasında ise ekonomiklikten uzak ancak çok güvenli sonuçlar verebilmektedir, denilebilir. Model ile ilgili olarak ayrıca;



Şekil 4.11 M<sub>5</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği



Şekil 4.12 M<sub>5</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

- $\beta_1 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar yaratacağı  $\sigma_1$  için dayanımı 20 MPa'dan,  $\sigma_2$  için dayanımı 22 MPa'dan,  $\sigma_3$  için dayanımı 17 MPa'dan küçük,  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için dayanımı 14 MPa'dan küçük olan betonlardır.
- $0 < \beta_1 < 3$  için modelin kullanılabileceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 20-50 MPa arasındaki,  $\sigma_2$  için 22-33 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_3$  için 17-32 MPa arasında bulunan değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 14-25 MPa arasındaki ve  $\sigma_5$  için 14-20 MPa arasındaki beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_1 < 5$ ) sonuçlar 50-82 MPa arasındadır.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 32-50 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basıncında en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 31-33 MPa arasındadır.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 25-30 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.

- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 20-28 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 82-120 MPa'lık,  $\sigma_2$  için 50-120 MPa'lık,  $\sigma_3$  için 33-120 MPa'lık aralıklarda mümkündür.  $\sigma_4$  için 30-120 MPa'lık ve  $\sigma_5$  için 28-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- Model Çok düşük beton basınç dayanımlarında güvensiz, yüksek değerlerin beton basınç dayanımlarında ise ekonomiklikten uzak ancak çok güvenli sonuçlar verebilmektedir.

$\beta_2$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; güvenilirlik düzeyi  $\beta_2 < 3$  düzeyindedir denilebilir. Ayrıca  $M_5$  modeli ile ilgili olarak;

- $\beta_2 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar yaratacağı değerler  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 52 MPa'dan küçük,  $\sigma_2$  için 33 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_3$  için 10-32 ve 65-75 MPa arasındaki,  $\sigma_4$  için dayanımı 10-27 ve 60-80 MPa arasındaki betonlardır.  $\sigma_5$  için 10-25 ve 55-85 MPa beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $0 < \beta_2 < 3$  için modelin kullanılabileceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 52-120 MPa arasındaki,  $\sigma_2$  için 33-180 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_3$  için 32-33, 40-65, 75-105 MPa arasında bulunan değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 27-34, 40-60, 80-104 MPa arasındaki ve  $\sigma_5$  için 25-55, 85-104 MPa arasındaki beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuç bulunmamaktadır.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 108-120 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basınçta dalgalanmalar söz konusu olup en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 33-40, 105-115 MPa arasındadır.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 34-40, 104-114 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.

- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 104-113 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- Modelin;  $\beta_2 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  için bulunmamaktadır.  $\sigma_3$  için 115-120 MPa'lık,  $\sigma_4$  için 114-120 MPa'lık ve  $\sigma_5$  için 113-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- Model yaklaşık 20 MPa beton basınç dayanımı altında güvensiz, genel olarak ise  $\beta_2 < 3$  düzeyinde sonuçlar vermektedir.

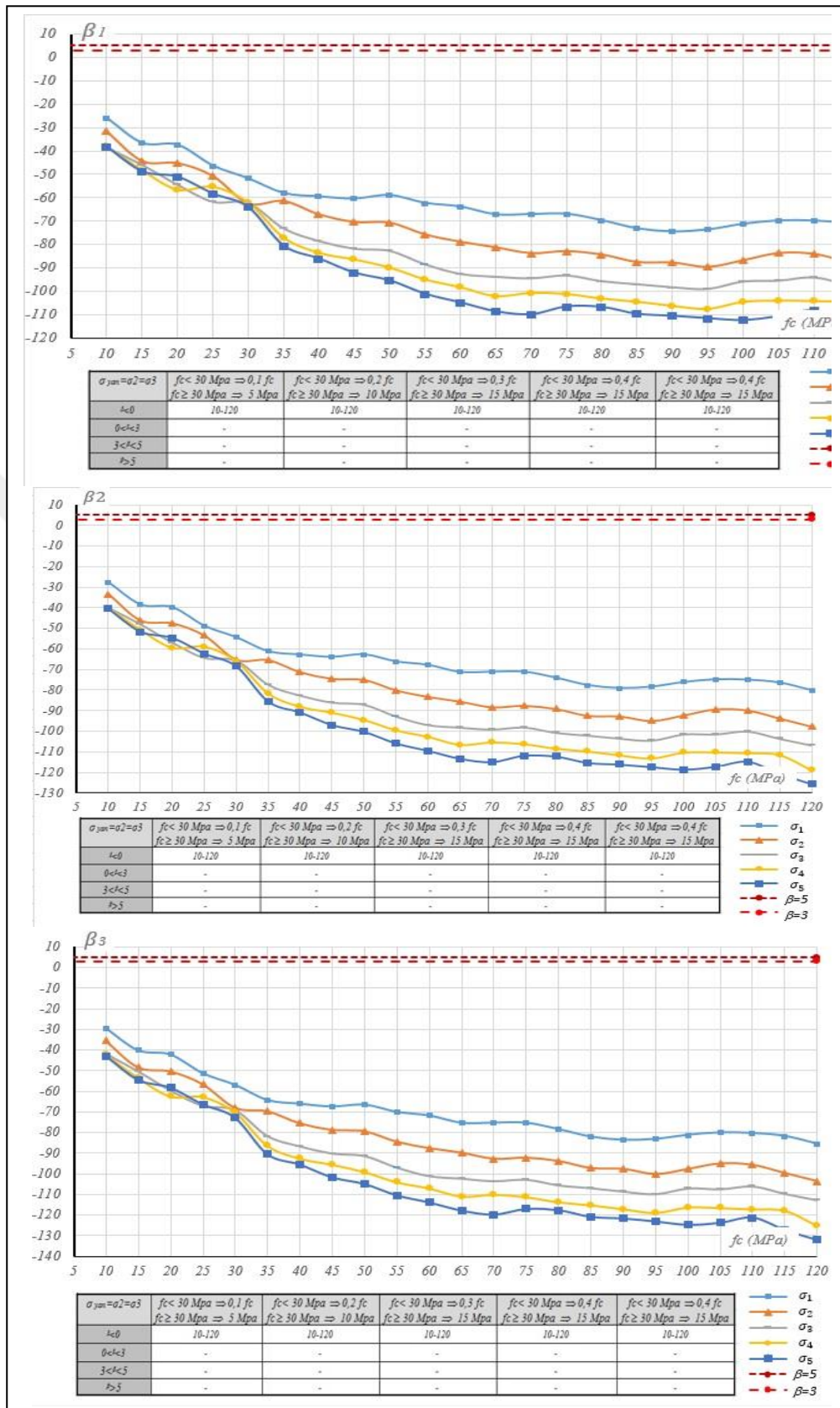
$\beta_3$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; güvenilirlik düzeyi  $\beta_3 < 0$  düzeyindedir. Ayrıca  $M_5$  modeli ile ilgili olarak;

- Model her bir yanal basınç ve eksenel basınç değerleri için ne güvenilir ne ekonomik sonuç vermiştir. Bu  $\beta$  değeri için hem güvensiz kısımda hem de ekonomik olmayan kısımda yani  $\beta < 0$  değeri altında kalmıştır.

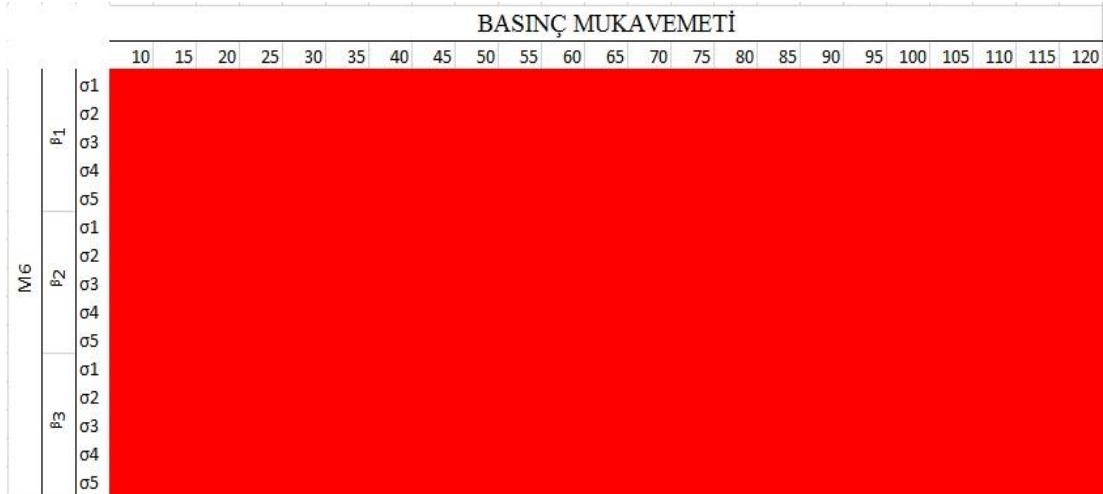
#### 4.6. Setunge vd. Tarafından Önerilen Model ( $M_6$ ) İçin İrdeleme

Setunge vd.(1993) tarafından önerilen ve bu çalışmada  $M_6$  olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlemesiyle sırasıyla Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de verilen tablolu grafikler ve renk haritası elde edilmiştir.

Bu şekillerden de anlaşılacağı gibi Setunge vd. tarafından önerilen  $M_6$  modelinin  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  güvenilirlik indeksleri için; dikkate alınan beş farklı yanal gerilme durumları ve tüm beton basınç dayanımlarında güvensiz ( $\beta_1 < 0, \beta_2 < 0, \beta_3 < 0$ ) sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 4.13 M<sub>6</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği



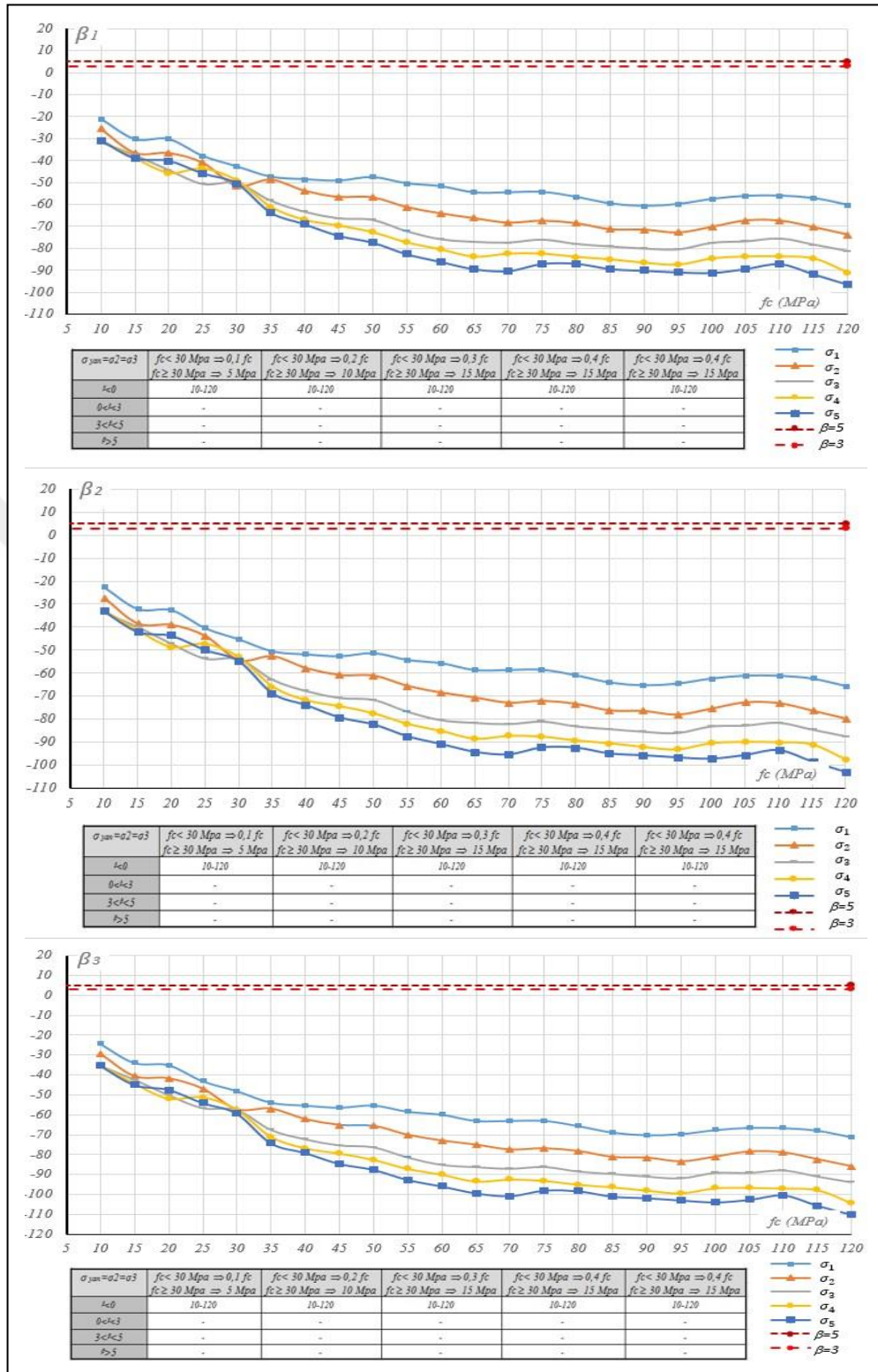
Şekil 4.14 M<sub>6</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

#### 4.7 Setunge vd. (2) Tarafından Önerilen Model (M<sub>7</sub>) İçin İrdeleme

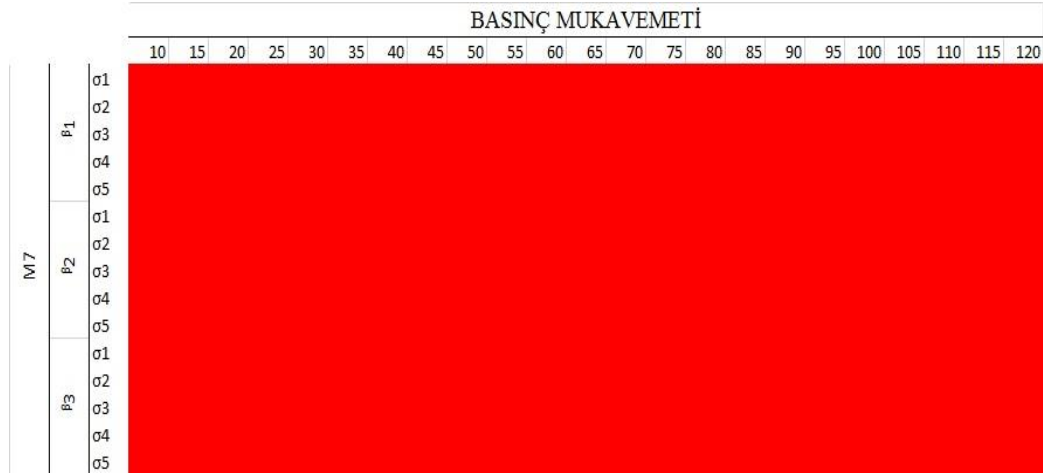
Setunge vd-2 (1993) tarafından önerilen ve bu çalışmada M<sub>7</sub> olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlemesiyle sırasıyla Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'de verilen tablolu grafikler ve renk haritası elde edilmiştir.

Bu şekillerden de anlaşılacağı gibi Setunge vd.-2 tarafından önerilen M<sub>7</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  güvenilirlik indeksleri için; dikkate alınan beş farklı yanal gerilme durumları ve tüm beton basınç dayanımlarında güvensiz ( $\beta_1 < 0$ ,  $\beta_2 < 0$ ,  $\beta_3 < 0$ ) sonuçlar verdiği görülmektedir.





Şekil 4.15 M<sub>7</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği



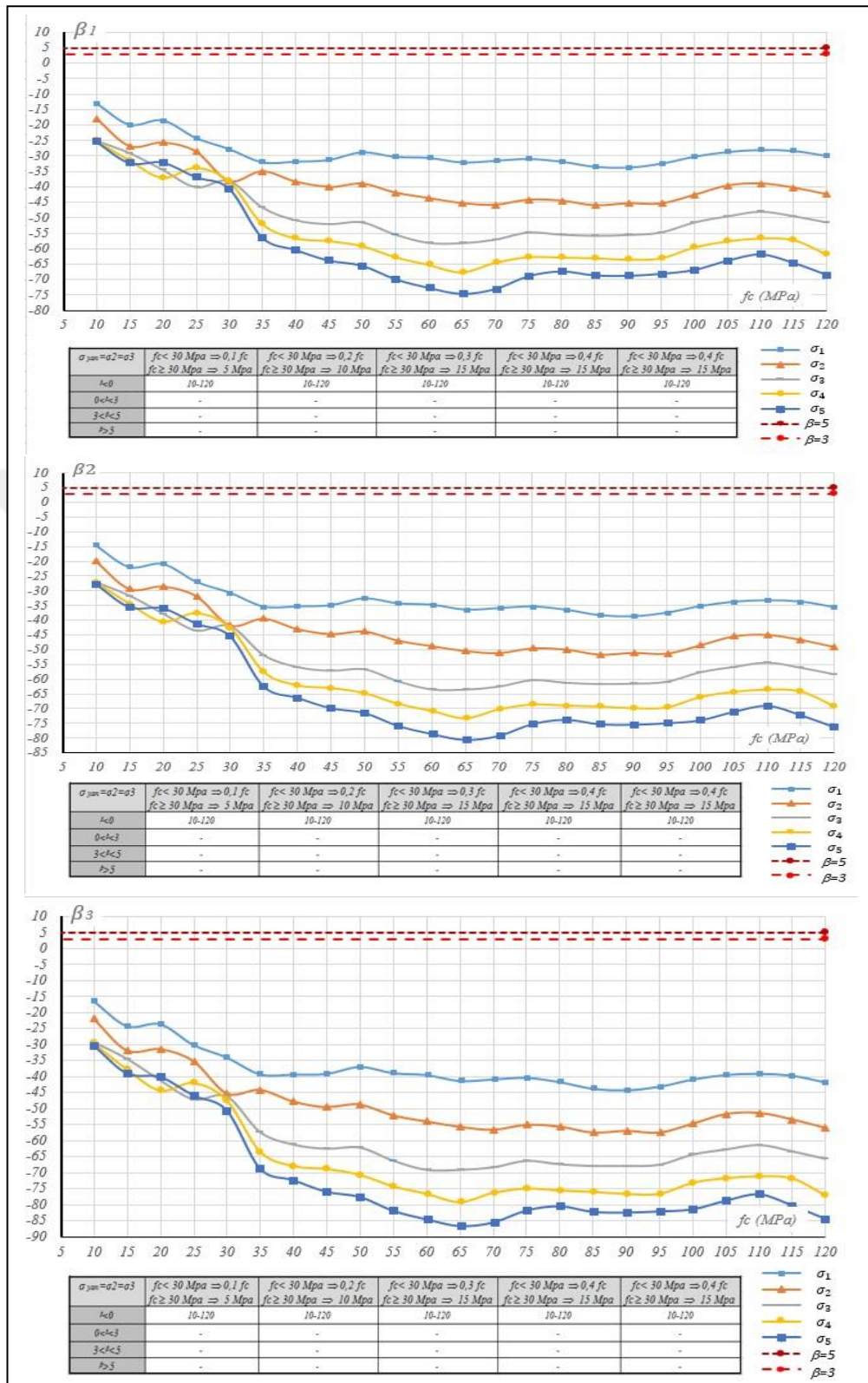
Şekil 4.16 M<sub>7</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

#### 4.8 Setunge vd. (3) Tarafından Önerilen Model (M<sub>8</sub>) İçin İrdeleme

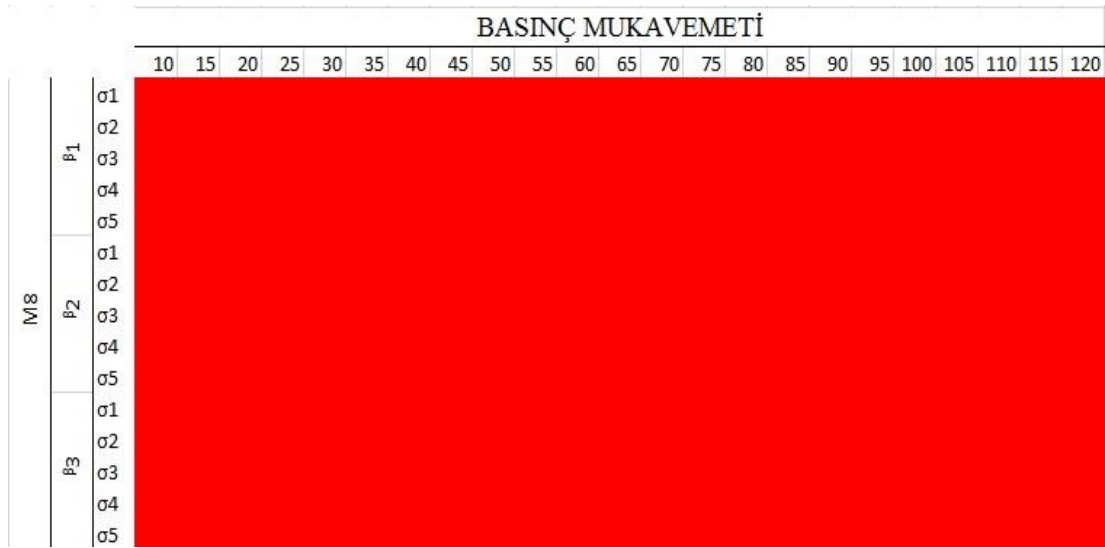
Setunge vd-3 (1993) tarafından önerilen ve bu çalışmada M<sub>8</sub> olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlemesiyle sırasıyla Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de verilen tablolu grafikler ve renk haritası elde edilmiştir. Model  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  güvenilirlik indeksleri için; tüm beton basınç dayanımlarında güvensiz sonuçlar vermektedir.

Bu şekillerden de anlaşılacağı gibi Setunge vd.-3 tarafından önerilen M<sub>8</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  güvenilirlik indeksleri için; dikkate alınan beş farklı yanal gerilme durumları ve tüm beton basınç dayanımlarında güvensiz ( $\beta_1 < 0$ ,  $\beta_2 < 0$ ,  $\beta_3 < 0$ ) sonuçlar verdiği görülmektedir.





Şekil 4.17 M<sub>8</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği



Şekil 4.18 M<sub>8</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

#### 4.9 Xie vd. Tarafından Önerilen Model (M<sub>9</sub>) İçin İrdeleme

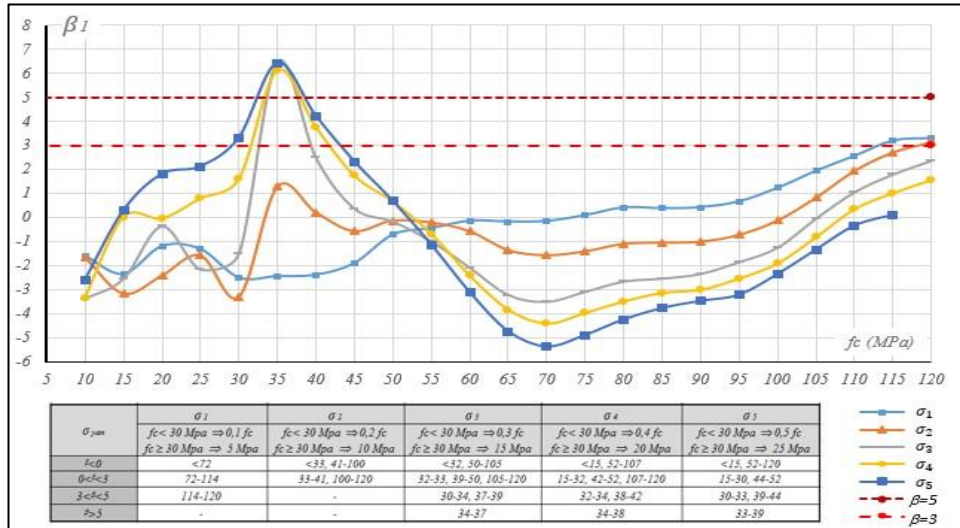
Xie vd. (1995) tarafından önerilen ve bu çalışmada M<sub>9</sub> olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlenmesiyle sırasıyla Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de verilen tablolu grafikler ve renk haritası elde edilmiştir. Modelin  $\beta_1$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; Bazı durumlar hariç birçok beton basınç dayanımlarında güvensiz olduğu söylenebilir.

Model ile ilgili olarak ayrıca;

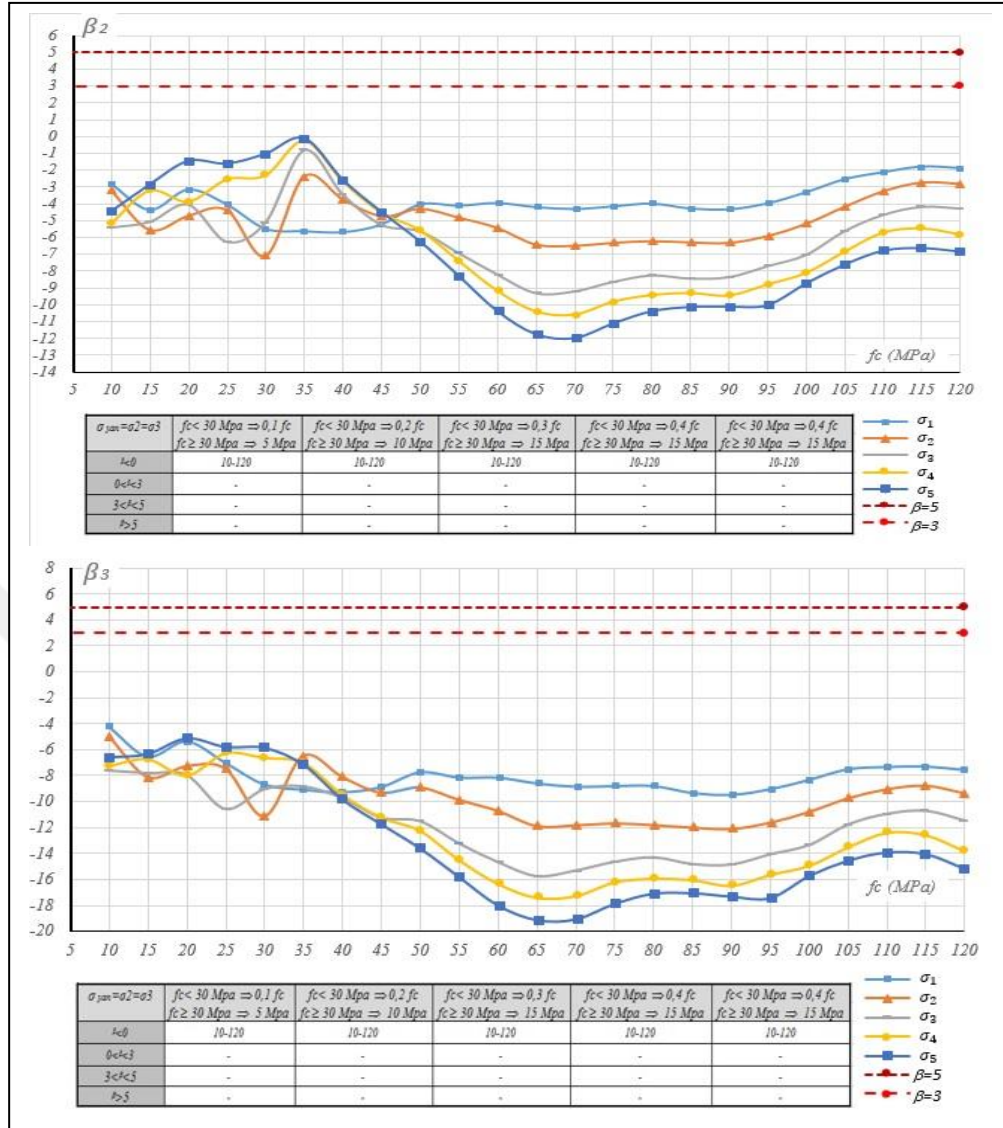
- $\beta_1 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar yaratacağı  $\sigma_1$  için dayanımı 72 MPa’dan küçük,  $\sigma_2$  için dayanımı 33’ MPa’dan küçük ve 41-100 MPa değerleri arasındadır.  $\sigma_3$  için 32 MPa’dan küçük ve 50-105 MPa arasında olan,  $\sigma_4$  için 15 MPa’dan küçük, 52-107 MPa değerleri arasında ve  $\sigma_5$  için dayanımı 15 MPa’dan küçük ve 52-120 MPa değerleri arasında olan betonlardır.

