

**SERTLEŞEN BETONDA ÇATLAK RİSKİNİN
SİMÜLASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş.Müh. Ceylan DEMİREL
(501051028)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Eylül 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 22 Ekim 2008**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Mehmet Ali TAŞDEMİR
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Halit Yaşa ERSOY (M.S.Ü.)
Doç.Dr. Yılmaz AKKAYA (İ.T.Ü.)**

KASIM 2008

ÖNSÖZ

Üniversite hayatım boyunca büyük bir zevkle ilgilendiğim ve kendimi geliştirmek için seçmiş olduğum Yapı Malzemesi Anabilim Dalı'ndan Yüksek Lisansımı tamamlamaktan büyük bir sevinç ve onur duymaktayım. Bu tezi hazırlarken engin bilgileri ve tecrübeleri ile desteğini esirgemeyen, beni yönlendiren sayın hocam Prof. Dr. Mehmet Ali TAŞDEMİR' e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca her zaman bilgisini ve yardımını esirgemeyen sayın Yrd.Doç.Dr. Yılmaz AKKAYA' ya ve çalışmamı yaptığım programı öğrenmemde emeği geçen Dr.Takaishi OHTOMA' ya teşekkür ederim. Her zaman yanımda olan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, beni en iyi şekilde yönlendiren ve eğitimim için her fedakarlığı yapan sevgili annem İnci Demirel' e ve ağabeyim Ozan Demirel' e gönülden teşekkür ederim. Beni destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen sevgili eşim Erdem Halit Özkul' a teşekkür ederim.

İstanbul, 2008

Ceylan DEMİREL

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	2
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	
2.1. Betonda Oluşan Çatlaklar	3
2.1.1. Oturma Çatlakları	3
2.1.2. Plastik Rötire Çatlakları	4
2.1.3. Kısıtlanmış Rötire	4
2.1.4. Beton Yüzeyindeki Suyun Buharlaşması	5
2.2. Sertleşen Betonda Sıcaklık Gelişimi	6
2.3. Sertleşen Betonda Dayanımın Gelişimi	8
2.4. Beton Özellikleri	11
2.4.1. Isı Gelişimi	12
2.4.2. Özgül Isı ve Birim Ağırlık	14
2.4.3. Aktivasyon Enerjisi	15
2.4.4. Isıl İletkenlik	16
2.4.5. Isıl Genleşme, Elastisite Modülü ve Çekme Dayanımı	16
2.4.6. Poission Oranı	18
2.4.7. Rötire	18
2.4.8. Sünme	19
3. SERTLEŞEN BETONDA SICAKLIK VE GERİLME ANALİZ PROGRAMININ ÇALIŞMA PRENSİBİ	22
3.1. Açıklama	22
3.2. Programın Çalışma Prensibi	22
3.2.1. Malzeme Özelliklerinin Bulunduğu Veri Tabanının Oluşturulması	23
3.2.2. Simülasyonun Hazırlanması	25
3.2.3. Çevre ve Kür Koşullarının Tanımlanması	27
3.2.4. Yüklerin ve Desteklerin Belirlenmesi	29
3.2.5. Hesaplama	29
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	30
4.1. NATM Modeli	30
4.2. TBM Modeli	33

5. SONUÇLARIN İRDELENMESİ	36
6. GENEL SONUÇLAR	49
KAYNAKLAR	51
EK-A. TBM ANALİZİNE AİT ÇEVRE VE KÜR KOŞULLARI TABLOLARI	55
EK-B. ANALİZLERE AİT SICAKLIK GRAFİKLERİ.....	82
EK-C. ANALİZLERE AİT ÇATLAK RİSK GRAFİKLERİ	108
ÖZGEÇMİŞ	134

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 : Çatlakların Zamana Bağlı Oluşumu.....	3
Tablo 4.1 : Natm Modelinde Kullanılan Beton Karışımları.....	32
Tablo 4.2 : Beton Karışımlarında Değiştirilen Özellikler - 1.....	33
Tablo 4.3 : TBM Modelinde Kullanılan Beton Karışımları.....	34
Tablo 4.4 : Beton Karışımlarında Değiştirilen Özellikler - 2.....	35
Tablo 5.1 : Analiz Sonuçları.....	48
Tablo A.1 : Analiz 4.1'e Ait Çevre ve Kür Koşulları.....	55
Tablo A.2 : Analiz 4.2'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	56
Tablo A.3 : Analiz 4.3'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	57
Tablo A.4 : Analiz 4.4'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	58
Tablo A.5 : Analiz 4.5'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	59
Tablo A.6 : Analiz 4.6'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	60
Tablo A.7 : Analiz 4.7'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	61
Tablo A.8 : Analiz 4.8'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	62
Tablo A.9 : Analiz 4.9'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	63
Tablo A.10: Analiz 4.10'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	63
Tablo A.11: Analiz 4.11'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	64
Tablo A.12: Analiz 4.12'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	65
Tablo A.13: Analiz 4.13'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	66
Tablo A.14: Analiz 4.14'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	66
Tablo A.15: Analiz 4.15'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	67
Tablo A.16: Analiz 4.16'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	67
Tablo A.17: Analiz 4.17'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	67
Tablo A.18: Analiz 4.18'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	68
Tablo A.19: Analiz 4.19'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	68
Tablo A.20: Analiz 4.20'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	69
Tablo A.21: Analiz 4.21'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	70
Tablo A.22: Analiz 4.22'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	71
Tablo A.23: Analiz 4.23'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	72
Tablo A.24: Analiz 4.24'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	73
Tablo A.25: Analiz 4.25'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	74
Tablo A.26: Analiz 4.26'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	74
Tablo A.27: Analiz 4.27'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	75
Tablo A.28: Analiz 4.28'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	75
Tablo A.29: Analiz 4.29'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	76
Tablo A.30: Analiz 4.30'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	77
Tablo A.31: Analiz 4.31'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	77
Tablo A.32: Analiz 4.32'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	78
Tablo A.33: Analiz 4.33'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	78
Tablo A.34: Analiz 4.34'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	79

Tablo A.35:	Analiz 4.35'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	79
Tablo A.36:	Analiz 4.36'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	80
Tablo A.37:	Analiz 4.37'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	80
Tablo A.38:	Analiz 4.38'e Ait Çevre Ve Kür Koşulları.....	81

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Beton ile hava sıcaklığının,bağıl nem oranı ve rüzgar hızının beton yüzeylerinden buharlaşan su miktarına etkisi.....	6
Şekil 2.2.a : Sıcaklık zaman grafiği.....	10
Şekil 2.2.b : Sertleşen betonda dayanımın zamanla gelişimi ve toplam kısıtlama.....	10
Şekil 2.3 : Beton yapılarının erken yaşında çatlak riskini açıklayan ilkeler.....	11
Şekil 2.4 : Isı gelişimi örneği	14
Şekil 2.5 : Isıl genleşme katsayısı gelişimi.....	17
Şekil 2.6 : Elstisite modülünün zamanla değişimi.....	17
Şekil 2.7 : Yarma Çekme dayanımının zamanla değişimi.....	18
Şekil 2.8 : Rötire gelişimi.....	19
Şekil 2.9 : Sünme gelişim grafikleri.....	20
Şekil 2.10 : Kelvin Modeline seri bağlı bir Newton cisminden oluşan viskoelastik model.....	21
Şekil 3.1 : 4C Programına ait malzeme veri tabanı oluşturma aşaması.....	23
Şekil 3.2 : 4C Programına ait beton özellikleri veri tabanı oluşturma aşaması..	25
Şekil 3.3 : 4C Programına ait simülasyon ve elemanların oluşturma aşaması...	26
Şekil 3.4 : 4C Programın’ da çevre ve kür koşullarının belirlenmesi.....	28
Şekil 3.5 : 4C Programın’ da kürü esnasında kullanılan malzemelerin belirlenmesi.....	28
Şekil 3.6 : 4C Programın’ da en kritik kesite ait simülasyonda desteklerin konulması.....	29
Şekil 4.1 : NATM modeline ait similasyon örneği.....	31
Şekil 4.2 : TBM modeline ait similasyon.....	35
Şekil 5.1 : BK-1 betonuna ait ısı gelişim grafiği.....	37
Şekil 5.2 : BK-1.4 betonuna ait ısı gelişim grafiği.....	38
Şekil 5.3 : Analiz 2’ ye ait elastisite modülü grafiği.....	39
Şekil 5.4 : Analiz 2.4’ ye ait elastisite modülü grafiği.....	39
Şekil 5.5 : NATM modelinde sıcaklık dağılımı - 1.....	40
Şekil 5.6 : NATM modelinde sıcaklık dağılımı - 2.....	41
Şekil 5.7 : TBM modelinde kullanılan çevre koşullarında rüzgar etkisi -1.....	42
Şekil 5.8 : Rüzgar hızının çatlak riski üzerindeki etkisi -1.....	42
Şekil 5.9 : TBM modelinde kullanılan çevre koşullarında rüzgar etkisi -2.....	43
Şekil 5.10 : Rüzgar hızının çatlak riski üzerindeki etkisi -2.....	43
Şekil 5.11 : TBM modelinde kullanılan çevre koşullarında rüzgar etkisi -3.....	44
Şekil 5.12 : Rüzgar hızının çatlak riski üzerindeki etkisi -3.....	44

Şekil 5.13 :	TBM modelinde kullanılan çevre koşullarında rüzgar etkisi -4.....	45
Şekil 5.14:	Rüzgar hızının çatlak riski üzerindeki etkisi -4.....	45
Şekil 5.15:	TBM modelinde kullanılan çevre koşullarında ortam sıcaklığı etkisi -1.....	46
Şekil 5.16:	Ortam sıcaklığının çatlak riski üzerindeki etkisi -1.....	46
Şekil 5.17:	TBM modelinde kullanılan çevre koşullarında ortam sıcaklığı etkisi -2.....	46
Şekil 5.18:	Ortam sıcaklığının çatlak riski üzerindeki etkisi -2.....	47
Şekil 5.19:	Normal kür koşullarında yapılan gerçek ölçümler.....	47
Şekil 5.20:	Normal kür koşullarında yapılan analiz sonuçları.....	47
Şekil B.1:	Analiz-1 sıcaklık gelişimi.....	82
Şekil B.2:	Analiz-1.1 sıcaklık gelişimi.....	83
Şekil B.3:	Analiz-1.2 sıcaklık gelişimi.....	83
Şekil B.4:	Analiz-1.3 sıcaklık gelişimi.....	84
Şekil B.5:	Analiz-1.4 sıcaklık gelişimi.....	84
Şekil B.6:	Analiz-2 sıcaklık gelişimi.....	85
Şekil B.7:	Analiz-2.1 sıcaklık gelişimi.....	85
Şekil B.8:	Analiz-2.2 sıcaklık gelişimi.....	86
Şekil B.9:	Analiz-2.3 sıcaklık gelişimi.....	86
Şekil B.10:	Analiz-2.4 sıcaklık gelişimi.....	87
Şekil B.11:	Analiz-2.5 sıcaklık gelişimi.....	87
Şekil B.12:	Analiz-3 sıcaklık gelişimi.....	88
Şekil B.13:	Analiz-4.1 sıcaklık gelişimi.....	88
Şekil B.14:	Analiz-4.2 sıcaklık gelişimi.....	89
Şekil B.15:	Analiz-4.3 sıcaklık gelişimi.....	89
Şekil B.16:	Analiz-4.4 sıcaklık gelişimi.....	90
Şekil B.17:	Analiz-4.5 sıcaklık gelişimi.....	90
Şekil B.18:	Analiz-4.6 sıcaklık gelişimi.....	91
Şekil B.19:	Analiz-4.7 sıcaklık gelişimi.....	91
Şekil B.20:	Analiz-4.8 sıcaklık gelişimi.....	92
Şekil B.21:	Analiz-4.9 sıcaklık gelişimi.....	92
Şekil B.22:	Analiz-4.10 sıcaklık gelişimi.....	93
Şekil B.23:	Analiz-4.11 sıcaklık gelişimi.....	93
Şekil B.24:	Analiz-4.12 sıcaklık gelişimi.....	94
Şekil B.25:	Analiz-4.13 sıcaklık gelişimi.....	94
Şekil B.26:	Analiz-4.14 sıcaklık gelişimi.....	95
Şekil B.27:	Analiz-4.15 sıcaklık gelişimi.....	95
Şekil B.28:	Analiz-4.16 sıcaklık gelişimi.....	96
Şekil B.29:	Analiz-4.17 sıcaklık gelişimi.....	96
Şekil B.30:	Analiz-4.18 sıcaklık gelişimi.....	97
Şekil B.31:	Analiz-4.19 sıcaklık gelişimi.....	97
Şekil B.32:	Analiz-4.20 sıcaklık gelişimi.....	98
Şekil B.33:	Analiz-4.21 sıcaklık gelişimi.....	98
Şekil B.34:	Analiz-4.22 sıcaklık gelişimi.....	99

Şekil B.35:	Analiz-4.23 sıcaklık gelişimi.....	99
Şekil B.36:	Analiz-4.24 sıcaklık gelişimi.....	100
Şekil B.37:	Analiz-4.25 sıcaklık gelişimi.....	100
Şekil B.38:	Analiz-4.26 sıcaklık gelişimi.....	101
Şekil B.39:	Analiz-4.27 sıcaklık gelişimi.....	101
Şekil B.40:	Analiz-4.28 sıcaklık gelişimi.....	102
Şekil B.41:	Analiz-4.29 sıcaklık gelişimi.....	102
Şekil B.42:	Analiz-4.30 sıcaklık gelişimi.....	103
Şekil B.43:	Analiz-4.31 sıcaklık gelişimi.....	103
Şekil B.44:	Analiz-4.32 sıcaklık gelişimi.....	104
Şekil B.45:	Analiz-4.33 sıcaklık gelişimi.....	104
Şekil B.46:	Analiz-4.34 sıcaklık gelişimi.....	105
Şekil B.47:	Analiz-4.35 sıcaklık gelişimi.....	105
Şekil B.48:	Analiz-4.36 sıcaklık gelişimi.....	106
Şekil B.49:	Analiz-4.37 sıcaklık gelişimi.....	106
Şekil B.50:	Analiz-4.38 sıcaklık gelişimi.....	107
Şekil C.1:	Analiz-1 gerilme gelişimi.....	108
Şekil C.2:	Analiz-1.1 gerilme gelişimi.....	109
Şekil C.3:	Analiz-1.2 gerilme gelişimi.....	109
Şekil C.4:	Analiz-1.3 gerilme gelişimi.....	110
Şekil C.5:	Analiz-1.4 gerilme gelişimi.....	110
Şekil C.6:	Analiz-2 gerilme gelişimi.....	111
Şekil C.7:	Analiz-2.1 gerilme gelişimi.....	111
Şekil C.8:	Analiz-2.2 gerilme gelişimi.....	112
Şekil C.9:	Analiz-2.3 gerilme gelişimi.....	112
Şekil C.10:	Analiz-2.4 gerilme gelişimi.....	113
Şekil C.11:	Analiz-2.5 gerilme gelişimi.....	113
Şekil C.12:	Analiz-3 gerilme gelişimi.....	114
Şekil C.13:	Analiz-4.1 gerilme gelişimi.....	114
Şekil C.14:	Analiz-4.2 gerilme gelişimi.....	115
Şekil C.15:	Analiz-4.3 gerilme gelişimi.....	115
Şekil C.16:	Analiz-4.4 gerilme gelişimi.....	116
Şekil C.17:	Analiz-4.5 gerilme gelişimi.....	116
Şekil C.18:	Analiz-4.6 gerilme gelişimi.....	117
Şekil C.19:	Analiz-4.7 gerilme gelişimi.....	117
Şekil C.20:	Analiz-4.8 gerilme gelişimi.....	118
Şekil C.21:	Analiz-4.9 gerilme gelişimi.....	118
Şekil C.22:	Analiz-4.10 gerilme gelişimi.....	119
Şekil C.23:	Analiz-4.11 gerilme gelişimi.....	119
Şekil C.24:	Analiz-4.12 gerilme gelişimi.....	120
Şekil C.25:	Analiz-4.13 gerilme gelişimi.....	120
Şekil C.26:	Analiz-4.14 gerilme gelişimi.....	121
Şekil C.27:	Analiz-4.15 gerilme gelişimi.....	121
Şekil C.28:	Analiz-4.16 gerilme gelişimi.....	122

Şekil C.29:	Analiz-4.17 gerilme gelişimi.....	122
Şekil C.30:	Analiz-4.18 gerilme gelişimi.....	123
Şekil C.31:	Analiz-4.19 gerilme gelişimi.....	123
Şekil C.32:	Analiz-4.20 gerilme gelişimi.....	124
Şekil C.33:	Analiz-4.21 gerilme gelişimi.....	124
Şekil C.34:	Analiz-4.22 gerilme gelişimi.....	125
Şekil C.35:	Analiz-4.23 gerilme gelişimi.....	125
Şekil C.36:	Analiz-4.24 gerilme gelişimi.....	126
Şekil C.37:	Analiz-4.25 gerilme gelişimi.....	126
Şekil C.38:	Analiz-4.26 gerilme gelişimi.....	127
Şekil C.39:	Analiz-4.27 gerilme gelişimi.....	127
Şekil C.40:	Analiz-4.28 gerilme gelişimi.....	128
Şekil C.41:	Analiz-4.29 gerilme gelişimi.....	128
Şekil C.42:	Analiz-4.30 gerilme gelişimi.....	129
Şekil C.43:	Analiz-4.31 gerilme gelişimi.....	129
Şekil C.44:	Analiz-4.32 gerilme gelişimi.....	130
Şekil C.45:	Analiz-4.33 gerilme gelişimi.....	130
Şekil C.46:	Analiz-4.34 gerilme gelişimi.....	131
Şekil C.47:	Analiz-4.35 gerilme gelişimi.....	131
Şekil C.48:	Analiz-4.36 gerilme gelişimi.....	132
Şekil C.49:	Analiz-4.37 gerilme gelişimi.....	132
Şekil C.50:	Analiz-4.38 gerilme gelişimi.....	133

SEMBOL LİSTESİ

ξ	: Gerilme, dayanım oranı
M	: Olgunluk
Δt_i	: i zaman aralığı
θ_i	: i zaman aralığındaki ortalama sıcaklık
$H(\theta_i)$	: Hız fonksiyonu
$E(\theta)$	: Aktivasyon enerjisi
k	: Isıl iletkenlik
R	: Gaz sabiti
$Q(M)$	: M olgunluk saatinde ısı gelişimi
Q_∞	: Toplam ısı gelişimi
τ_e	: Zaman sabiti
α	: Eğim parametresi
C_{concrete}	: Betonun özgül ısısı
m_i	: Betonlu oluşturan malzemelerin ağırlığı
c_i	: Betonlu oluşturan malzemelerin özgül ısısı
n	: Betonlu oluşturan malzemelerin sayısı
ΔQ	: Sıcaklık farkı

SERTLEŞEN BETONDA ÇATLAK RİSKİNİN SİMÜLASYONU

ÖZET

Yapılan çalışmanın konusu, beton karışımının ve özelliklerinin, çevre şartlarının çatlak oluşumu üzerindeki etkisinin incelenmesidir. Sıcaklık ve çatlak riskinin analizinde, ticari bir yazılım olan “4C temperature & stress simulation” programı kullanılmaktadır. Tünel Delme Makinası ile yapılan (TBM) ve Yeni Avusturya Tünel Metodu (NATM) ile yapılan tünel modeli olarak iki yapı analizde kullanılmıştır.

Kullanılan programda analizi yapılan yapıya ait en kritik kesitin simülasyonu yapılmaktadır. Betona ait taze ve sertleşmiş özellikler; çökme, birim ağırlık, hava muhtevası, ısı iletkenlik, aktivasyon enerjisi, çekme ve basınç dayanımı, elastisite modülü, sünme, rötre, poisson oranı, ısı genleşme katsayısı ve ısı gelişim değerleri laboratuvar deneylerinden elde edilerek kullanılmaktadır. Ayrıca betonun muhafaza edildiği ortama ait koşullarda; ortam sıcaklığı, rüzgar hızı, kür koşulları programda belirtilmektedir.