- $0 < \beta_1 < 3$  için modelin kullanılabilirliği için dayanım aralıkları;  $\sigma_1$  için 72-114 MPa aralığında,  $\sigma_2$  için dayanımı 33-41 ve 100-120 MPa değerleri arasındadır.  $\sigma_3$  için 32-33, 39-50 ve 105-120 MPa arasında olan,  $\sigma_4$  için 15-32, 42-52, 107-120 MPa değerleri arasında ve  $\sigma_5$  için dayanımı 15-30 ve 44-52 MPa değerleri arasında olan betonlardır.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_1 < 5$ ) sonuçlar 114-120 MPa arasındadır.
- $\sigma_2$ , yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım ( $3 < \beta_1 < 5$ ) bulunmamaktadır.
- $\sigma_3$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 30-34 ve 37-39 MPa 'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- $\sigma_4$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 32-34 ve 38-42 MPa 'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 30-33 ve 39-44 MPa 'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliği  $\sigma_3$ ,  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için yaklaşık 34-38 MPa arasında bulunmaktadır.

$\beta_2$ ,  $\beta_3$  güvenilirlik indeksleri için; tüm beton basınç dayanımlarında güvensiz sonuçlar vermektedir.



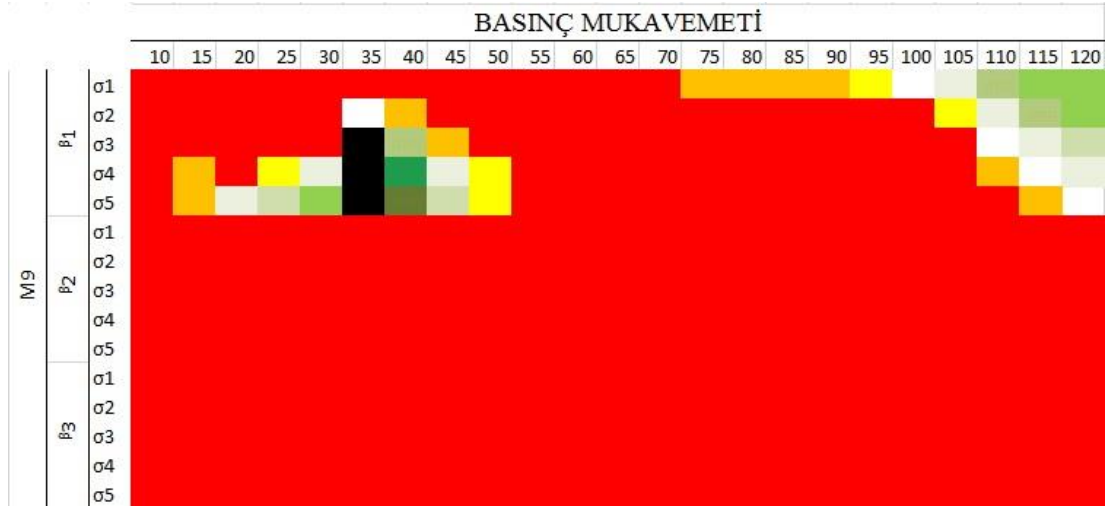
Şekil 4.19 M<sub>9</sub> modelinin  $\beta_1$  indeksi için güvenilirliği



Şekil 4.20  $M_9$  modelinin  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği

#### 4.10 Legeron ve Paultre Tarafından Önerilen Model ( $M_{10}$ ) İçin İrdeleme

Legeron ve Paultre (2003) tarafından önerilen ve bu çalışmada  $M_{10}$  olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlemesiyle sırasıyla Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’de verilen tablolu grafikler ve renk haritası elde edilmiştir.

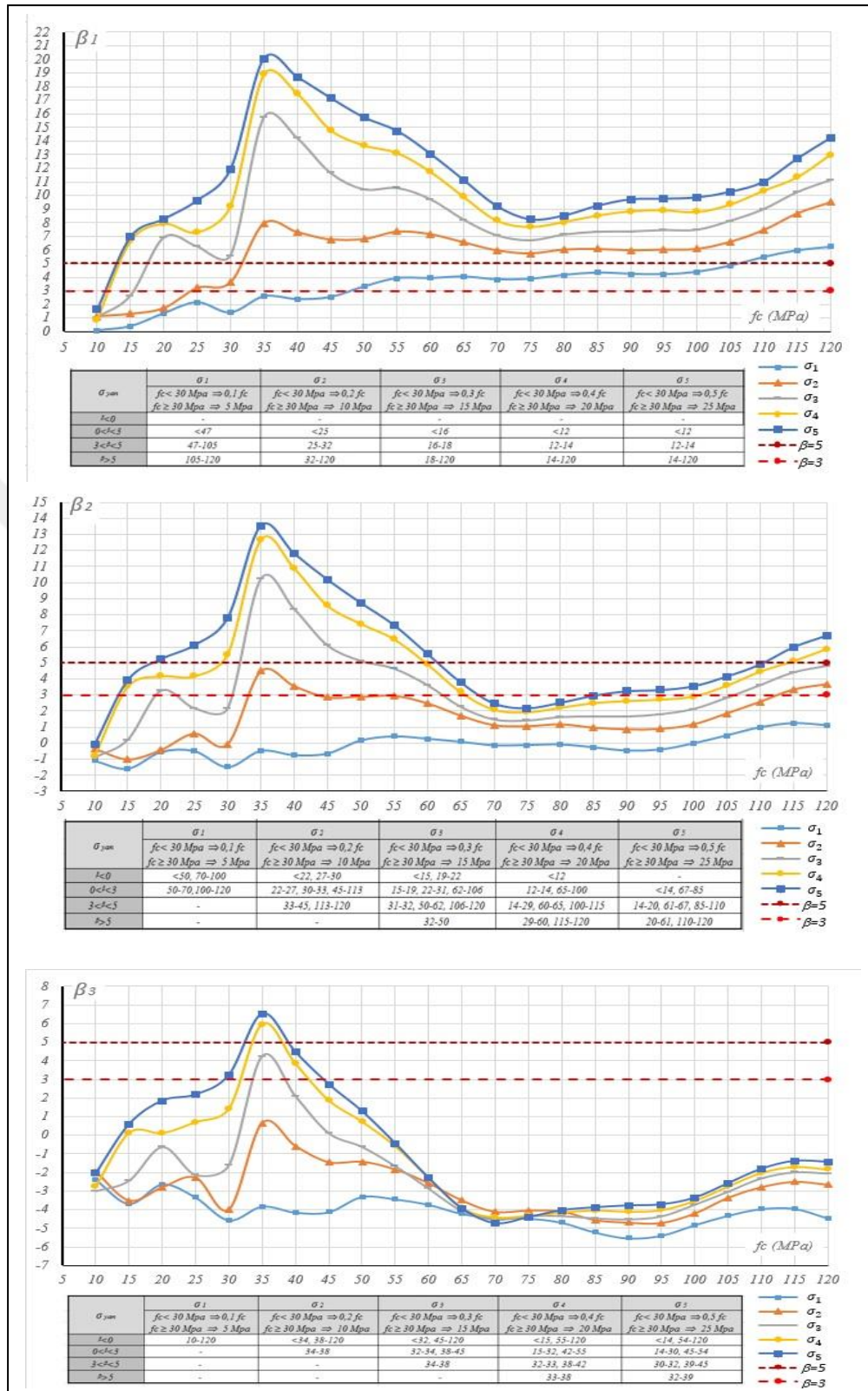


Şekil 4.21 M<sub>9</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

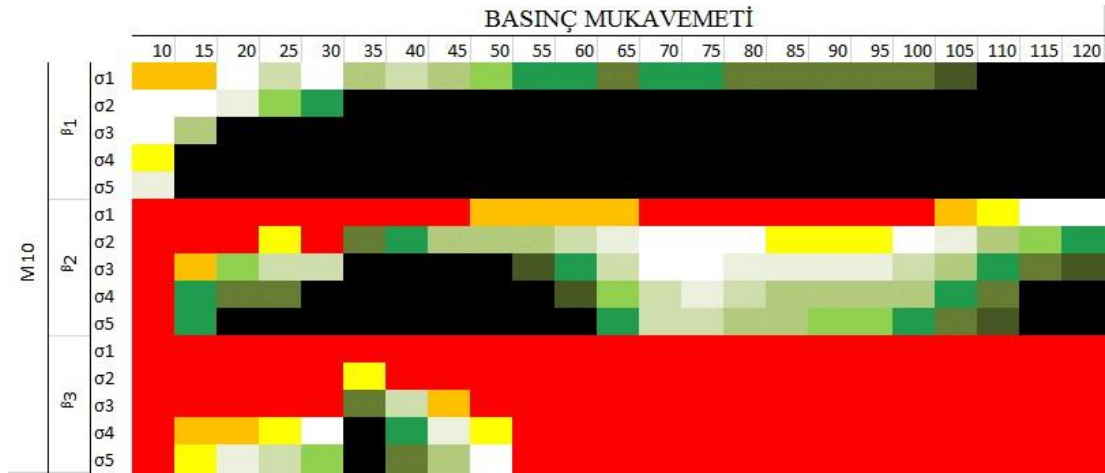
Modelin  $\beta_1$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; güvensiz sonuçlar vermemiş olup aşağıda belirtilen değerler arasında ise ekonomiklikten uzak ancak çok güvenli sonuçlar verebilmektedir, denilebilir. Model ile ilgili olarak ayrıca;

- $\beta_1 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar yaratacağı beton tipi hiçbir  $\sigma$  değerinde gözlemlenmemiştir.
- $0 < \beta_1 < 3$  için modelin kullanılabilceği dayanım aralıkları;  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 47 MPa'dan küçük değerler,  $\sigma_2$  için 25 MPa'dan küçük değerler,  $\sigma_3$  için 26 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için 12 MPa'dan küçük değerler beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_1 < 5$ ) sonuçlar 47-105 MPa arasındadır.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 25-32 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basıncında en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 16-18 MPa arasındadır.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 12-14 MPa yanal basınç değerleri arasında oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.





Şekil 4.22 M<sub>10</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği



Şekil 4.23 M<sub>10</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 12-14 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 105-120 MPa arasında,  $\sigma_2$  için 32-120 MPa arasında,  $\sigma_3$  için 18-120 MPa arasındadır.  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için bu sınırlar 14-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- Model yüksek oranda ekonomiklikten uzak ancak çok güvenli sonuçlar verebilmektedir.

$\beta_2$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; dalgalanmalar mevcut olup, güvenilirlik düzeyi  $0 < \beta_2 < 3$  düzeyindedir denilebilir. Ayrıca M<sub>10</sub> modeli ile ilgili olarak;

- $\beta_2 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar yaratacağı betonlar;  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 50 MPa'dan küçük ve 70-100 MPa arasındaki değerlerde,  $\sigma_2$  için 22 MPa'dan küçük ve 27-30 arası değerlerde,  $\sigma_4$  için 15 MPa'dan küçük ve 19-22 MPa arası değerlerde mümkün görülmektedir.  $\sigma_3$  için 12

MPa'dan küçük değerlerde mümkündür.  $\sigma_5$  için hiç bir beton basınç dayanımı aralığında güvensiz değildir.

- $0 < \beta_2 < 3$  için modelin kullanılabilceği dayanım aralıkları;  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 50-70 ve 100-120 MPa arasında,  $\sigma_2$  için 22-27, 30-33 ve 62-106 MPa arasında,  $\sigma_3$  için 15-19, 22-31 ve 62-106 MPa arasındadır.  $\sigma_4$  için 12-14, 65-100 MPa ve  $\sigma_5$  için bu sınırlar 10-14 ve 67-85 MPa 'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuç vermemiştir.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 33-45 ve 113-120 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basınçta dalgalanmalar söz konusu olup en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 31-32, 50-62 ve 106-120 MPa arasındadır.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 14-29, 60-65 ve 100-115 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 14-20, 61-67 ve 85-110 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- Modelin;  $\beta_2 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  için bulunmamakla birlikte  $\sigma_3$  için 32-50 MPa'lık,  $\sigma_4$  için 29-60, 115-120 MPa'lık ve  $\sigma_5$  için 20-61 ve 110-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.

$\beta_3$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; güvenilirlik düzeyi  $\beta_3 < 3$  düzeyindedir. Ayrıca  $M_{10}$  modeli ile ilgili olarak;

- $\beta_3 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar yaratacağı  $\sigma_2$  için dayanımı 10-34, 38-120 MPa değerleri arasında olan betonlardır.  $\sigma_3$  için 10-32 ve 45-120 MPa arasındaki değerler,  $\sigma_4$  için 10-15, 55-120 MPa değerler,  $\sigma_5$  için 10-14, 54-120 MPa değerler güvensiz sonuçlar vermiştir.  $\sigma_1$  yanal basıncında ise tüm değerler güvensiz kısımda kalmıştır.
- $0 < \beta_3 < 3$  için modelin kullanılabilceği dayanım aralıkları için genel olarak  $\sigma_2$  için 34-38 MPa arası değerler,  $\sigma_3$  için 32-34, 38-45 MPa arası değerler kullanılabilir.  $\sigma_4$  için



ise 15-32, 42-55 MPa arası değerler,  $\sigma_5$  için 14-30, 45-54 MPa arası değerler kullanılabilir değerlerdir.

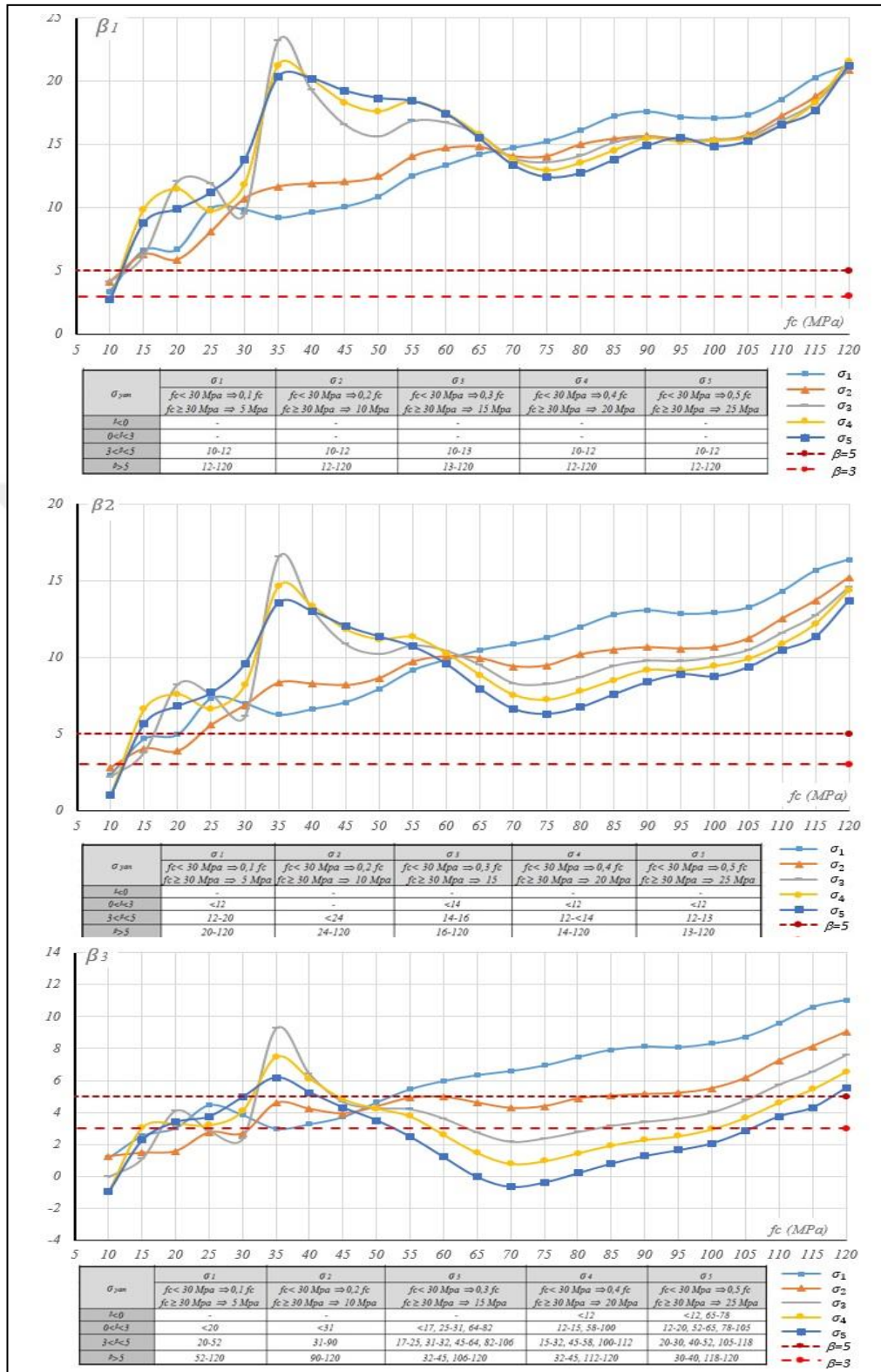
- $\beta_3 > 3$  için model kullanılabilceği dayanım aralıkları,  $\sigma_3$  için 34-38 MPa arası değerler,  $\sigma_4$  için ise 32-33 ve 38-42 MPa arası değerler,  $\sigma_5$  için 30-32 ve 39-45 MPa arası değerler kullanılabilir değerlerdir.
- Modelin;  $\beta_3 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1, \sigma_2$  ve  $\sigma_3$  için bulunmamakla birlikte  $\sigma_4$  için 33-38 MPa'lık ve  $\sigma_5$  için 32-39 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.

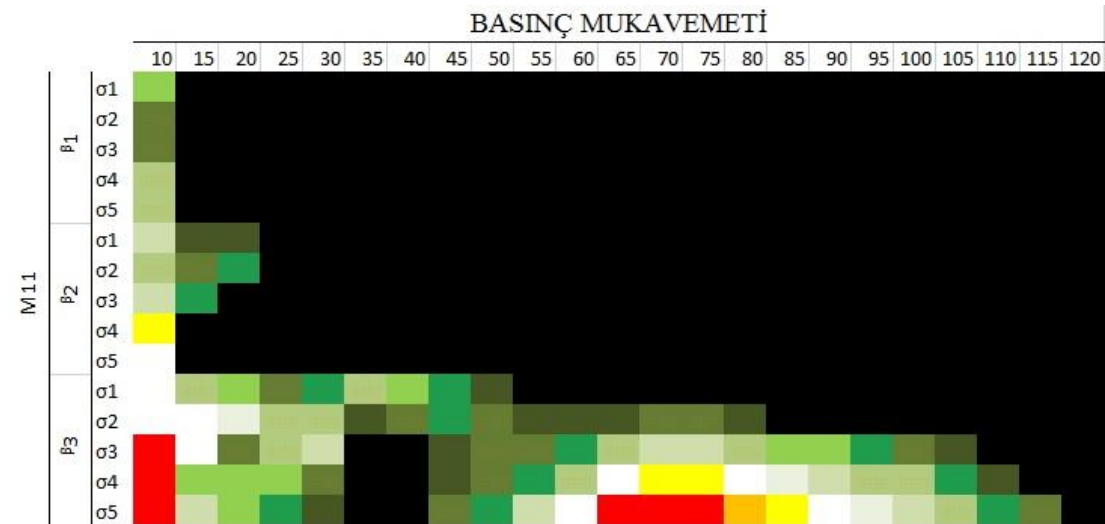
#### 4.11 Attard ve Setunge Tarafından Önerilen Model (M<sub>11</sub>) İçin İrdeleme

Attard ve Setunge (1996) tarafından önerilen ve bu çalışmada M<sub>11</sub> olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlemesiyle sırasıyla Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'da verilen tablolı grafikler ve renk haritası elde edilmiştir.

Modelin  $\beta_1$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; çok güvenilir ve ekonomiklikten uzak sonuçlar vermiştir, denilebilir. Model ile ilgili olarak ayrıca;

- $\beta_1 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz olacağı sonuçlar hiçbir  $\sigma$  değeri aralığında sağlamamaktadır.
- $0 < \beta_1 < 3$  için modelin kullanılabilceği dayanım aralıkları hiçbir  $\sigma$  yanal basınç seviyesinde bulunmamaktadır.
- Tüm  $\sigma$  yanal basınç düzeylerinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı yaklaşık ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 12 MPa'dan küçük değere sahip betonlar içindir.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı, Tüm  $\sigma$  yanal basınç değerleri için yaklaşık 12-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- Model tüm  $\sigma$  değerlerinde ekonomiklikten uzak ancak çok güvenli sonuçlar verebilmektedir.

Şekil 4.24  $M_{11}$  modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği



**Şekil 4.25**  $M_{11}$  modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

$\beta_2$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; farklı  $\sigma$  değerlerine göre farklı sonuçlar vermiştir, denilebilir. Ayrıca  $M_{11}$  modeli ile ilgili olarak;

- $\beta_2 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz olacağı sonuçlar hiçbir  $\sigma$  değeri için sağlamamaktadır.
- $0 < \beta_2 < 3$  için modelin kullanılabileceği dayanım aralıkları  $\sigma_2$  yanal basınç seviyesinde bulunmamaktadır.  $\sigma_1$ ,  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için 12 MPa'dan küçük değerlerde,  $\sigma_3$  için 14 MPa'dan küçük değerlerde sağlamaktadır.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuç 12-20 MPa arasındaki değerlerdir.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 24 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_3$  yanal basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 14-16 MPa arasındaki dayanıma sahip betonlar içindir.
- $\sigma_4$  yanal basınçta 12-14 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.

- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 12-13 MPa dayanım aralığında sağlamaktadır.
- Modelin;  $\beta_2 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 20-120 MPa'lık,  $\sigma_2$  için 24-120 MPa'lık,  $\sigma_3$  için 16-120 MPa'lık değerlerdir.  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için bu kullanım yaklaşık 14-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- Model tüm  $\sigma$  değerlerinde yaklaşık 25 MPa üzerindeki değerlerde ekonomiklikten uzak ancak çok güvenli sonuçlar verebilmektedir.

$\beta_3$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; farklı  $\sigma$  değerlerine göre farklı sonuçlar vermiştir, denilebilir. Ayrıca  $M_{11}$  modeli ile ilgili olarak;

- $\beta_3 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar yaratacağı  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  ve  $\sigma_3$  için güvensiz sonuçlar vermemiştir.  $\sigma_4$  için 12 MPa'dan küçük değerler ve  $\sigma_5$  için 12 MPa'dan küçük ve 65-78 MPa aralığındaki tüm değerlerde güvensiz sonuçlar vermiştir.
- $0 < \beta_3 < 3$  için modelin kullanılabilmesi için dayanım aralıkları için,  $\sigma_1$  için 20 MPa'dan küçük,  $\sigma_2$  için 32 MPa'dan küçük,  $\sigma_3$  için 17 MPa'dan küçük ve 25-32, 64-82 MPa arasındaki,  $\sigma_4$  için 12-15, 58-100 MPa arasındaki,  $\sigma_5$  için 12-20, 52-65, 78-105 MPa arasındaki değerler kullanılabilir değerlerdir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuç 20-52 MPa arasındaki değerlerdir.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 31-90 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 17-25, 31-32, 45-64, 82-106 MPa arasındaki dayanıma sahip betonlar içindir.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 15-32, 45-58, 100-112 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımı ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 20-30, 40-52, 105-118 MPa arasındaki kalan değerlerdir.
- Modelin;  $\beta_3 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 52-120 MPa'lık,  $\sigma_2$  için 90-120 MPa'lık,  $\sigma_3$  için 32-45, 106-120 MPa'lık değerlerdir.  $\sigma_4$  için

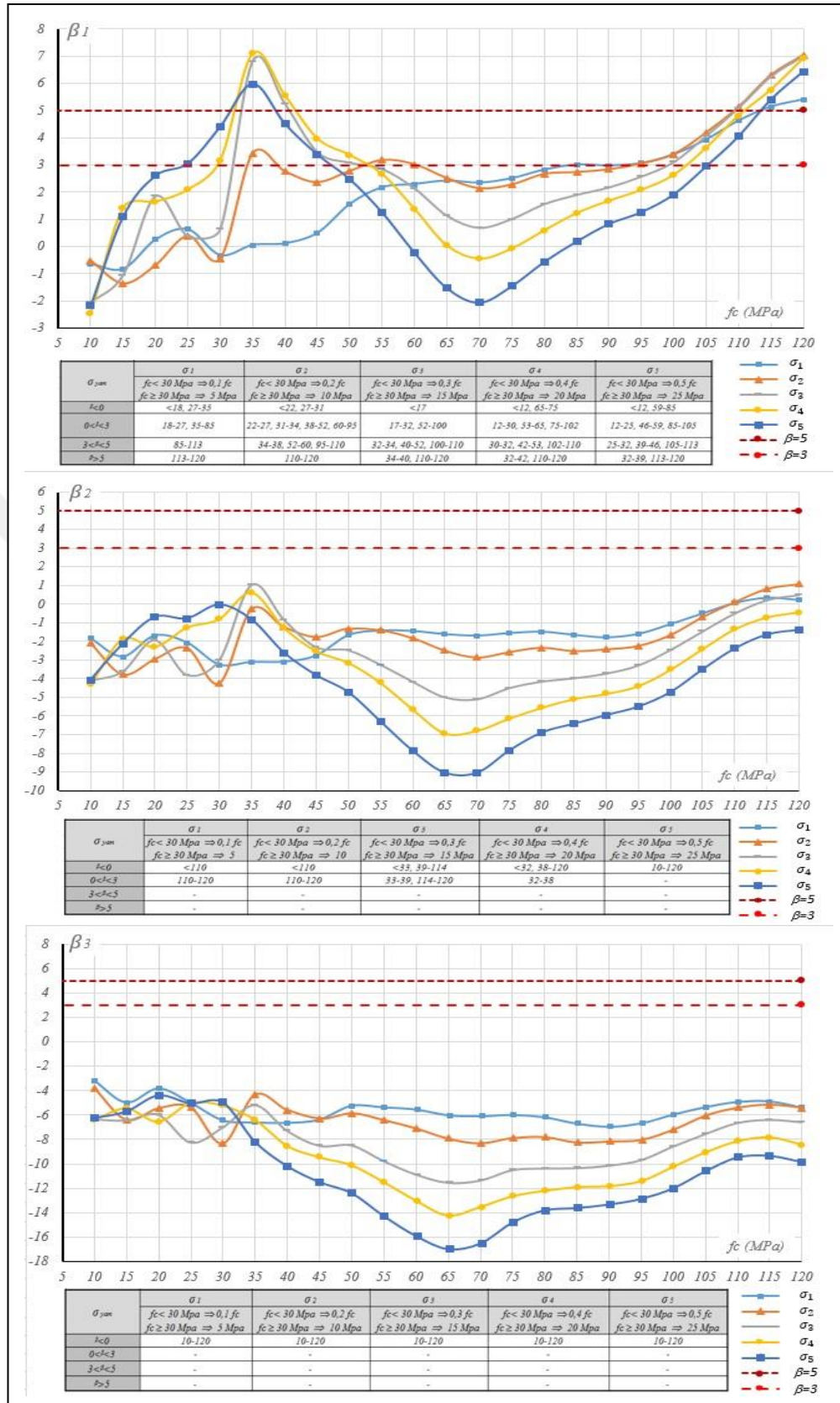
32-45, 112-120 MPa arasındaki ve  $\sigma_5$  için 30-40, 118-120 MPa arasındaki beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.

- Modelin  $\beta_3$  için bazı değerli arzu edilen güvenilirlik sınır düzeyinin altında bazıları ise bu sınır düzeyin üstünde kalmaktadır.

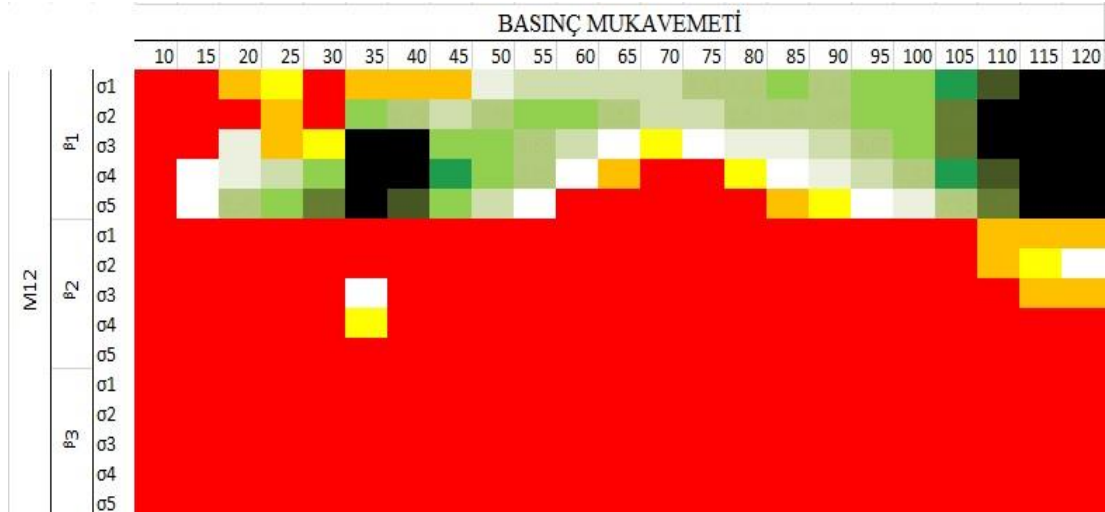
#### 4.12 Girgin vd. Tarafından Önerilen Model ( $M_{12}$ ) İçin İrdeleme

Girgin vd. (2007) tarafından önerilen ve bu çalışmada  $M_{12}$  olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlemesiyle sırasıyla Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de verilen tablolular grafikler ve renk haritası elde edilmiştir. Modelin  $\beta_1$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; farklı  $\sigma$  değerlerine göre farklı sonuçlar vermiştir, denilebilir. Model ile ilgili olarak ayrıca;

- $\beta_1 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar yaratacağı değerler  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 10-18, 27-35 MPa arasındaki,  $\sigma_2$  için 10-22, 27-31 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_3$  için 10-17 MPa arasındaki,  $\sigma_4$  için dayanımı 10-12, 65-75 MPa arasındaki betonlardır.  $\sigma_5$  için 10-12 ve 59-85 MPa beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $0 < \beta_1 < 3$  için modelin kullanılabileceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 18-27, 35-85 MPa arasındaki,  $\sigma_2$  için 22-27, 31-34, 38-52, 60-95 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_3$  için 17-32, 52-100 MPa arasında bulunan değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 12-30, 53-65 ve 75-102 MPa arasındaki ve  $\sigma_5$  için 12-25, 46-59 ve 85-105 MPa arasındaki beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuçlar 85-113 MPa aralığındaki değerlerdir.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 34-38, 52-60 ve 95-110 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 32-34, 40-52, 100-110 MPa arasındaki dayanıma sahip betonlar içindir.
- $\sigma_4$  yanal basınçta 30-32, 42-53, 102-110 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.



Şekil 4.26 M<sub>12</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği



Şekil 4.27 M<sub>12</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 25-32, 39-46, 105-113 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 113-120 MPa'lık,  $\sigma_2$  için 110-120 MPa'lık,  $\sigma_3$  için 34-40, 110-120 MPa'lık değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 32-42, 110-120 MPa'lık ve  $\sigma_5$  için 32-39, 113-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.

$\beta_2$  güvenilirlik indeksi için genel olarak;  $\beta < 3$  düzeyinde olduğu görülmektedir, denilebilir. Ayrıca M<sub>12</sub> modeli ile ilgili olarak;

- $\beta_2 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar,  $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  yanal basınç seviyesinde 110 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_3$  için 39-114 MPa arasında ve 33 MPa'dan küçük değerler,  $\sigma_4$  için dayanımı 32 MPa'dan küçük olan ve 38-120 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_5$  için tüm değerler bu kısımda kalmaktadır.
- $0 < \beta_2 < 3$  için modelin kullanılabileceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  yanal basınç değerleri 110-120 MPa,  $\sigma_3$  için 33-39, 114-120 MPa arasında bulunan değerlerdir.  $\sigma_4$

için bu kullanım 32-38 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.

- Hiç bir yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuç vermemiştir
- Modelin;  $\beta_2 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı bulunmamaktadır.

$\beta_3$  güvenilirlik indeksi için tüm beton basınç dayanımlarında bu çalışmada dikkate alınan  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$  ve  $\sigma_5$  yanal basınç düzeylerinde güvensiz sonuçlar vermiştir.

#### 4.13 Johnston Tarafından Önerilen Model (M<sub>13</sub>) İçin İrdeleme

Johnston(1985) tarafından önerilen ve bu çalışmada M<sub>13</sub> olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlemesiyle sırasıyla Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'de verilen tablolu grafikler ve renk haritası elde edilmiştir. Bu şekillerden anlaşılacağı üzere model  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  güvenilirlik indeksleri için; tüm beton basınç dayanımlarında bu çalışmada dikkate alınan  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$  ve  $\sigma_5$  yanal basınç düzeylerinde güvensiz sonuçlar vermiştir.

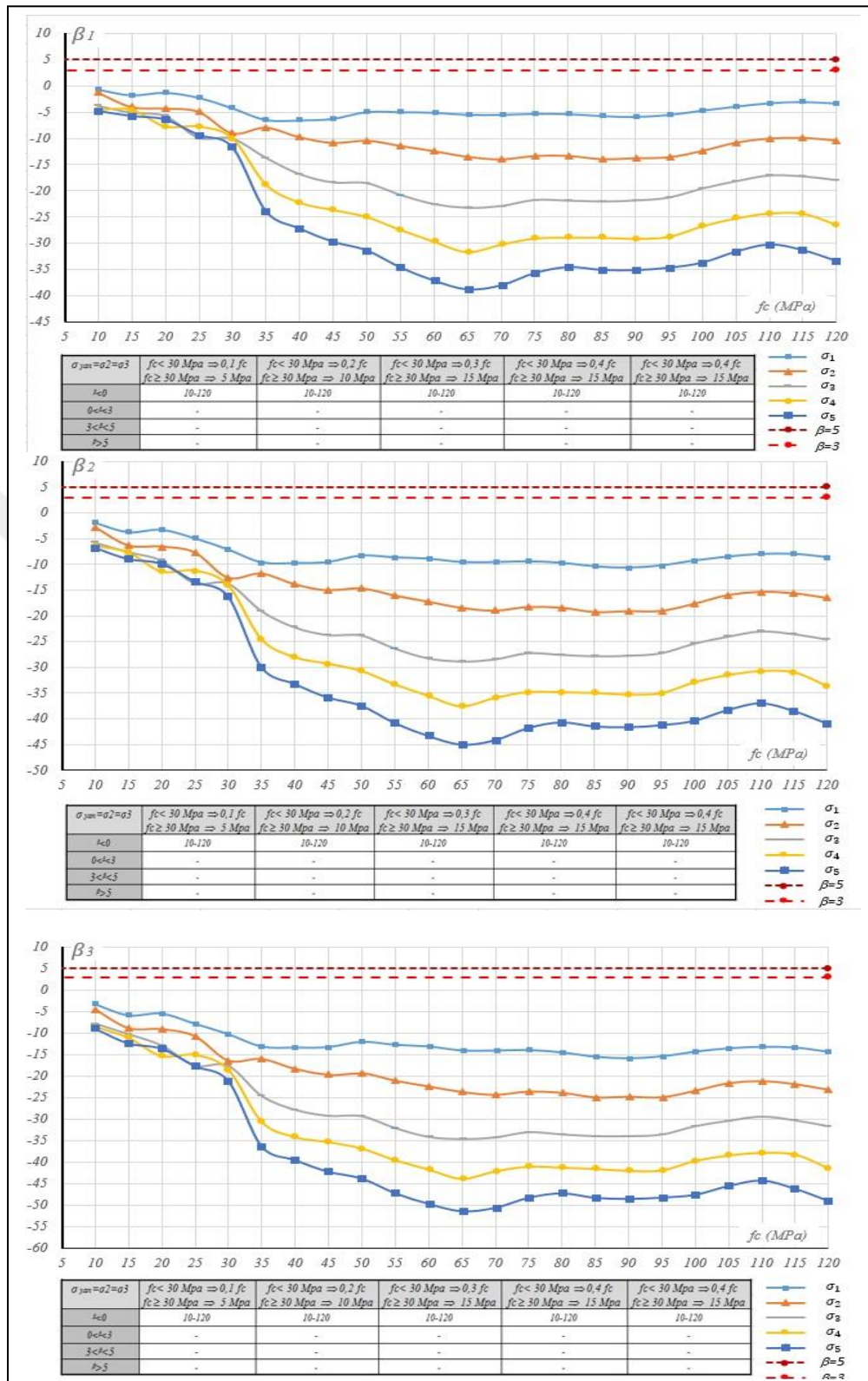
#### 4.14 Lan ve Guo Tarafından Önerilen Model (M<sub>14</sub>) İçin İrdeleme

Lan ve Guo (1997) tarafından önerilen ve bu çalışmada M<sub>14</sub> olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlemesiyle sırasıyla Şekil 4.30 ve Şekil 4.31'de verilen tablolu grafikler ve renk haritası elde edilmiştir. Model ile ilgili olarak farklı  $\sigma$  değerlerine göre farklı sonuçlar vermiştir, denilebilir.

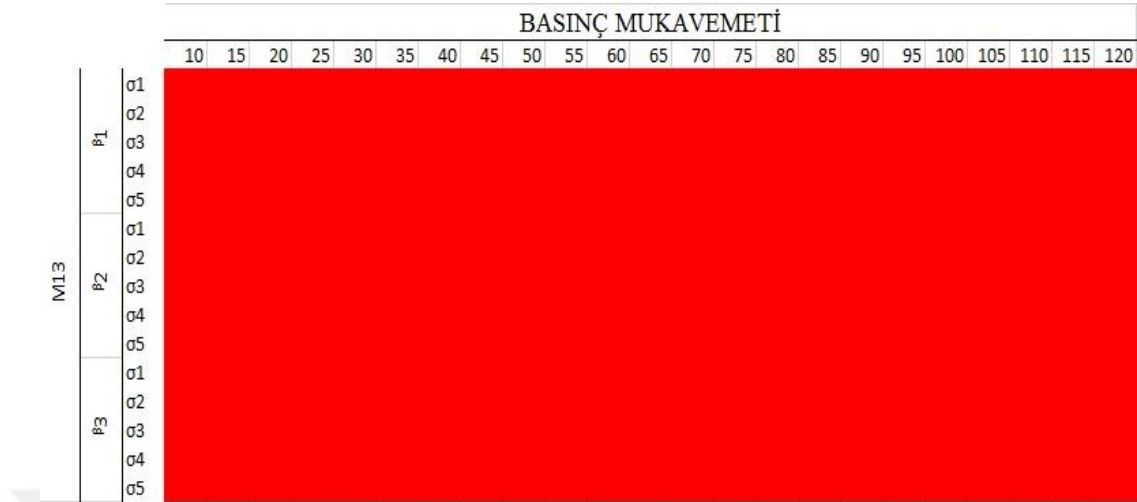
Model ile ilgili olarak ayrıca;

- $\beta_1 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar yaratacağı değerler  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 46 MPa'dan küçük,  $\sigma_2$  için 50 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_3$  için 34 MPa'dan küçük ve 37-96 MPa arasındaki,  $\sigma_4$  için dayanımı 105 MPa'dan küçük değerli betonlardır.  $\sigma_5$  için 105 MPa'dan küçük beton basınç dayanımı değerleridir.





Şekil 4.28 M<sub>13</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği



Şekil 4.29  $M_{13}$  modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

- $0 < \beta_1 < 3$  için modelin kullanılabilceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  için 46-85 MPa arasında,  $\sigma_2$  için 50-104 MPa arasında,  $\sigma_3$  için 34-37, 96-110 MPa arasında bulunan değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 105-120 MPa'lık,  $\sigma_5$  için ise bu kullanım 113-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuç 85-110 MPa arasındadır.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 104-112 MPa arasındadır.
- $\sigma_3$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 110-120 MPa arasındadır.
- $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  yanal basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) bulunmamaktadır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 110-120 MPa'lık ve  $\sigma_2$  yanal basınç seviyesinde 113-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir. Diğer  $\sigma$  yanal basınç seviyelerinde sağlamamaktadır.

$\beta_2$  güvenilirlik indeksi için genel olarak;  $\beta > 3$  düzeyinde hiçbir  $\sigma$  değerleri sonuç vermemiştir, denilebilir. Ayrıca  $M_{14}$  modeli ile ilgili olarak;

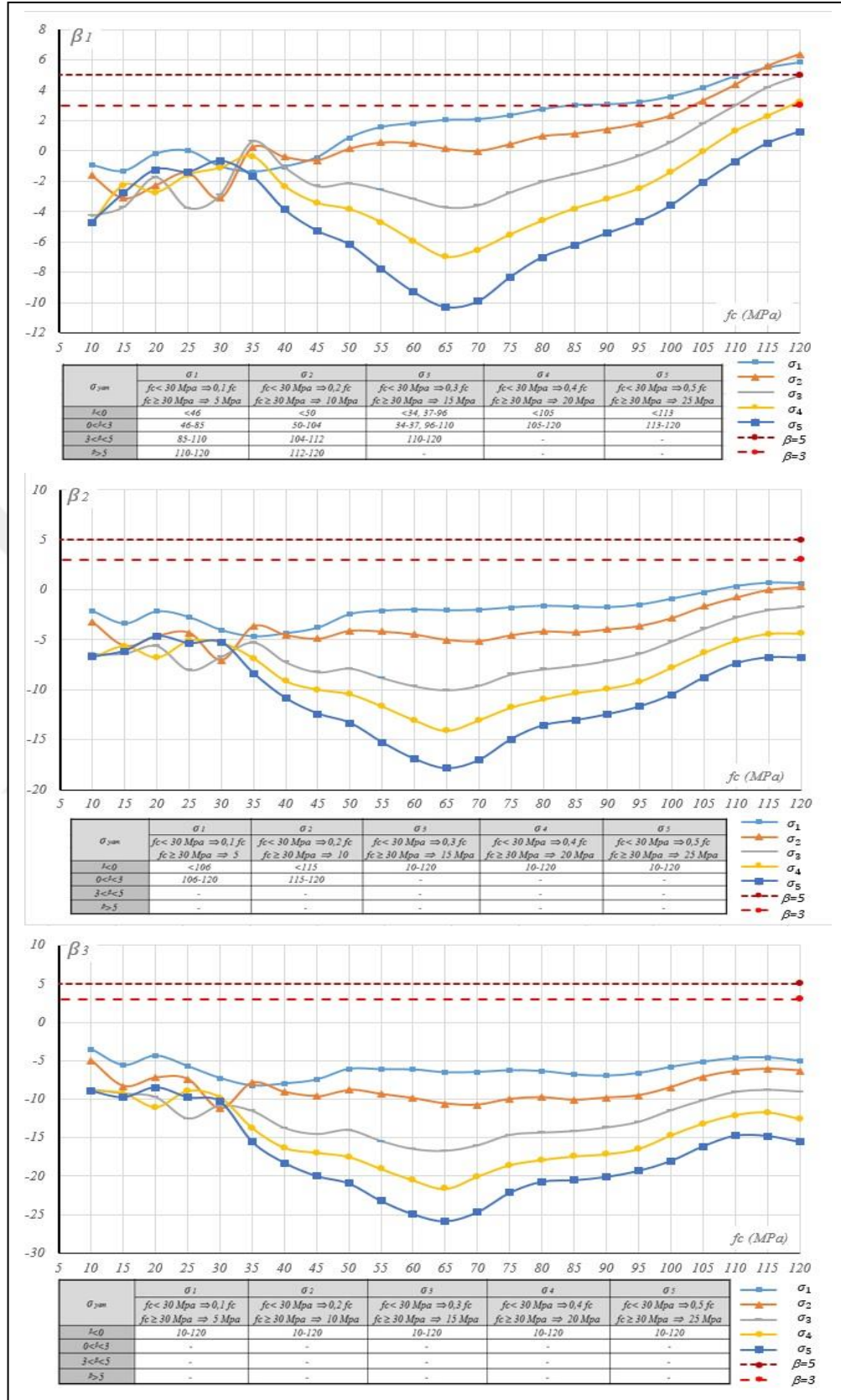
- $\beta_2 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar yaratacağı  $\sigma_1$  için 10-106 MPa arasındaki,  $\sigma_2$  için dayanımı 10-115 küçük olan betonlar ve diğer  $\sigma$ 'lar için dayanımı 120 MPa ve küçük değerlerdir.
- $0 < \beta_2 < 3$  için modelin kullanılabilceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 106-120 MPa,  $\sigma_2$  için 115-120 MPa beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$  ve  $\sigma_5$  yanal basınç seviyesinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuç vermemiştir.
- Modelin;  $\beta_2 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı, hiçbir  $\sigma$  değerinde mümkün görülmemektedir.

$\beta_3$  güvenilirlik indeksi için tüm beton basınç dayanımlarında bu çalışmada dikkate alınan  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$  ve  $\sigma_5$  yanal basınç düzeylerinde güvensiz sonuçlar vermiştir.

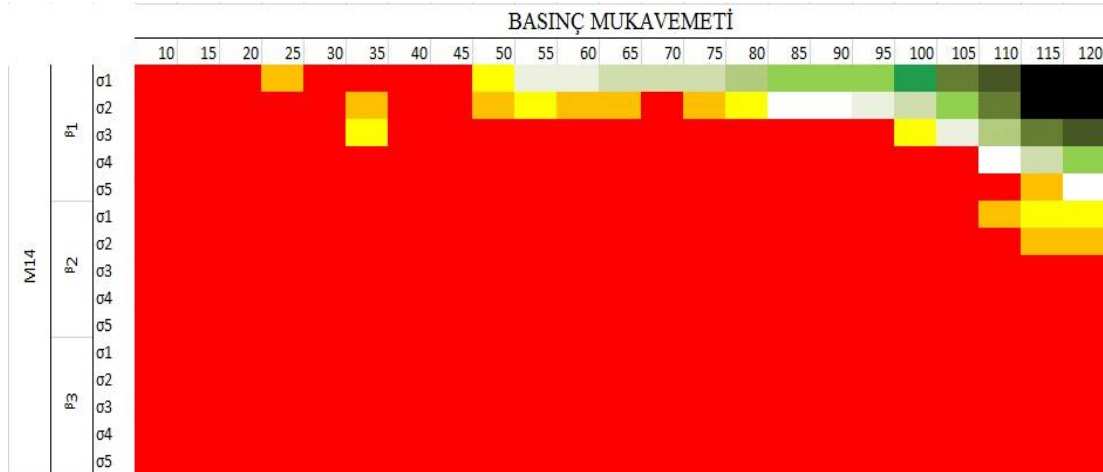
#### 4.15 Ansari ve Li Tarafından Önerilen Model ( $M_{15}$ ) İçin İrdeleme

Ansari ve Li (1998) tarafından önerilen ve bu çalışmada  $M_{15}$  olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlemesiyle sırasıyla Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'de verilen tablolu grafikler ve renk haritası elde edilmiştir. Modelin  $\beta_1$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; 50 MPa ve üzeri beton basınç dayanımlarında,  $\beta > 3$  düzeyindedir, denilebilir. Model ile ilgili olarak ayrıca;

- $\beta_1 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçları  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$  ve  $\sigma_5$  hiç bir dayanımı değerinde sağlamamaktadır.
- $0 < \beta_1 < 3$  için modelin kullanılabilceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 48 MPa'dan küçük,  $\sigma_2$  için 25 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_3$  için 16 MPa'dan küçük,  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için bu kullanım 12 MPa'dan küçük değerli beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.



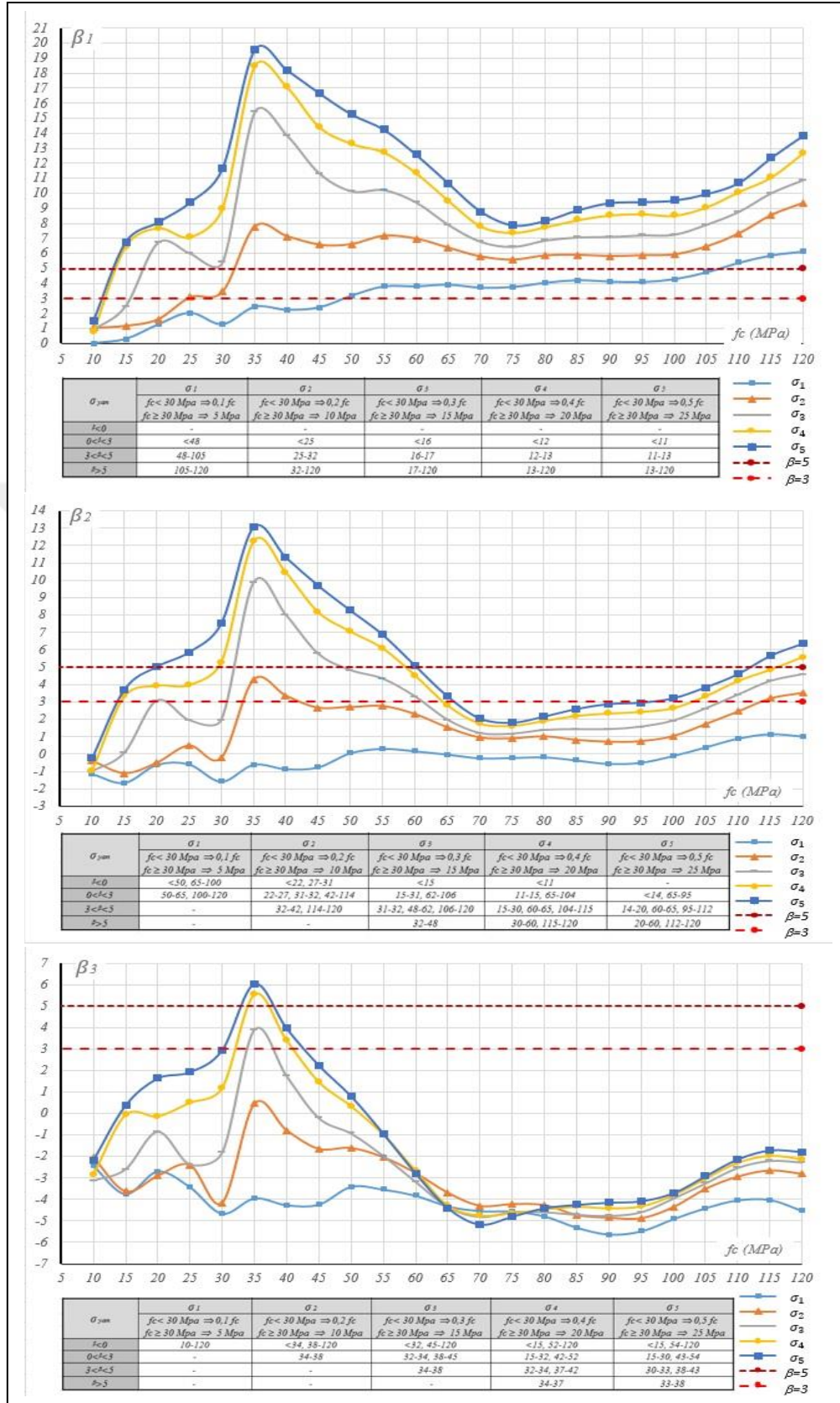
Şekil 4.30 M<sub>14</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği

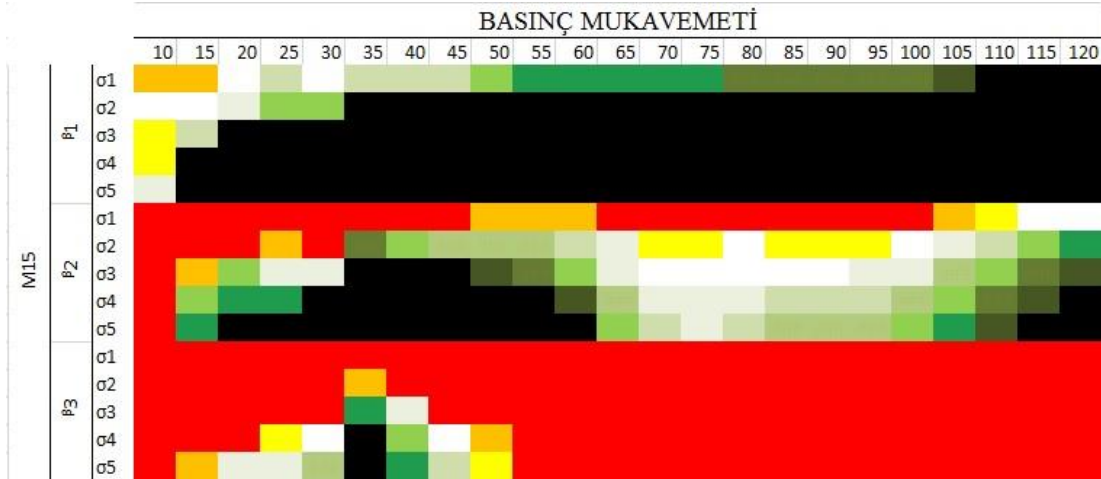


Şekil 4.31 M<sub>14</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuçlar 48-105 MPa aralığındaki değerlerdir.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 25-32 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 16-17 MPa arasındaki dayanıma sahip betonlar içindir.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 12-13 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 11-13 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 105-120 MPa'lık,  $\sigma_2$  için 32-120 MPa'lık,  $\sigma_3$  için 17-120 MPa'lık değerlerdir.  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için 13-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuç bulunmamaktadır



Şekil 4.32 M<sub>15</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği



Şekil 4.33 M<sub>15</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 32-42, 114-120 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 31-32, 48-62, 106-120 MPa arasındaki dayanıma sahip betonlar içindir.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 15-30, 60-65, 104-115 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 14-20, 60-65 ve 95-112 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  yanal basınç seviyesinde sonuç bulunmamasıyla birlikte,  $\sigma_3$  için 32-48 MPa'lık değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 30-60, 115-120 MPa'lık ve  $\sigma_5$  için 20-60, 112-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.

$\beta_3$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; farklı  $\sigma$  değerlerine göre farklı sonuçlar vermiştir, denilebilir. Ayrıca M<sub>15</sub> modeli ile ilgili olarak;

- $\beta_3 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar,  $\sigma_1$  için tüm değerler güvensiz sonuçlar vermiştir.  $\sigma_2$  için dayanımı 10-34-, 38-120 MPa

değerleri arasında olan betonlardır.  $\sigma_3$  için dayanım 10-32, 45-120 MPa arasındaki değerler,  $\sigma_4$  için 10-15, 52-120 MPa ve  $\sigma_5$  için 10-15, 54-120 MPa arasındaki değerler güvensiz sonuçlar vermiştir.

- $0 < \beta_3 < 3$  için modelin kullanılabileceği dayanım aralıkları için,  $\sigma_2$  için 34-38 MPa,  $\sigma_3$  için 32-34, 38-45 MPa,  $\sigma_4$  için 15-32, 42-52 MPa,  $\sigma_5$  için 15-30, 43-54 MPa arasındaki değerler kullanılabilir değerlerdir.
- $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  yanal basınç seviyesinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuç bulunmamaktadır.
- $\sigma_3$  yanal basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 34-38 MPa arasındaki dayanıma sahip betonlar içindir.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 32-34, 37-42 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımı ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 30-33, 38-43 MPa arasındaki değerlerdir.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_4$  için 34-37 MPa'lık,  $\sigma_5$  için 33-38 MPa'lık değerlerdir.
- Modelin  $\beta_3$  için bazı değerli arzu edilen güvenilirlik sınır düzeyinin altında bazıları ise bu sınır düzeyin üstünde kalmaktadır.