Çalışmada beş farklı beton tasarımı yapılmıştır ve beton tasarımları iki farklı simülasyonda; TBM ve NATM’ de kullanılmaktadır. Ayrıca çevre koşullarındaki değişimin çatlak riski üzerindeki etkisi de incelenmektedir. Farklı ortam sıcaklıkları ve rüzgar hızları, normal kür ve buhar kürü koşulları için test edilerek çevre koşullarının etkileri incelenmektedir.

NATM modeline ait olan simülasyonda, kullanılan betonların; ısı iletkenlik, aktivasyon enerjisi, ısı genleşme, ısı gelişimi ve elastisite modülü özelliklerinde değişim yapılarak bu değerlerdeki değişimlerin betonun sıcaklığı ve çatlak riski üzerindeki etkileri incelenmektedir. Ortam sıcaklığı ve rüzgar hızı NATM modeline ait bütün analizler için aynı değerlerdedir. Bu nedenle beton özelliklerinin etkisi açıkça değerlendirilmektedir. NATM modeline ait analizlerin sonucunda; i) ısı genleşme katsayısındaki artış çatlak riskini düşürmektedir, ii) ısı iletkenlikteki artış beton sıcaklığını ve çatlak riskini düşürmektedir, iii) ısı gelişim değerindeki düşme beton sıcaklığını düşürmektedir, iv) ısı gelişiminin, çatlak riskindeki etkisinin, zamana bağlı değişimiyle ilgili olduğu görülmektedir, v) elastisite modülü değerindeki değişim çatlak riski ile doğru orantılı olmaktadır.

TBM modeline ait analizlerde çevre ve kür koşullarının sıcaklık ve çatlak riski üzerindeki etkileri incelenmektedir. Ortam sıcaklığında ve rüzgar hızında normal kür ve buhar kürü uygulamaları için değişiklikler yapılmıştır. Bütün özellikleri aynı olan beton tasarımlarında, aynı ortam sıcaklığında rüzgar hızları değiştirildiğinde, normal kür koşullarında rüzgar hızı sıcaklığı ve çatlak riskini düşürmektedir. Öte yandan rüzgar hızı arttığında buhar küründe beton sıcaklığının düşmesine rağmen ani sıcaklık değişiminden dolayı çatlak riski artmaktadır. Ortam sıcaklığındaki değişim incelendiğinde ise sıcaklık arttığında beton sıcaklığının ve çatlak riskinin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca analizlerden elde edilen sonuçlar gerçek sonuçlar ile kıyaslanmıştır ve programın çalışma prensibi doğrulanmıştır.

THE CRACK RISK SIMULATION OF HARDENING CONCRETE

SUMMARY

The main objective of this study was to investigate the effect of concrete composition and boundary conditions on the probability of crack formation. The temperature and cracks were analyzed using a commercial software “4C Temperature and Stress Simulation”. Two types of structures were analyzed Tunnel Boring Machine (TBM) and New Austrian Tunnel Method (NATM).

In this software, the critical sections of the structures were simulated. The hardened and fresh properties of the concrete tested in laboratory were; slump, density, air content, thermal conductivity, activation energy, tensile strength, compressive strength, elastic modulus, creep, shrinkage, Poisson ratio, thermal expansion coefficient and heat development. Besides; the boundary conditions such as the concrete curing conditions, air temperature and wind velocity were defined in the software.

In the experimental study, five different concrete mix designs were tested and these designs were used for the two different simulations; TBM and NATM. Additionally, the boundary condition effects were studied for the crack formation. Different air temperature and wind velocity values were tested for normal and steam curing conditions to explain the effect of boundary conditions.

For the simulation of NATM model, thermal conductivity, activation energy, thermal expansion coefficient and elastic modulus of concrete were changed, thus the effects of these properties on the temperature rise and crack risk were investigated. Air temperature and wind velocity values were kept same for all the simulation of NATM model, as a result the effects of different concrete properties could be evaluated more clearly. The simulation of NATM model indicated that; i) the crack risk of concrete decreases by the increase of thermal expansion coefficient, ii) concrete temperature and crack risk decrease by the increase in thermal conductivity, iii) as the heat development decreases, the concrete temperature decreases, iv) the effect of heat development on the crack risk is related with the time dependent variation of heat development.

For the simulation of TBM, the effect of boundary conditions and curing conditions on the concrete temperature and crack risk were analyzed. For the analysis, for the normal curing and steam curing, the air temperature and wind velocity values were changed. When the wind velocity value was changed, concrete mix designs properties and air temperature were kept constant. At normal curing condition, concrete temperature and crack risk decreased by the increase in wind velocity. On the other hand, at steam curing, while the wind velocity values increased, the crack formation risk increased inspite of the decrease in concrete temperature. Effect of the variation of air temperature indicated that, concrete temperature and crack formation risk increase when the air temperature values increase. In this study, the results of analyses were compared with the measured values and as a result; the principals of the software were confirmed.

1. GİRİŞ

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde bir katkı maddesini harmanlayarak elde edilmiş ve oranları dikkatli ayarlanmış bir karışımı, istenilen şekil ve boyutta kalıplar içine boşluksuz olarak yerleştirmek ve uygun bakım koşulları altında sertleştirmek yolu ile elde edilen önemli bir kompozit malzemedir.

Beton yaklaşık olarak değişik şekillerde ve genel manada 5000 yıldan beri kullanılmaktadır. Eski Mısırlılar kil harcını, piramitlerin yapımında kullanmışlardır. Harç, kireç taşının (CaCO_3) ısıtılması ve karbondioksit gazının (CO_2) çıkarılması ile elde edilmekteydi. Elde edilen kireç, agrega ile karıştırılarak harç olarak kullanılmaktaydı. Daha sonra CO_2 olarak sertleşen orijinal CaCO_3 veya kireç taşına çevrilmekteydi. Su ile sertleşen hidrolik çimentonun bulunuşu, Romalılara kadar uzanır. Romalılar kireç hamurunu, puzolanik özellik gösteren volkanik külle karıştırdılar. Amorf silisten oluşan puzolan, suyun mevcudiyetiyle kimyasal olarak reaksiyona girerek silikata dönüşür. Beton günümüzde irili ufaklı birçok yapıda kullanılan en yaygın ve en popüler malzeme durumundadır [1].

Yapı malzemesi olarak betondan beklenen ana nitelikler vardır. Beton hangi amaç için üretilirse üretilsin kesinlikle bu ana niteliklere sahip olmalıdır. Buna göre beton;

- İşlenebilir olmalıdır.
- 7, 28 veya daha sonraki günler için hedeflenen dayanıma sahip olmalıdır.
- Yeterli dürabiliteye (iç ve dış etkenlerine karşı dayanıklılığa) sahip olmalı; yani, sertleşmiş beton, geçirimsiz olmalı, zamanla karşılaşabileceği donma-çözülme etkilerine, sülfat etkisine, asitlere, agregadaki reaktif silis ile çimento alkalileri arasında yer alabilecek alkali-silis reaksiyonlarına, aşınmaya, yüksek sıcaklıklara ve benzeri etkenlere yeterli dayanıklılığı gösterebilmelidir.

- Yeterli hacim sabitliğine sahip olmalı; yani, sertleşmiş beton rötre veya şişme nedeniyle çatlamlar göstermemelidir [2].

Yapay bir malzeme olan betonun olumlu özelliklerini sürdürebilmesi için dış etkilere dayanıklı olması gerekir. Betonun doğal kimyasal ve fiziksel etkilere dayanıklı olması, aynı zamanda fiziko kimyasal dış etkenler sonucu niteliklerini kaybetmemesi gerekir. Bunun için yeterli kimyasal dayanıklılığa sahip olması istenir.

Bilindiği gibi çimentonun su ile olan reaksiyonu ekzotermik olup yaklaşık 28 günlük bir kür süresi boyunca önemli miktarda ısıyı açığa çıkarır [3]. Eğer bu ısı dağılmazsa, sıcaklıkta artışa neden olur. Bu sıcaklık artışı, hidrasyon süresince oluşan ısı ile betondan çevreye kaçan ısı arasındaki dengeye bağlıdır. Bu dengeyi etkileyen faktörler arasında betonun dökülme sıcaklığı, çevre koşulları, beton özellikleri sayılabilir [4].

1.1 Amaç

Betonu oluşturan malzeme miktarı ve özellikleri, boşluk miktarı, yapısı ve dağılımı dürabiliteyi etkileyen önemli faktörlerdir. Yapılan bir çok çalışma beton dürabilitesini etkileyen faktörleri ortaya koymuş ve bunlar ile ilgili alınması gereken önlemleri açığa çıkarmıştır. Taşıyıcı elemanların dayanıklılığı için yapılar nem, klor ve oksijen iyonları gibi maddelerin geçişine karşı çok iyi korunmalıdır. Bunun anlamı çatlaklardan kaçınılmalı veya en azından çatlakların büyüklükleri sınırlandırılmalıdır. Çatlaklar sertleşme sırasında şekil alırlar. Çatlak riskinin değerlendirilmesi gerilme analizini içerir. Sertleşen beton yapılarının gerilme analizinde yük, hidrasyon sıcaklığından ortaya çıkan termal gerilmedeki farkları içerir. Betonun mekanik özellikleri setleşme sırasında değişir. Eğer analizle elde edilen çekme gerilmesi daha yüksek çıkarsa çatlak riski olasıdır [5]. Sunulan bu çalışmada Danimarka Teknoloji Merkezinin hazırladığı 4C Sıcaklık ve Gerilme Analiz Programı ile yapıların similasyonu ve analizi bulunmaktadır. Programda betonda meydana gelen sıcaklık ve gerilme dağılımı ile çatlak riski analiz edilmektedir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1 Betonda Oluşan Çatlaklar

Taze betonda bazı önlemlerin alınmaması halinde istenmeyen plastik rötre veya oturma çatlakları oluşabilir. Beton, kalıplarına yerleştirildikten sonra 0,5-4 saatleri arasında, yani henüz plastik halde iken, özellikle geniş döşeme ve benzeri yüzeylerde çatlaklar oluşabildiği bilinmektedir. Bu çatlakların derinlikleri 10 cm' yi bulabilir. Uzunlukları birkaç cm ile 1-2 m arasındadır. Çatlak genişlikleri 0,10mm ile 3mm arasında değişebilir [6]. Çatlaklar sonucu betonun dürabilitesi bozulabilir, korozyona açık, geçirgen bir durum alır. Taze beton çatlakları farklı oturmalarından, plastik rötrede veya kısıtlanmış rötrede kaynaklanabilir. Tablo 2.1' de çatlakların zamana bağlı değişimleri görülmektedir.

Tablo 2.1: Çatlakların zaman bağlı oluşumu

Çatlak Tipi	Oluşumun tipik zamanları
Plastik Oturma Çatlakları	10 dakika – 3 saat
Plastik Rötre Çatlakları	30 dakika – 6 saat
Harita şeklinde çatlaklar	1 gün – 7 gün (bazen daha fazla)
Erken Isıl Büzülme Çatlakları	1 gün – 2 veya 3 hafta
Uzun Zamanlı Kuruma Rötre Çatlakları	Birkaç hafta veya ay

2.1.1 Oturma Çatlakları

Bu çatlaklar genellikle kirişlerde üst yüzeye yakın donatıların (demirlerin) hemen üstünde oluşurlar. Taze betonda iri agrega taneleri dibe çökerken flokülleşen çimento su kusar. Bu su yüzeye doğru hareket eder ve birikir. Bu sırada iri agrega ve donatı altlarında hava cepleri meydana gelerek zayıf bölgeler oluşur [7].

Yüzeye yakın donatılar bu harekete karşı koyar ve oturmasını tamamlayamayan üst beton tabakası zaten düşük olan çekme dayanımını kaybederek çatlar. Böylece, beton yüzeyindeki çatlaklar yüzeye yakın donatıların bulundukları hatlar boyunca uzanırlar [8].

2.1.2 Plastik Rötire Çatlakları

Bu çatlaklar geniş yüzeyli olan döşeme, yol, park ve havaalanı betonları gibi uygulamalarda oluşabilir. Bu çatlaklar beton yüzeyindeki suyun buharlaşma hızının beton içindeki suyun yüzeye yükselme (terleme) hızından daha büyük olması durumunda görülür [9]. Beton yüzeyindeki suyun buharlaşma hızı, betonun içindeki suyun yükselme hızından fazla ise, betonun yüzeyi kurumaya, dolayısıyla büzölmeye başlar. Altındaki beton bu büzölmeye uyum sağlayamadığı için, üst tabakasında çekme gerilmeleri oluşur ve çekme şekil değıştirme kapasitesinin de düşük olması nedeniyle beton çatlar. Aynı çatlaklar, yeni dökölen betonun altındaki eski ıslatılmamış betonun veya asmolimli tabliyelerdeki briket gibi diğeri malzemelerin beton suyunu emmesi sonucu da oluşabilir [8].

Plastik rötire ve oturma çatlaklarının oluşmasında da yüzeyde biriken terleme suyunun buharlaşması önemlidir. Oturma çatlaklarının oluşumunda eğer terleyen su uzaklaşmaz ise (çatlak genişliklerinin küçük olması koşulu ile) bu çatlakların bir süre sonra kapandığı bilinmektedir [6].

2.1.3 Kısıtlanmış Rötire

Betonda gözlenen plastik rötire ve oturma çatlaklarından başka sık sık kısıtlanmış rötire çatlaklarına da rastlanır. Böyle bir rötire basit bir deneyle açıklanabilir: Çelik bir çember etrafına beton dökölüp sertleştikten sonra incelendiğinde serbestçe büzölmesi önlenen betonda düşey çatlakların oluştuğı görülür; bunlar kısıtlanmış rötire çatlakları olarak adlandırılır. Bu rötire çatlakları genellikle perdelerde görülür. Özellikle temeller üzerine oturan kolonlar arasındaki geniş perdelerde, tünellerde, eski beton üzerine dökölen yeni betonda bu tür çatlakları görmek mümkündür. Böyle çatlaklar perde içindeki boşluklar civarında belirgin biçimde gelişebilir. Önlemler alarak kısıtlanmış rötire çatlaklarını azaltmak mümkündür. Önlemlerden bazıları şöyle sıralanabilir; a) donatı miktarını arttırmak, b) çelik tel veya polietilen

fiber kullanmak, c) dayanımı sağlayabilmek kaydıyla çimento miktarını biraz azaltmak, d) dökümden hemen sonra doğru ve yeterli kür uygulamak ve gereken koruma önlemlerini almak, e) hidrasyon ısısı düşük çimento kullanmak, f) betonun su/çimento oranını düşürmektir [10, 11].

2.1.4 Beton Yüzeyindeki Suyun Buharlaşması

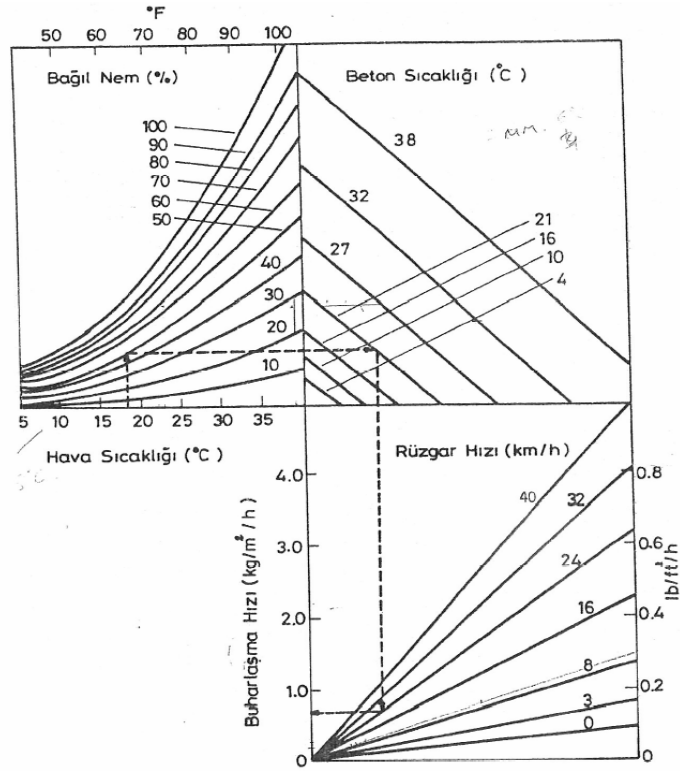
Beton yüzeyindeki suyun buharlaşma hızı,

- Betonun sıcaklığına,
- Düşük bağıl nem oranına,
- Yüksek rüzgar hızına,
- Ortam sıcaklığına

bağılıdır [12].

Şekil 2.1' de beton ile hava sıcaklığının, bağıl nem oranı ve rüzgar hızının beton yüzeylerinden buharlaşan su miktarına etkisi grafik olarak verilmektedir. Örneğin rüzgar hızı 0' dan 40 km/h' e yükselirse buharlaşma miktarı 9 kat, bağıl nem %90' dan %10' a düşerse buharlaşma miktarı 8 kat, hava sıcaklığı 10°C den 38°C' ye yükselirse buharlaşma miktarı 7 kat artmaktadır [6].

Beton yüzeyinden buharlaşan su miktarı 0,5kg/m²/h değerini aşınca plastik rötre çatlaklarının oluşma olasılığı var demektir ve önlem alınmalıdır [13].



Şekil 2.1: Beton ile hava sıcaklığının, bağıl nem oranı ve rüzgar hızının beton yüzeylerinden buharlaşan su miktarına etkisi [14].

2.2 Sertleşen Betonda Sıcaklık Gelişimi

Betonun kendisi zayıf bir yalıtkandır. Hacmine göre geniş bir yüzeye sahip olan ince beton yapı elemanları geniş yüzey ısı alışverişinden dolayı ısıyı kolayca dağıtabilirler ve böylece yapıda önemli bir ısı artışı olmaz. Kalın beton yapılarında oluşan ısının bir kısmı ise sıcaklık artışını önleyecek oranda ısı dışarıya kaçamadığı için betonun içinde kalır. Bu da sıcaklıkta bir artışa ve kütlede artışa neden olur [15]. Isının kaybolma hızı ısının oluşum hızını geçerse beton soğumaya ve büzölmeye başlar. Herhangibir engellemenin (restraint) olmadığı koşullarda beton hiçbir gerilme yaratmadan genişler ve büzölür. Fakat gerçekte kısmi veya tam engelleme her zaman mevcut olduğu için, ısısal gerilmeler oluşur [16].

Betonun sertleşme esnasında ısı, açığa çıkan enerji olarak tanımlanabilir. Betondaki sıcaklık farklılıklarından dolayı beton genişlemeye veya büzölmeye çalışır. Eğer beton kütlede yüzeyi, içinden daha soğuk ise, yüzeydeki büzölmeden dolayı meydana gelen gerilme çekme dayanımından daha yüksek olabilir bu da çatlakların

oluşmasına yol açar. Böyle durumlar yüzey ve iç bölgelerdeki tipik maksimum sıcaklık farklılıklarından ileri gelir [17].

Betonun erken yaştaki davranışını anlamak, üzerinde çalışılan önemli bir konudur. Esasında, erken yaşta, çimento hidratasyonunun sonucunda ısı açığa çıkması nedeni ile gerilmeler meydana gelir ve bu gerilmeler yavaş yavaş betonun çekme dayanımına ulaşır ve aşarsa çatlaklar oluşur [18].

Isıl gerilme nedeni ile oluşan çatlakları iki katagoride toplamak mümkündür.1- “yüzey çatlakları”; bunların derinlikleri beton yüzeyinden birkaç santimetreye kadar ulaşabilir. 2- “ana çatlaklar”; yüzey çatlaklarının kesit içerisine kadar ilerlemesiyle oluşur [19].

Yüzey çatlakları çimentonun hidratasyon reaksiyonu esnasında ısınan fazlarda görülür ve fazlar soğudukça kapanabilir. Bu tür çatlakların görünen bazı etkileri olabilir ki bu da nem ve klor iyonun sızıntısına neden olarak dürabiliteyi etkilemesidir. Öte yandan, ana çatlaklar soğuyan fazlardaki iç ve dış etkilerden meydana gelen büzülmede oluşur. Bunlar hem dürabilite hem de stabilite problemlerine neden olabilirler [18].

Sertleşen betondaki hidratasyon ısı ve yapının çevre ve kür koşulları (kalıp tipi, dış sıcaklık, kür malzemesi vb.) sıcaklık dağılımını zamanın bir fonksiyonu olarak hesaba katar.

Sıcaklık dağılımı ve değişiminin belirlediği özellikler sertleşen beton yapılarında:

- Sıcaklık etkisi ile oluşan şekil değiştirme, ve
- Mekanik özelliklerdeki değişim oranı olarak tanımlanır.

Bir beton kütesinin sıcaklık geçmişi önceki analizlerden elde edilmiş sonuçlardan ve gerilme analizlerinde kullanılan değerlerden elde edilebilir. Sıcaklık ısı ilerlemelerden elde edilen sonuçlarla tanımlanabilir. Sıcaklık ısı iletkenlik denklemlerinden elde edilen sonuçlarla tanımlanabilir. Bu denklemleri etkileyen faktörler:

- Hidratasyon ısısı,
- Isı kapasitesi, ısı iletkenlik ve birim ağırlık,
- Çevre sıcaklığı ve kür koşullarıdır [20].

2.3 Sertleşen Betonda Dayanımın Gelişimi

Isısal gerilmeler, erken yaşlarda ısıdan dolayı oluşan genişleme ve daha sonra ısının düşmesiyle oluşan büzülme gibi ısısal hareketlerin sınırlandırılmasıyla oluşur. Bu sınırlama içten veya dıştan olabilir [4]. Sabit özelliklere sahip ve sünme göstermeyen bir malzeme için sınırlamanın etkisi, sıcaklığın artışı sırasında basınç gerilmesi oluşturmaktır. Daha sonra soğurken bu gerilme tamamen ortadan kalkar. Halbuki beton, özellikle sünmenin yüksek olduğu ve hem direncinin hem de sertliğinin süratle arttığı erken yaşlarda böyle ideal şartlara sahip değildir [15]. Bunun bir sonucu olarak, elastisite modülünün küçük olduğu ısı çıkış zamanında gelişen basınç gerilmeleri de küçüktür. Çekme gerilmeleri sıcaklığın düşmeye başlamasından hemen sonra oluşmaya başlar. Soğuma devam ederken çekme gerilmesi; sıcaklığın denge durumuna gelmesine veya betonun o yaştaki çekme direncine eşit olmasına kadar artar. Gerilme değerinin bu direnç değerine ulaşması kısmi bir çatlama ile sınırlamanın ortadan kalkmasına sebep olur.

Gerilmeler, büyük oranda sıcaklık dağılımının maksimum olduğu kesitlerde meydana gelirler. Yüzeyde ve iç kesimlerdeki sıcaklık farkından dolayı meydana gelen bu gerilmeler çatlakların oluşumunda büyük rol oynarlar. Eğer sıcaklık farkı çok yüksekse bu kesitlerde şişme ve büzülmeden dolayı çatlaklar meydana gelebilir. Gerilme hesabında sıcaklık yük olarak belirtilir ve aynı zamanda malzemenin özelliklerini değiştiren bir parametredir [21].

Gerilme analizleri ve hesabı dayanımın gelişimi ve dayanımı etkileyen faktörleri (malzeme özellikleri, sıcaklık ve uygulanan gerilmenin geçmişi) açıklamada önemlidir [20].

Gerilme hesaplarında esas alınan noktalar.

- Sıcaklık analiz sonuçları,
- Rijitlik, dayanım, sünme, rötre
- Statik ve geometrik çevre koşulları (yükler ve kalıplar v.b) [17].

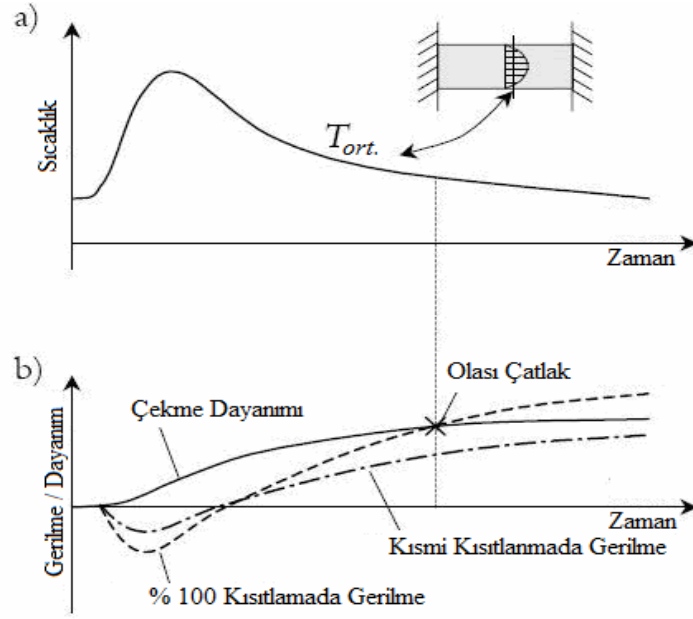
Yapıda meydana gelen gerilmelerin derecesinin dayandığı noktalar ise,

- Sıcaklık değişimi,
- Beton özelliklerinin değişimi,
- Kalıp parçalarının rijitliği

Eğer sıcaklık artışıyla oluşan gerilmeler çekme dayanımını aşarsa, ki bu hidrasyon derecesinin bir fonksiyonudur, çatlaklar meydana gelir. Oluşan bu çatlakların derinliğine karar vermek için göz önünde tutulacak noktalar:

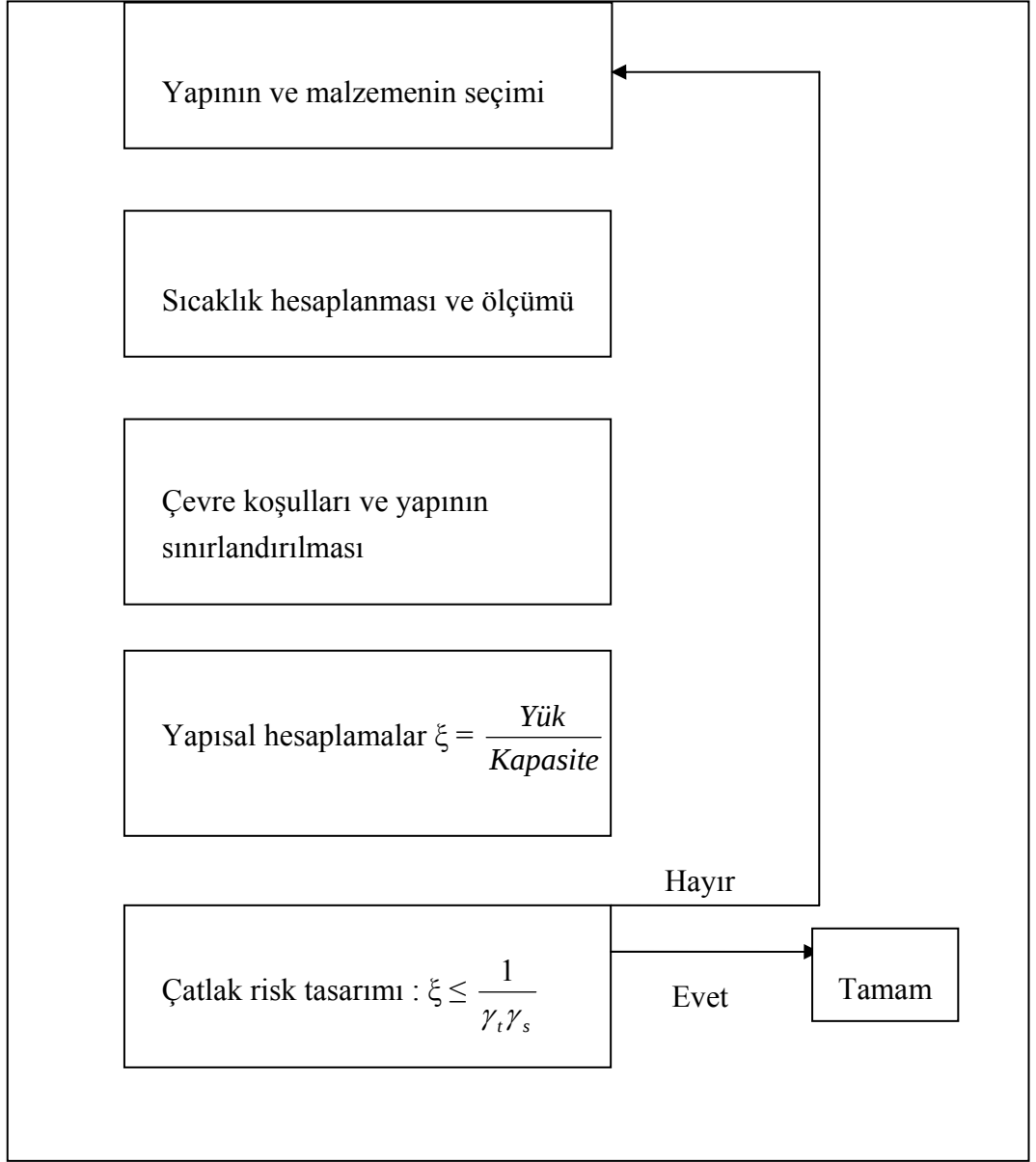
- Sıcaklık değişimi ve rötre,
- Donatı miktarı,
- Yükler,
- Zeminde meydana gelen oturmalar,
- Çatlayan yapının ve dayandığı yapıların rijitlik oranı [20].

Çatlaklar soğuma periyodu esnasında şekil alırlar. Bu dönem içerisinde sıklıkla yapının içlerine doğru ilerlerler ve kapanmazlar bu tür çatlakların tamir edilmesi gerekir, aksi takdirde dürabilite problemlerine neden olurlar. Şekil 2.2’ de bir beton karışımındaki sıcaklık ve çatlak riskinin gelişimi grafiklerle gösterilmiştir. Görüldüğü üzere gerilmenin, dayanımı aştığı noktada çatlak riski oluşmuştur [22].



Şekil 2.2: a) sıcaklık zaman grafiği, b) sertleşen betonda dayanımın zamanla gelişimi ve toplam kısıtlama [22].

Erken yaştaki beton yapılarda çatlak riski hakkındaki fikirler 5 adımda açıklanabilir. **Şekil 2.3'** de görülen adımlar şöyledir; i) yapının tipi ve malzeme özelliklerinin seçimi, çatlakın oluşma riskini ve önlenmesini etkiler, ii) hidrasyondan meydana gelen sıcaklık ölçümleri ve gelişimi etkili olmaktadır, iii) yapının çevre koşulları ve yapıyı sınırlandıran elemanlar belirlenmelidir, iv) yapısal hesaplamalar önem kazanmaktadır ki bunların içerisinde gerilme, çekme dayanımı, yük – taşıma kapasitesi oranı hesaplanmalıdır, v) çatlak risk tasarımı yapılmalı, gerilme ve dayanım oranı belirlenmelidir.



Şekil 2.3: Beton yapılarının erken yaşında çatlak riskini açıklayan ilkeler [23].

2.4 Beton Özellikleri

Sertleşme esnasında betonun davranışını açıklayabilmek için beton özelliklerini ortaya çıkarmak gerekli olduğundan bir kısım testler ve hesaplamalar yapılmaktadır. Bulunan bu özellikler sıcaklık ve gerilme davranışlarının hesabında mantıklı bir şekilde kullanıldığında beton yapılarının davranışlarını açıklama yönünde ilkeleri ortaya koyarlar [24].

Beton yapıların çatlak riskinin değerlendirmesinde önemli bir faktör olan beton tasarımı için, hazırlanacak betonun özelliklerinin de iyi şekilde bilinmesi veya önceki

Çalışmalardan elde edilen veriler ile ngrlmesi gereklidir. Betonun özelliklerini ısı ve mekanik özellikleri olarak değerlendirmek mümkündür. Buna göre:

Isıl zellikler:

- Adiyabatık ısı gelişimi,
- Özgül ısı,
- Birim ağırlık,
- Isıl iletkenlik,
- Aktivasyon enerjisi.

Fiziksel ve mekanik zellikler:

- Isıl genleşme katsayısı,
- Elastisite modülü,
- Çekme dayanımı,
- Poisson oranı,
- Snme,
- Rötre olarak sıralanabilmektedir [24].

2.4.1 Isı Gelişimi

Bu deney yöntemi, hidrasyon süresince betonda ortaya çıkan ısı miktarını belirler. Isı gelişimi beton olgunluğunun bir fonksiyonu olarak enerji cinsinden tanımlanır [25].

Olgunluk yöntemi, betonun sıcaklık geçmişine bağlı olarak yerinde basınç dayanımını tahmin etmek için geliştirilmiştir. Olgunluk fonksiyonu řu şekilde gösterilebilir:

$$M = \sum_{i=1}^n H(\theta_i) \cdot \Delta t_i \quad (2.1)$$

Burada M olgunluk, Δt_i i zaman aralığı, θ_i i zaman aralığındaki ortalama sıcaklık ve $H(\theta_i)$ hız fonksiyonu olmak üzere;

$$H(\theta) = \exp\left[\frac{E(\theta)}{R} \cdot \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{273 + \theta}\right)\right] \quad (2.2)$$

Burada R gaz sabiti, 8,314 J/mol.K ve $E(\theta)$ beton karışımının aktivasyon enerjisidir. $E(\theta)$ 'nın doğru değeri bilinmiyorsa aşağıdaki değerler kullanılabilir.

Betonda sıcaklık gelişimi sadece hidrasyonun derecesini vermez, aynı zamanda betonun özelliklerini de geliştirir. Isı gelişiminin önceden tahmin edilmesi veya değer biçilmesi fazlasıyla zordur, zira çimento tipi, mineral ve kimyasal katkıların özellikleri ve miktarı ısı gelişimini etkileyen faktörlerdir. Isı gelişiminin hesabında sıcaklık artışı ve geçişi olgunluğun fonksiyonudur [20].

$$Q(M) = Q_{\infty} \cdot \exp\left[-\left(\frac{\tau_e}{M}\right)^{\alpha}\right] \quad (2.3)$$

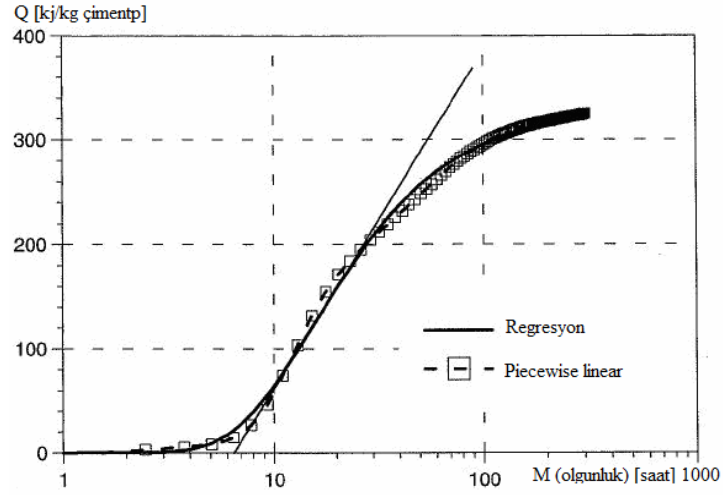
$Q(M)$ = M olgunluk saatinde ki ısı gelişimi [kJ/kg]

Q_{∞} = Toplam ısı gelişimi [kJ/kg]

τ_e = Zaman sabiti [saat]

α = Eğim parametresi [-]

M = Olgunluk [saat]



Şekil 2.4: Isı gelişimi örneği [24]

2.4.2 Özgül Isı ve Birim Ağırlık

Betonun birim ağırlığı ve özgül ısısı betonun sıcaklığını arttırabilmemiz için ne kadar enerjiye ihtiyacımız olduğu konusunda bilgi vermektedir.

Birim ağırlık betonu oluşturan agrega malzemelerinin birim ağırlığına dayanmaktadır ve değeri genellikle 2250 – 2400 kg/m³ civarındadır.

Özgül ısı betonun içerdiği su miktarından etkilenir ve betonun sertleşmesi esnasında düşer. Uygulamada özgül ısı sabit bir değer olarak alınmaktadır ve beton karışımı dikkate alınarak hesaplanır. Tipik özgül ısı değerleri 0,8 – 1,2 kJ/kg°C aralığındadır [24]. Betonun özgül ısısının hesaplanmasında aşağıda 2.4’ de verilen formül kullanılır.

$$C_{concrete} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i c_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (2.4)$$

$C_{concrete}$ = Betonun özgül ısısı [kJ/kg°C]

m_i = Betonu oluşturan malzemelerin ağırlığı [kg]

c_i = Betonu oluşturan malzemelerin özgül ısısı [kJ/kg°C]

n = Betonu oluşturan malzemelerin sayısı [-]

2.4.3 Aktivasyon Enerjisi

Görünen aktivasyon enerjisi, matematiksel yöntemlerde beton sıcaklığının bir fonksiyonu olarak hesap edilmektedir. Ancak, sadece sıcaklık değişimlerine göre hesaplar yapıldığından, çimento tipi, kimyası ve karışım özellikleri dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle elde edilen değerler gerçeği yansıtmamaktadır.

Freisleben Hansen ve Pedersen (FHP) aşağıdaki formülleri önermişlerdir [26].

$$\begin{aligned} E(\theta) &= 33500 && \text{J/mol for } \theta \geq 20^\circ\text{C} \\ E(\theta) &= 33500 + 1470 \cdot (20 - \theta) && \text{J/mol for } \theta < 20^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Johanson, Groth ve Hedlund, Standart İsveç çimentoları üzerinde yaptıkları deneyler neticesinde aşağıdaki formülleri önermişlerdir [27].

$$Ea(T_c) = 44600 \left(\frac{30}{10 + T_c} \right)^{0,45} \quad \text{kJ/mol} \quad (2.6)$$

20 °C deki T için FHP'a göre bulunan aktivasyon enerjisi değerlerinden % 32 daha yüksek değerler elde edilmektedir.

Gauthier ve Regourd, Ea değerlerinin normal portland çimentoları için 42–47 kJ/mol arasında olduğunu öne sürmüşlerdir. % 70 cüruf içeren çimentolarda ise bu değer, 56 kJ / mol değerine kadar yükselmektedir [28, 29].

Guo, Ea için 30 ile 40 kJ / mol arasında bir değer kullanılabileceğini öne sürmüştür [28, 30].

Bu yaklaşımlara ek olarak, Carino, Ea'nin 41 – 47 kJ / mol arasında değiştiğini ve çimento tipine bağlı olarak farklılıklar gösterdiğini belirtmiştir [31].

ASTM'de ise katkısız Tip 1 çimento kullanıldığı takdirde, 40 – 45 kJ / mol arasında değişen Ea değerlerinin kullanılabileceğini önermektedir [32].

Schindler, Lerch ve Ford'un çimento bileşiminin hidrasyon üzerindeki etkilerini temel alan çalışmalarından yararlanarak aşağıdaki formülleri önermiştir [33].

$$\begin{aligned}
E &= 22100[PC_3A]^{0,3}[PC_4AF]^{0,25}.Blaine^{0,35} \\
f_E &= 1 - 1,05PFA \left[1 - \frac{PFACaO}{0,4} \right] + 0,4P_{SLAG} \\
E_a &= E * f_e
\end{aligned} \tag{2.7}$$

PC₃A : C₃A'nın ağırlığının tüm çimento ağırlığına oranı,

PC₄AF : C₄AF'nin ağırlığının tüm çimento ağırlığına oranı,

Blaine : Çimento özgül yüzeyinin alanı (m² / kg),

PFA : Uçucu Kül kütle oranı,

PFACaO : Uçucu Küldeki CaO içeriğinin kütle oranı,

f_E : E_a düzeltme faktörü

Kimyasal yöntemler kullanılarak E_a belirlenmesinde, sıcaklık değişimleri dikkate alınmamaktadır.