#### 4.16 Li ve Ansari Tarafından Önerilen Model ( $M_{16}$ ) İçin İrdeleme

Li ve Ansari(2000) tarafından önerilen ve bu çalışmada  $M_{16}$  olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlemesiyle sırasıyla Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'de verilen tablolu grafikler ve renk haritası elde edilmiştir. Modelin  $\beta_1$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; farklı  $\sigma$  değerlerine göre farklı sonuçlar vermiştir, denilebilir. Model ile ilgili olarak ayrıca;

- $\beta_1 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar  $\sigma_1$  için dayanımı 16 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$  ve  $\sigma_5$  hiç bir dayanımı değerinde sağlamamaktadır.
- $0 < \beta_1 < 3$  için modelin kullanılabileceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 16-100 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_2$  için 32 MPa'dan küçük değerlerdir.



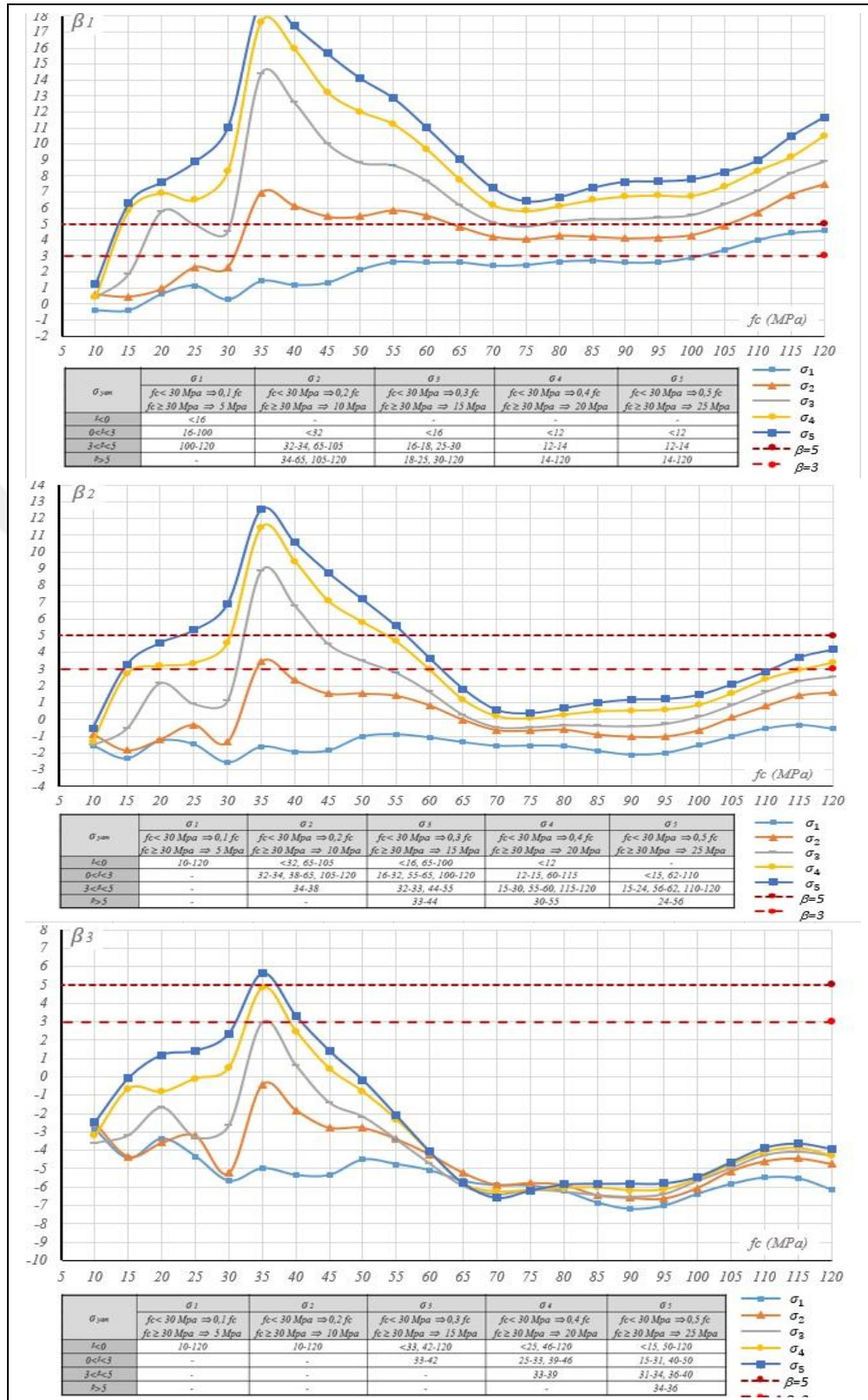
$\sigma_3$  için 16 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için 12 MPa'dan küçük değerlerin beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.

- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuçlar 100-120 MPa aralığındaki değerlerdir.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 32-34 ve 65-105 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 16-18, 25-30 MPa arasındaki dayanıma sahip betonlar içindir.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 12-14 MPa yanal basınç değerleri arasında oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 12-14 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.

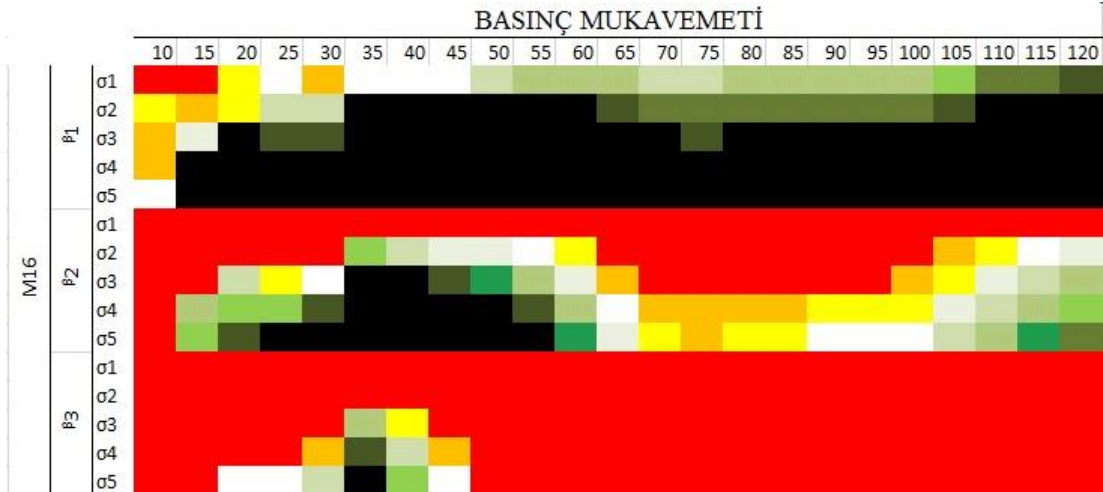
Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde bulunmamakla birlikte,  $\sigma_2$  için 34-65, 105-120 MPa'lık,  $\sigma_3$  için 18-25, 30-120 MPa'lık değerlerdir.  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için 14-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.

$\beta_2$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; farklı  $\sigma$  değerlerine göre farklı sonuçlar vermiştir, denilebilir Ayrıca  $M_{16}$  modeli ile ilgili olarak;

- $\beta_2 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 10-120 MPa arasındaki tüm değerler,  $\sigma_2$  için 32 MPa'dan küçük ve 65-105 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_3$  için dayanımı 16 MPa'dan küçük ve 65-100 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_4$  için dayanımı 12 MPa'dan küçük olan değerlerdir.  $\sigma_5$  için hiçbir dayanım değeri sağlamamaktadır.
- $0 < \beta_2 < 3$  için modelin kullanılabileceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde bulunmamaktadır.  $\sigma_2$  için 32-34, 38-65, 105-120 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_3$  için 16-32, 55-65 ve 100-120 MPa aralığındaki değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 12-15, 60-115 MPa'lık ve  $\sigma_5$  için 15 MPa'dan küçük ve 62-110 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuç bulunmamaktadır.



Şekil 4.34 M<sub>16</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği



Şekil 4.35 M<sub>16</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 34-38 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 32-33, 44-55 MPa arasındaki dayanıma sahip betonlar içindir.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 15-30, 55-60 ve 115-120 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 15-24, 56-62, 110-120 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  yanal basınç seviyesinde sonuç bulunmamakla birlikte,  $\sigma_3$  için 33-44 MPa'lık değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 30-55 MPa'lık ve  $\sigma_5$  için 24-56 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.

$\beta_3$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; farklı  $\sigma$  değerlerine göre farklı sonuçlar vermiştir, denilebilir. Ayrıca M<sub>16</sub> modeli ile ilgili olarak;

- $\beta_3 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar,  $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  için tüm değerler güvensiz sonuçlar vermiştir.  $\sigma_3$  için dayanım 33 MPa'dan küçük

ve 42-120 MPa arasındaki değerler,  $\sigma_4$  için 25 MPa'dan küçük ve 46-120 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_5$  için 15 MPa'dan küçük ve 50-120 MPa arasındaki değerler güvensiz sonuçlar vermiştir.

- $0 < \beta_3 < 3$  için modelin kullanılabilceği dayanım aralıkları için,  $\sigma_3$  için 33-42 MPa,  $\sigma_4$  için 25-33, 39-46 MPa,  $\sigma_5$  için 15-31, 40-50 MPa arasındaki değerler kullanılabilir değerlerdir.
- $\sigma_1, \sigma_2$  ve  $\sigma_3$  yanal basınç seviyesinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuç bulunmamaktadır.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 33-39 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımı ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 31-34, 36-40 MPa arasındaki değerlerdir.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_5$  için 34-36 MPa 'lık değerlerdir.
- Modelin  $\beta_3$  için genellikle değerler arzu edilen güvenilirlik sınır düzeyinin altında kalmaktadır.

#### 4.17 Bohwan vd. Tarafından Önerilen Model (M<sub>17</sub>) İçin İrdeleme

Bohwan vd. (2007) tarafından önerilen ve bu çalışmada M<sub>17</sub> olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlemesiyle sırasıyla Şekil 4.36 ve Şekil 4.37'de verilen tablolu grafikler ve renk haritası elde edilmiştir. Modelin  $\beta_1$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; nerdeyse tüm  $\sigma$  değerlerinde ekonomikten uzak fakat çok güvenilir sonuç vermiştir, denilebilir.

Model ile ilgili olarak ayrıca;

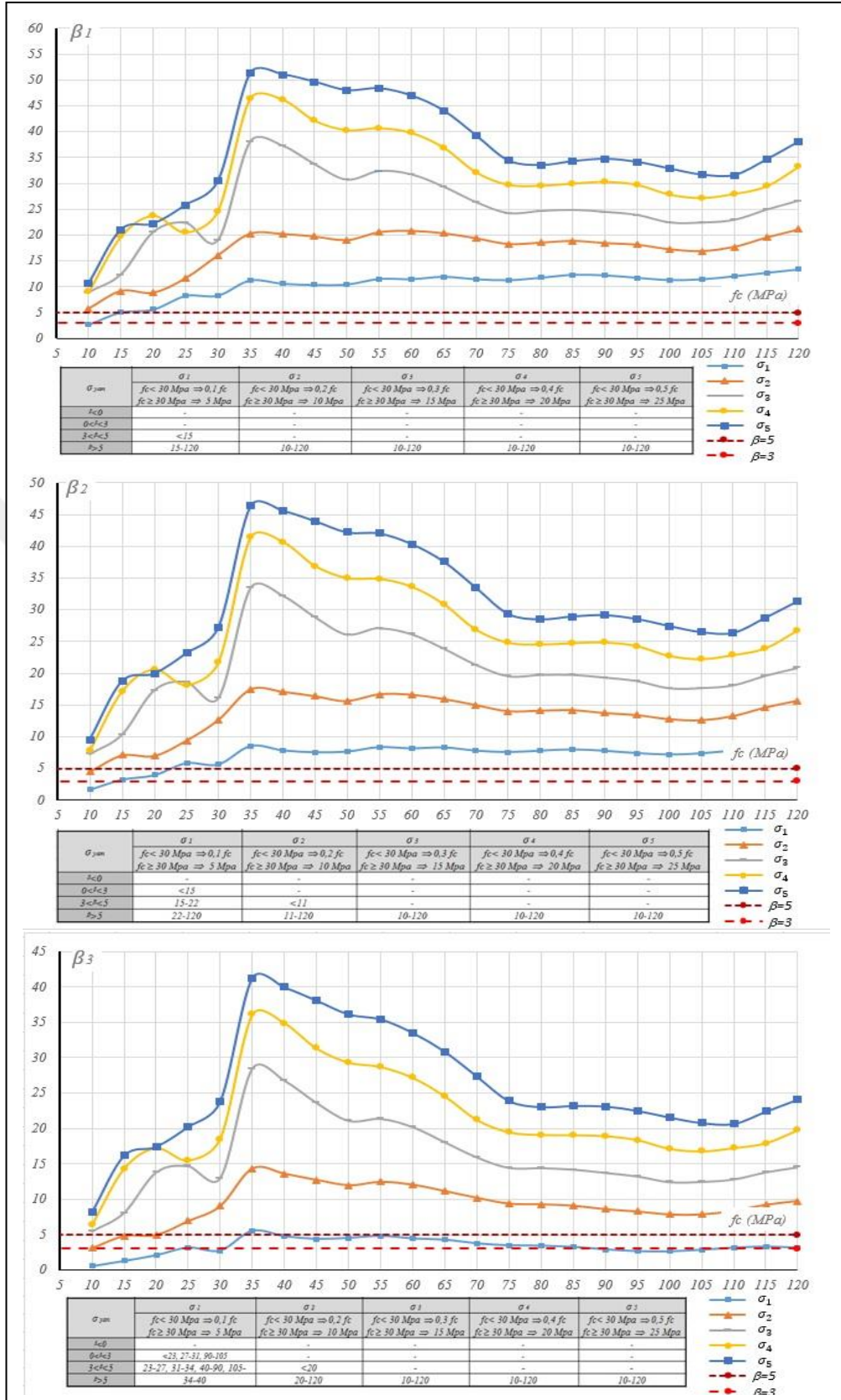
- $\beta_1 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar yaratacağı her hangi bir değer yoktur.
- $0 < \beta_1 < 3$  için modelin hiçbir  $\sigma$  değeri beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmemektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuç 15 MPa'dan küçük beton aralıklarında mümkün görülmektedir.

- $\sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$  ve  $\sigma_5$  yanal basınç düzeylerinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) bulunmamaktadır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 15-120 MPa değerleri arasında bulunmaktadır. Diğer  $\sigma$  değerlerinde tüm beton basınç dayanım değerleri sağlamaktadır.
- Model tüm  $\sigma$  değerlerinde ekonomiklikten uzak ancak çok güvenli sonuçlar verebilmektedir.

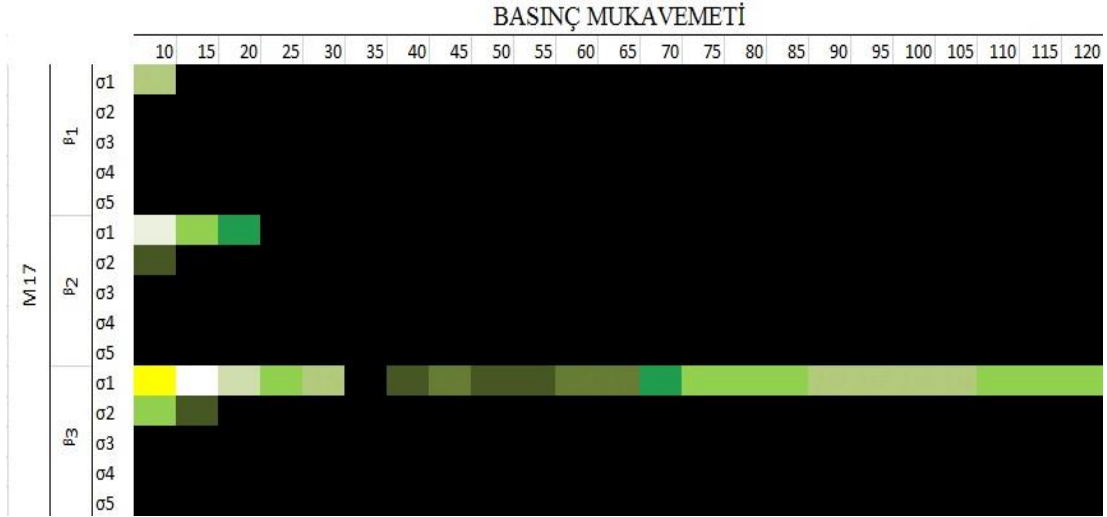
$\beta_2$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; nerdeyse tüm  $\sigma$  değerlerinde ekonomikten uzak fakat çok güvenilir sonuç vermiştir, denilebilir. Ayrıca  $M_{17}$  modeli ile ilgili olarak;

- $\beta_1 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar yaratacağı herhangi bir değer yoktur.
- $0 < \beta_1 < 3$  için modelin  $\sigma_1$  değeri 15 MPa altındaki dayanım aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuç 15-22 MPa beton aralıkların da,  $\sigma_2$  yanal basınç seviyesinde ise 11 MPa'dan küçük beton aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_3, \sigma_4$  ve  $\sigma_5$  yanal basınç düzeylerinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) bulunmamaktadır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 22-120 MPa değerleri arasında,  $\sigma_2$  yanal basınç seviyesinde 11-120 MPa değerleri arasında bulunmaktadır. Diğer  $\sigma$  değerlerinde tüm beton basınç dayanım değerleri sağlamaktadır.
- Model tüm  $\sigma$  değerlerinde ekonomiklikten uzak ancak çok güvenli sonuçlar verebilmektedir.

$\beta_3$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; nerdeyse tüm  $\sigma$  değerlerinde ekonomikten uzak fakat çok güvenilir sonuç vermiştir, denilebilir. Ayrıca  $M_{17}$  modeli ile ilgili olarak;



Şekil 4.36 M<sub>17</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği



Şekil 4.37 M<sub>17</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

- $\beta_1 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar yaratacağı her hangi bir değer yoktur.
- $0 < \beta_1 < 3$  için modelin kullanılabilceği dayanım aralıkları için,  $\sigma_1$  için 27 MPa'dan küçük ve 27-31,90-105 MPa arasındaki değerlerdir. Bunun dışında hiçbir  $\sigma$  değeri beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmemektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuç 23-27, 31-34, 40-90 ve 105-120 MPa aralıklarında,  $\sigma_2$  yanal basınç seviyesinde ise 20 MPa'dan küçük beton aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_3$ ,  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  yanal basınç düzeylerinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) bulunmamaktadır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 34-40 MPa değerleri arasında,  $\sigma_2$  yanal basınç seviyesinde 20-120 MPa değerleri arasında bulunmaktadır. Diğer  $\sigma$  değerlerinde tüm beton basınç dayanım değerleri sağlamaktadır.



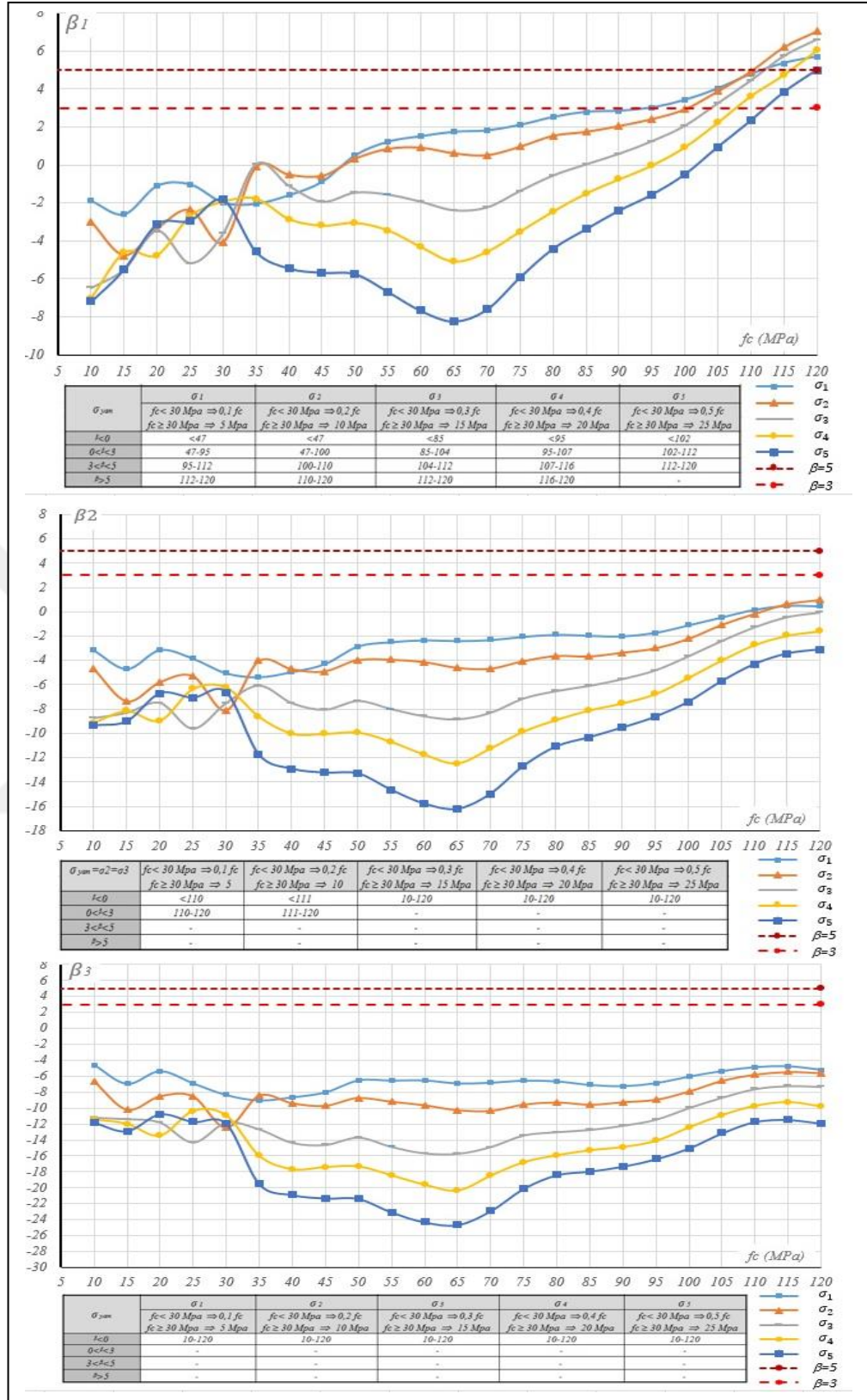
- Model için  $\sigma_1$  değerlerinde istenilen sınır düzeyinde sonuçlar elde edilmiş olsa da model genel olarak tüm  $\sigma$  değerlerinde ekonomiklikten uzak ancak çok güvenli sonuçlar vermiştir.

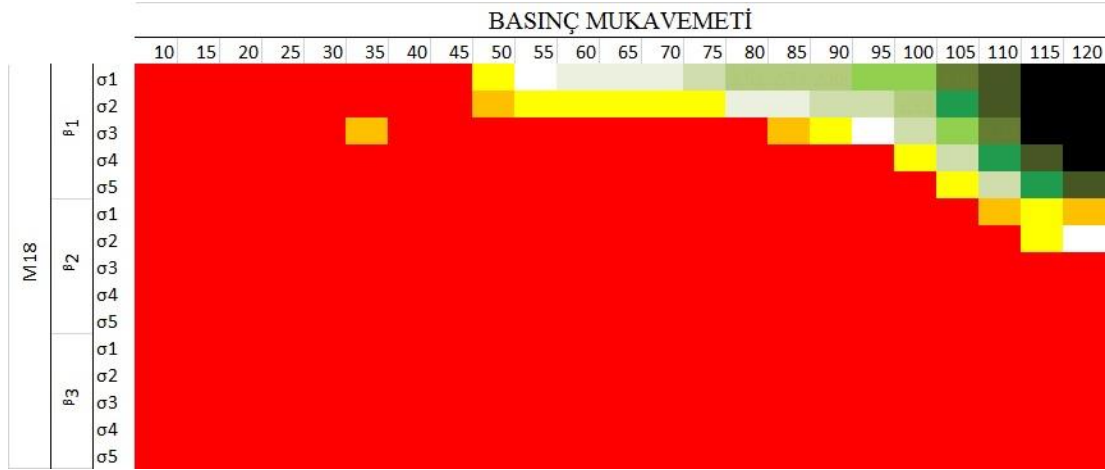
#### 4.18 Chinn ve Zimmerman Tarafından Önerilen Model (M<sub>18</sub>) İçin İrdeleme

Chinn ve Zimmerman (1965) tarafından önerilen ve bu çalışmada M<sub>18</sub> olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlemesiyle sırasıyla Şekil 4.38 ve Şekil 4.39'da verilen tablolular grafikler ve renk haritası elde edilmiştir. Modelin  $\beta_1$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; birçok beton basınç dayanımlarında güvensiz, bazı değerlerinde güvenilir fakat arzu edilen sonuçlar arasında olmadığı, aşağıda belirtilen değerler arasında ise istenilen sınır düzeyleri arasında kalmıştır, denilebilir. Model ile ilgili olarak ayrıca şu noktalara da değinmekte fayda vardır.

- $\beta_1 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar yaratacağı  $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  için dayanımı 47 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_3$  için 85 MPa'dan küçük,  $\sigma_4$  için 95 MPa'dan küçük ve  $\sigma_5$  için dayanımı 102 MPa'dan küçük değerler arasında olan betonlardır.
- $0 < \beta_1 < 3$  için modelin kullanılabilceği dayanım aralıkları;  $\sigma_1$  için 47-95 MPa aralığında,  $\sigma_2$  için dayanımı 47-100 MPa değerleri arasındadır.  $\sigma_3$  için 85-104 MPa arasında olan,  $\sigma_4$  için 95-107 MPa değerleri arasında ve  $\sigma_5$  için dayanımı 102-112 MPa değerleri arasında olan betonlardır.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_1 < 5$ ) sonuçlar 95-112 MPa arasındadır.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 100-110 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 104-112 MPa arasındaki dayanıma sahip betonlar içindir.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 107-116 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.



Şekil 4.38 M<sub>18</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği



**Şekil 4.39** M<sub>18</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımı ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 112-120 MPa arasında bulunmaktadır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  ve  $\sigma_3$  yanal basınç seviyesinde 112-120 MPa değerleri arasında,  $\sigma_2$  yanal basınç seviyesinde 110-120 MPa değerleri arasında,  $\sigma_4$  yanal basınç seviyesinde 116-120 MPa değerleri arasında bulunmaktadır. Diğer  $\sigma$  değerinde tüm beton basınç dayanım değerleri sağlamaktadır.

$\beta_2$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; tüm  $\sigma$  değerlerinde  $\beta < 3$  düzeyinde sonuçlar vermiştir, denilebilir. Ayrıca M<sub>18</sub> modeli ile ilgili olarak;

- $\beta_2 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 110 MPa'dan küçük değerler,  $\sigma_2$  için 111 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_3$ ,  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için tüm dayanım değerlerini sağlamaktadır.
- $0 < \beta_2 < 3$  için modelin kullanılabileceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 110-120 MPa,  $\sigma_2$  için 111-120 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_3$ ,  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için hiçbir beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmemektedir.

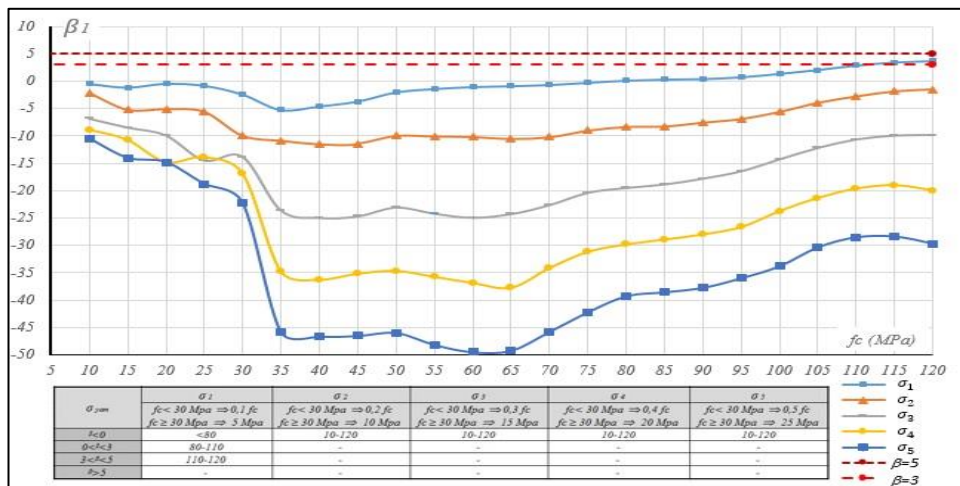
- $\sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$  ve  $\sigma_5$  yanıl basınç düzeylerinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) bulunmamaktadır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde tüm  $\sigma$  değerlerinde hiç bir beton basınç dayanım değerleri için kullanımı bulunmamaktadır.