2.4.4 Isıl İletkenlik

Isıl iletkenlik “k” bir malzemenin ısıyı iletme özelliği olarak açıklanır. Betonda agrega malzemelerinin ısı iletkenliği beton taze haldeyken 8 kJ/ms°C iken sertleşme esnasında 6 kJ/ms°C olur.

Sertleşmiş beton hesaplarında deneyler, ısı iletkenlik katsayısının 8 kJ/ms°C olarak kabul edilemeyeceğini göstermiştir [24].

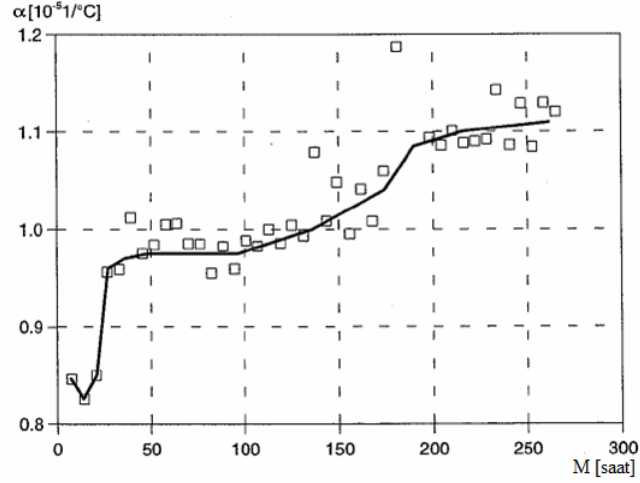
$$k = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \times \frac{1}{A} \times \frac{\chi}{\Delta t} \tag{2.8}$$

2.4.5 Isıl Genleşme, Elastisite Modülü ve Çekme Dayanımı

Hidratasyon reaksiyonunun etkisi ile beton içerisinde ısı ve sıcaklık gelişimi sonucunda, betona etkiyen kuvvet, hacmi ve gerilmeyi etkilemektedir. Betonda oluşan sıcaklık ve deformasyonu ölçmenin bir yolu da, sıcaklık değişiminin etkisi ile ısı iletkenlik dağılımının kararlaştırılması ve ısı genleşme katsayısının bulunmasıdır. Bu genişleme beton dökümünden 6 ila 12 saat içinde ısı etki ile oluşmaktadır [34]. Şekil 2.5’ de ısı genleşmeye ait grafik görülmektedir.

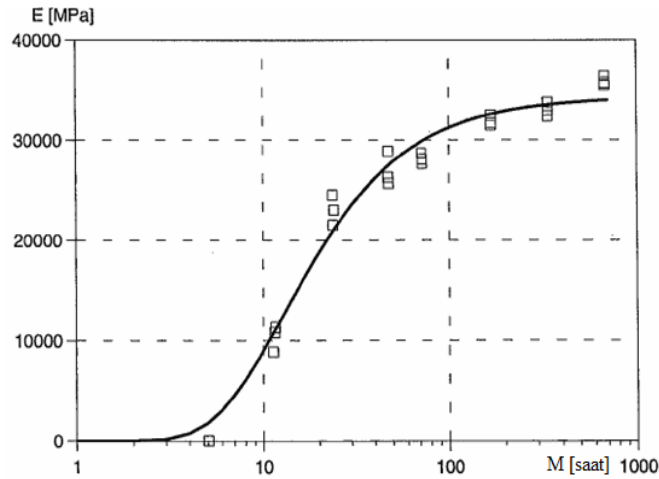
Isıl genleşme katsayısı, beton dökülmeden önce en yüksek değeri $70 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ iken, döküm esnasında $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ değerine ulaşmaktadır [35 - 38].

Isıl genleşme katsayısı elastisite modülü ve çekme dayanımının belirlendiği saatlerde yapılan deneylerle açıklanan değerlerdir. Bu olgunluk zamanları 0.5, 1, 2, 3, 7, 14 ve 28 günlük olgunluk günleridir. Elastisite modülü TI – B 102 çekme gerilmesi DS 423.34/24 standartlarında belirtilen koşullara göre elde edilen deney sonuçlarına göre bulunur [24].

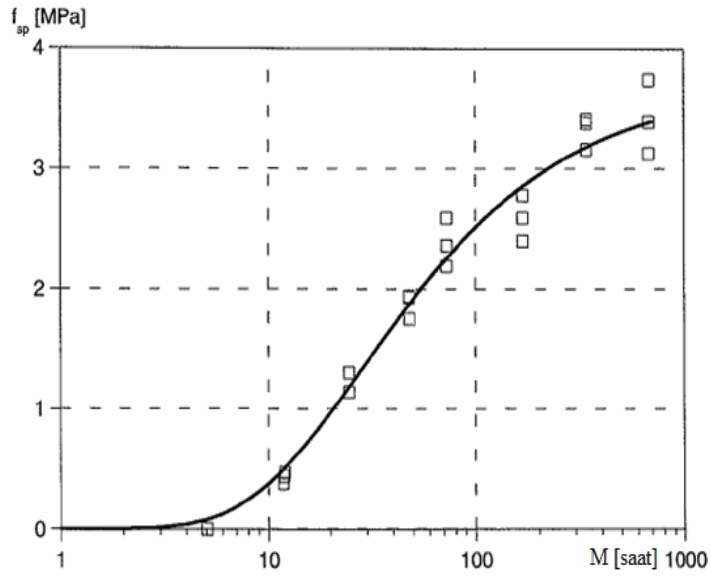


Şekil 2.5: Isıl genleşme katsayısının gelişimi [24].

E-değeri, gerilme ve deformasyonun oranı olarak hesaplanır, ancak gerilme şekil değiştirme beton için lineer olmayan bir yapı gösterir ve malzeme elastik değildir. Şekil 2.6' da Elastisite Modülünün zamanla değişimi verilmektedir. Bu nedenle bu fikrin yapının tasarımı için yeterince uygun olmadığı anlaşılmaktadır ve E değerini tayin etmek için üç farklı E değeri hesaplanır; sekant modülü, tanjant modülü ve başlangıç tanjant modülü [39] .



Şekil 2.6: Elastisite modülünün zamanla değişimi [24].



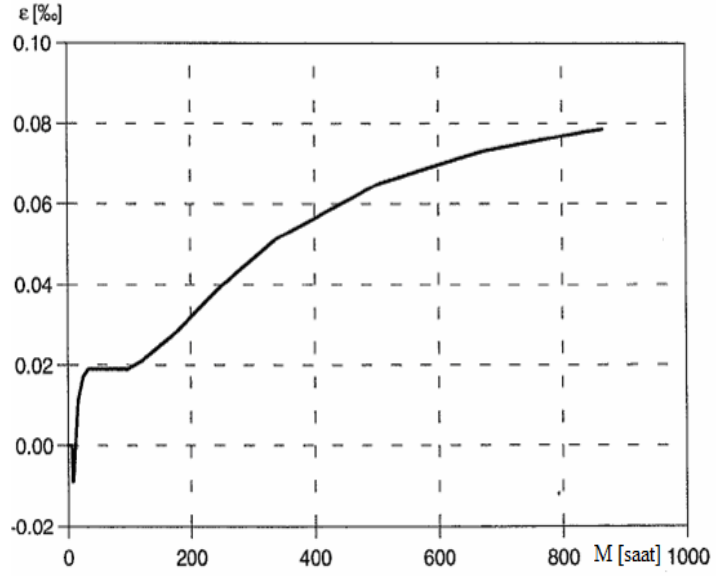
Şekil 2.7: Yarma çekme dayanımının zamanla değişimi [24].

2.4.6 Poission Oranı

Teorik olarak Poisson Oranı sıvı haldeki durumda 0,5 den sertleşen durumda yaklaşık 0,17 e düşer ve zamanla tekrar artar. Poisson oranı basınç dayanımının bir fonksiyonudur [20].

2.4.7 Rötire

Rötire suyun kaybı ile zamanla oluşan deformasyon olarak tanımlanabilir [40]. Eğer, beton dikkatli bir şekilde örtüldüyse yüzeyde meydana gelen bu koruma göz ardı edilebilir. Eğer betona uygulanan örtü yetersiz ise bu durumda yüzey çatlaklarının oluşması muhtemeldir. Ancak ana çatlakların oluşma riski değişmez. Çünkü, derinlerdeki nem miktarı yüzeydeki kurumadan az etkilenir. Çimento ve suyun reaksiyonu esnasında yeni bir yapı meydana gelir ve bu yapının hacmi toplam su ve çimento hacminden daha düşüktür. Bu noktada kimyasal rötire denilen olay meydana gelmektedir. Rötire betonun ilk 28 gününde meydana gelir [24]. Şekil 2.8' de rötrenin zamana bağlı değişimi görülmektedir.



Şekil 2.8: Rötrenin gelişimi [24]

Rötreyi etkileyen faktörler;

- Su-çimento oranı ve RH
- Agregat tipi ve miktarı
- Çevre koşulları
- Rötreye başlangıç zamanı

olarak sıralanabilir [41].

2.4.8 Sünme

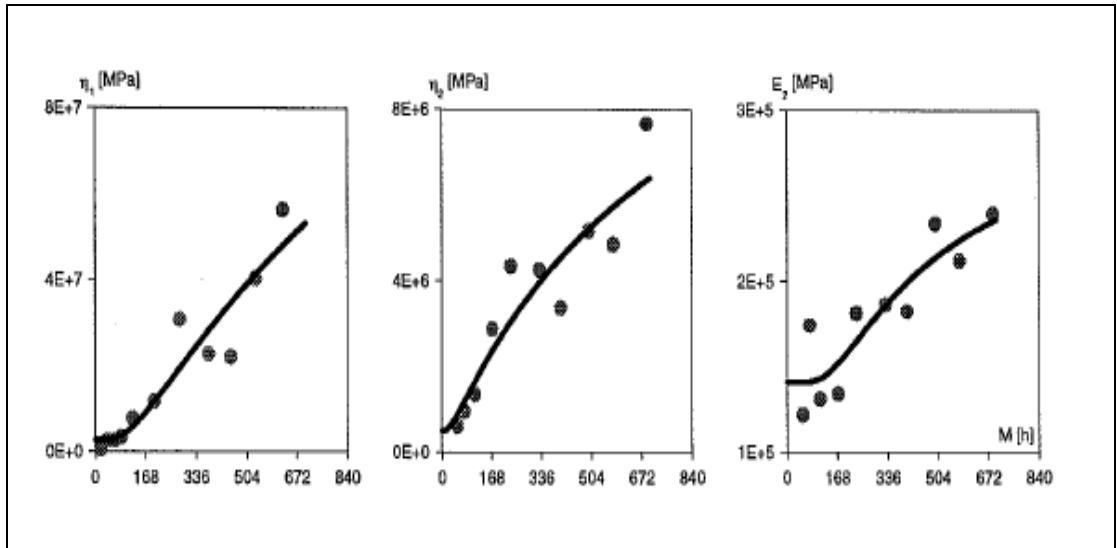
Sünme malzemenin zamana bağlı olarak yük altındaki deformasyonu olarak tanımlanmaktadır. Sünme aşağıdaki etkenlere bağlı olarak değişir.

- Yük altındaki yaşın
- Yükleme zamanının
- Yükleme tipinin (çekme veya basınç)
- Sıcaklığın

- Nem miktarının
- Beton tasarımının bir fonksiyonudur.

Sertleşme esnasında betondaki mikro çatlakların şekillenmesindeki değişiklik, betonun erken yaşlarında sünme modelinin belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Şekil 2.9’ da sünmeye ait gelişim grafikleri zamana bağlı olarak verilmiştir.

Sıcaklık, sertleşen betonun sünmesi üzerinde etkili bir faktördür. Önemli bir nokta olarak, yüksek sıcaklık sertleşmeyi hızlandırırken sünmeyi de arttırmaktadır. Öte yandan, yüksek sıcaklık sünme oranını da arttırmaktadır [20].

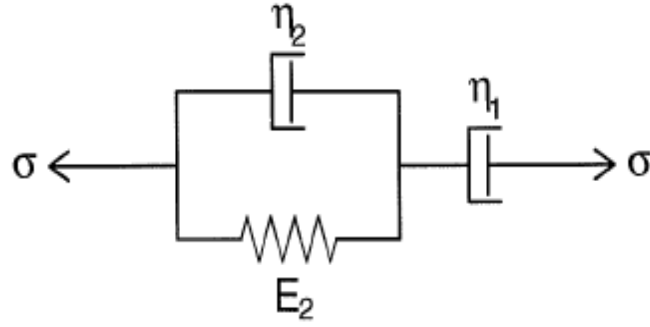


Şekil 2.9: Sünme gelişim grafikleri [24]

Van Bruegel 1980’de hidrasyon derecesini, sertleşen betonla ilgili bir gerilme azaltma formülüne dahil etmişti [41]. Daha sonra diğer araştırmacılar da hidrasyon derecesini erken yaş sünme davranışıyla birleştirmişlerdi. Bu girişimlerde sünme ilerlemesinin zamana bağlı olarak hidrasyon derecesi veya mikroyapıyla ilgili başka diğer temel parametrelerle ilişkilendirilmeden değerlendirilmesi gerekirken sadece yükleme durumundaki hidrasyon göz önüne alınmıştır [42 - 43].

Yük altındaki hidrasyon derecesi ilerlemesi, erken yaş sünme davranışının modellenmesindeki önemli parametrelerden biri olarak sunulmuştur [44]. Basit ama temel fiziksel gözlemleri temel alarak, taze betonun visco-elastik davranışının simulasyonunda anlık deformasyon ve sünmeyi içeren, hidrasyon derecesine dayalı sertlik ve akışkanlığa sahip basit bir Kelvin modeli geliştirilmiştir. Kelvin modeline

seri bağılı bir Newton cisminden oluşan viskoelastik model Şekil 2.10' da gösterilmiştir. Modelin geçerliliği sabit veya değişken gerilme altındaki sünme testlerinde doğrulanmıştır. Hidratasyon derecesine dayalı bu Kelvin modeliyle taze betonun visko-elastik davranışı ve mikroyapısal gelişim arasındaki ilişki bir kez daha gösterilmiştir. Bu Kelvin modelini bir sonlu eleman koduna dönüştürerek hassas bir erken yaş gerilme simülasyonu elde edilebilir [45].



Şekil 2.10: Kelvin modeline seri bağılı bir Newton cisminden oluşan viskoelastik model [45]

3. SERTLEŞEN BETONDA SICAKLIK VE GERİLME ANALİZ PROGRAMININ ÇALIŞMA PRENSİBİ

Betonda meydana gelmesi muhtemel çatlakların oluşma riskini ve betonda oluşabilecek maksimum sıcaklık değerinin analiz edildiği bu çalışmada kullanılan 4C sıcaklık ve gerilme analiz programının çalışma prensibi ve uygulanması aşağıda belirtildiği gibi sistemli bir şekilde anlatılmış ve açıklanmıştır.

3.1 Açıklama

Kullanılan programda; yapının simülasyonu, kullanılan betonun taze ve sertleşmiş özelliklerine ait verilerin yanında, betona uygulanan kür koşulları ve betonun dökümden sonra maruz kaldığı çevre koşulları tanımlanmıştır. Böylece betonun özellikleri ve çevre koşulları dikkate alınarak yapının zamana bağlı olarak sıcaklık ve çatlak risk gelişiminin değerlendirilmesi mümkün olacaktır. Yapının en kritik kesitinin gerçeğine uygun şekilde simülasyonu hazırlanarak kullanılan beton ve özellikleri, çevre şartları bu simülasyonda tanımlanmaktadır. Böylece gerçek koşullara en yakın ve uygun olan şartlar sağlanarak analiz yapılabilir.

Analiz programında betonun sıcaklık ve çatlak riskinin değerlendirilmesinin yanında bunların hangi özelliklerden ve koşullardan nasıl etkilendiğini izlemek de mümkündür. Bu da beton tasarımında, betonun özelliklerinin geliştirilmesinde ve uygulanan kür koşullarıyla maruz kaldığı çevre şartlarının nasıl değiştirileceği yönünde uygulayıcıya imkan vermektedir. Böylece uygun şartlarda, en uygun betonu üretmek için hangi durumların sağlanması gerektiğinin koşulları belirlenmiş olur.

3.2 Programın Çalışma İlkesi ve Uygulama Aşamaları

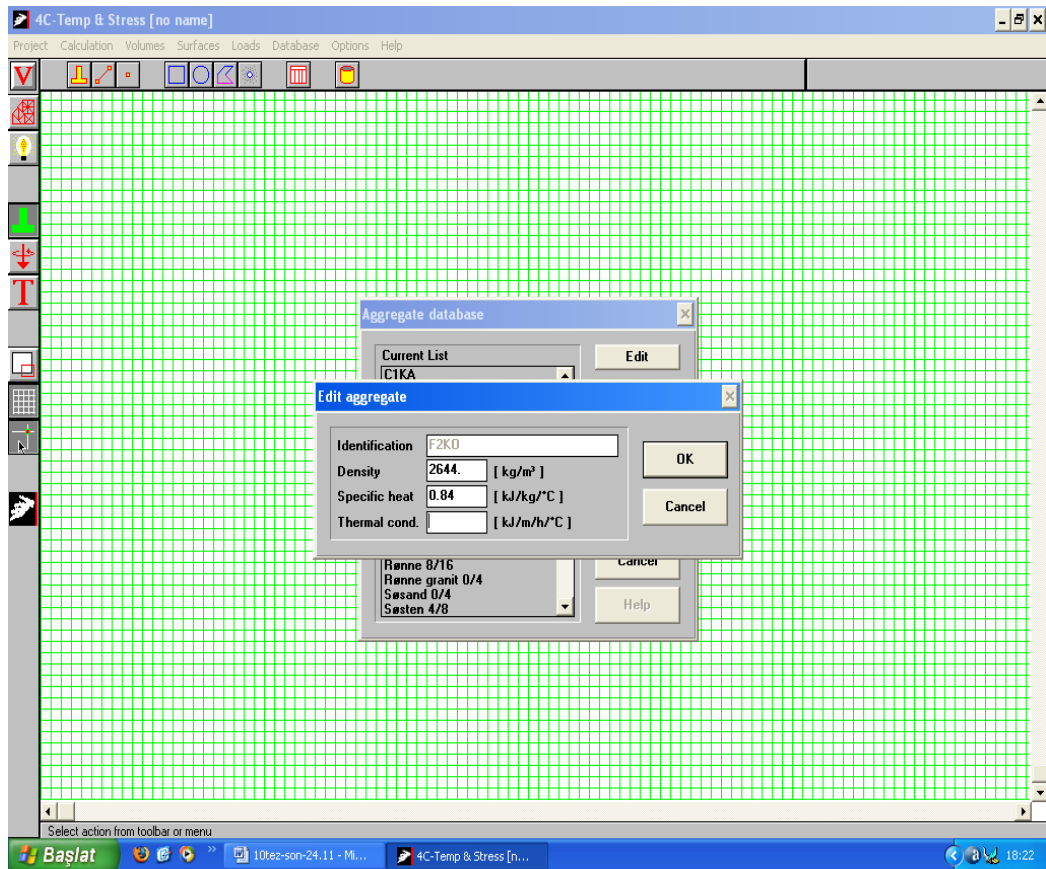
Programın çalışma ilkesi esasında 5 ana aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama; betona ve betonu oluşturan malzemelere ait deney sonuçları ile hazırlanan veri tabanı, ikinci aşama; en kritik kesite ait simülasyonun hazırlanması, üçüncü aşama;

çevre ve kür koşullarının belirlenmesi, dördüncü aşama; desteklerin belirlenmesi, beşinci ve son aşama ise hesaplamaların yapılması olarak sıralanabilir. Herbir aşama aşağıda programdan alınmış görüntüler ile açıklanmış ve kullanımı anlatılmıştır.