$\beta_3$  güvenilirlik indeksleri için; tüm beton basınç dayanımlarında güvensiz sonuçlar vermektedir.

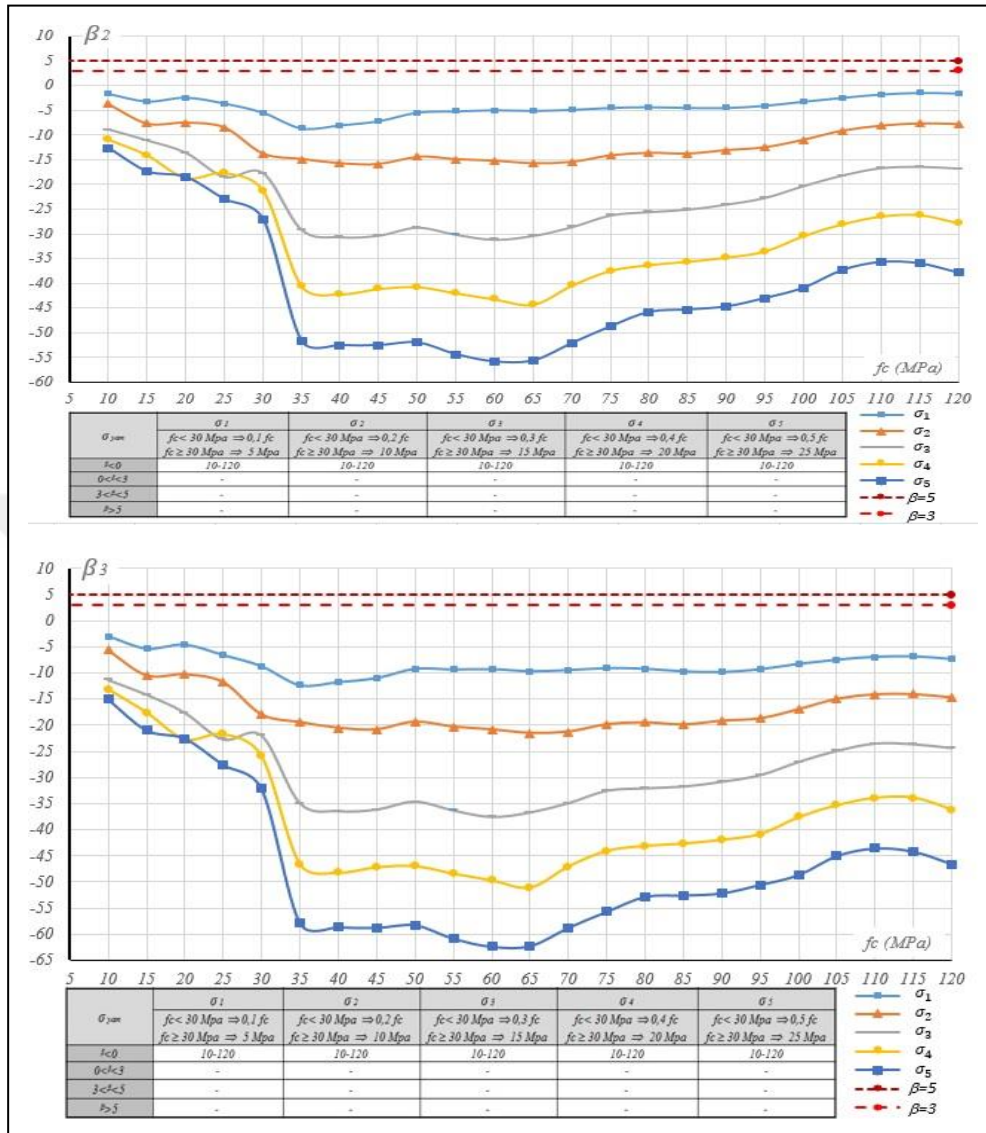
#### 4.19 Mullar Tarafından Önerilen Model (M<sub>19</sub>) İçin İrdeleme

Mullar (1975) tarafından önerilen ve bu çalışmada M<sub>19</sub> olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlemesiyle sırasıyla Şekil 4.40, Şekil 4.41 ve Şekil 4.42’de verilen tablolu grafikler ve renk haritası elde edilmiştir. Modelin  $\beta_1$  güvenilirlik indeksi için genel olarak;  $\sigma_1$ ’de dalgalanma mevcut olup, diğer  $\sigma$  değerlerinde güvensiz sonuçlar vermiştir, denilebilir.

- $\beta_1 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar  $\sigma_1$  için dayanımı 80 MPa’den küçük değerlerdir.  $\sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$  ve  $\sigma_5$  hiç bir dayanım değerinde sağlamamaktadır.

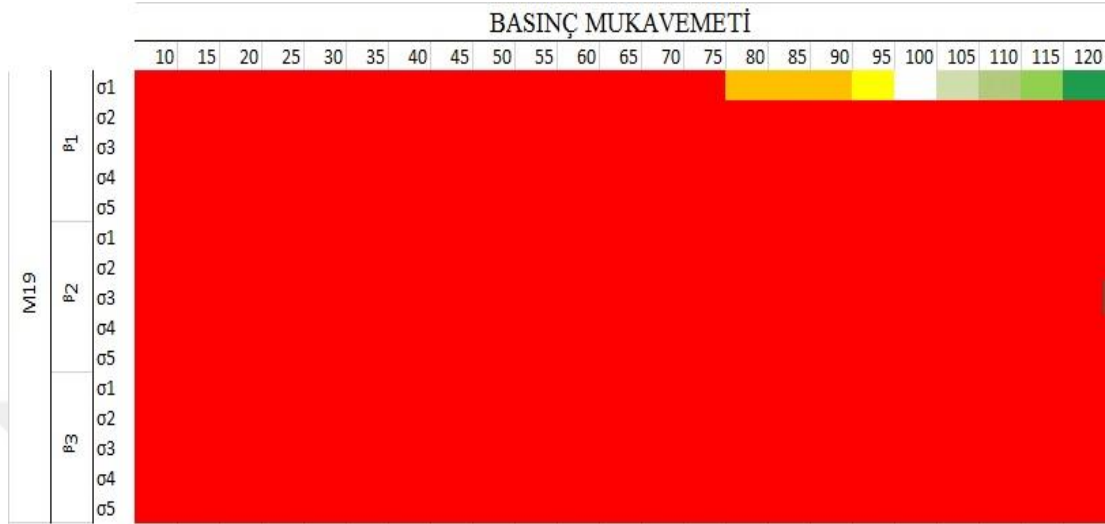


Şekil 4.40 M<sub>19</sub> modelinin  $\beta_1$  indeksi için güvenilirliği



Şekil 4.41  $M_{19}$  modelinin  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği

- $0 < \beta_1 < 3$  için modelin kullanılabileceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 80-110 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ,  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  hiç bir dayanım değerinde sağlamamaktadır.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuçlar 110-120 MPa aralığındaki değerlerdir.



**Şekil 4.42** M<sub>19</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

- $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ,  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  hiç bir dayanım değerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuçlar sağlamamaktadır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ,  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  hiç bir dayanım değerinde sağlamamaktadır.

$\beta_2$ ,  $\beta_3$  güvenilirlik indeksleri için; tüm beton basınç dayanımlarında güvensiz sonuçlar vermektedir.

#### 4.20 Avram vd. Tarafından Önerilen Model (M<sub>20</sub>) İçin İrdeleme

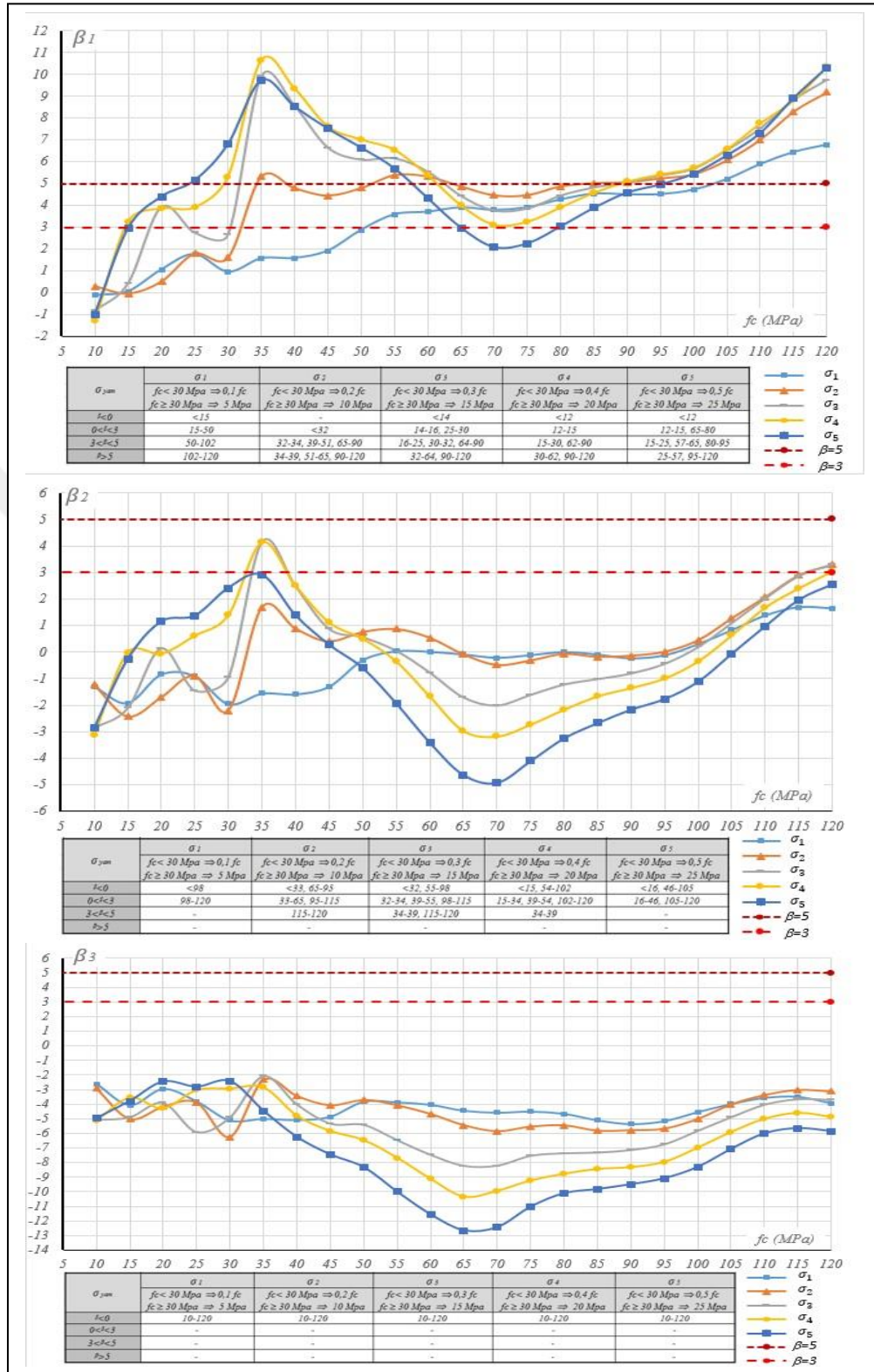
Avram vd.(1981) tarafından önerilen ve bu çalışmada M<sub>20</sub> olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlemesiyle sırasıyla Şekil 4.43 ve Şekil 4.44'de verilen tablololu grafikler ve renk haritası elde edilmiştir. Modelin  $\beta_1$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; farklı  $\sigma$  değerlerine göre farklı sonuçlar vermiştir, denilebilir. Model ile ilgili olarak ayrıca;

- $\beta_1 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar  $\sigma_1$  için dayanımı 15 MPa'dan küçük,  $\sigma_3$  için 14 MPa'dan küçük,  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için 12 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_2$  için ise hiç bir dayanım değerinde sağlamamaktadır.
- $0 < \beta_1 < 3$  için modelin kullanılabilceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 15-50 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_2$  için 32 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_3$  için 14-16, 25-30 MPa arasında bulunan değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 12-15 MPa arasında,  $\sigma_5$  için 12-15, 65-80 MPa arasındaki değerlerin beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuçlar 50-102 MPa aralığındaki değerlerdir.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 32-34, 39-51, 65-90 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 16-25, 30-32, 64-90 MPa arasındaki dayanıma sahip betonlar içindir.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 15-30, 62-90 MPa yanal basınç değerleri arasında oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 15-25, 57-65, 80-95 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 102-120 MPa'lık,  $\sigma_2$  için 34-39, 51-65, 90-120 MPa'lık,  $\sigma_3$  için 32-64, 90-120 MPa'lık değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 30-62, 90-120 MPa'lık ve  $\sigma_5$  için 25-57, 95-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.

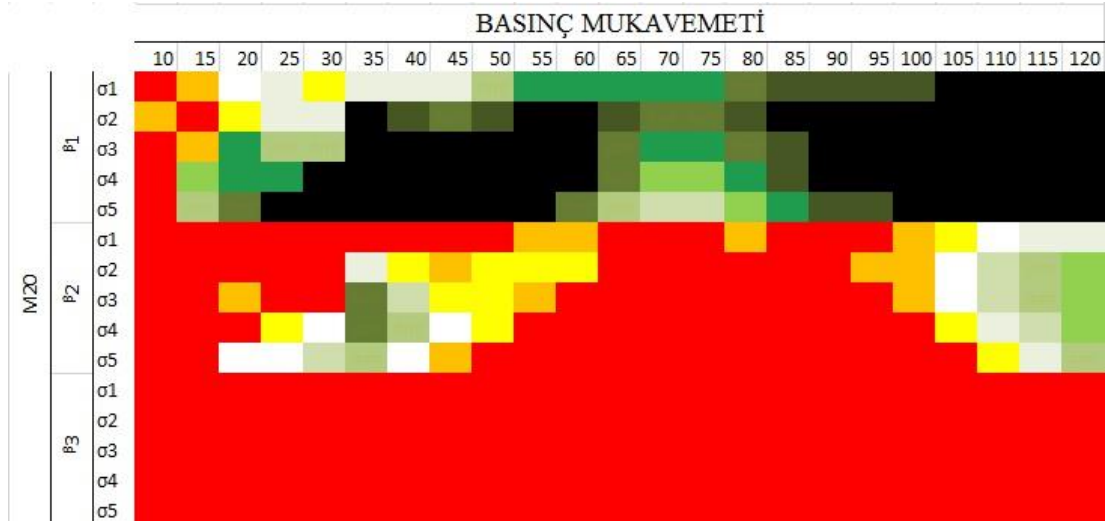
$\beta_2$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; farklı  $\sigma$  değerlerine göre farklı sonuçlar vermiştir, denilebilir Ayrıca  $M_{20}$  modeli ile ilgili olarak;

- $\beta_2 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 98 MPa'dan küçük değerler,  $\sigma_2$  için 33 MPa'dan küçük ve 65-95 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_3$  için dayanımı 32 MPa'dan küçük ve 55-98 MPa arasındaki ve  $\sigma_4$  için dayanımı 15 MPa'dan küçük ve 54-102 MPa arasında olan değerlerdir.  $\sigma_5$  için 16 MPa'dan küçük ve 46-105 MPa arasında bulunan dayanım değerleri sağlamaktadır.





Şekil 4.43 M<sub>20</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği



Şekil 4.44 M<sub>20</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

- $0 < \beta_2 < 3$  için modelin kullanılabileceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 98-120 MPa,  $\sigma_2$  için 33-65, 95-115 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_3$  için 32-34, 39-55, 98-115 MPa aralığındaki değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 15-34, 39-54, 102-120 MPa'lık ve  $\sigma_5$  için 16-46, 105-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuç hiçbir değer için bulunmamaktadır.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 115-120 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 34-39, 115-120 MPa arasındaki dayanıma sahip betonlar içindir.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 34-39 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımı ( $3 < \beta_1 < 5$ ) hiçbir değer aralığında sağlamamıştır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı, hiçbir beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmemektedir.

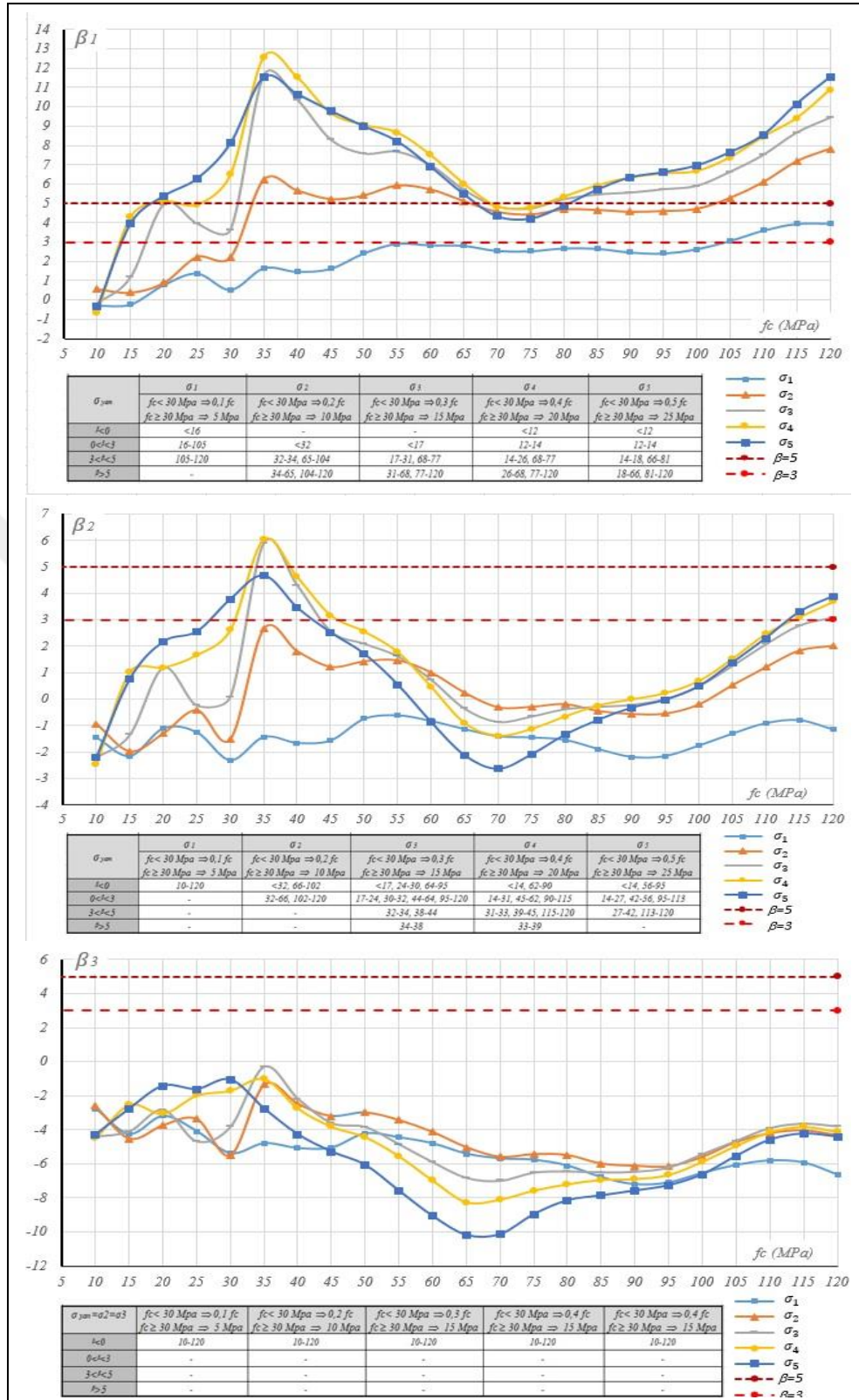


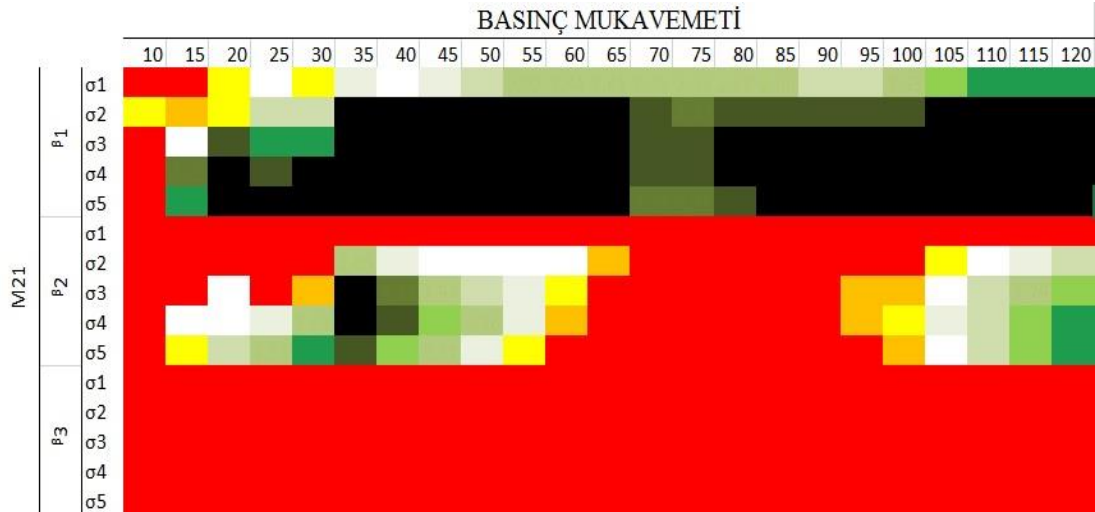
$\beta_3$  güvenilirlik indeksi için genel olarak tüm beton basınç dayanımlarında güvensiz sonuçlar vermektedir.

#### 4.21 Tang Tarafından Önerilen Model ( $M_{21}$ ) İçin İrdeleme

Avram vd.(2010) tarafından önerilen ve bu çalışmada  $M_{21}$  olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlenmesiyle sırasıyla Şekil 4.45 ve Şekil 4.46'da verilen tablolu grafikler ve renk haritası elde edilmiştir. Modelin  $\beta_1$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; farklı  $\sigma$  değerlerine göre farklı sonuçlar vermiştir, denilebilir. Model ile ilgili olarak ayrıca;

- $\beta_1 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar  $\sigma_1$  için dayanımı 16 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için 12 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_2$  ve  $\sigma_3$  hiç bir dayanımı değerinde sağlamamaktadır.
- $0 < \beta_1 < 3$  için modelin kullanılabilceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 16-105 MPa arasındaki,  $\sigma_2$  için 32 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_3$  için 17 MPa'dan küçük,  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için bu kullanım 12-14 MPa arasındaki beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuçlar 105-120 MPa aralığındaki değerlerdir.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 32-34, 65-104 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 17-31, 68-77 MPa arasındaki dayanıma sahip betonlar içindir.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 14-26, 68-77 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 14-18, 66-81 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde değer bulunmamaktadır.  $\sigma_2$  için 34-65, 104-120 MPa'lık,  $\sigma_3$  için 31-68, 77-120 MPa'lık değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 26-68, 77-120 MPa'lık ve  $\sigma_5$  için 18-66, 81-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.

Şekil 4.45  $M_{21}$  modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği



**Şekil 4.46** M<sub>21</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

- $\beta_2$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; farklı  $\sigma$  değerlerine göre farklı sonuçlar vermiştir, denilebilir Ayrıca M<sub>21</sub> modeli ile ilgili olarak;
- $\beta_2 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde tüm değerler,  $\sigma_2$  için 32 MPa'dan küçük, 66-102 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_3$  için 17 MPa'dan küçük, 24-30, 64-95 MPa arasındaki,  $\sigma_4$  için dayanımı 14 MPa'dan küçük ve 62-90 MPa arasında olan değerlerdir.  $\sigma_5$  için 14 MPa'dan küçük ve 56-95 MPa arasındaki dayanım değerleri sağlamaktadır.
- $0 < \beta_2 < 3$  için modelin kullanılabilceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde bulunmamaktadır.  $\sigma_2$  için 32-66, 102-120 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_3$  için 17-24, 30-32, 44-64, 95-120 MPa arasında bulunan değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 14-31, 45-62, 90-115 MPa'lık ve  $\sigma_5$  için 14-27, 42-56, 95-113 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuç bulunmamaktadır
- $\sigma_3$  yanal basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 32-34, 38-44 MPa arasındaki dayanıma sahip betonlar içindir.

- $\sigma_4$  yanal basıncında 31-33, 39-45, 115-120 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 27-42, 113-120 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  ve  $\sigma_5$  yanal basınç seviyesinde sonuç bulunmamasıyla birlikte,  $\sigma_3$  için 34-38 MPa'lık değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 33-39 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.

$\beta_3$  güvenilirlik indeksi için genel olarak;  $\beta < 0$  değerindedir, denilebilir. Ayrıca  $M_{21}$  modeli ile ilgili olarak;

- $\beta_3 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz olduğu sonuçlar,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ,  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için tüm değerlerdir.

#### 4.22 Samaan vd. Tarafından Önerilen Model ( $M_{22}$ ) İçin İrdeleme

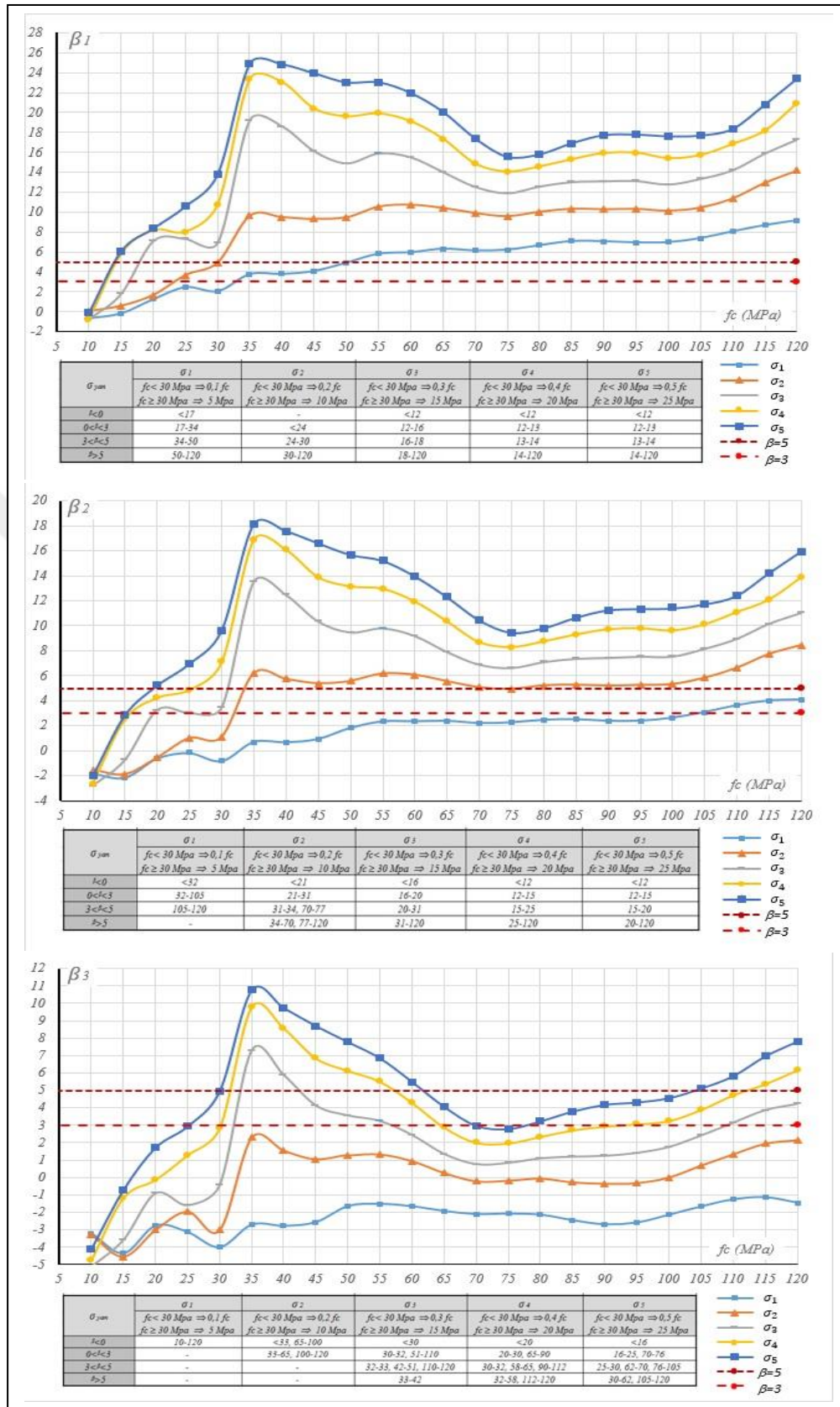
Samaan vd. (1998) tarafından önerilen ve bu çalışmada  $M_{22}$  olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlemesiyle sırasıyla Şekil 4.47 ve Şekil 4.48'de verilen tablolu grafikler ve renk haritası elde edilmiştir. Modelin  $\beta_1$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; farklı  $\sigma$  değerlerine göre farklı sonuçlar vermiştir. 50 MPa üzeri sonuçlar ekonomiklikten uzak yalnız güvenilir sonuçlardır, denilebilir. Model ile ilgili olarak ayrıca;

- $\beta_1 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar  $\sigma_1$  için dayanımı 17 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_2$  hiç bir dayanımı değerinde sağlamamaktadır.  $\sigma_3$ ,  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için 12 MPa'dan küçük değerlerdir.
- $0 < \beta_1 < 3$  için modelin kullanılabileceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 17-34 MPa arasındaki,  $\sigma_2$  için 24 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_3$  için 12-16 MPa arasında bulunan değerlerdir.  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için bu kullanım 12-13 MPa arasındaki beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuçlar 34-50 MPa aralığındaki değerlerdir.