3.2.1 Malzeme Özelliklerinin Bulunduğu Veri Tabanının Oluşturulması

Programın ilk aşamasında kullanılacak her bir malzemenin gereken özellikleri programda belirtilmektedir. Betonlu oluşturan her bir malzeme, oluşturulan beton, yapının temas ettiği yüzeyin yapısı (kum, çakıl, kaya, beton vb.) ve kürde kullanılan malzemeler bu bölümde tanıtılır. Kısacası analizde etkili olan, yapıyla temas eden ve yapının oluşumunda kullanılan malzemeler bu bölümde labaratuardan alınmış deney sonuçları ile programda tanımlanmaktadır.

Öncelikle çimento, agrega, mineral ve kimyasal katkıları, su vb. malzemelere ait birim ağırlık ve ısı iletkenlik değeri Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’ de görüldüğü gibi girilerek, betonda kullanılan malzemelerin veri tabanı hazırlanır ve beton için alt yapı oluşturulur.



Şekil 3.1: 4C Programına ait malzeme veri tabanı oluşturma aşaması

Burada programa tanıtılan malzemeler, kullanılan betona ait özelliklerin (diğer bir deyişle beton tasarımının) girilmesi aşamasında betonu oluşturan malzemeler olarak kullanılır.

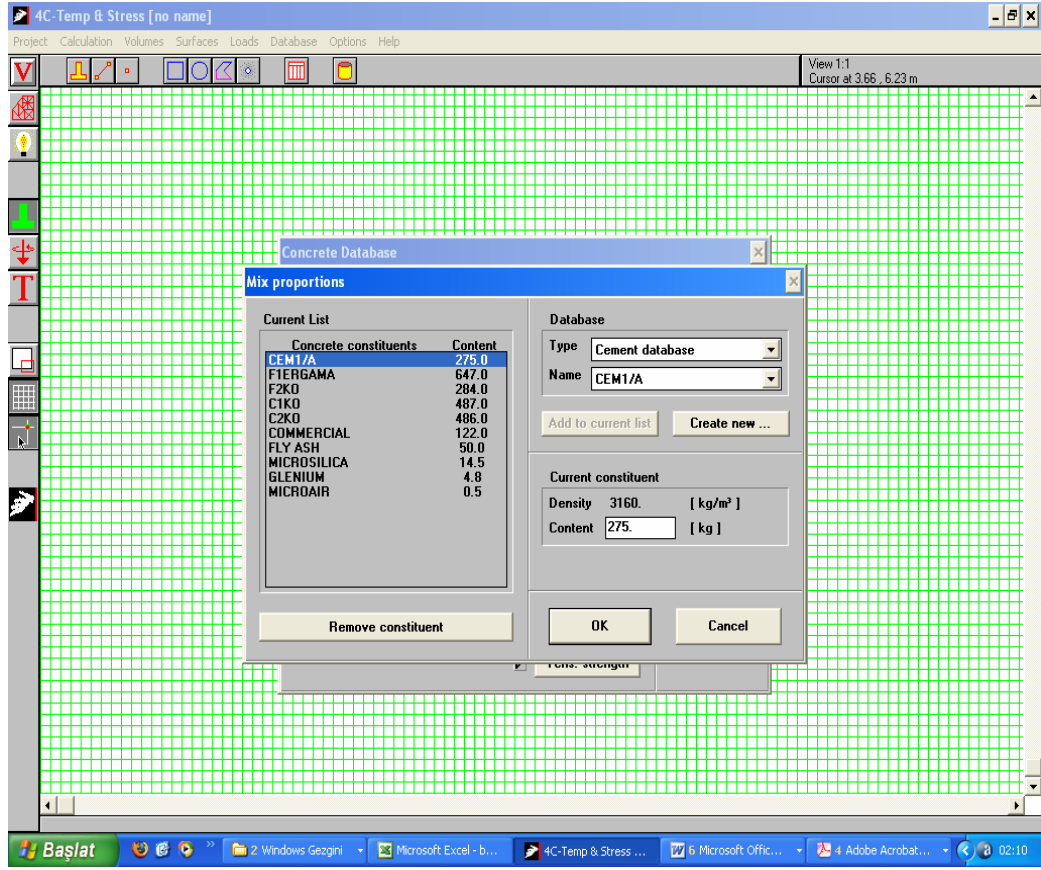
Ayrıca, bu bölümde yapının temas ettiği yüzeye ait malzeme özellikleri de tanımlanabilir. Yapı çevresinde kaya, kum v.b. bir malzeme ile temas edebilir. Bu malzemelerin de yapı üzerinde etkisi olduğundan, özellikleri tanımlanmaktadır.

Veri tabanının ikinci aşamasında kullanılacak olan betonun karışım tasarımı taze ve sertleşmiş özelliklerine ait laboratuvar deney sonuçlarının programa aktarılmasıdır. Bu aşamada ilk olarak tanımladığımız malzemeler beton tasarımı oluşturulurken kullanılmaktadır. Ayrıca, deneme dökümleri yapılan betonlardan alınan numunelere yapılan deneyler sonucunda elde edilen özellikler bu aşamada programa aktarılmaktadır.

Beton numunelerine uygulanan laboratuvar deneylerinin içerisinde:

- Betonun karışım hesabı
- Taze beton özellikleri (çökme, hava içeriği, birim ağılık)
- Isıl iletkenlik,
- Aktivasyon enerjisi 1 ve 2,
- Betona ait ısıl gelişimi,
- Elastisite modülü,
- Poisson oranı,
- Isıl genleşme katsayısı,
- Sünme ve rötre değerleri ve
- Betonun çekme ve basınç dayanımları bulunmaktadır

Betonu oluşturan malzemelerin, yapının temas ettiği zeminin ve kullanılacak betonun tanımlanması ile malzeme özelliklerinin bulunduğu veri tabanı ilk aşamada tamamlanmış olmaktadır. Program içerisinde saklanan bu bilgiler her bir farklı similasyonda ve analizde kullanılabilir.



Şekil 3.2: 4C Programına ait beton özellikleri veri tabanı oluşturma aşaması

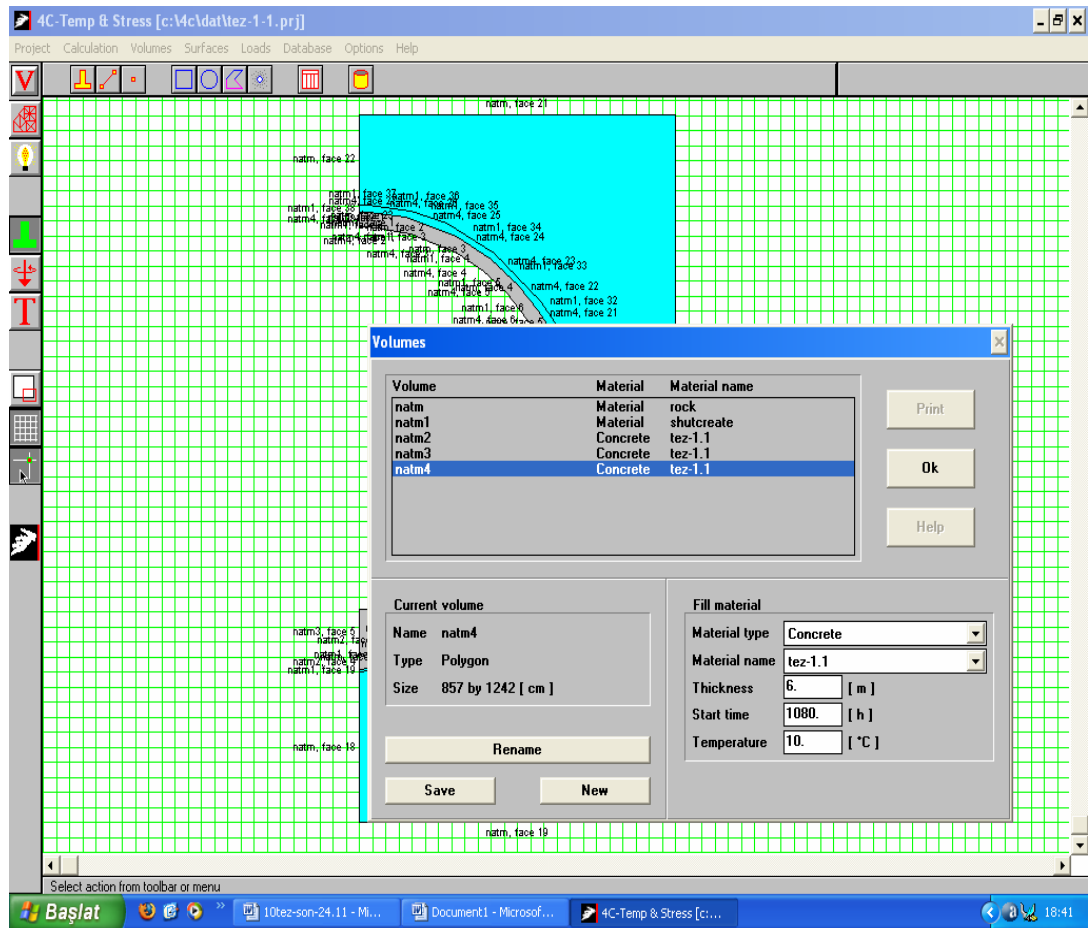
3.2.2 Simülasyonun Hazırlanması

Analizin ikinci bölümü olan “similasyon hazırlanmasında” betonun uygulandığı yapının en kritik kesitine ait simülasyon hazırlanmaktadır. Aşağıda Şekil 3.3’ de programa ait verilen sayfada görüldüğü üzere simülasyon uygulamayı birebir temsil etmelidir. Yapının en kritik kesitine ait her bir parça, temas ettiği yüzey ve yüzeyi oluşturan malzeme, yapıda kullanılan malzeme, kesit kalınlığı, yapıya başlangıç zamanı ve kullanılan malzeme sıcaklığı, her bir yapı elemanı için belirtilmelidir. Bu yapı elemanları analiz programında “volume” başlığı altında tanımlanmıştır.

Similasyon hazırlanmasının ilk aşamasında kesite ait çizimin yapılması gerekmektedir. Çizim yapılırken programda kullanılabilecek üç teknik bulunmaktadır. Bunlar; poligon, çember ve dikdörtgen olarak sıralanmaktadır. Kullanım kolaylığı ve gerçeğe uygun şartların sağlanması açısından poligon tekniği ile çizim, similasyonun hazırlanmasında kullanılan en uygun tekniktir.

Poligon noktaları metodu ile çizimde yapının ölçülerinin bilinmesi ve bu ölçülerin birer koordinat noktası ile tanımlanması yeterlidir. Şekil 3.3' de görüldüğü gibi poligon noktalarının girilmesi ile kesit şekli meydana gelecektir. Kesitin oluşmasının ardından kesite ait her bir parçanın (volume) ve temas yüzeylerinin karakteristik özelliklerin tanımlanması gerekmektedir. Bu özellikler; malzeme tipi, kullanılan malzeme adı (birinci bölümde oluşturulan veri tabanından alınır), kesit kalınlığı, uygulanma zamanı ve kullanılan malzemenin ilk sıcaklığı olarak sıralanabilir.

Çizim ve tanımlamalar yapıldıktan sonra simülasyon hazırlanmış olur. Diğer bir aşama için hazır olan simülasyonda çevre ve kür koşulları belirlenerek programa aktarılır.



Şekil 3.3: 4C Programına ait simülasyon ve elemanların oluşturma aşaması

3.2.3 Çevre ve Kür Koşullarının Tanımlanması

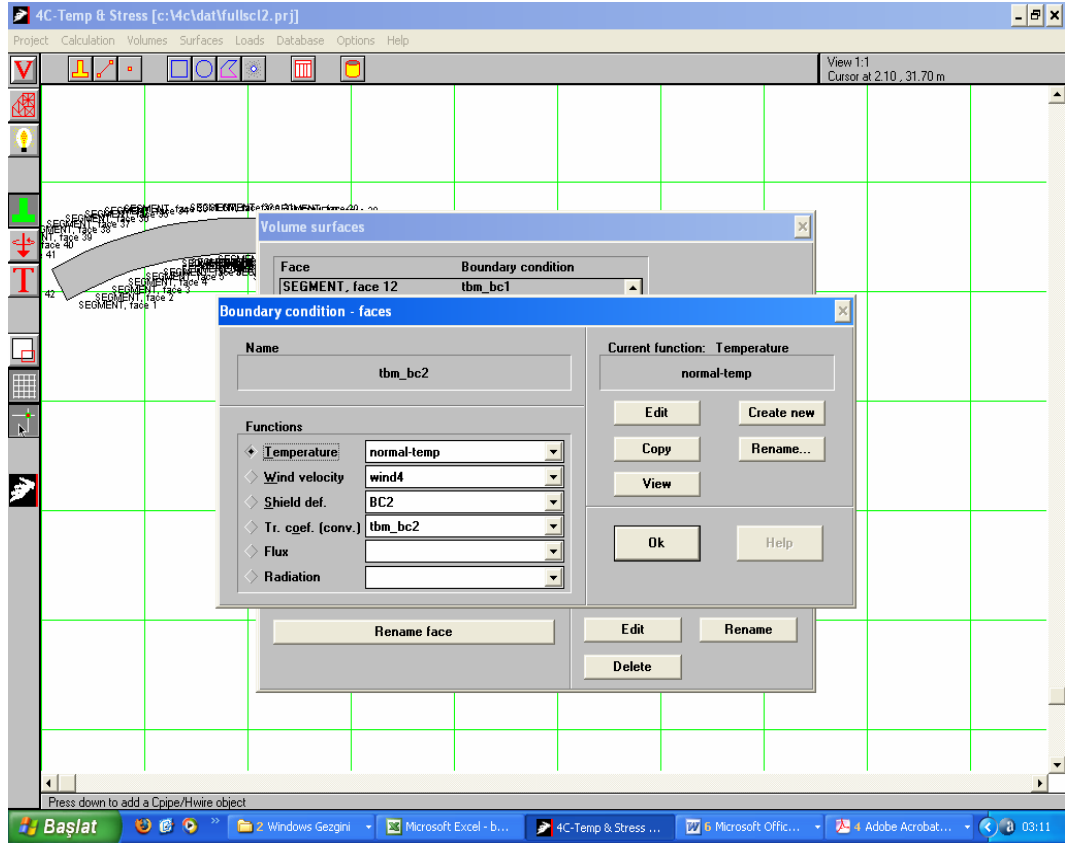
Yapılmış olan simülasyonda tanımlanan her bir parçaya ait (volume) çevre ve kür koşulları, programda “volume surfaces” bölümünde tanımlanır. Bu bölümde her bir yapı parçasına ait tanımlanmış yüzeylerde çevre ve kür şartları belirtilir. Böylece analiz gerçek şartlara uyarlanabilir. Ayrıca, bu bölümde kullanılan özellikler analizin sonucuna göre değiştirilerek en iyi sonucun hangi koşullarda elde edildiği gözlenebilmektedir.

Herbir yapı parçasının, her bir yüzeyi için ayrı çevre ve kür koşulu tanımlamak mümkündür. Yani bir yüzey hava ile temas ederken diğer yüzeyde bir örtü bulunuyorsa bu bölümde bu tanımlamaların hepsinin yapılması mümkündür.

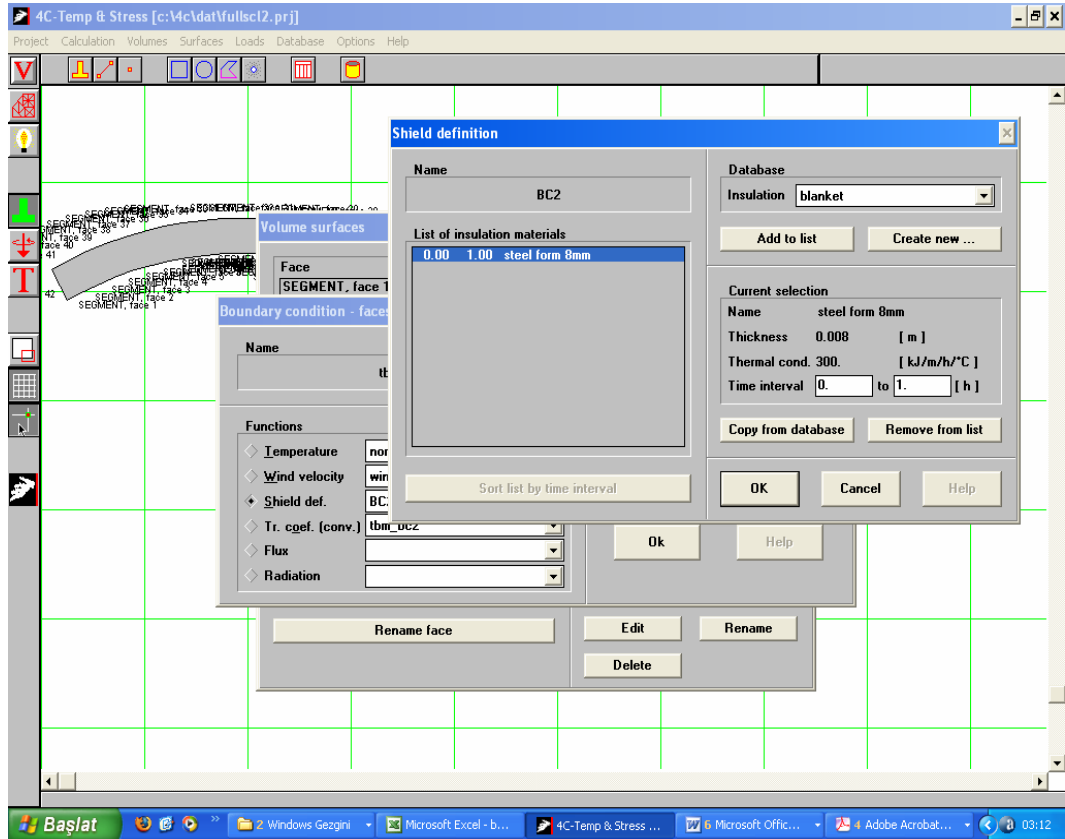
Belirtilen koşullar Şekil 3.4’ de görülebileceği gibi:

- Ortam sıcaklığı; betonun ilk dökümünden itibaren analiz süresi kadar ölçülen ya da önceki deneyimlerden elde edilmiş sıcaklık değerleri kullanılır.
- Rüzgar hızı ; yapının olduğu alandaki (açık veya kapalı mekan) rüzgar hızı.
- Kullanılan kalıp ve kullanım süresi; Şekil 3.5’ de görüldüğü gibi yapının herbir yüzeyinde kullanılan kalıplar ve kullanım süreleri belirtilir.
- Kür için kullanılabilmesi mümkün her türlü örtü vb. malzemelerin özellikleri ve kullanım süresi; kalıplar çıkarıldıktan sonra yapının üzerinde kullanılan her tür örtü, kullanımı ve süresi belirtilir.

Malzemelerin tanımlanması, yapının similasyonunun hazırlanması ve çevre-kür koşullarının tanımlanmasının ardından yapıya ait desteklerin-mesnetlerin tanımlanması gerekmektedir.