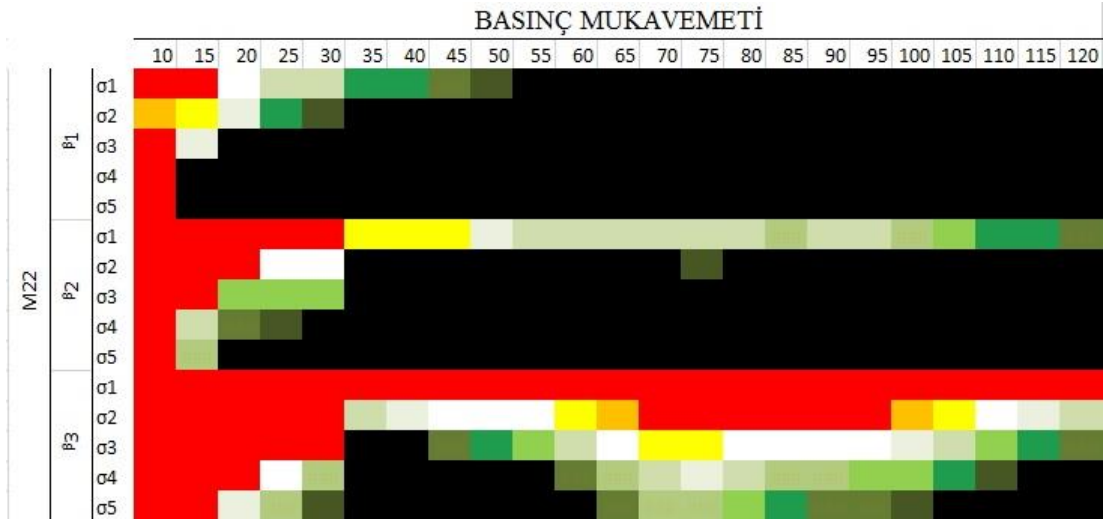
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 24-30 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 16-18 MPa arasındaki dayanıma sahip betonlar içindir.
- $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  yanal basıncında 13-14 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı ,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 50-120 MPa'lık,  $\sigma_2$  için 30-120 MPa'lık,  $\sigma_3$  için 18-120 MPa'lık değerlerdir.  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için bu kullanım 14-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.

$\beta_2$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; farklı  $\sigma$  değerlerine göre farklı sonuçlar vermiştir, denilebilir Ayrıca  $M_{22}$  modeli ile ilgili olarak;

- $\beta_2 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 10-32 MPa arasında değerler,  $\sigma_2$  için 10-21 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_3$  için 10-16 MPa arasındaki,  $\sigma_4$  için dayanımı 10-12 MPa arasında olan değerlerdir.  $\sigma_5$  için 10-12 MPa arasındaki dayanım değerleri sağlamaktadır.
- $0 < \beta_2 < 3$  için modelin kullanılabilceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 32-105 MPa,  $\sigma_2$  için 21-31 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_3$  için 16-20 MPa arasında bulunan değerlerdir.  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için bu kullanım 12-15 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuçlar 105-120 MPa arasındaki değerlerdir.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde 31-34 ve 70-77 MPa arasındaki değerler hem güvenilir hem ekonomik sonuç vermiştir.  $\sigma_3$  yanal basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 20-31 MPa arasındaki dayanıma sahip betonlar içindir.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 15-25 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 15-20 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.



Şekil 4.47 M<sub>22</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği



**Şekil 4.48** M<sub>22</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde bulunmamaktadır.  $\sigma_2$  yanal basınç seviyesinde ise 34-70, 77-120 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_3$  için 31-120 MPa'lık değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 25-120 MPa'lık ve  $\sigma_5$  için 20-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.

$\beta_3$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; ; farklı  $\sigma$  değerlerine göre farklı sonuçlar vermiştir, denilebilir. Ayrıca M<sub>22</sub> modeli ile ilgili olarak;

- $\beta_3 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar,  $\sigma_1$  için tüm değerlerdir.  $\sigma_2$  için dayanımı 33 MPa'dan küçük ve 65-100 MPa değerleri arasında olan betonlardır.  $\sigma_3$  için dayanım 30 MPa'dan küçük değerler,  $\sigma_4$  için 20 MPa'dan küçük ve  $\sigma_5$  için 16 MPa'dan küçük değerler güvensiz sonuçlar vermiştir.
- $0 < \beta_3 < 3$  için modelin kullanılacağı dayanım aralıkları,  $\sigma_2$  için 33-65, 100-120 MPa,  $\sigma_3$  için 30-32, 51-110 MPa,  $\sigma_4$  için 20-30, 65-90 MPa,  $\sigma_5$  için 16-25, 70-76 MPa arasındaki değerler kullanılabilir değerlerdir.
- $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuç bulunmamaktadır.



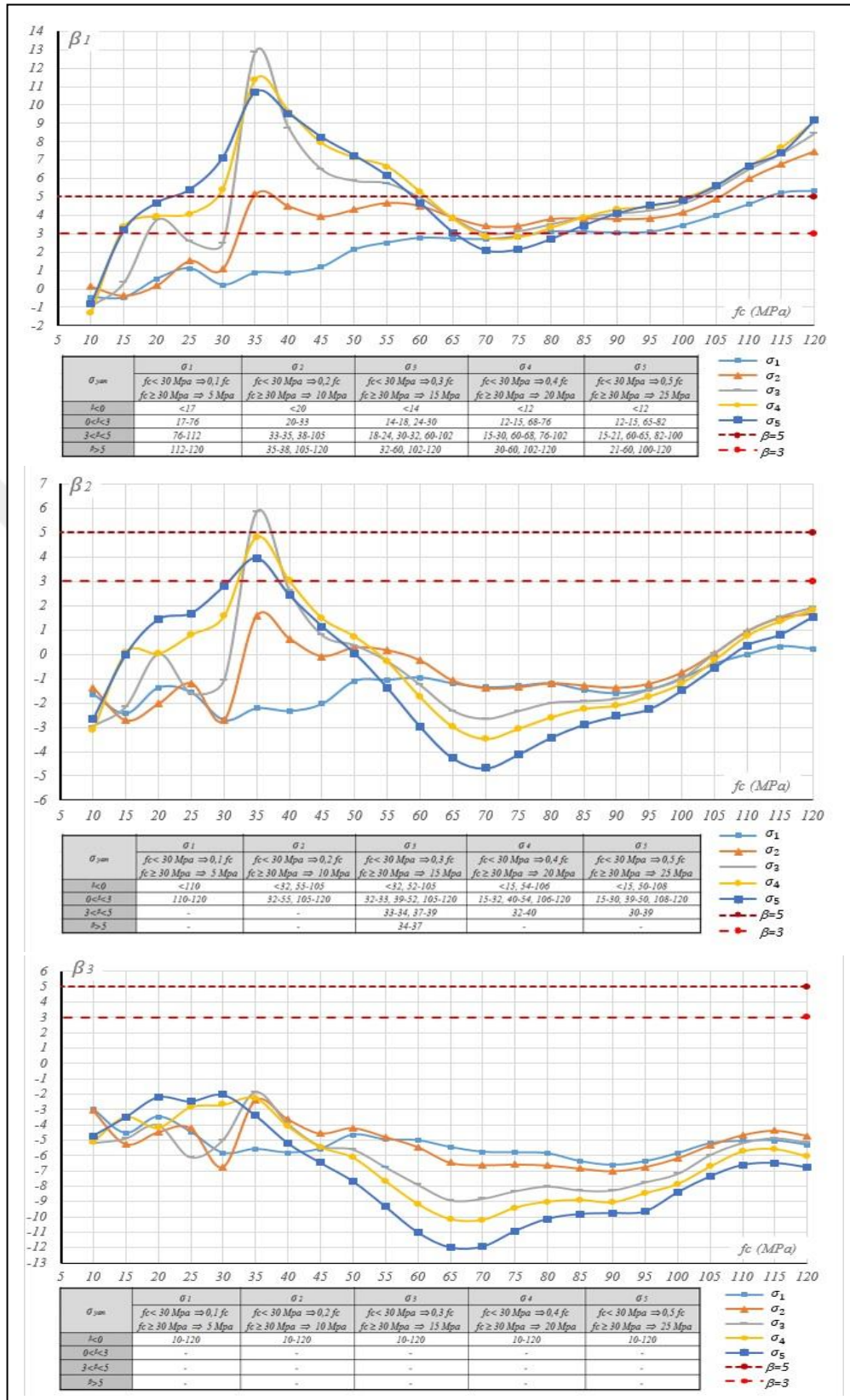
- $\sigma_3$  yanal basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 32-33, 42-51, 110-120 MPa arasındaki dayanıma sahip betonlar içindir.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 30-32, 58-65, 90-112 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 25-30, 62-70, 76-105 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  yanal basınç seviyesinde bulunmamaktadır.  $\sigma_3$  için 33-42 MPa'lık değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 32-58, 112-120 MPa'lık ve  $\sigma_5$  için 30-62, 105-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görünmektedir.

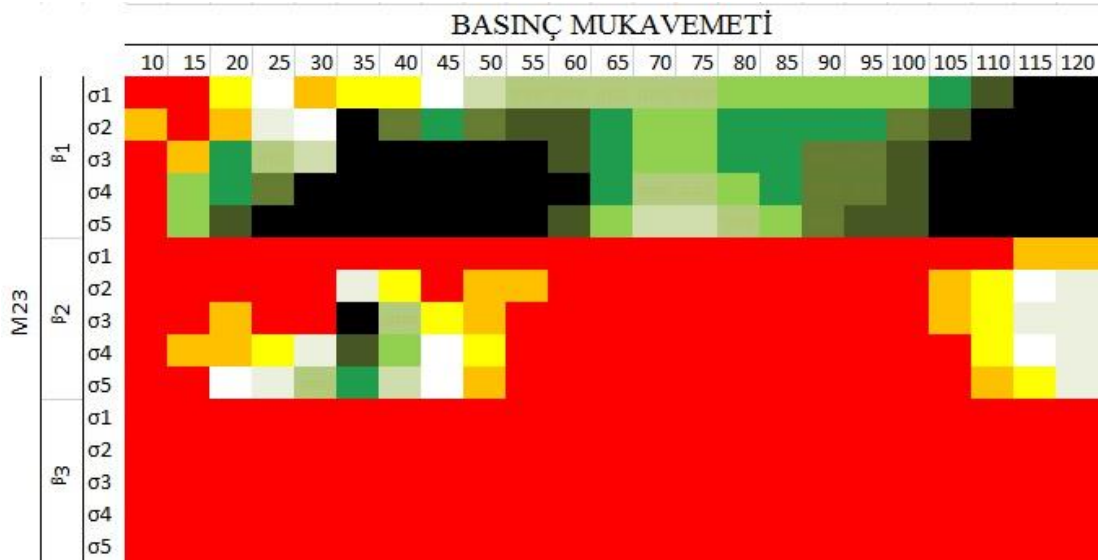
#### 4.23 Babanajad vd.(1) Tarafından Önerilen Model (M<sub>23</sub>) İçin İrdeleme

Babanajad vd.-1(2013) tarafından önerilen ve bu çalışmada M<sub>23</sub> olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlemesiyle sırasıyla Şekil 4.49 ve Şekil 4.50'de verilen tablolu grafikler ve renk haritası elde edilmiştir. Modelin  $\beta_1$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; farklı  $\sigma$  değerlerine göre farklı sonuçlar vermiştir, denilebilir. Model ile ilgili olarak ayrıca;

- $\beta_1 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar  $\sigma_1$  için dayanımı 17 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_2$  için 20 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_3$  için 14 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için ise 12 MPa'dan küçük değerlerde sağlamaktadır.
- $0 < \beta_1 < 3$  için modelin kullanılabileceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 17-76 MPa arasındaki,  $\sigma_2$  için 20-33 MPa arasındaki değerlerdir  $\sigma_3$  için MPa arasında 14-18, 24-30 bulunan değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 12-15, 68-76 MPa arasındaki ve  $\sigma_5$  için 12-15, 65-82 MPa arasındaki beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuçlar 76-112 MPa aralığındaki değerlerdir.



Şekil 4.49 M<sub>23</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği



Şekil 4. 50 M<sub>23</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 33-35, 38-105 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 18-24, 30-32, 60-102 MPa arasındaki dayanıma sahip betonlar içindir.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 15-30, 60-68, 76-102 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 15-21, 60-65, 82-100 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- Modelin;  $\beta_i \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  için 112-120 MPa'lık,  $\sigma_2$  için 35-38, 105-120 MPa'lık yanal basınç seviyelerinde bulunmaktadır.  $\sigma_3$  için 32-60, 102-120 MPa'lık değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 30-60, 102-120 MPa'lık ve  $\sigma_5$  için 21-60, 100-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.

$\beta_2$  güvenilirlik indeksi için genel olarak;  $\beta < 3$  düzeyinde sonuçlar vermiştir, denilebilir. Ayrıca M<sub>23</sub> modeli ile ilgili olarak;

- $\beta_2 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar,  $\sigma_1$  için 110 MPa'dan küçük,  $\sigma_2$  için 32 MPa'dan küçük ve 55-105 MPa arasındaki yanıl basınç seviyesi değerleridir.  $\sigma_3$  için 32 MPa'dan küçük ve 52-105 MPa arasındaki,  $\sigma_4$  için dayanımı 15 MPa'dan küçük ve 54-106 MPa arasında olan değerlerdir.  $\sigma_5$  için 15 MPa'dan küçük ve 50-108 MPa arasındaki dayanım değerleri sağlamaktadır.
- $0 < \beta_2 < 3$  için modelin kullanılabilceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  için 110-120 MPa arasında ve  $\sigma_2$  için 32-55, 105-120 MPa arasındaki yanıl basınç seviyesinde bulunmaktadır.  $\sigma_3$  için 32-33, 39-52, 105-120 MPa arasında bulunan değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 15-32, 40-54, 106-120 MPa'lık ve  $\sigma_5$  için 15-30, 39-50, 108-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  yanıl basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuç bulunmamaktadır.
- $\sigma_3$  yanıl basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 33-34, 37-39 MPa arasındaki dayanıma sahip betonlar içindir.
- $\sigma_4$  yanıl basıncında 32-40 MPa yanıl basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- $\sigma_5$  yanıl basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 30-39 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımını, yalnızca  $\sigma_3$  için 34-37 MPa aralığında olup diğer  $\sigma$  yanıl basınç seviyelerinde sonuç bulunmamaktadır.

$\beta_3$  güvenilirlik indeksi için genel olarak;  $\beta < 0$  değerindedir, denilebilir. Ayrıca  $M_{23}$  modeli ile ilgili olarak;

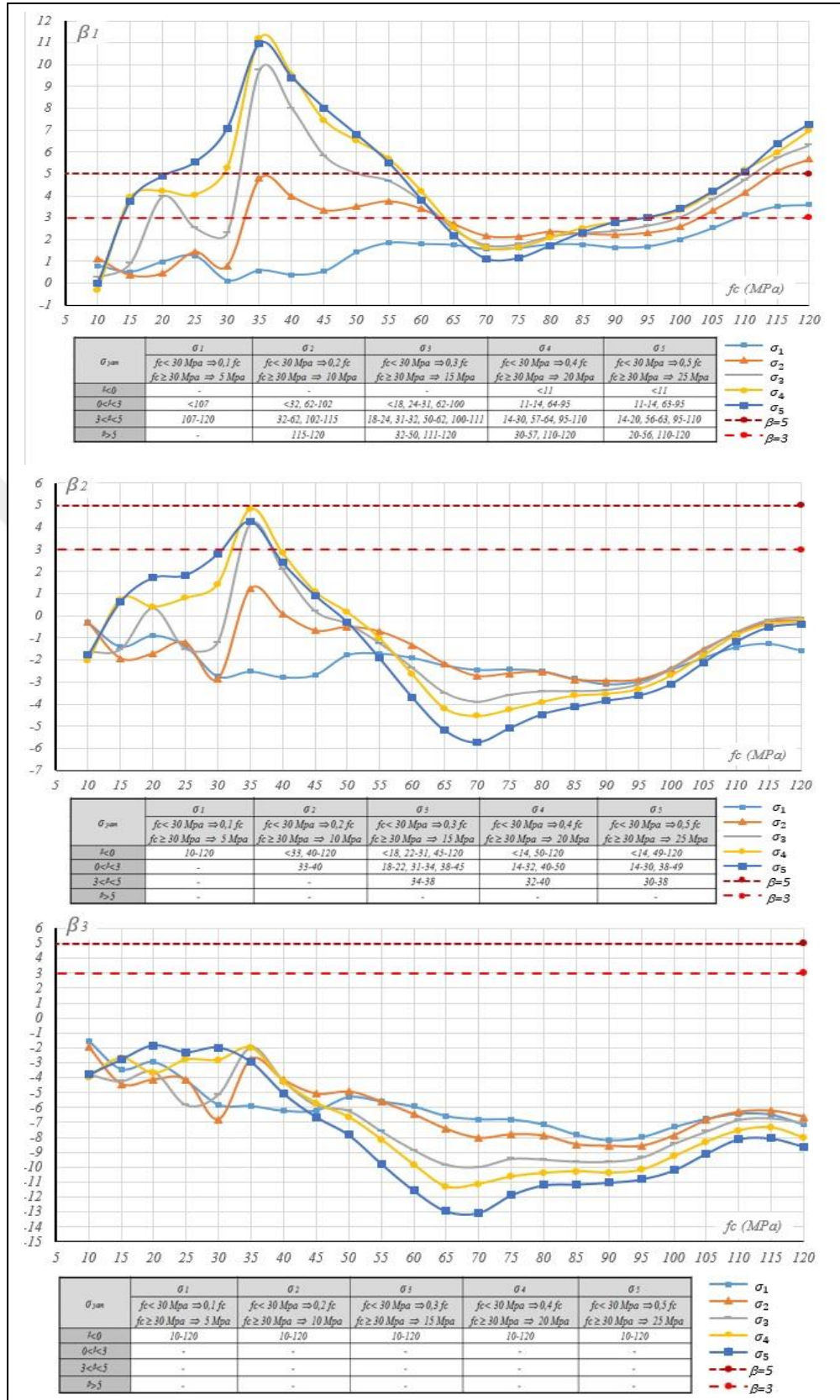
- $\beta_3 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ,  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için tüm değerlerdir.
- $0 < \beta_3 < 3$  için modelin kullanılabilceği dayanım aralıkları için, hiçbir  $\sigma$  değerinde sonuç vermemiştir.
- $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ,  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  yanıl basınç seviyesinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuç bulunmamaktadır.

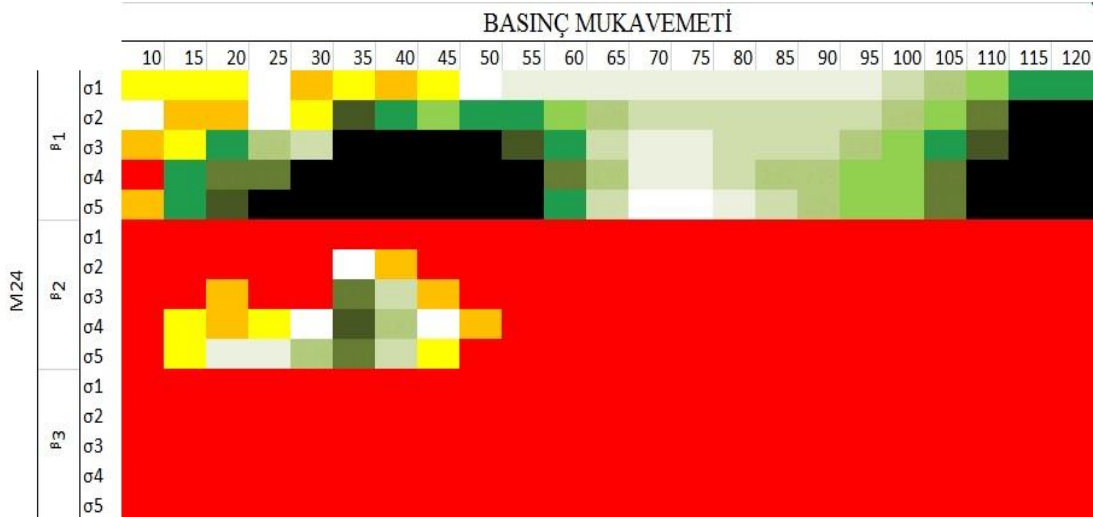
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı tüm  $\sigma$  değerlerinin hiçbir beton basınç dayanım değerinde bulunmamaktadır.

#### 4.24 Babanajad vd.(2) Tarafından Önerilen Model (M<sub>24</sub>) İçin İrdeleme

Babanajad vd.-2(2013) tarafından önerilen ve bu çalışmada M<sub>24</sub> olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlemesiyle sırasıyla Şekil 4.51 ve Şekil 4.52'de verilen tablolu grafikler ve renk haritası elde edilmiştir. Modelin  $\beta_1$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; farklı  $\sigma$  değerlerine göre farklı sonuçlar vermiştir, denilebilir. Model ile ilgili olarak ayrıca;

- $\beta_1 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  ve  $\sigma_3$  için sonuç bulunmamaktadır.  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için 11 MPa'dan küçük değerlerde sağlamaktadır.
- $0 < \beta_1 < 3$  için modelin kullanılabilceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 107 MPa'dan küçük,  $\sigma_2$  için 32 MPa'dan küçük ve 62-102 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_3$  için 18 MPa'dan küçük ve 24-31, 62-100 MPa arasında bulunan değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 11-14, 64-95 MPa arasındaki ve  $\sigma_5$  için 11-14, 63-95 MPa arasındaki beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuçlar 107-120 MPa aralığındaki değerlerdir.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 32-64, 102-115 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 18-24, 31-32, 50-62, 100-111 MPa arasındaki dayanıma sahip betonlar içindir.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 14-30, 57-64, 95-110 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 14-20, 56-63, 95-110 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.

Şekil 4.51 M<sub>24</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği



Şekil 4.52 M<sub>24</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde değer bulunmamaktadır.  $\sigma_2$  için 115-120 MPa'lık,  $\sigma_3$  için 32-50, 111-120 MPa'lık değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 30-57, 110-120 MPa'lık ve  $\sigma_5$  için 20-56, 110-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.

$\beta_2$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; farklı  $\sigma$  değerlerine göre farklı sonuçlar vermiştir, denilebilir Ayrıca M<sub>24</sub> modeli ile ilgili olarak;

- $\beta_2 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde tüm değerler,  $\sigma_2$  için 33 MPa'dan küçük ve 40-120 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_3$  için 18 MPa'dan küçük ve 22-31, 45-120 MPa arasındaki,  $\sigma_4$  için dayanımı 14 MPa'dan küçük ve 50-120 MPa arasında olan değerlerdir.  $\sigma_5$  için 14 MPa'dan küçük ve 49-120 MPa arasındaki dayanım değerleri sağlamaktadır.
- $0 < \beta_2 < 3$  için modelin kullanılabileceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde bulunmamaktadır.  $\sigma_2$  için 33-40 MPa arasındaki değerlerdir.  $\sigma_3$  için 18-22, 31-34, 38-45 MPa arasında bulunan değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 14-32, 40-50

MPa'lık ve  $\sigma_5$  için 14-30, 38-49 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.

- $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuç bulunmamaktadır
- $\sigma_3$  yanal basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 34-38 MPa arasındaki dayanıma sahip betonlar içindir.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 32-40 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 30-38 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanım için  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$  ve  $\sigma_5$  yanal basınç seviyesinde sonuç bulunmamaktadır.

$\beta_3$  güvenilirlik indeksi için genel olarak;  $\beta < 0$  değerindedir, denilebilir. Ayrıca  $M_{24}$  modeli ile ilgili olarak;

- $\beta_3 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar,  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için tüm değerlerdir.
- $0 < \beta_3 < 3$  için modelin kullanılabilmesi için, hiçbir  $\sigma$  değerinde sonuç vermemiştir.
- $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$  ve  $\sigma_5$  yanal basınç seviyesinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuç bulunmamaktadır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı tüm  $\sigma$  değerlerinin hiçbir beton basınç dayanım değerinde bulunmamaktadır.

#### 4.25. Öztekin Tarafından Önerilen Model ( $M_{25}$ ) İçin İrdeleme

Öztekin (2016) tarafından önerilen ve bu çalışmada  $M_{25}$  olarak isimlendirilen bu model için yapılan analizlerden elde edilen verilerin düzenlenmesiyle sırasıyla Şekil 4.53 ve Şekil 4.54'de verilen tablolular grafikler ve renk haritası elde edilmiştir. Modelin



$\beta_1$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; ekonomiklikten uzak fakat güvenli sonuçlar vermiştir, denilebilir.

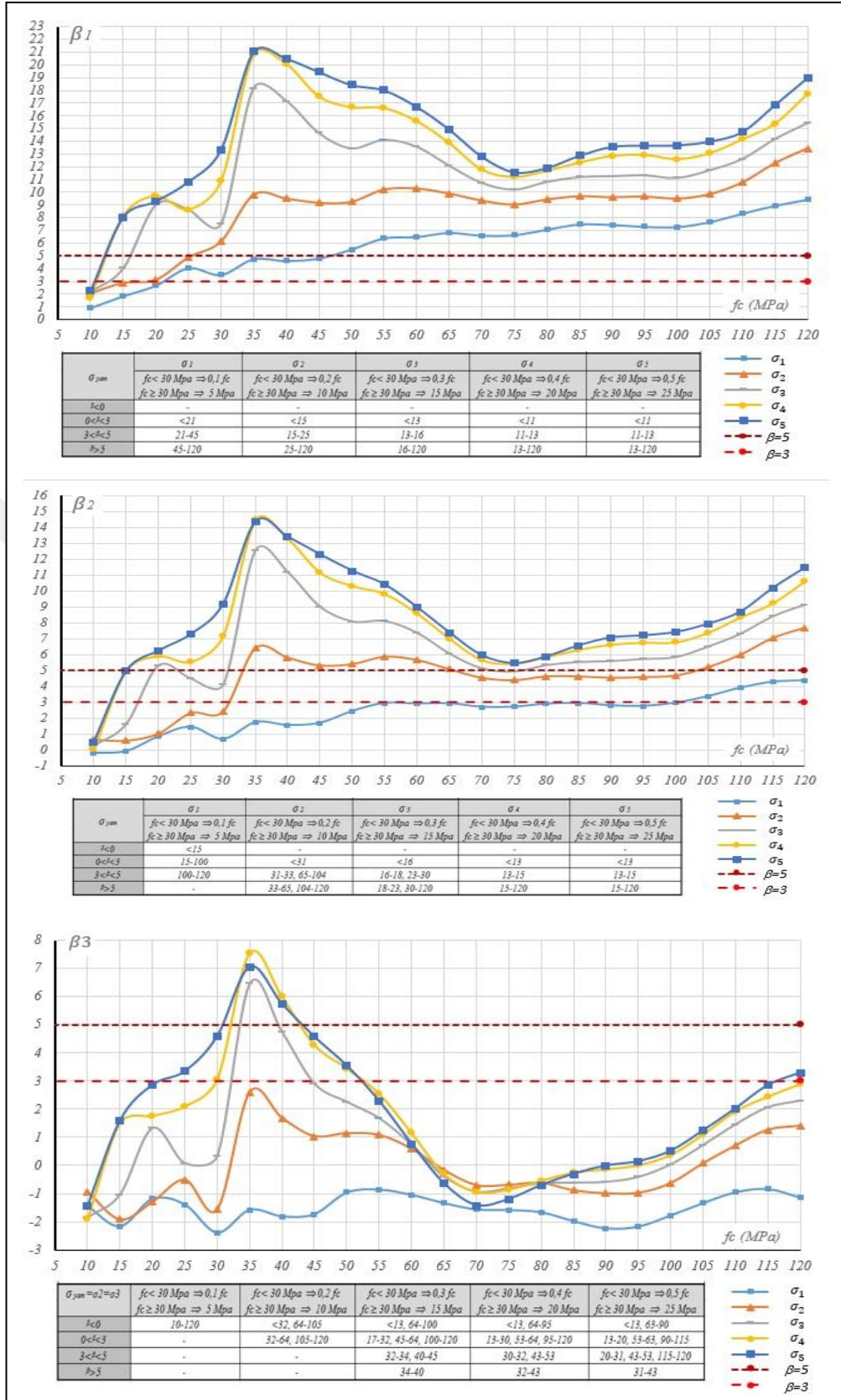
Modelin  $\beta_1$  güvenilirlik düzeyi ile ilgili olarak ayrıca;

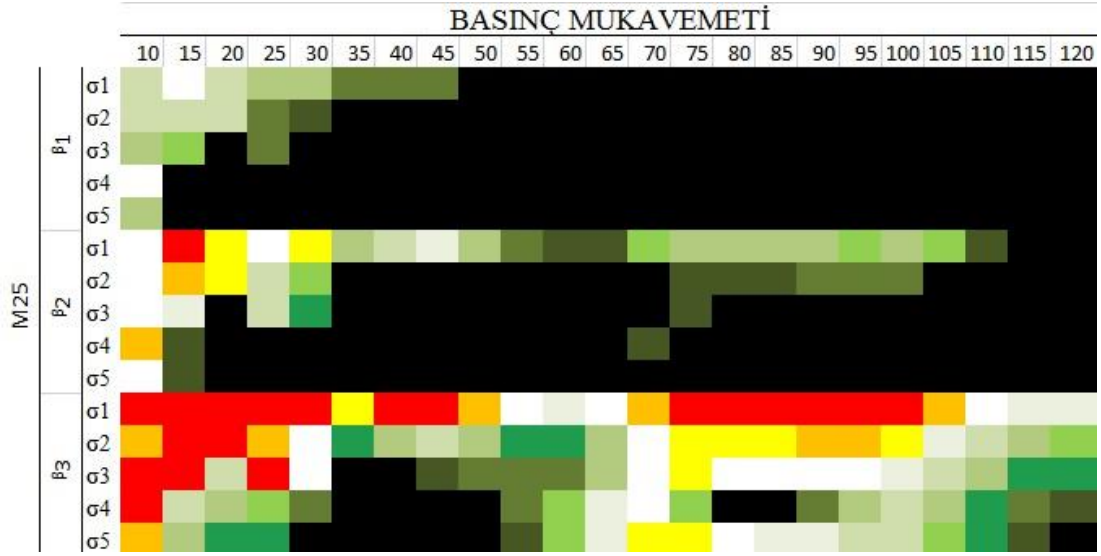
- $\beta_1 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için hiç bir dayanım değerinde sağlamamaktadır.
- $0 < \beta_1 < 3$  için modelin kullanılabilceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç 21 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_2$  için 15 MPa'dan küçük,  $\sigma_3$  için 13 MPa'dan küçük,  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için 11 MPa'dan küçük beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuçlar 21-45 MPa aralığındaki değerlerdir.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde güvenilir kısım 15-25 MPa arasındadır.  $\sigma_3$  yanal basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 13-16 MPa arasındaki dayanıma sahip betonlar içindir.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 11-13 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 11-13 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.
- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 45-120 MPa'lık,  $\sigma_2$  için 25-120 MPa'lık,  $\sigma_3$  için 16-120 MPa'lık değerlerdir.  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için 13-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.

$\beta_2$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; farklı  $\sigma$  değerlerine göre farklı sonuçlar vermiştir, denilebilir Ayrıca  $M_{25}$  modeli ile ilgili olarak;

- $\beta_2 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 15 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için hiçbir dayanım değerinde sağlamamaktadır.



Şekil 4.53 M<sub>25</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indeksleri için güvenilirliği



**Şekil 4.54** M<sub>25</sub> modelinin  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  indekslerine ait güvenilirliği için renk haritası

- $0 < \beta_2 < 3$  için modelin kullanılabileceği dayanım aralıkları  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde 15-100 MPa,  $\sigma_2$  için 31 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_3$  için 16 MPa'dan küçük değerlerdir.  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için bu kullanım 13 MPa'dan küçük beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.
- $\sigma_1$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuç 100-120 MPa arasında bulunmaktadır.
- $\sigma_2$  yanal basınç düzeyinde 31-33, 65-104 MPa arasındaki değerler hem güvenilir hem ekonomik sonuç vermiştir.  $\sigma_3$  yanal basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 16-18, 23-30 MPa arasındaki dayanıma sahip betonlar içindir.
- $\sigma_4$  yanal basıncında 13-15 MPa yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.
- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 13-15 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.

- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı ,  $\sigma_1$  yanal basınç seviyesinde bulunmamaktadır.  $\sigma_2$  için 33-65, 104-120 MPa'lık,  $\sigma_3$  için 18-23, 30-120 MPa'lık değerlerdir.  $\sigma_4$  ve  $\sigma_5$  için 15-120 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.

$\beta_3$  güvenilirlik indeksi için genel olarak; farklı  $\sigma$  değerlerine göre farklı sonuçlar vermiştir, denilebilir. Ayrıca M<sub>25</sub> modeli ile ilgili olarak;

- $\beta_3 < 0$  olduğu betonlar başka bir deyişle modelin kullanımının güvensiz sonuçlar,  $\sigma_1$  için tüm değerlerdir.  $\sigma_2$  için dayanımı 32 MPa'dan küçük ve 64-105 MPa değerleri arasında olan betonlardır.  $\sigma_3$  için dayanım 13 MPa'dan küçük ve 64-100 MPa arasındaki değerler,  $\sigma_4$  için 13 MPa'dan küçük ve 64-95 MPa arasındaki değerler güvensiz sonuçlar vermiştir.  $\sigma_5$  için 13 MPa'dan küçük ve 63-90 MPa arasında güvensiz sonuçlar vermiştir.

- $0 < \beta_3 < 3$  için modelin kullanılabilceği dayanım aralıkları,  $\sigma_2$  için 32-64, 105-120 MPa,  $\sigma_3$  için 17-32, 45-64, 100-120 MPa,  $\sigma_4$  için 13-30, 53-64, 95-120 MPa,  $\sigma_5$  için 13-20, 53-63, 90-115 MPa arasındaki değerler kullanılabilir değerlerdir.

- $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  yanal basınç seviyelerinde hem ekonomik hem güvenilir ( $3 < \beta_2 < 5$ ) sonuç bulunmamaktadır.

- $\sigma_3$  yanal basınç düzeyinde en güvenilir ve ekonomik kullanım alanı ( $3 < \beta_2 < 5$ ) 32-34, 40-45 MPa arasındaki dayanıma sahip betonlar içindir.

- $\sigma_4$  yanal basıncında 30-32, 43-53 MPa arasındaki yanal basınç değerlerinde oldukça güvenilir tarafta kalmaktadır.

- $\sigma_5$  yanal basıncı altında ise en güvenilir ve ekonomik kullanımının ( $3 < \beta_1 < 5$ ) 20-31, 43-53, 115-120 MPa'lık beton dayanım aralığında olacağı saptanmıştır.

- Modelin;  $\beta_1 \geq 5$  güvenilirliğinde kullanımı ,  $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  yanal basınç seviyesinde bulunmamaktadır.  $\sigma_3$  için 34-40 MPa'lık değerlerdir.  $\sigma_4$  için bu kullanım 32-43 MPa'lık ve  $\sigma_5$  için 31-43 MPa'lık beton basınç dayanımı aralıklarında mümkün görülmektedir.

#### 4.26 Üç eksenli Beton basınç Modellerinin ( $3 < \beta < 5$ ) İçin Kullanılabilir Olduğu Durumlar

Yukarıdaki güvenilirlik analizleri sonucu her bir üç eksenli basınç modeli için elde edilen bulgular detaylı olarak irdelenmiştir. Bu detaylı irdelemeler sonrası hangi modelin hangi beton sınıfı ve yanal gerilme düzeyi için genellikle arzu edilen  $3 < \beta < 5$  güvenilirlik düzeyi için kullanılabilir olduğunun özetlenmesi gerekliliği anlaşılmıştır. Bu amaçla  $3 < \beta_1 < 5$ ,  $3 < \beta_2 < 5$  ve  $3 < \beta_3 < 5$  için hazırlanan Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3 ile 25 modelin bu çalışma kapsamında kullanılabilmesi için beton sınıfı ve yanal gerilme değer aralıkları öz olarak verilmeye çalışılmıştır.

Bu üç Tablo incelendiğinde bazı  $\sigma_{yan}$  ve bazı  $f_{ck}$  değerleri için en az bir veya birden fazla model kullanılabilir iken, diğer  $\sigma_{yan}$  ve  $f_{ck}$  değerleri için ise herhangi bir modelin kullanılabilir olmadığı görülmüştür. Bu da literatürde konu ile geliştirilmiş 25 adet analitik model olmasına rağmen bu çalışmada ( $\sigma_{yan}$  ve  $f_{ck}$  parametreleri için) dikkate alınan değer aralıkları için bile model veya modellere ihtiyaç duyulduğu ortadadır. Bu çalışma kapsamında dikkate alınmayan diğer değer aralıkları da düşünüldüğünde mevcut konuda açık kalan birçok noktanın olduğu ve birçok çalışmanın daha yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

**Çizelge 4.1** Analizlerde  $3 \leq \beta_1 \leq 5$  için Kullanılabilecek Üç eksenli Beton Basınç Modelleri

	$\sigma_{yan-1}$	$\sigma_{yan-2}$	$\sigma_{yan-3}$	$\sigma_{yan-4}$	$\sigma_{yan-5}$
$f_{ck} = 10 \text{ MPa}$	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11✓ 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11✓ 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11✓ 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11✓ 12 13 14 15 16 7 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 18 19 20 21 22 23 24 25
$f_{ck} = 15 \text{ MPa}$	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17✓ 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25✓	1✓ 2 3✓ 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20✓ 21✓ 22 23✓ 24✓ 25	1✓ 2 3✓ 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20✓ 21✓ 22 23✓ 24✓ 25
$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25✓	1✓ 2 3 4✓ 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20✓ 21 22 23✓ 24✓ 25	1✓ 2 3✓ 4✓ 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20✓ 21 22 23✓ 24✓ 25	1✓ 2 3✓ 4✓ 5✓ 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20✓ 21 22 23✓ 24✓ 25
$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$	1 2 3✓ 4✓ 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25✓	1 2 3✓ 4 5 6 7 8 9 10✓ 11 12 13 14 15✓ 16 17 18 19 20 21 22✓ 23 24 25✓	1✓ 2 3✓ 4✓ 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21✓ 22 23 24 25	1✓ 2 3✓ 4✓ 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20✓ 21✓ 22 23✓ 24✓ 25	1✓ 2 3 4 5✓ 6 7 8 9 10 11 12✓ 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25✓	1✓ 2 3✓ 4 5 6 7 8 9 10✓ 11 12 13 14 15✓ 16 17 18 19 20 21 22✓ 23 24 25	1✓ 2 3✓ 4✓ 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16✓ 17 18 19 20 21✓ 22 23 24 25	1 2 3 4 5✓ 6 7 8 9 10 11 12✓ 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9✓ 10 11 12✓ 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25

**Çizelge 4.1** Analizlerde  $3 \leq \beta_1 \leq 5$  için Kullanılabilecek Üç eksenli Beton Basınç Modelleri(devamı)

	$\sigma_{yan-1}$	$\sigma_{yan-2}$	$\sigma_{yan-3}$	$\sigma_{yan-4}$	$\sigma_{yan-5}$
$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$	1✓ 2 3✓ 4✓ 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22✓ 23 24 25✓	1 2 3 4 5✓ 6 7 8 9 10 11 12✓ 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24✓ 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$	1✓ 2 3✓ 4✓ 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22✓ 23 24 25✓	1 2 3 4 5✓ 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20✓ 21 22 23✓ 24✓ 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9✓ 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9✓ 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$	1✓ 2 3✓ 4✓ 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22✓ 23 24 25✓	1 2 3 4 5✓ 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20✓ 21 22 23✓ 24✓ 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12✓ 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12✓ 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
$f_{ck} = 50 \text{ MPa}$	1✓ 2 3✓ 4 5 6 7 8 9 10✓ 11 12 13 14 15✓ 16 17 18 19 20 21 22✓ 23 24 25	1 2 3 4 5✓ 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20✓ 21 22 23✓ 24✓ 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12✓ 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12✓ 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
$f_{ck} = 55 \text{ MPa}$	1✓ 2 3 4 5✓ 6 7 8 9 10✓ 11 12 13 14 15✓ 16 17 18 19 20✓ 21 22 23 24 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12✓ 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23✓ 24✓ 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24✓ 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25

**Cizelge 4.1** Analizlerde  $3 \leq \beta_1 \leq 5$  için Kullanılabilecek Üç eksenli Beton Basınç Modelleri(devamı)

	$\sigma_{yan-1}$					$\sigma_{yan-2}$					$\sigma_{yan-3}$					$\sigma_{yan-4}$					$\sigma_{yan-5}$				
$f_{ck}=60 MPa$	1	2	3	4	5✓	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1✓	2	3	4	5
	6	7	8	9	10✓	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15✓	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20✓	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20✓
	21	22	23	24	25	21	22	23✓	24✓	25	21	22	23✓	24✓	25	21	22	23	24✓	25	21	22	23✓	24✓	25
$f_{ck}=65 MPa$	1	2	3	4	5✓	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1✓	2	3✓	4	5
	6	7	8	9	10✓	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15✓	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20✓	16✓	17	18	19	20✓	16	17	18	19	20✓	16	17	18	19	20✓	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23✓	24	25	21	22	23✓	24	25	21	22	23✓	24	25	21	22	23	24	25
$f_{ck}=70 MPa$	1	2	3	4	5✓	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1✓	2	3	4	5	1✓	2	3✓	4	5
	6	7	8	9	10✓	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15✓	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20✓	16✓	17	18	19	20✓	16	17	18	19	20✓	16	17	18	19	20✓	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21✓	22	23✓	24	25	21✓	22	23✓	24	25	21✓	22	23	24	25	21✓	22	23	24	25
$f_{ck}=75 MPa$	1	2	3	4	5✓	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1✓	2	3✓	4	5
	6	7	8	9	10✓	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15✓	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20✓	16✓	17	18	19	20✓	16	17	18	19	20✓	16	17	18	19	20✓	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21✓	22	23✓	24	25	21✓	22	23✓	24	25	21✓	22	23	24	25	21✓	22	23	24	25
$f_{ck}=80 MPa$	1	2	3	4	5✓	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1✓	2	3	4	5
	6	7	8	9	10✓	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15✓	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20✓	16	17	18	19	20✓	16	17	18	19	20✓	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20✓
	21	22	23✓	24	25	21✓	22	23✓	24	25	21	22	23✓	24	25	21	22	23✓	24	25	21✓	22	23	24	25

**Cizelge 4.1** Analizlerde  $3 \leq \beta_1 \leq 5$  için Kullanılabilecek Üç eksenli Beton Basınç Modelleri(devamı)

	$\sigma_{yan-1}$	$\sigma_{yan-2}$	$\sigma_{yan-3}$	$\sigma_{yan-4}$	$\sigma_{yan-5}$
$f_{ck}=85 \text{ MPa}$	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
	6 7 8 9 10✓	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10
	11 12✓ 13 14 15✓	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15
	16 17 18 19 20✓	16✓ 17 18 19 20	16 17 18 19 20✓	16 17 18 19 20✓	16 17 18 19 20✓
	21 22 23✓ 24 25	21✓ 22 23✓ 24 25	21 22 23✓ 24 25	21 22 23✓ 24 25	21 22 23✓ 24 25
$f_{ck}=90 \text{ MPa}$	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
	6 7 8 9 10✓	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10
	11 12✓ 13 14✓ 15✓	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15
	16 17 18 19 20✓	16✓ 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20✓
	21 22 23✓ 24 25	21✓ 22 23✓ 24 25	21 22 23✓ 24 25	21 22 23✓ 24 25	21 22 23✓ 24 25
$f_{ck}=95 \text{ MPa}$	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
	6 7 8 9 10✓	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10
	11 12✓ 13 14✓ 15✓	11 12✓ 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15
	16 17 18✓ 19 20✓	16✓ 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20✓
	21 22 23✓ 24 25	21✓ 22 23✓ 24 25	21 22 23✓ 24 25	21 22 23✓ 24✓ 25	21 22 23✓ 24✓ 25
$f_{ck}=100 \text{ MPa}$	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
	6 7 8 9 10✓	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10
	11 12✓ 13 14✓ 15✓	11 12✓ 13 14 15	11 12✓ 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15
	16 17 18✓ 19 20✓	16✓ 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20
	21 22 23✓ 24 25	21✓ 22 23✓ 24 25	21 22 23✓ 24✓ 25	21 22 23✓ 24✓ 25	21 22 23✓ 24✓ 25
$f_{ck}=105 \text{ MPa}$	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
	6 7 8 9 10✓	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10
	11 12✓ 13 14✓ 15✓	11 12✓ 13 14✓ 15	11 12✓ 13 14 15	11 12✓ 13 14 15	11 12 13 14 15
	16✓ 17 18✓ 19 20	16✓ 17 18✓ 19 20	16 17 18✓ 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20
	21✓ 22 23✓ 24 25	21 22 23✓ 24✓ 25	21 22 23 24✓ 25	21 22 23 24✓ 25	21 22 23 24✓ 25



**Çizelge 4.1** Analizlerde  $3 \leq \beta_1 \leq 5$  için Kullanılabilecek Üç eksenli Beton Basınç Modelleri(devamı)

	$\sigma_{yan-1}$	$\sigma_{yan-2}$	$\sigma_{yan-3}$	$\sigma_{yan-4}$	$\sigma_{yan-5}$
$f_{ck}=110 MPa$	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10
	11 12✓ 13 14✓ 15	11 12 13 14✓ 15	11 12 13 14✓ 15	11 12✓ 13 14 15	11 12✓ 13 14 15
	16✓ 17 18✓ 19 20	16 17 18✓ 19 20	16 17 18✓ 19 20	16 17 18✓ 19 20	16 17 18 19 20
	21✓ 22 23✓ 24✓ 25	21 22 23 24✓ 25	21 22 23 24✓ 25	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25
$f_{ck}=115 MPa$	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10
	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14✓ 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15
	16✓ 17 18 19✓ 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18✓ 19 20	16 17 18✓ 19 20
	21✓ 22 23 24✓ 25	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25
$f_{ck}=120 MPa$	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10
	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14✓ 15	11 12 13 14✓ 15	11 12 13 14 15
	16✓ 17 18 19✓ 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18✓ 19 20
	21✓ 22 23 24✓ 25	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25

**Çizelge 4.2** Analizlerde  $3 \leq \beta_2 \leq 5$  için Kullanılabilecek Üç eksenli Beton Basınç Modelleri

	$\sigma_{yan-1}$					$\sigma_{yan-2}$					$\sigma_{yan-3}$					$\sigma_{yan-4}$					$\sigma_{yan-5}$				
$f_{ct}=10 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	16	17 <sup>✓</sup>	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25
$f_{ct}=15 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10 <sup>✓</sup>	6	7	8	9	10 <sup>✓</sup>
	11 <sup>✓</sup>	12	13	14	15	11 <sup>✓</sup>	12	13	14	15	11 <sup>✓</sup>	12	13	14	15	11	12	13	14	15 <sup>✓</sup>	11	12	13	14	15 <sup>✓</sup>
	16	17 <sup>✓</sup>	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16 <sup>✓</sup>	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25 <sup>✓</sup>	21	22	23	24	25 <sup>✓</sup>
$f_{ct}=20 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10 <sup>✓</sup>	6	7	8	9	10 <sup>✓</sup>	6	7	8	9	10
	11 <sup>✓</sup>	12	13	14	15	11 <sup>✓</sup>	12	13	14	15	11	12	13	14	15 <sup>✓</sup>	11	12	13	14	15 <sup>✓</sup>	11	12	13	14	15 <sup>✓</sup>
	16	17 <sup>✓</sup>	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16 <sup>✓</sup>	17	18	19	20	16 <sup>✓</sup>	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22 <sup>✓</sup>	23	24	25	21	22 <sup>✓</sup>	23	24	25	21	22 <sup>✓</sup>	23	24	25
$f_{ct}=25 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10 <sup>✓</sup>	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15 <sup>✓</sup>	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16 <sup>✓</sup>	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25 <sup>✓</sup>	21	22 <sup>✓</sup>	23	24	25	21	22	23	24	25
$f_{ct}=30 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4 <sup>✓</sup>	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16 <sup>✓</sup>	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22 <sup>✓</sup>	23	24	25 <sup>✓</sup>	21	22	23	24	25	21 <sup>✓</sup>	22	23	24	25

**Çizelge 4.2** Analizlerde  $3 \leq \beta_2 \leq 5$  için Kullanılabilecek Üç eksenli Beton Basınç Modelleri(devamı)

	$\sigma_{yan-1}$	$\sigma_{yan-2}$	$\sigma_{yan-3}$	$\sigma_{yan-4}$	$\sigma_{yan-5}$
$f_{ck}=35 \text{ MPa}$	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1✓ 2 3 4 5✓ 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20✓ 21 22 23 24✓ 25	1✓ 2 3✓ 4 5✓ 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20✓ 21 22 23✓ 24✓ 25	1 2 3 4✓ 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21✓ 22 23✓ 24✓ 25
$f_{ck}=40 \text{ MPa}$	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1✓ 2 3✓ 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21✓ 22 23 24 25	1 2 3✓ 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21✓ 22 23 24 25	1 2 3 4✓ 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21✓ 22 23 24 25
$f_{ck}=45 \text{ MPa}$	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4✓ 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16✓ 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4✓ 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21✓ 22 23 24 25	1 2 3 4✓ 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
$f_{ck}=50 \text{ MPa}$	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4✓ 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4✓ 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15✓ 16✓ 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4✓ 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4✓ 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
$f_{ck}=55 \text{ MPa}$	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4✓ 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4✓ 5 6 7 8 9 10✓ 11 12 13 14 15✓ 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4✓ 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	1 2 3 4✓ 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25

**Çizelge 4.2** Analizlerde  $3 \leq \beta_2 \leq 5$  için Kullanılabilecek Üç eksenli Beton Basınç Modelleri(devamı)

	$\sigma_{yan-1}$	$\sigma_{yan-2}$	$\sigma_{yan-3}$	$\sigma_{yan-4}$	$\sigma_{yan-5}$
$f_{ck}=60 MPa$	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4 5
	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10✓	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10
	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15✓	11 12 13 14 15✓	11 12 13 14 15
	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16✓ 17 18 19 20
	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25
$f_{ck}=65 MPa$	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10✓	6 7 8 9 10✓
	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15✓
	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20
	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25
$f_{ck}=70 MPa$	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10
	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15
	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20
	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25✓	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25
$f_{ck}=75 MPa$	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10
	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15
	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20
	21 22 23 24 25	21 22✓ 23 24 25✓	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25
$f_{ck}=80 MPa$	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4 5
	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10
	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15
	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20
	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25✓	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25

**Çizelge 4.2** Analizlerde  $3 \leq \beta_2 \leq 5$  için Kullanılabilecek Üç eksenli Beton Basınç Modelleri(devamı)

	$\sigma_{yan-1}$	$\sigma_{yan-2}$	$\sigma_{yan-3}$	$\sigma_{yan-4}$	$\sigma_{yan-5}$
$f_{ck}=85 \text{ MPa}$	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4✓ 5
	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10
	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15
	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20
	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25✓	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25
$f_{ck}=90 \text{ MPa}$	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4✓ 5
	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10✓
	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15
	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20
	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25✓	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25
$f_{ck}=95 \text{ MPa}$	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10✓
	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15
	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20
	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25✓	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25
$f_{ck}=100 \text{ MPa}$	1 2 3 4✓ 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10✓
	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15✓
	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20
	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25✓	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25
$f_{ck}=105 \text{ MPa}$	1 2 3 4 5	1✓ 2 3✓ 4 5	1✓ 2 3✓ 4 5✓	1 2 3✓ 4 5✓	1 2 3 4 5✓
	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10	6 7 8 9 10✓	6 7 8 9 10✓
	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15	11 12 13 14 15✓	11 12 13 14 15✓
	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20
	21 22✓ 23 24 25✓	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25	21 22 23 24 25

**Çizelge 4.2** Analizlerde  $3 \leq \beta_2 \leq 5$  için Kullanılabilecek Üç eksenli Beton Basınç Modelleri(devamı)

	Öyan-1					Öyan-2					Öyan-3					Öyan-4					Öyan-5				
$f_{ck}=110 \text{ MPa}$	1✓	2	3✓	4	5	1✓	2	3✓	4	5✓	1✓	2	3✓	4	5✓	1✓	2	3✓	4	5✓	1✓	2	3✓	4	5✓
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10✓	6	7	8	9	10✓	6	7	8	9	10✓
	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15✓	11	12	13	14	15✓	11	12	13	14	15✓
	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22✓	23	24	25✓	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25
$f_{ck}=115 \text{ MPa}$	1✓	2	3✓	4	5	1	2	3	4	5✓	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1✓	2	3✓	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10✓	6	7	8	9	10✓	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15✓	11	12	13	14	15✓	11	12	13	14	15✓	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16✓	17	18	19	20
	21	22✓	23	24	25✓	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21✓	22	23	24	25	21✓	22	23	24	25
$f_{ck}=120 \text{ MPa}$	1✓	2	3✓	4	5	1	2	3	4	5✓	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10✓	6	7	8	9	10✓	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15✓	11	12	13	14	15✓	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20✓	16	17	18	19	20✓	16✓	17	18	19	20✓	16✓	17	18	19	20
	21	22✓	23	24	25✓	21	22	23	24	25	21✓	22	23	24	25	21✓	22	23	24	25	21✓	22	23	24	25

**Çizelge 4.3** Analizlerde  $3 \leq \beta_3 \leq 5$  için Kullanılabilecek Üç eksenli Beton Basınç Modelleri

	Öyan-1					Öyan-2					Öyan-3					Öyan-4					Öyan-5				
$f_{ck}=10 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	16	17✓	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16		18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25
$f_{ck}=15 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	16	17✓	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25
$f_{ck}=20 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	16	17✓	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25
$f_{ck}=25 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11✓	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15
	16	17✓	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25✓
$f_{ck}=30 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11✓	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25✓	21	22✓	23	24	25✓

**Çizelge 4.3** Analizlerde  $3 \leq \beta_3 \leq 5$  için Kullanılabilecek Üç eksenli Beton Basınç Modelleri(devamı)

	$\sigma_{yan-1}$					$\sigma_{yan-2}$					$\sigma_{yan-3}$					$\sigma_{yan-4}$					$\sigma_{yan-5}$									
$f_{ck}=35 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10✓	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11✓	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11	12	13	14	15✓	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16✓	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25
$f_{ck}=40 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10✓	6	7	8	9	10✓	6	7	8	9	10✓
	11✓	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15✓	11	12	13	14	15✓	11	12	13	14	15✓
	16	17✓	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16✓	17	18	19	20	16✓	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25✓	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25
$f_{ck}=45 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11✓	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15
	16	17✓	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22✓	23	24	25	21	22	23	24	25✓	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25✓
$f_{ck}=50 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11✓	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15
	16	17✓	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22✓	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25✓
$f_{ck}=55 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11	12	13	14	15
	16	17✓	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22✓	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25