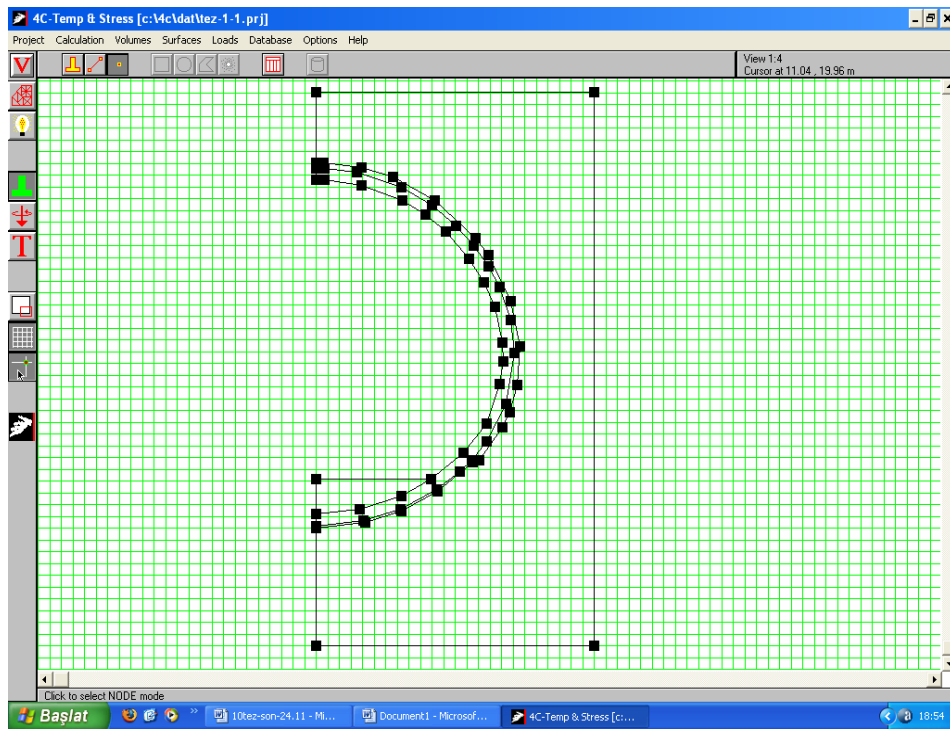
Şekil 3.4: 4C Programın' da çevre ve kür koşullarının belirlenmesi



Şekil 3.5: 4C Programın' da betonun kürü esnasında kullanılan malzemenin belirlenmesi

3.2.4 Yüklerin ve Desteklerin Belirlenmesi

Yapının gerçek koşulları dikkate alınarak simülasyon içerisinde yapıya gelen yükler ve destek koşulları belirtilir. Destekler gerilme hesabında kullanılır ve desteklerin seçiminde yapının rijitliğinin sağlanmış olması gerekir. Aksi takdirde analiz yapılamaz [17]. Destekler noktasal ve çizgisel olarak iki şekilde tanımlanır. şekil 3.6’ da grldėđ gibi örnek kesit üzerinde destekler verilmiştir. Hem yapının destekleri belirlenmiş, hem de yapının temas ettiği yüzeyin destekleri verilmiştir. Yapılacak her similasyon için de destekler yapının tamamı düşünülerek belirlenmelidir.



şekil 3.6: 4C Programında en kritik kesite ait simülasyonda desteklerin konulması

3.2.5 Hesaplama

Analizin son bölümü olan hesaplamada öncelikle analize ait parametreler girilir. Bu parametreler programda “calculation/parameters” bölümünde tanımlanır. Toplam analiz süresi, gerilme analizinin sonucunun sıcaklığa bağlılığı ve sonlu eleman metoduna uygun olarak meş ve nod yapısının belirlenmesidir. Yapının similasyonu ve koşulları yukarıda anlatıldığı gibi belirlendikten sonra en son olarak sıcaklık ve gerilme analizleri programın “calculation/generate” bölümünde hesaplama yapılır. Hesaplanan sonuçlar “result viewer” bölümünden elde edilir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Yapılan çalışmada “4C Sıcaklık & Gerilme Analiz” Programı kullanılmış ve farklı simülasyonlarda farklı beton tasarımları değerlendirilmiştir. Çalışmayı üç aşamada değerlendirmek mümkündür. Bu üç bölüm; model, analizde kullanılan farklı girdiler ve sonuçlardır.

Modeller : NATM (Yeni Avusturya Tünel Metodu)

TBM (Tünel Delme Makinası) olarak iki şekilde düzenlenmiştir.

Girdiler: Farklı beton tasarımları,

Kullanılan beton tasarımlarının farklı özellikleri,

Farklı başlangıç sıcaklıkları,

Çevre ve kür koşullarındaki değişiklikler.

Sonuç: Betonda oluşan maksimum sıcaklık ve

Betonda meydana gelen çatlak riski,

Girdilerde yapılan değişiklikler ile modeller için en uygun çevre ve kür koşulları ile en uygun beton elde edilmeye çalışılmıştır. Sunulan bu çalışmamızda bulunan üç modelin kesitleri, kullanılan beton özellikleri, çevre ve kür koşulları farklılık göstermektedir. Böylelikle farklı kesitler üzerinde beton özelliklerinin ve çevre koşullarının etkileri incelenmiş ve uygun şartlar sağlanmaya çalışılmıştır.

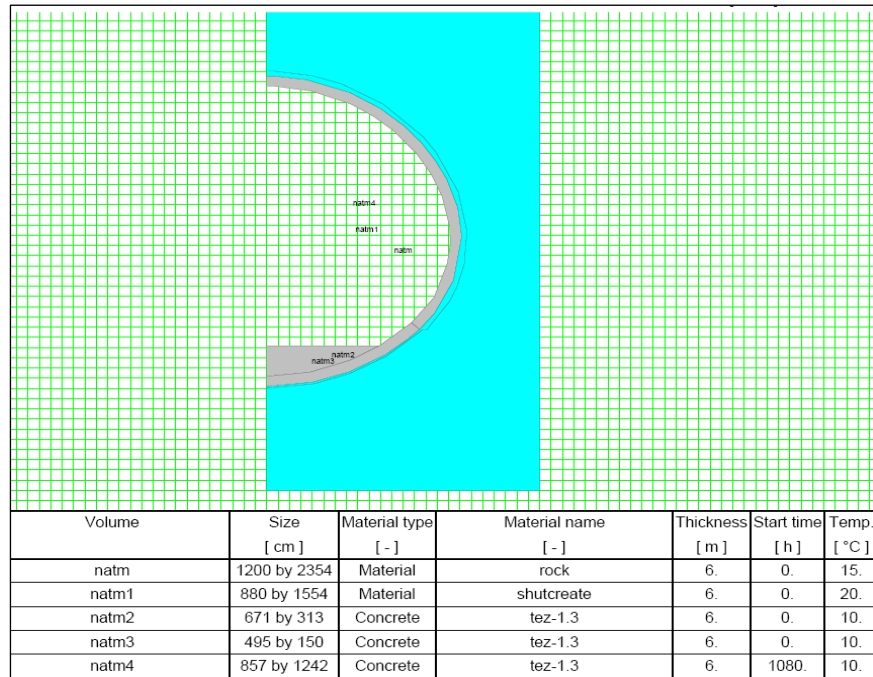
4.1 NATM Modeli

Tünel açma yöntemlerinden en yaygın olarak uygulanan NATM (Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu) klasik metotla tünel açma tekniklerinin en uygun ve esnek olanı, en optimum destek ve kazı yöntemlerinin uygulanabildiği tünelcilik anlayışıdır. NATM tünel güzergahı boyunca yapılan zemin etütleri ile topografya,

derinlik ve inşa edilecek tünel geometrisine bağlı olarak prensipte tünel inşaat detayları belirlenir. Bununla beraber uygulama sırasında zemin gözlemleri ve deformasyon ölçümlerinden elde edilen sonuçlara göre uygulamaya ilişkin kazı destek ve kullanılacak inşa tipi ile kullanılacak ekipman yeniden gözden geçirilerek daha uygun hale getirilir. Bunun sonucunda tünellerde gerektiği kadar destekleme kullanılarak iyi bir zamanlama ve optimum maliyetle gerek duyulduğu ölçüde yapı emniyeti sağlanır [46].

NATM tünel metodu uygulamalarında kazının yapılmasının ardından beton döküm işlemi başlamaktadır. İlk aşamada yüzeyi düzeltmek ve iksaların oturmasını sağlamak amacı ile “püskürtme beton” işlemi uygulanır. İkinci aşamada ise tünelin alt kısmında yer alacak “kütle beton” işlemi ve hemen ardından tünel halkasının oluşturacak olan yapının betonu dökülür. Bu işlem tünelin açıldığı alanda uygulandığı için çevre şartları o anki durumları içermektedir.

NATM modeli yerin 40m altında olan yerinde döküm yapılan bir yapı olarak tasarlanmıştır. Invert ve kemer olmak üzere iki parçadan oluşmuştur. İlk aşamada invert kısmının betonu dökülmekte olup ikinci aşamada kemer kısmının betonu dökülmektedir. İlk beton döküm zamanı “0” olarak tanımlanmakta olup iki kademeli dökümdür. İkinci beton döküm zamanı ilk beton dökümünden “1080” saat sonraki süredir. Şekil 4.1’ de yapıya ait simülasyon ve döküm zamanları görülmektedir.



Şekil 4.1: NATM modeline ait simülasyon örneği

Yerin 40m altında üretim olduğu için beton kür koşulları ve çevre koşullarının değerlendirilmesinde bu faktör dikkate alınmıştır. İnvert bölümünde iki kademeli döküm söz konusu olduğundan ilk kademede (invert bölümünün alt kısmı) 16 saat süre ile kalıp kullanılmış olup ikinci kademede kullanılmamıştır. Kemer bölümünde ise 16 saat süre ile kalıp kullanılmıştır. Similasyonda gerçek şartlara uygun olarak yapının temas ettiği kaya zeminde tanımlanmıştır. Ayrıca, zemin ile beton arasında olan püskürtme betonu da tanımlanmıştır.

NATM modelinde üç farklı beton karışım tasarımı ve her tasarımda farklı özellikler kullanılarak en uygun beton elde edilmeye çalışılmıştır. Bu betonlar BK-1, BK-1.1, BK-1.2, BK-1.3, BK-1.4, BK-2, BK-2.1, BK-2.2, BK-2.3, BK-2.4, BK-2.5, BK-3 olarak isimlendirilmiştir. Analizler bu betonlar kullanılarak yapılmış olup bu modellemeye ait 12 adet (analiz-1~analiz-1.4, analiz-2~analiz-2.5 ve analiz-3) analiz yapılmıştır. Tablo 4.1’ de kullanılan betonların bileşimleri verilmiştir. Tablo 4.2’ de ise beton karışım oranlarının değiştirilen özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.1: NATM modelinde kullanılan beton karışımları

		BETON ÖZELLİKLERİ-1		
		BK-1/BK-1.1/BK-1.2 BK-1.3/BK-1.4	BK-2/BK-2.1/BK-2.2 /BK-2.3/BK-2.4 BK-2.5	BK-3
Çimento	(kg/m3)	275	450	375
Kum	(kg/m3)	647	543	461
Kırmataş	(kg/m3)	284	474	367
İri Agrega-1	(kg/m3)	487	480	445
İri Agrega-2	(kg/m3)	486	384	557
Su	(kg/m3)	122	139	142.5
Uçucu Kül	(kg/m3)	50	-	-
Mikrosilika	(kg/m3)	14.5	-	-
Akışkanlaştırıcı	(kg/m3)	4.8	3.8	3.3
Hava Sürükleyici	(kg/m3)	0.5	-	0.2
Beton Başlangıç sıcaklığı	(°C)	10	15	15

NATM modelinde farklı beton ve özellikleri, çevre ve kür koşulları kullanılmıştır. Tüm NATM modellerinde 1800 saatlik analiz yapılmıştır ve 0-1800 saatleri arasında sıcaklık değeri 20°C, rüzgar hızı 0.5 m/sn olarak tanımlanmıştır. 0-16 saatleri arasında invert betonunun kemer bölümü ile birleştiği ilk parçasında çelik kalıp kullanılmış olup, 1080-1096 saatleri arasında kemer bölümü çelik kalıp içerisinde bulunmaktadır.

Tablo 4.2: Beton karışımlarında değiştirilen özellikler

BETON ÖZELLİKLERİ - 1-A					
BETON KARIŞIMI	ISIL İLETKENLİK	AKTİVASYON ENERJİSİ-1	AKTİVASYON ENERJİSİ-2	ISIL GENLEŞME KATSAYISI	POİSSON ORANI
-	kj/m/h/°C	j/mol	j/mol/°C	1/°C	-
BK-1	8	33.500	1.470	$7,90 \times 10^{-6}$	0,17
BK-1.1	8	34.007	988	$7,00 \times 10^{-6}$	0,17
BK-1.2	12	33.500	1.470	$7,90 \times 10^{-6}$	0,17
BK-1.3	12	34.007	988	$7,90 \times 10^{-6}$	0,17
BK-1.4	8	33.500	1.470	$7,90 \times 10^{-6}$	0,17
BK-2	12	33.582,3	501	$7,59 \times 10^{-6}$	0,17
BK-2.1	8	33.582,3	501	$7,59 \times 10^{-6}$	0,17
BK-2.2	8	33.582,3	501	$7,59 \times 10^{-6}$	0,17
BK-2.3	12	33.582,3	501	$7,59 \times 10^{-6}$	0,17
BK-2.4	12	33.582,3	501	$7,59 \times 10^{-6}$	0,17
BK-2.5	12	33.582,3	501	$8,59 \times 10^{-6}$	0,17
BK-3	8	46.021	1.708	$7,00 \times 10^{-6}$	0,17

4.2 TBM Modeli

TBM tünel açma teknolojisinde son zamanlarda çok önemli teknik gelişmeler kaydedilmiştir. Sistem; inşa edilmesi tasarlanan boyutta dairesel bir silindirik formu olan ring içerisinde tünel yapımı için gerekli teknolojiyi barındıran bir tünel yapım makinasıdır. TBM makinalarının tasarımı; tünel iç kaplama cinsi, zemin ve proje koşullarına göre belirlenmektedir.

Sistemin baş kısmında kazılması planlanan zemin koşullarına göre tasarlanmış bir kazıcı kafa ile kazılan malzemenin dışarıya taşınmasını sağlayan bir sistem mevcuttur. Makinanın silindirik formu kazılan zemini ayakta tutarak zemin stabilitesini korur. Kazıcı kafanın ilerlemesi ile ön kısmın stabilitesi de hemen gerisindeki çok sayıda piston aracılığı ile yerleştirilen segmentlere basarak ve kötü zemin koşulları için tasarlanmış ise ayna basıncı uygulayarak sağlanır. Lojistik lokomotif aracılığı ile içeri taşınan segment parçaları makinanın erektör sistemi ile kazısı tamamlanan bölümde yerleştirilir. Bu arada sistemin tüm mekanik parametrelerini gösteren bir bilgisayar ile makinanın yeraltında yönlendirme ve iç kaplama yerleşiminin yönetildiği bir ölçme bilgisayarı mevcuttur.

TBM tünel açma metodunda, anlatıldığı üzere her bir tünel halkasını oluşturmak için segmentler kullanılmaktadır. Bu segmentlerin üretimi tünelin açıldığı alandan bağımsız bir alanda yapılmakta olup, her yapılan parça açılan tünele montajı

yapılmak üzere şantiyeye götürülür. Buradan da anlaşıldığı gibi TBM tünel açma yönteminde kullanılan betonun çevre özellikleri ve kür koşullarında şantiyenin değil betonun yapıldığı ve döküldüğü alanın özellikleri önemlidir.

TBM’i oluşturan herbir parça kürünü tamamladıktan sonra montaj edileceği alana götürülecektir. Bu nedenle üretim ve sonrasındaki aşamalar üretim yerindeki koşullara bağlı olarak değerlendirilmektedir. Segmentler tek aşamalı döküm ile elde edilmiştir. Segmentler için çelik kalıp kullanılmış olup dört tarafı kapalıdır. Beton dökümü tamamlandıktan sonra betonun üst yüzeyi, pürüzlülüğün sağlanması için 1 saat boyunca çelik kalıp kullanılarak kapatılmaktadır. Beton döküm zamanı “0.” saatte başladığı için üst yüzeyde kullanılan kalıp 0-1 saatleri arasında ve yapıda kullanılan kalıplar 0-7 saatleri arasında uygulanmıştır.

TBM modelinde de farklı beton karışımları ve bu karışımlara ait farklı özellikler denenerek en uygun özelliklere ait beton elde edilmeye çalışılmıştır. Tablo 4.3’ de beton karışımları ve Tablo 4.4’ de karışımlara ait farklı özellikler verilmiştir.

Tablo 4.3: TBM modelinde kullanılan beton karışımları

		BETON ÖZELLİKLERİ-2	
		BK-4/BK-4.1/BK-4.2	BK-5
Çimento	(kg/m3)	450	450
Kum	(kg/m3)	543	539
Kırmataş	(kg/m3)	474	474
İri Agrega-1	(kg/m3)	480	479
İri Agrega-2	(kg/m3)	384	380
Su	(kg/m3)	139	139,2
Uçucu Kül	(kg/m3)	-	-
Mikrosilika	(kg/m3)	-	-
Akışkanlaştırıcı	(kg/m3)	3,4	3,8
Hava Sürükleyici	(kg/m3)	-	-

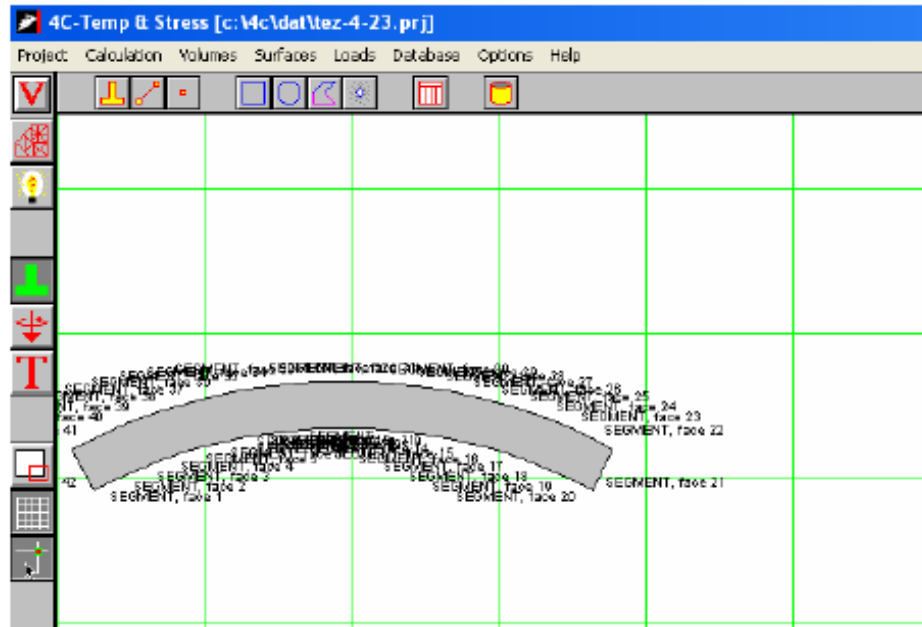
Çevre ve kür koşulları içinde farklı seçenekler denenmiştir. Bu seçenekler mevsimsel değişimlerle değişiklik gösteren hava sıcaklıkları ve kür koşulları üzerinde yapılmıştır. Uygulamada TBM’ e ait segmentlerin kısa zaman içerisinde montaja hazır duruma gelmesi gerektiğinden buhar kürü uygulamaları yapılmaktadır. Çalışmada bu prosedüre uygun olarak Tablo A.1 ~ Tablo A.38’ de belirtildiği gibi sıcaklık değerleri, rüzgar hızları ve örtü koşulları verilmiştir.

Kullanılan analiz programının doğruluğunu desteklemek amacı ile tahmin edilen değerler ile yapılan analizlerin haricinde gerçek ölçümler ile yapılan değerlerle de

analizler yapılmıştır ve bu analizlerin değerlerini Tablo A.1 ~ Tablo A.38’ de görmek mümkündür.

Tablo 4.4: Beton karışımlarında değiştirilen özellikler

BETON ÖZELİKLERİ - 2-A					
BETON KARIŞIMI	ISIL İLETKENLİK	AKTİVASYON ENERJİSİ-1	AKTİVASYON ENERJİSİ-2	ISIL GENLEŞME KATSAYISI	POISSON ORANI
-	$\text{kJ/m/h/}^{\circ}\text{C}$	J/mol	$\text{J/mol/}^{\circ}\text{C}$	$1/^{\circ}\text{C}$	-
BK-4	8	33582,3	501	$7,59 \times 10^{-6}$	0,17
BK-4.1	12	33582,3	501	$7,59 \times 10^{-6}$	0,17
BK-4.2	12	33582,3	501	$8,50 \times 10^{-6}$	0,17
BK-5	12	33582,3	501	$4,91 \times 10^{-6}$	0,17



Şekil 4.2: TBM modeline ait simülasyon

5. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Beton yapılarının en büyük problemlerinden biri olan d rabilitenin azalmasına ve betonun ömrünü azaltan başlıca neden çatlakların oluşması olarak değerlendirilebilir. Zira  atlak oluşumu ile betonun içine nüfuz etmesi mümkün olan su, klor, oksijen gibi maddeler, betonun dayanıklılığını düşürmeye ve betonarme yapılarda kalan dayanımının düşmesine neden olmaktadır.