**Çizelge 4.3** Analizlerde  $3 \leq \beta_3 \leq 5$  için Kullanılabilecek Üç eksenli Beton Basınç Modelleri(devamı)

	Öyan-1					Öyan-2					Öyan-3					Öyan-4					Öyan-5				
$f_{ck}=60 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15
	16	17✓	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22✓	23	24	25	21	22	23	24	25
$f_{ck}=65 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15
	16	17✓	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22✓	23	24	25
$f_{ck}=70 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15
	16	17✓	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25
$f_{ck}=75 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15
	16	17✓	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25
$f_{ck}=80 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15
	16	17✓	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22✓	23	24	25

**Çizelge 4.3** Analizlerde  $3 \leq \beta_3 \leq 5$  için Kullanılabilecek Üç eksenli Beton Basınç Modelleri(devamı)

	Öyan-1					Öyan-2					Öyan-3					Öyan-4					Öyan-5				
$f_{ck}=85 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15
	16	17✓	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22✓	23	24	25
$f_{ck}=90 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22✓	23	24	25
$f_{ck}=95 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22✓	23	24	25
$f_{ck}=100 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22✓	23	24	25	21	22✓	23	24	25
$f_{ck}=105 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22✓	23	24	25	21	22✓	23	24	25

**Çizelge 4.3** Analizlerde  $3 \leq \beta_3 \leq 5$  için Kullanılabilecek Üç eksenli Beton Basınç Modelleri(devamı)

	Öyan-1					Öyan-2					Öyan-3					Öyan-4					Öyan-5				
$f_{ck}=110 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15
	16	17✓	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22✓	23	24	25	21	22✓	23	24	25	21	22	23	24	25
$f_{ck}=115 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11✓	12	13	14	15
	16	17✓	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22✓	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25
$f_{ck}=120 \text{ MPa}$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15
	16	17✓	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22✓	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25✓

## 5. SONUÇLAR

Farklı yanal basınç gerilmeleri altında beton basınç davranışını ifade etmek için geliştirilen ve literatürde sayısı 25 adet kadar olan üç eksenli beton basınç modellerinin beş farklı yanal gerilme ve 23 farklı tek eksenli beton basınç dayanımına sahip beton için güvenilirliklerinin araştırıldığı bu çalışmada genel olarak;

- Yapay deneysel veri üretebilmek amacıyla bir bulanık mantık modeli literatürdeki deneysel veriler kullanılarak % 15'lik yüzde hata ile deneysel veri üretebilecek şekilde başarı ile geliştirilmiştir. Daha hassas çalışmalar için çalışma geleneksel ve yüksek dayanımlı beton sınıfı gibi farklı dayanım sınıflarına bölünerek çok daha hassas yapay deneysel veri üretimi gerçekleştirilebilir. Bunun için çok fazla sayıda bulanık mantık modeli geliştirilmesine gereksinim duyulur ve geliştirilen bulanık mantık modelleri ancak geliştirilen değer aralıkları için geçerli olur. Başka bir deyişle bu çalışmadaki gibi hemen hemen tüm beton sınıfları için kullanımı mümkün olmaz.
- Kodlanan yazılım ile bulanık mantık ve güvenilirlik çalışmalarında kesin sonuca en yakın çıktı üreten Monte Carlo Simülasyonu Birlikte başarı ile kullanılmıştır.
- Analizler ile literatürde mevcut olan 25 adet üç eksenli beton basınç modelinin güvenilirliklerini ifade eden güvenilirlik indeksi değerleri başarı ile hesaplanmıştır. Analizler ile elde edilen veriler, modellerin güvenli kullanım aralıklarını gösterecek şekilde ve belirli bir güvenilirlik düzeyi için model seçimini kolaylaştırmak amacıyla grafikler ve tablolar ile düzenlenerek verilmiştir.
- İlk başta sayıları fazla olarak görülen 25 adet üç eksenli beton basınç modelinin bu çalışmada dikkate alınan yanal basınç gerilmesi ve beton sınıflarında güvenli olarak kullanımları için yeterli olmadığı ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada dikkate alınan sınırların harici de dikkate alındığında model sayısının aslında ne kadar az olduğu ortaya çıkmaktadır.

- Bazı modellerin tamamen güvenilir olmayan tahminler ürettiği görülmektedir. Bu o modelin gerçek değere yaklaşık değer üretmediği anlamına gelmemektedir. Bir model gerçeğe mutlak olarak en yakın sonuç üretebilir. Ancak bu onun güvenilir olduğunu göstermez.
- Bazı modeller birden fazla değer aralığında güvenilir bir şekilde kullanılabilir olduğu ortaya çıkmıştır.
- Bazı modellerin bazı değer aralıklarında çok güvenli tarafta tahminler ürettiği ortaya çıkmıştır. Bu durum o modelin ekonomik olarak kullanılabilirliğini göstermemektedir, denilebilir. Model bazında ortaya konabilecek sonuçlar genel olarak;
- $M_2, M_6, M_7, M_8, M_9, M_{13}$  ve  $M_{19}$  tüm sonuçlarda ve  $M_9, M_{12}, M_{14}$  ve  $M_{18}$   $\beta_2$  değeri,  $M_1, M_3, M_5, M_9, M_{12}, M_{14}, M_{18}, M_{20}, M_{21}, M_{23}, M_{24}$   $\beta_3$  değeri güvensiz tarafta kalmaktadır.
- $M_{17}$ 'nin tüm  $\beta$  değerleri,  $M_3, M_4, M_{10}, M_{11}, M_{15}, M_{25}$ 'in  $\beta_1$  değerleri çok güvenilir sonuçlar vermiştir. Bu modellerin araştırma bulguları kısmında belirtilen beton basınç dayanım değerleri arasında kullanımı yüksek güvenilirlik içeren yapılarda uygundur.
- $M_{20}$  ve  $M_{23}$ 'nin  $\beta_1$  değerleri,  $M_4, M_{10}$  ve  $M_{15}$ 'in  $\beta_2$  değerleri,  $M_{11}$ 'in  $\beta_3$  değerleri genel olarak istenilen ( $3 < \beta < 5$ ) düzeyinde hem güvenilir hem ekonomik sonuç vermiştir.
- $M_{22}$  tüm  $\beta$  değerleri,  $M_1, M_5, M_{12}, M_{16}, M_{21}, M_{24}$   $\beta_1$  değeri,  $M_{16}$  ve model 25  $\beta_2$  değeri istenilen sınır düzeyinde kullanıma uygun farklı  $\sigma$  ve beton basınç dayanımı aralıklarında sonuçlar vermiştir.
- Yukarıda belirtilen  $0 < \beta < 3$  düzeyinde olan model ve  $\beta$  değerlerinde bazı  $\sigma$  ve beton basınç dayanımı sonuçları istenilen düzeyde yani ( $3 < \beta < 5$ ) düzeyinde kalıp kullanıma uygundur. Bu uygun değerler araştırma bulguları kısmında detaylı olarak belirtilmiştir, şeklindedir.

Bazı modeller için çıkarılabilecek sonuçlar ise aşağıda verilmektedir.

- $M_1$  için;
  - ✓  $\beta_1$  değeri genel olarak ekonomiklikten uzak ve çok güvenilir kısımda kalmaktadır. Ayrıca istenilen sınır düzeyi olan ( $3 < \beta < 5$ ) arasında da kullanımını mevcut değerler bulunmaktadır.
  - ✓  $\beta_2$  değeri genel olarak  $0 < \beta < 3$  düzeyinde olup istenilen sınır düzeyi olan ( $3 < \beta < 5$ ) arasında kullanımını mevcut değerlerde bulunmaktadır.
  - ✓  $\beta_3$  değeri  $\beta < 0$  düzeyinde olup güvensiz sonuçlar vermiştir.
- $M_2$  için;
  - ✓  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  değerleri  $\beta < 0$  düzeyinde olup güvensiz sonuçlar vermiştir.
- $M_3$  için;
  - ✓  $\beta_1$  değeri genel olarak ekonomiklikten uzak ve çok güvenilir kısımda kalmaktadır. Ayrıca istenilen sınır düzeyi olan ( $3 < \beta < 5$ ) arasında da kullanımını mevcut değerler bulunmaktadır.
  - ✓  $\beta_2$  değeri genel olarak  $0 < \beta < 3$  düzeyinde sonuçlar vermiştir.
  - ✓  $\beta_3$  değeri  $\beta < 0$  düzeyinde olup güvensiz sonuçlar vermiştir.
- $M_4$  için;
  - ✓  $\beta_1$  değeri ekonomiklikten uzak ve çok güvenilir kısımda kalmaktadır.
  - ✓  $\beta_2$  değeri genel olarak  $3 < \beta < 5$  düzeyinde yani istenilen sınır düzeyi arasında sonuçlar vermiştir.
  - ✓  $\beta_3$  değeri genel olarak  $\beta < 3$  düzeyinde olup istenilen sınır düzeyi olan ( $3 < \beta < 5$ ) arasında kullanımını mevcut değerler bulunmamaktadır.
- $M_5$  için;
  - ✓  $\beta_1$  değeri ekonomiklikten uzak ve çok güvenilir kısımda kalmaktadır. Ayrıca  $3 < \beta < 5$  düzeyinde yani istenilen sınır düzeyi arasında kullanım aralığı bulunmaktadır.
  - ✓  $\beta_2$  değeri genel olarak  $0 < \beta < 3$  düzeyinde sonuçlar vermiş olup  $3 < \beta < 5$  düzeyi yani istenilen sınır düzeyi arasında da kullanım alanı mevcuttur.

- ✓  $\beta_3$  değeri  $\beta < 0$  düzeyinde olup istenilen sınır düzeyi olan ( $3 < \beta < 5$ ) arasında kullanımını mevcut değerler bulunmamaktadır.
- ✓  $M_6, M_7$  ve  $M_8$  modellerinin  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  değerleri  $\beta < 0$  düzeyinde olup bu modellerin güvenilirlikleri bulunmamaktadır.
- $M_9$  için;
  - ✓  $\beta_1$  değeri genel olarak  $\beta < 3$  düzeyinde olup istenilen sınır düzeyi olan ( $3 < \beta < 5$ ) arasında kullanımını mevcut değerlerde bulunmaktadır.
  - ✓  $\beta_2, \beta_3$  değerleri  $\beta < 0$  düzeyinde olup güvensiz sonuçlar vermiştir.
- $M_{10}$  için;
  - ✓  $\beta_1$  değeri genel olarak ekonomiklikten uzak ve çok güvenilir kısımda kalmaktadır.
  - ✓  $\beta_2$  değeri genel olarak  $3 < \beta < 5$  düzeyinde yani istenilen sınır düzeyi arasında sonuçlar vermiştir.
  - ✓  $\beta_3$  değeri genel olarak  $\beta < 3$  düzeyinde olup istenilen sınır düzeyi olan ( $3 < \beta < 5$ ) arasında kullanımını mevcut değerlerde bulunmaktadır.
- $M_{11}$  için;
  - ✓  $\beta_1$  ve  $\beta_2$  değerleri genel olarak ekonomiklikten uzak ve çok güvenilir kısımda kalmaktadır.
  - ✓  $\beta_3$  değeri genel olarak istenilen sınır düzeyi olan ( $3 < \beta < 5$ ) arasında kalmaktadır.
- $M_{12}$  için;
  - ✓  $\beta_1$  değeri genel olarak  $0 < \beta < 3$  düzeyinde olup istenilen sınır düzeyi olan ( $3 < \beta < 5$ ) arasında kullanımını mevcut değerlerde bulunmaktadır
  - ✓  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  değerleri  $\beta < 0$  düzeyinde olup güvensiz sonuçlar vermiştir.
- $M_{13}$  için;
  - ✓  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  değerleri  $\beta < 0$  düzeyinde olup güvensiz sonuçlar vermiştir.
- $M_{14}$  için;
  - ✓  $\beta_1$  değeri genel olarak  $0 < \beta < 3$  düzeyinde olup istenilen sınır düzeyi olan ( $3 < \beta < 5$ ) arasında kullanımını mevcut değerlerde bulunmaktadır
  - ✓  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  değerleri  $\beta < 0$  düzeyinde olup güvensiz sonuçlar vermiştir.
- $M_{15}$  için;

- ✓  $\beta_1$  değeri genel olarak ekonomiklikten uzak ve çok güvenilir kısımda kalmaktadır. Ayrıca istenilen sınır düzeyi olan ( $3 < \beta < 5$ ) arasında da kullanımını mevcut değerler bulunmaktadır.
- ✓  $\beta_2$  değeri genel olarak  $3 < \beta < 5$  düzeyinde yani istenilen sınır düzeyi arasında sonuçlar vermiştir.
- ✓  $\beta_3$  değeri genel olarak  $\beta < 3$  düzeyinde olup istenilen sınır düzeyi olan ( $3 < \beta < 5$ ) arasında kullanımını mevcut değerlerde bulunmaktadır.
- $M_{16}$  için;
  - ✓  $\beta_1$  değeri genel olarak ekonomiklikten uzak ve çok güvenilir kısımda kalmaktadır. Ayrıca istenilen sınır düzeyi olan ( $3 < \beta < 5$ ) arasında da kullanımını mevcut değerler bulunmaktadır.
  - ✓  $\beta_2$  değeri genel olarak  $0 < \beta < 3$  düzeyinde olup istenilen sınır düzeyi olan ( $3 < \beta < 5$ ) arasında kullanımını mevcut değerlerde bulunmaktadır.
  - ✓  $\beta_3$  değeri genel olarak  $\beta < 3$  düzeyinde olup istenilen sınır düzeyi olan ( $3 < \beta < 5$ ) arasında kullanımını mevcut değerlerde bulunmaktadır.
- $M_{17}$  için;
  - ✓  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  değerleri  $\beta > 5$  düzeyinde ekonomiklikten uzak fakat çok güvenli sonuçlar vermiştir. Ayrıca  $\beta_3$  değerinde  $3 < \beta < 5$  arasında da kullanımını mevcut değerler bulunmaktadır.
- $M_{18}$  için;
  - ✓  $\beta_1$  değeri genel olarak  $0 < \beta < 3$  düzeyinde olup istenilen sınır düzeyi olan ( $3 < \beta < 5$ ) arasında kullanımını mevcut değerlerde bulunmaktadır
  - ✓  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  değerleri  $\beta < 0$  düzeyinde olup güvensiz sonuçlar vermiştir.
- $M_{19}$  için;
  - ✓  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  değerleri  $\beta < 0$  düzeyinde olup güvensiz sonuçlar vermiştir.
- $M_{20}$  için;
  - ✓  $\beta_1$  değeri genel olarak  $3 < \beta < 5$  düzeyinde yani istenilen sınır düzeyi arasında sonuçlar vermiştir.
  - ✓  $\beta_2$  değeri genel olarak  $0 < \beta < 3$  düzeyinde olup istenilen sınır düzeyi olan ( $3 < \beta < 5$ ) arasında kullanımını mevcut değerlerde bulunmaktadır.



- ✓  $\beta_3$  değeri  $\beta < 0$  düzeyinde olup güvensiz sonuçlar vermiştir.
- $M_{21}$  için;
  - ✓  $\beta_1$  değeri genel olarak ekonomiklikten uzak ve çok güvenilir kısımda kalmaktadır. Ayrıca istenilen sınır düzeyi olan ( $3 < \beta < 5$ ) arasında da kullanımını mevcut değerler bulunmaktadır.
  - ✓  $\beta_2$  değeri genel olarak  $\beta < 3$  düzeyinde olup istenilen sınır düzeyi olan ( $3 < \beta < 5$ ) arasında kullanımını mevcut değerlerde bulunmaktadır
  - ✓  $\beta_3$  değeri  $\beta < 0$  düzeyinde olup güvensiz sonuçlar vermiştir.
- $M_{22}$  için;
  - ✓  $\beta_1$  ve  $\beta_2$  değerleri genel olarak ekonomiklikten uzak ve çok güvenilir kısımda kalmaktadır. Ayrıca istenilen sınır düzeyi olan ( $3 < \beta < 5$ ) arasında da kullanımını mevcut değerler bulunmaktadır.
  - ✓  $\beta_3$  değerinde her ayrı  $\sigma$  değeri için ayrı bölgelerde kalmıştır, denebilir.
- $M_{23}$  için;
  - ✓  $\beta_1$  değeri genel olarak  $3 < \beta < 5$  değerleri arasında istenilen sınır düzeyinde kullanımını mevcuttur.
  - ✓  $\beta_2$  değeri  $\beta < 3$  düzeyinde olup istenilen sınır düzeyinde de kullanımını mevcuttur.
  - ✓  $\beta_3$  değeri  $\beta < 0$  düzeyinde olup güvensiz sonuçlar vermiştir.
- $M_{24}$  için;
  - ✓  $\beta_1$  değeri her ayrı  $\sigma$  değeri için ayrı bölgelerde kalmıştır, denebilir.
  - ✓  $\beta_2$  değeri genel olarak  $\beta < 3$  düzeyinde olup istenilen sınır düzeyi olan ( $3 < \beta < 5$ ) arasında kullanımını mevcut değerlerde bulunmaktadır
  - ✓  $\beta_3$  değeri  $\beta < 0$  düzeyinde olup güvensiz sonuçlar vermiştir.
- $M_{25}$  için;
  - ✓  $\beta_1$  değeri genel olarak ekonomiklikten uzak ve çok güvenilir kısımda kalmaktadır. Ayrıca istenilen sınır düzeyi olan ( $3 < \beta < 5$ ) arasında da kullanımını mevcut değerler bulunmaktadır.
  - ✓  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  değerlerinde her ayrı  $\sigma$  değeri için ayrı bölgelerde kalmıştır, denebilir.

## KAYNAKLAR

- Afşar, S. (2008). *Yapay sinir ağları ve bulanık mantık yöntemleri kullanılarak tava buharlaşma tahmini yapılması. Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,26-41.
- Altaş, İ. H. (1999a). *Bulanık mantık: bulanıklık kavramı. 3e (Enerji, elektrik, elektromekanik) Dergisi*, 62, 80-85.
- Altaş, İ. H. (1999b). *Bulanık mantık: bulanık denetim. 3e (Enerji, elektrik, elektromekanik) Dergisi*,64,76-81.
- Ansari, F. and Li, Q. (1998). *High-strength concrete subjected to triaxial compression. ACI Materials Journal*, 95(6), 747-755.
- Arslan, M. (2007). *Bulanık mantık yönteminin liman planlamasına uygulanması. Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,15-50.
- Arslan, G., İbiş, A., Noyan Alacalı, S. (2014). *Enine Donatısız Betonarme Kiriş Kesme Mukavemeti Bağıntılarının Güvenilirliğinin İrdelenmesi. İMO Teknik Dergi*, 412, 6601-6623.
- Attard, M.M. and Setunge, S. (1996). *Stress-strain relationship of confined and unconfined concrete. ACI Materials Journal*, 93(5), 433-442.
- Avram, C., Facadaru, R.E., Filimon, I., Mîrşu, O. and Terteia, I. (1981). *Concrete Strength and Strains. Elsevier Scientific*, Amsterdam, 156-178.
- Babanajad, S.K., Farnam, Y. and Shekarchi, M. (2012). *Failure criteria and triaxial behaviour of HPFRC containing high reactivity metakaolin and silica fume. Construction and Building Materials*, 29, 215-229.
- Babanajad, S.K., Gandomi, A.H., Mohammadzadeh, D. and Alavi, A.H. (2013). *Numerical modeling of concrete strength under multiaxial confinement*

*pressures using linear genetic programming. Automation in Construction*, 36, 136-144.

Balmer, G.G. (1949). *Shearing strength of concrete under high triaxial stress-computation of Mohr's envelope as a curve. Structural Research Laboratory, US Bureau of Reclamation*, Report No. SP-23 Denver, CO.

Başıa, H. B., Bayraktar, A., Kartal, M. E., Hacıfendioğlu, K. (2007). *Deprem etkisinde binaların güvenilirlik analizi. Altıncı Uluslararası Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 391-398.

Beycioğlu, A. (2008). *Endüstriyel atıkların hafif beton özelliklerine etkilerinin bulanık mantık yöntemiyle modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 32-43.

Bohwan, O., Myung-Ho, L. and Sang-John, P. (2007). *Experimental study of 60 MPa concrete under triaxial stress. Structural Engineers World Congress (SEWC)*, 47(3).

Bulanık mantık nedir ve uygulama alanları nelerdir. <https://mesutpek.com/bulanik-mantik-nedir-ve-uygulama-alanlari-nelerdir.html> , 20 Ağustos 2017.

Büyükkaracığan, N., Ödük, M. N., Kasap, S., Akyol, Y., Uzun, H. (2011). *Farklı çimento karışımları ile üretilen beton dayanımlarının bulanık mantık yöntemi ile araştırılması. Selçuk Üniversitesi Kadınhanı Faik İdil Meslek Yüksekokulu Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi*, 1, 80-85.

Çakıroğlu, M. A., Terzi, S., Kasap, S., Çakıroğlu, M. G. (2010). *Beton Basınç Dayanımının Bulanık Mantık Yöntemiyle Tahmin Edilmesi. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2), 1-8.

Çavuş. T. F., Yanıkoğlu, E., Yılmaz, A. S. (2003). *Paralel Sistemlerin Monte Carlo Yöntemi ile Güvenilirlik Analizi. Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi*, İstanbul, 36-39.

- Chinn, J. and Zimmerman, R.M. (1965). *Behavior of plain concrete under various triaxial compression loading conditions.*, **Air Force Weapons Laboratory, University of Colorado**, Technical Report No. WL TR 64-163, Boulder, CO.
- Çobanoğlu, B. (2002). *Bulanık mantık ve bulanık küme teorisi.* **Nikser MYO/GOP UniverSitesi**, 1-56.
- Fırat, F. K. Ve Yüçemen, M. S. (2014). *Betonarme Yapı Elemanları için Güvenilirliğe Dayalı Yeni Yük ve Dayanım Katsayılarının Belirlenmesi.* **İMO Teknik Dergi**, 420, 6805-6829.
- Girgin, Z.C., Arioglu, N. and Arioglu, E. (2007). *Evaluation of strength criteria for very-highstrength-concretes under triaxial compression.* **ACI Structural Journal**, 104(3), 278-284.
- Günay, S. (2012). *Yapısal güvenilirliğin simülasyon yöntemi ile belirlenmesi.* **Yüksek Lisans Tezi**, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-29.
- Hançerlioğulları, A. (2006). *Monte carlo simülasyon metodu ve mcnp kod sistemi.* **Kastamonu Eğitim Dergisi**, 14(2), 545-556.
- Johnston, I.W. (1985). *Strength of intact geomechanical materials.* **Journal of Geotechnical Engineering**, 111(6), 730-748.
- Işıklı, Ş. (2008). *Bulanık mantık ve bulanık teknolojiler.* **Ankara üniversitesi**, 1-19.
- Kaptanoğlu, D. ve Özok, A. F. (2006). *Akademik performans değerlendirmesi için bir bulanık model.* **İtü Dergisi**, 1(2), 193-204.
- Kıyak, E. ve Kahvecioğlu, A. (2003). *Bulanık mantık ve uçuş kontrol problemlerine uygulanması.* **Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi**, 1(2), 63-72.
- Kişi, Ö., Karahan, E., Şen, Z. (2003). *Nehirdeki askı maddesi miktarının bulanık mantık ile modellenmesi.* **İtü Dergisi**, 2(3), 43-54.

- Kocatürk, Y. (2007). *Bulanık Değişkenler Ve Bulanık Yenileme Süreçleri*. **Yüksek Lisans Tezi**, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,1-8.
- Kömür, M. ve Altan, M. (2005). *Deprem hasarı gören binaların hasar tespitinde bulanık mantık yaklaşımı*. **İtü Dergisi**,4(2),43-52.
- Lan, S. and Guo, Z. (1997). *Experimental investigation of multiaxial compressive strength of concrete under different stress paths*. **ACI Materials Journal**, 94(5), 427-434.
- Légeron, F. and Paultre, P. (2003). *Uniaxial confinement model for normal- and high-strength concrete columns*. **Journal of Structural Engineering**, 129(2), 241-252.
- Li, Q. and Ansari, F. (2000). *High-strength concrete in triaxial compression by different sizes of specimens*. **ACI Materials Journal**, 97(6), 684-689.
- Martinez, S., Nilson, A.H. and Slate, F.O. (1984). *Spirally reinforced high-strength concrete columns*. **Journal Proceedings**, Vol. 81 No. 5, pp. 431-442.
- Mullar, K.F. (1975). *Beitrag zur Berechnung der Tragfähigkeit wendelbewehrter Stahlbetonsäulen (contribution to calculating the loadbearing capacity of RC columns with helical reinforcement)*. **Technische Universität, München**.
- Özdemir, B.E. (2012). *Bulanık mantık metodu ile inşaat sektöründe strateji belirleme*. **Yüksek Lisans Tezi**, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 41-52.
- Öztekin, E. (2016). *ANN based investigations of reliabilities of the models for concrete under triaxial compression*. **Emerald insight**,2019-2040.
- Öztekin. E. ve Kumaş, F. (2015). *Beton gerilme şekildeğiştirme eğrilerinin bulanık mantık yaklaşımıyla elde edilmesi*. **Mühendislikte Yeni Teknolojiler Sempozyumu**, Bayburt, 232-240.

- Richart, E., Brandtzaeg, A. ve Brown, R.L. (1929). *Failure of plain and spirally reinforced concrete in compression*. **Engineering Experimental Station, University of Illinois**, Bulletin 190, Champaign, IL.
- Saatcioglu, M. and Razvi, S.R. (1992). *Strength and ductility of confined concrete*. **Journal of Structural Engineering**, 118(6), 1590-1607.
- Saatcioglu, M. and Razvi, S.R. (2002). *Displacement-based design of reinforced concrete columns for confinement*. **ACI Structural Journal**, 99(1), 3-11.
- Samaan, M., Mirmiran, A. and Shahawy, M. (1998). *Model of concrete confined by fiber composites*. **Journal of Structural Engineering**, 124(9), 1025-1031.
- Setunge, S., Attard, M.M. and Darvall, P. (1993). **Ultimate strength of confined very high-strength concretes**. *ACI Structural Journal*, 90(6), 632-641.
- Şen, Z. (2012). *Bulanık bilim felsefesi*. **Yükseköğretim ve Bilim Dergisi**, 2(1), 20-24.
- Tang, C.-W. (2010). *Radial basis function neural network models for peak stress and strain in plain concrete under triaxial stress*. **Journal of Materials in Civil Engineering**, 22(9), 923-934.
- Uludağ, N. (2005). *Ulaşım ağlarının rota seçim problemlerinin bulanık mantık ile modellenmesi*. **Yüksek Lisans Tezi**, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 44-58.
- Uygunoğlu, T. Ve Ünal, O. (2005). *Seyitömer Uçucu Külünün Betonun Basınç Dayanımına Etkisi Üzerine Bulanık Mantık Yaklaşımı*. **Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi**, 1, 13-20.
- Uygunoğlu, T. Ve Yutçu, Ş. (2006). *Yapay Zeka Tekniklerinin İnşaat Mühendisliği Problemlerinde Kullanımı*. **Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi**, 1, 61-70.

Yıldırım, M. (1998). *Bulanık mantıklı yapay sinir ağı ile doğrusal olmayan sistem modelleme*. **Yüksek Lisans Tezi**, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,26-38.

Xie, J., Elwi, A.E. and MacGregor, J.G. (1995). **Mechanical properties of three high-strength concretes containing silica füme**. *ACI Materials Journal*, 92(2), 135-145.



## ÖZGEÇMİŞ

**Büşra PÖRGE**



Büşra PÖRGE, 1993 yılında Bayburt'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini Bayburt İlköğretim Okulu'nda lise öğrenimini Bayburt Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2011 yılında Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne başladı ve 2015 yılında mezun oldu. 2015 yılında Bayburt Üniversitesi (Atatürk Üniversitesi Ortak Program) Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimi almaya başladı.