Yapılan çalışmada sıcaklık nedenli olarak çatlak risk değerlendirilmesi yapılmıştır ve bu değerlendirme yapılırken farklı beton karışımları kullanılıp, özelliklerinde de yapılan değişimlerin sıcaklık ve çatlak riskini nasıl etkilediği incelenmiştir. Analiz programı içerisinde farklı beton karışımlarının ve özelliklerinin değerlendirilmesi yanında,  evre ve k r koşullarındaki değişiklikler de dikkate alınmaktadır. Böylece her koşul düşünülerek yapı bir bütün olarak ele alınmaktadır

Hazırlanmış olan iki modelde kullanılan veriler ve sonuçlar aşağıda incelenmiş olup, değerlendirmeler yapılmıştır.

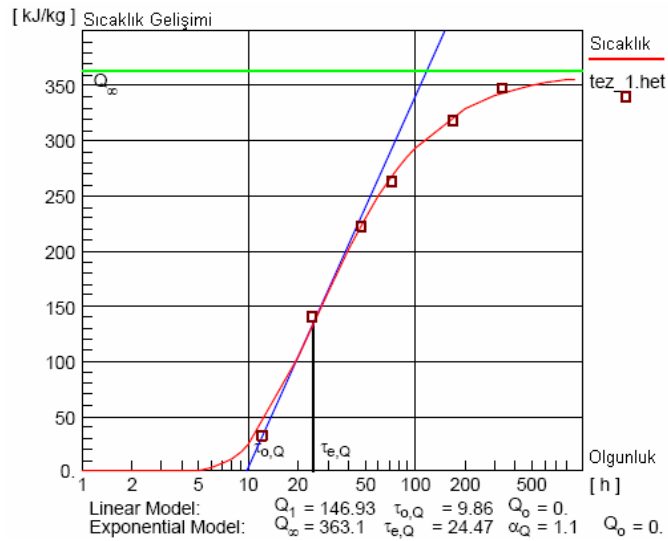
Yapılan çalışmadaki modellerden biri olan NATM modeline ait analizlerde  evre ve k r koşullarında değişiklikler yapılmamıştır. Ortam sıcaklığı her analizde 20 C olarak alınmıştır. Ancak farklı beton tasarımları ve özellikleri denenmiştir. Farklı beton karışımları ve bu karışımlara ait farklı özellikler kullanılarak (ısıl iletkenlik, aktivasyon enerjisi, ısı gelişimi, elastisite modülü ve ısıl genleşme katsayısı, s nme ve rötre) betonun sıcaklık ve çatlak risk gelişimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bütün bu koşullar sonucunda elde edilen sıcaklık grafikleri şekil B.1~ şekil B.12 arasında ve çatlak risk grafikleri şekil C.1 ~ şekil C.12 arasında görülmektedir. Ayrıca Tablo 5.1' de de grafiklere ait değerler verilmektedir. Buna göre;

- BK-1 betonu ile BK-1.1 betonunda bütün özellikler benzer iken, aktivasyon enerjilerinde ve ısıl genleşme katsayılarında değişiklik yapılmıştır. Ancak beton karışımlarının başlangıç sıcaklıklarının aynı olmasından dolayı

aktivasyon enerjisindeki değişim etkili olmaz ilke ısı genleşme değerindeki azalma çatlak riskini düşürürken sıcaklığı etkilememiştir.

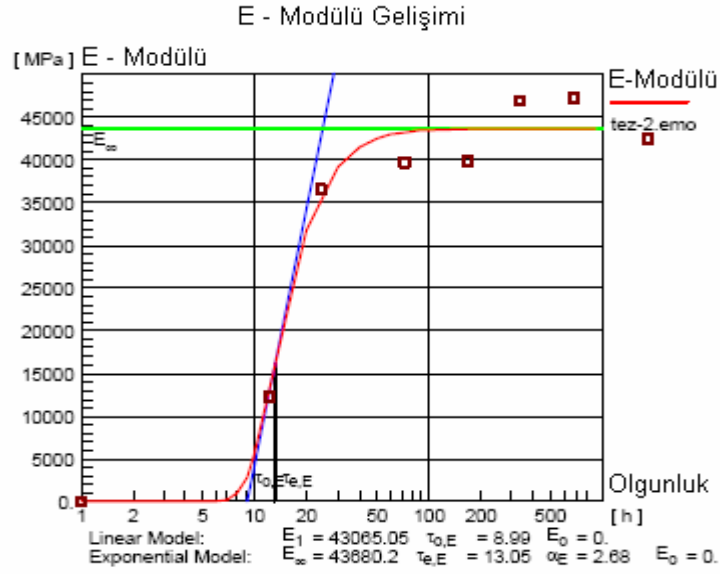
Analiz-2.5 de Analiz-2 ye göre ısı genleşme değeri artmıştır.Buna göre; çatlak riski artmıştır.Analiz 2 de çatlak riski 1.46,Analiz 2.5 de çatlak riski 1.60 dır.

- Analiz 1 ve Analiz 1.2 de; Analiz 2 ve Analiz 2.1 de kullanılan beton aynı özelliklere sahip olmasına rağmen ısı iletkenlik değeri değiştirilmiştir. Isı iletkenlikteki artış betonun maksimum sıcaklığını ve çatlak riskini düşürmüştür. Analiz 1 de sıcaklık 43.9, çatlak riski 1.37 iken; Analiz 1.2 de sıcaklık 42.6, çatlak riski 1.33 değerindedir.
- Analiz 1.4' de ısı gelişim değeri analiz 1' e göre daha düşüktür. Analiz 1' de maksimum sıcaklık 43.9, Analiz 1. 4' de ise 40.1 olmuştur. Ancak çatlak riski 1.37'den 1.54' e çıkmıştır. Analiz 1.4' ün ısı gelişim değeri analiz 1' e göre daha hızlı artış göstermektedir.



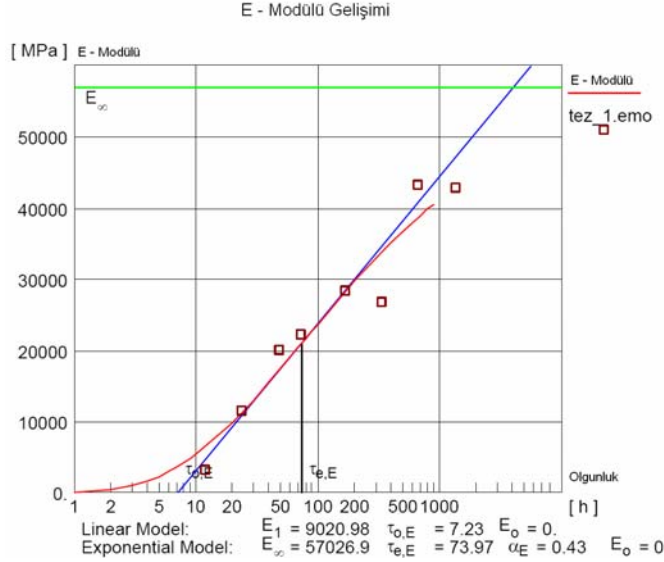
Şekil 5.1 : BK-1 betonuna ait ısı gelişim grafiği

-
- Linear Model: $Q_1 = 115.94$ $t_{e,Q} = 4.84$ $Q_0 = 0$
 Exponential Model: $Q_\infty = 324.9$ $t_{e,Q} = 13.57$ $\alpha_Q = 0.97$ $Q_0 = 0$



Şekil 5.3 : Analiz 2' ye ait elastisite modülü grafiği

Elastisite modülü değerinde de, ısı gelişim değerinde olduğu gibi değerdeki artışın şekli yapının çatlak riskini etkilemektedir. Şekil 5.3' de ve Şekil 5.4' de kullanılan beton karışımlarının elastisite modülü değerlerine ait grafikler gösterilmektedir.

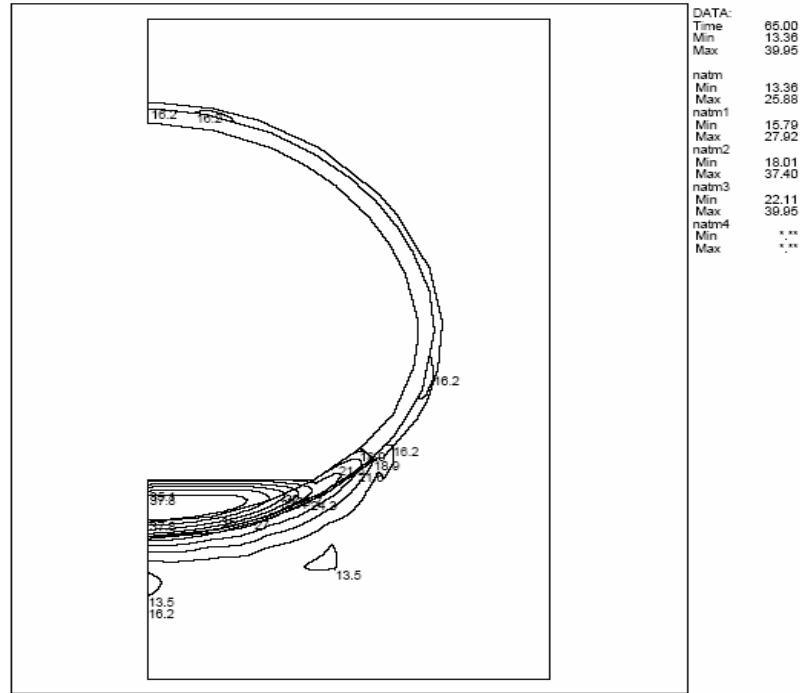


Şekil 5.4 : Analiz 2.4' e ait elastisite modülü grafiği

- Beton özelliklerinde yapılan bazı değişiklikler sonucunda, oluşan sıcaklık ve çatlak riskindeki değişimler BK-1 ve BK-2 betonlarında incelendi. Öte yandan farklı bir karışım olan BK-3 karışımında da çatlak riski ve sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Farklı beton karışımlarında ve özelliklerinde betonda oluşan sıcaklık ve çatlak riskinin oluştuğu olgunluk zamanında

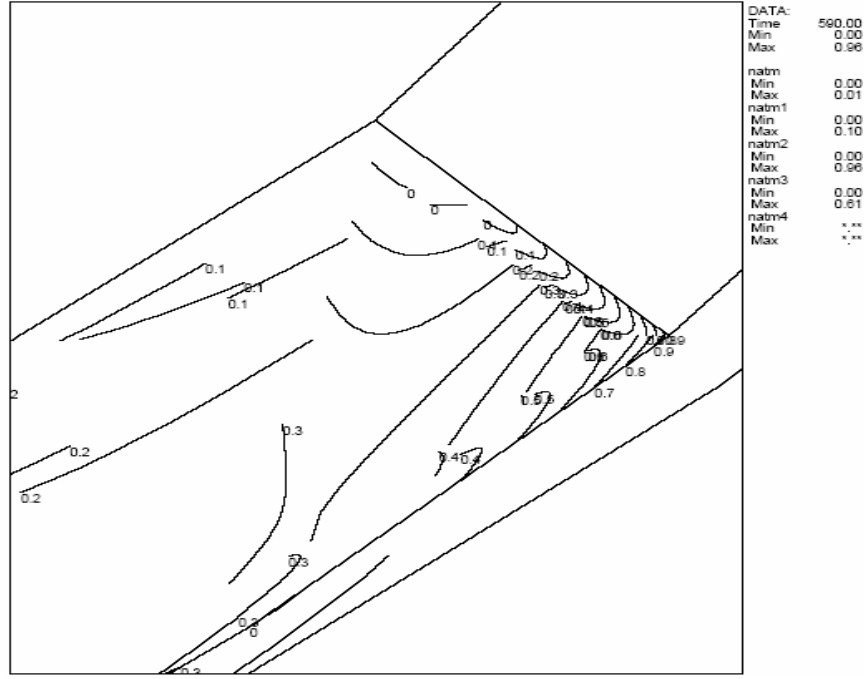
değişim gözlenmektedir. Mekanik özelliklerin birçoğunda yapılan değişiklikler sonucunda böyle bir etki gözlenmez iken beton tasarımlarındaki değişim ve rötre sünme değerlerindeki farklılıklar etkili olmaktadır.

- Bütün beton karışımları ve özelliklerinden elde edilen sonuçların farklı olmasına rağmen, maksimum sıcaklığın ve çatlak riskinin yapıda gösterdiği dağılım her karışım için aynı olmaktadır. Buna göre sıcaklık ve çatlak dağılımları aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Şekil 5.5’ de görüldüğü gibi NATM modelinde sıcaklığın en yüksek olduğu bölge “invert” adı verilen tabandaki kütle beton yapının merkezinde oluşmaktadır. Farklı beton karışımlarında maksimum sıcaklığın oluştuğu zaman değişse dahi, oluştuğu yer her karışım için aynıdır.



Şekil 5.5: NATM modelinde sıcaklık dağılımı

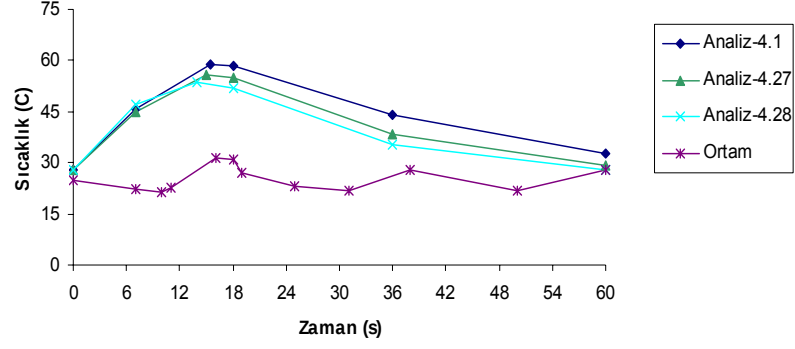
Sıcaklık dağılımında olduğu gibi çatlak riski de farklı karışımlar için farklı değerler ile Şekil 5.6’ da görüldüğü gibi aynı dağılımı göstermektedir. Çatlak riskinin en büyük olduğu bölge NATM tünel metodunda derzin olduğu bölgede gözlenmektedir.



Şekil 5.6: NATM modelinde sıcaklık dağılımı

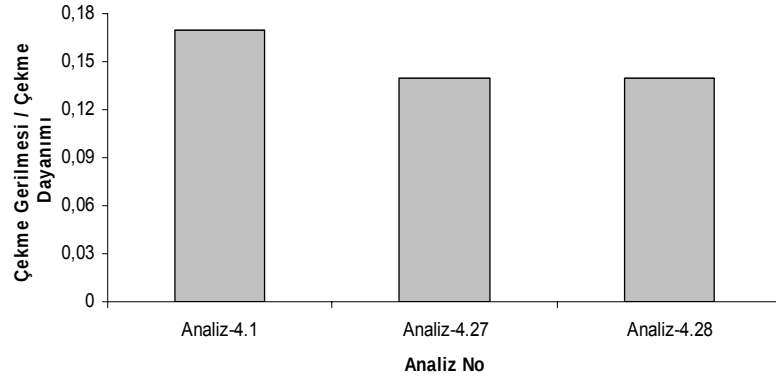
Çalışmanın diğer bir modeli olan TBM’ de ise farklı çevre koşulları ve farklı beton özellikleri ile analizler yapılmıştır. Tek dökümle yapılan her bir TBM parçası için buhar kürü ve normal ortam koşullarında kür uygulanmıştır. Analizlerde rüzgar hızının, ortam sıcaklığının, normal kürün ve buhar kürünün, örtü kullanımının etkileri incelenmiştir. Tablo 5.1.1’ de analiz sonuçları özet olarak verilmektedir. Ayrıca TBM modeli için yapılan her analize ait sıcaklık grafikleri Şekil B.13 ~ Şekil B.50 arasında, çatlak risk grafikleri ise Şekil C.13 ~ Şekil C.50 arasında verilmektedir.

- **Rüzgar etkisi:** Normal kür ve buhar kürünün uygulandığı durumlarda, beton farklı rüzgar hızlarının olduğu ortamlarda bırakılmıştır ve sıcaklık artışı ile çatlak risklerindeki değişim gözlenmiştir. Aşağıda verilmiş olan grafiklerde farklı rüzgar hızlarına maruz bırakılan betonların sıcaklık ve çatlak risk grafikleri verilmiştir.
1. Aynı ortam sıcaklığında ve aynı tasarım özelliklerine sahip betonlar farklı rüzgar hızlarında bırakıldığı durumlarda, rüzgarın fazla olduğu ortam şartlarında bulunan betonda maksimum sıcaklık, rüzgar hızının düşük olduğu ortamlardaki betonlara nazaran daha düşüktür.



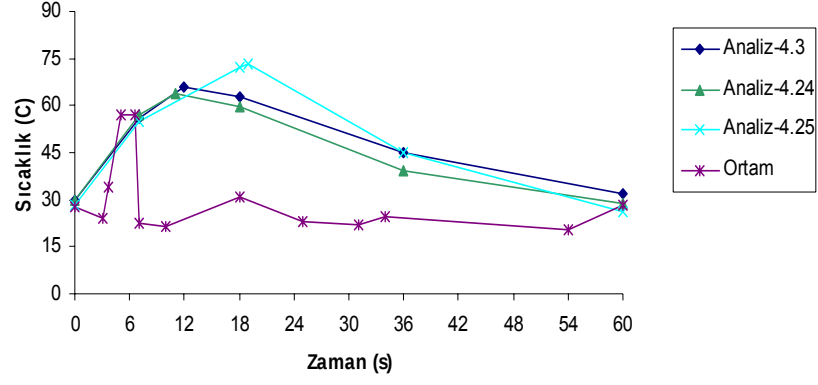
Şekil 5.7: TBM modelinde kullanılan çevre koşullarında rüzgar hızının etkisi-1

Analiz-4.1 de rüzgar hızı 0 m/s, Analiz-4.27’ de 0.5m/s, Analiz-4.28’ de ise 1m/s olarak ölçülmüştür. Aynı özelliklere sahip betonlar ile yapılan bu analizlerde normal kür koşulları uygulanmıştır. Sonuç olarak Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 ‘ de görüldüğü gibi sıcaklık ve çatlak risk değerlerinde düşme gözlenmiştir.



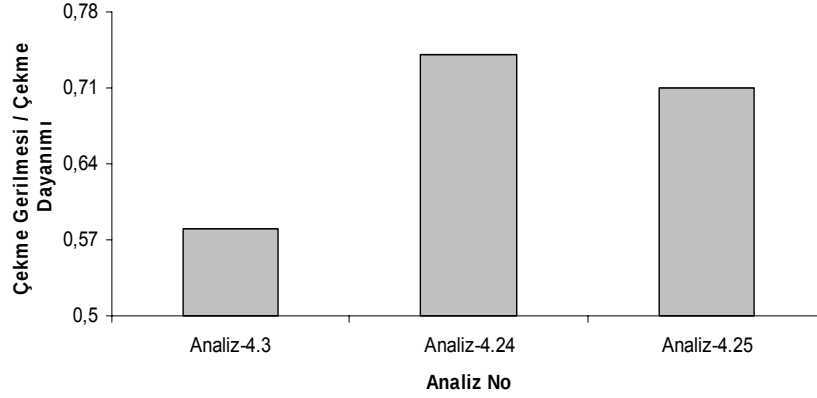
Şekil 5.8: Rüzgar hızının çatlak riski üzerindeki etkisi-1

2. Aynı ortam sıcaklığına ve aynı tasarım özelliklerine sahip olan betonların buhar küründe maksimum sıcaklık değerlerini ve çatlak risklerini değerlendirmek için rüzgar etkisi gözlemlenmiştir. Normal kür uygulandığı durumlardaki gibi rüzgar hızının en yüksek değerde olduğu çevre koşulunda bulunan betonun sıcaklığı diğerlerine göre daha düşüktür.



Şekil 5.9: TBM modelinde kullanılan çevre koşullarında rüzgar hızının etkisi-2

Analiz-4.3 de rüzgar hızı 0 m/s, Analiz-4.24’ de 0.5 m/s ve Analiz-4.25’ de 36. saate kadar rüzgar hızı 0.5 m/s, sonrasında ise 2.5 m/s’ dir. Ayrıca Analiz-4.25’ de 7.-18. saatleri arasında betonun üzerine örtü serilmiştir. Bütün bu çevre koşulları değerlendirildiğinde Şekil 5.9’ da görüldüğü gibi en yüksek sıcaklık değeri örtü kullanılması nedeniyle sıcaklığın dağılmasının engellendiği Analiz-4.25’ de gözlenmektedir. Öte yandan Analiz-4.24 de oluşan sıcaklık rüzgar etkisi nedeni ile Analiz-4.3’ den daha düşüktür.

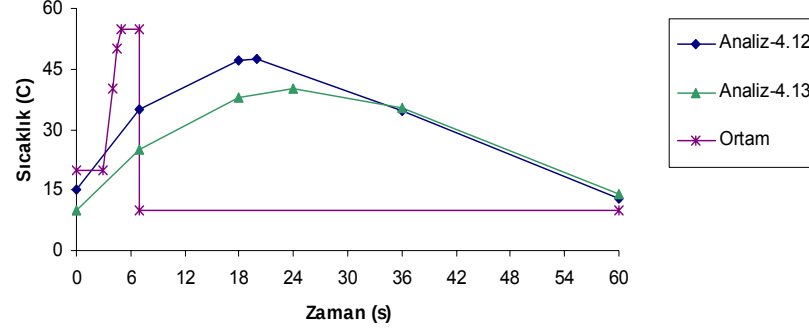


Şekil 5.10: Rüzgar hızının çatlak riski üzerindeki etkisi-2

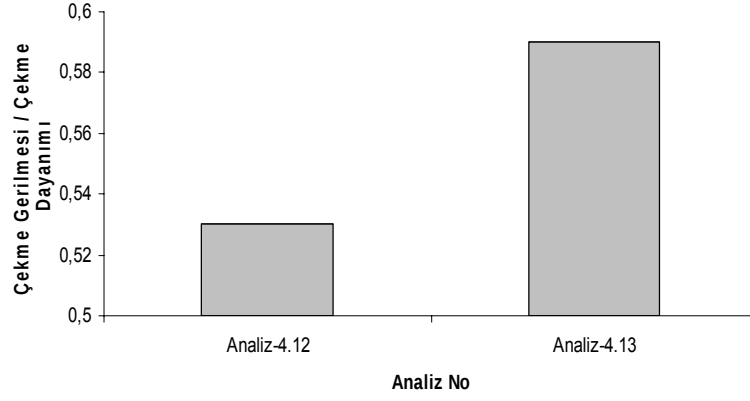
Çatlak risklerindeki gelişim ise normal küre göre farklılık göstermektedir. Buhar kürünün uygulanmasından dolayı, rüzgar betonu soğutarak sıcaklığını düşürmüş olsa da çatlak riskini arttırmaktadır.

3. Farklı başlangıç sıcaklıklarına sahip olan betonlara aynı rüzgar etkisi uygulanmıştır. Şekil 5.11’ de görüldüğü gibi Analiz-4.12’ de beton başlangıç

sıcaklığı 15°C, Analiz-4.13’de ise 10°C’ dir. Buna göre başlangıç sıcaklığı düşük olan betonun maksimum sıcaklığıda düşüktür.



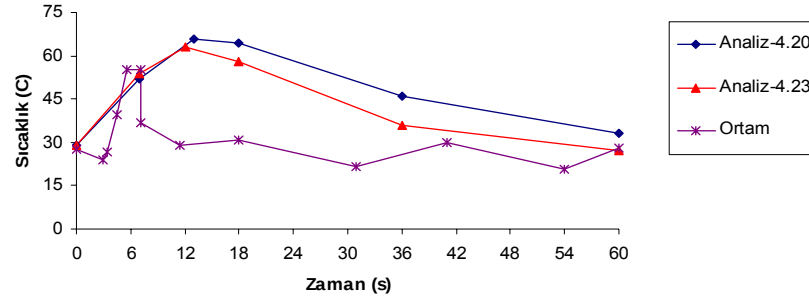
Şekil 5.11: TBM modelinde kullanılan çevre koşullarında rüzgar hızının etkisi-3



Şekil 5.12: Rüzgar hızının çatlak riski üzerindeki etkisi-3

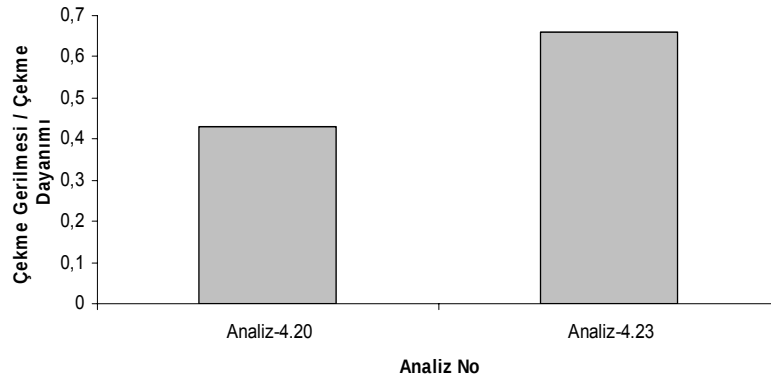
Başlangıç sıcaklık değerinin ortam sıcaklığına göre çok düşük olmasının kötü etkisi ise çatlak riskinin artışı ile ortaya çıkmaktadır.

- Analiz-4.20 ve Analiz4.23 için kullanılan özelliklere bakıldığında aynı ortam sıcaklığında, buhar kürünün uygulandığı, rüzgar hızlarının değiştiği iki aynı özelliklere sahip beton analiz edilmiştir.



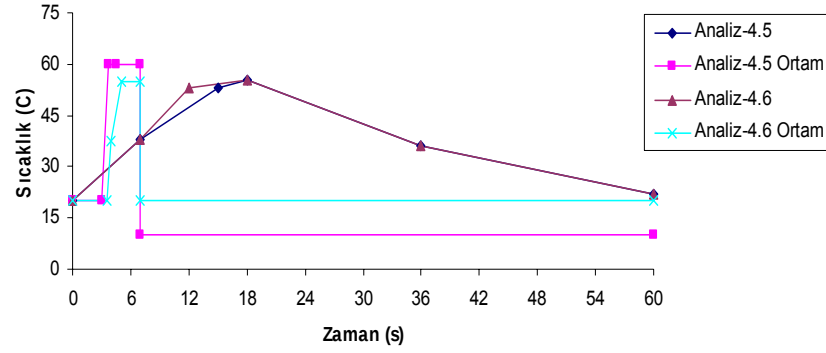
Şekil 5.13: TBM modelinde kullanılan çevre koşullarında rüzgar hızının etkisi-4

Analiz-4.20’ de rüzgar hızı 0 m/s iken Analiz-4.23’ de 1m/s’ e çıkartılmıştır. Bunun sonucunda Şekil5.13’ de görüldüğü gibi rüzgar hızı artınca betonun maksimum sıcaklığı düşmüştür. Çatlak riski ise buhar kürü uygulandığı için, rüzgar etkisi arttıkça artmıştır. Şekil 5.14’ de görüldüğü gibi rüzgar etkisiyle çatlak riski artmıştır.

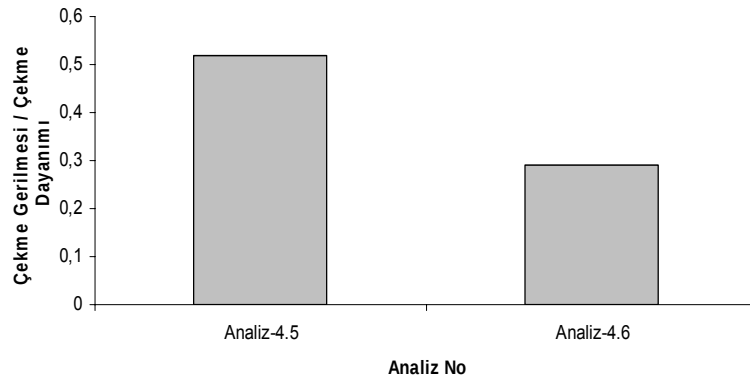


Şekil 5.14: Rüzgar hızının çatlak riski üzerindeki etkisi-4

- **Ortam sıcaklığı:** Aynı beton karışımlarının ortam sıcaklığındaki değişimden nasıl etkilendiğini belirlemek amacı ile beton karışımları farklı ortam sıcaklıklarına maruz bırakılmıştır. Bu ortam sıcaklıkları normal ve buhar kürünün uygulanması yanında mevsimsel sıcaklık farklılıklarını da içermektedir.
1. Aynı beton karışımları farklı ortam sıcaklıklarına bırakıldıklarında hem maksimum sıcaklık değerinde, hem de çatlak riskinde farklılık olmaktadır. Şekil 5.15’ de görüldüğü gibi buhar sıcaklığındaki düşme çatlak riskini düşürmüştür. Ancak buhar sıcaklıklarındaki farklılık Şekil 5.16’ da de görüldüğü gibi sıcaklığı çok etkilememiştir.

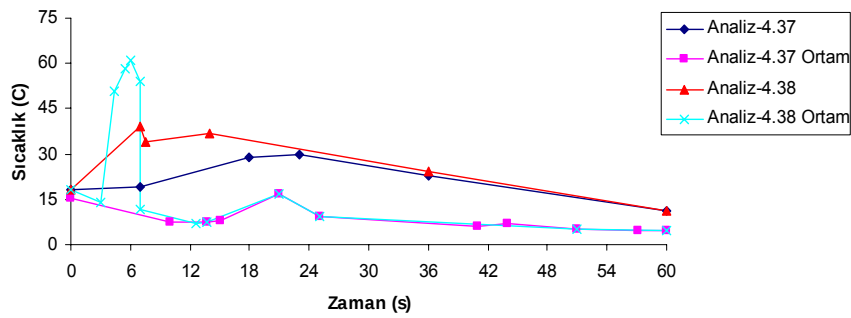


Şekil 5.15: TBM modelinde kullanılan çevre koşullarında ortam sıcaklığı etkisi-1

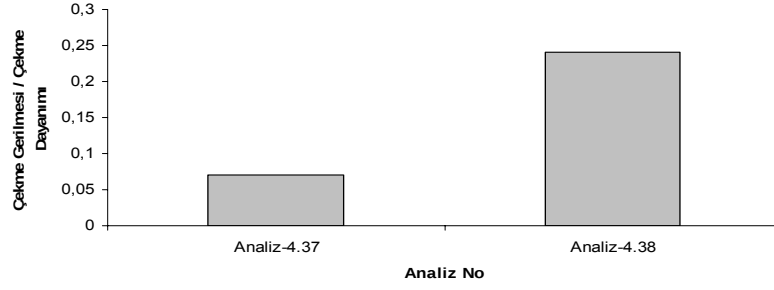


Şekil 5.16: Ortam sıcaklığının çatlak riski üzerindeki etkisi-1

2. Normal kür ve buhar kürü kıyaslandığında, Şekil 5.17' de görüldüğü gibi buhar kürü uygulandığında sıcaklık artışı daha fazla olmaktadır ve buna bağlı olarak da Şekil 5.18' de anlaşılabileceği gibi çatlak riski artmaktadır.

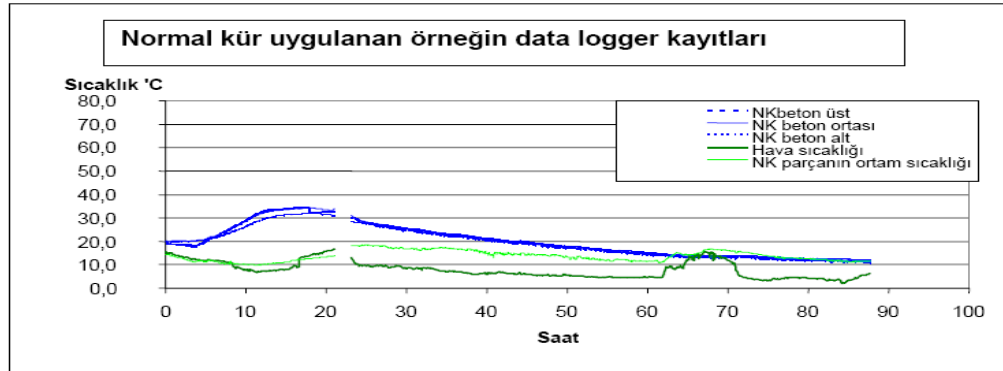


Şekil 5.17: TBM modelinde kullanılan çevre koşullarında ortam sıcaklığı etkisi-2

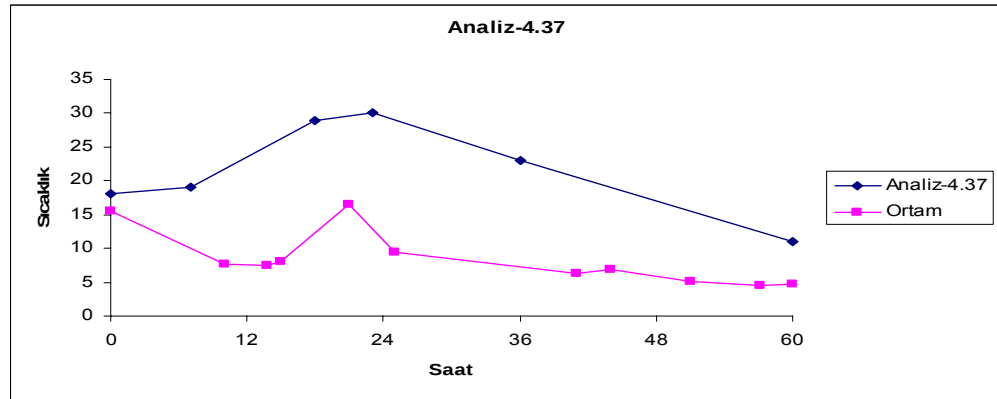


Şekil 5.18: Ortam sıcaklığının çatlak riski üzerindeki etkisi-2

- Yapılan analizler programın doğruluğunu ıspatlamak amacıyla gerçek ölçümler ile kıyaslanmıştır. Gerçek ölçümler analizlerde kullanılan tahmini ortam sıcaklıkları ile yapılmıştır. Şekil 5.19 ve Şekil 5.20' de gerçek ölçümler ile analiz sonuçları kıyaslanmıştır. Gerçek ortam sıcaklık değerlerine yakın değerler kullanılarak yapılmış olan analizde, beton sıcaklığı ölçümlerde elde edilen değerler ile karşılaştırıldığında, analiz sonuçları doğrulanmaktadır.



Şekil 5.19: Normal kür koşullarında yapılan gerçek ölçümler



Şekil 5.20: Normal kür koşullarında yapılan analiz sonuçları

Tablo 5.1: Analiz sonuçları

Analiz- Kodları	Beton Karışımı	Beton Başlangıç sıcaklığı	Sıcaklık Max	Çatlak riski
Analiz-1	BK-1	10	43,90	1,37
Analiz-1.1	BK-1.1	10	44,00	1,28
Analiz-1.2	BK-1.2	10	42,60	1,33
Analiz-1.3	BK-1.3	10	42,60	1,33
Analiz-1.4	BK-1.4	10	40,10	1,54
Analiz-2	BK-2	15	64,60	1,46
Analiz-2.1	BK-2.1	15	60,62	1,45
Analiz-2.2	BK-2.2	15	70,16	1,18
Analiz-2.3	BK-2.3	15	69,92	1,18
Analiz-2.4	BK-2.4	15	64,30	1,16
Analiz-2.5	BK-2.5	15	64,28	1,60
Analiz-3	BK-3	15	48,20	0,97
Analiz-4.1	BK-4	28	58,90	0,17
Analiz-4.2	BK-4.1	28	54,00	0,13
Analiz-4.3	BK-4	30	66,00	0,58
Analiz-4.4	BK-4.1	30	63,00	0,56
Analiz-4.5	BK-4.1	20	57,30	0,52
Analiz-4.6	BK-4.1	20	55,30	0,29
Analiz-4.7	BK-4.1	20	57,20	0,52
Analiz-4.8	BK-4.2	15	50,30	0,61
Analiz-4.9	BK-4.1	30	62,80	0,49
Analiz-4.10	BK-4.1	25	56,70	0,47
Analiz-4.11	BK-4.2	20	59,90	0,46
Analiz-4.12	BK-4.2	15	47,90	0,53
Analiz-4.13	BK-4.2	10	40,10	0,59
Analiz-4.14	BK-4.1	30	57,50	0,15
Analiz-4.15	BK-4.1	25	51,50	0,12
Analiz-4.16	BK-4.2	20	43,70	0,27
Analiz-4.17	BK-4.1	15	32,90	0,08
Analiz-4.18	BK-4.2	10	27,00	0,29
Analiz-4.19	BK-4	20	61,80	0,46
Analiz-4.20	BK-4	29	65,70	0,43
Analiz-4.21	BK-4	29	65,80	0,42
Analiz-4.22	BK-4	29	64,10	0,55
Analiz-4.23	BK-4	29	63,00	0,66
Analiz-4.24	BK-4	30	64,00	0,74
Analiz-4.25	BK-4	28	73,00	0,71
Analiz-4.26	BK-4	28	59,20	0,14
Analiz-4.27	BK-4	28	56,00	0,14
Analiz-4.28	BK-4	28	53,50	0,14
Analiz-4.29	BK-4	28	55,60	0,17
Analiz-4.30	BK-4	28	62,00	0,53
Analiz-4.31	BK-4.1	30	61,70	0,42
Analiz-4.32	BK-4.1	30	60,80	0,36
Analiz-4.33	BK-4.1	30	59,90	0,29
Analiz-4.34	BK-4.1	30	59,00	0,22
Analiz-4.35	BK-4.1	20	72,10	0,40
Analiz-4.36	BK-4.1	20	65,00	0,39
Analiz-4.37	BK-5	18	30,00	0,07
Analiz-4.38	BK-5	18	39,80	0,24

6. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Isı gelişim değerindeki düşme betonun maksimum sıcaklığının düşmesini sağlamaktadır. Ancak, ısı gelişim garfığının artışı çatlak riski üzerinde etkilidir. Isı gelişim değeri düşük olsa dahi, ısı gelişiminin grafiği çatlak riski üzerinde etkilidir.
- Aktivasyon enerjisi betonun başlangıç sıcaklığına göre belirlenmelidir. analizlerde kullanılırken beton sıcaklığının 20°C' den düşük ya da büyük olmasına göre aktivasyon enerjisi değeri belirlenmelidir.
- Isıl iletkenlik değerindeki artış, maksimum sıcaklığı ve çatlak risk değerini düşürmektedir.
- Elastisite modülü değeri sıcaklığı etkilememektedir. Ancak çatlak riski üzerinde doğru orantılı olarak etkilidir.
- Isı gelişimi düşük değerli ani artış göstermeyen bir doğru olduğunda sıcaklık ve çatlak riskinde düşme gözlenmektedir. Ancak, elastisite modülü değerindeki düşme çatlak riskini düşürmektedir.
- Farklı iki beton tasarımının aynı şartlardaki sıcaklık ve çatlak risk değerlerindeki zamana bağlı artış farklılık göstermektedir.
- Çatlak riski en kritik bölgede özellikle derz bölgelerinde meydana gelmektedir.
- Sıcaklık değeri ilk 30 saat içinde maksimum olmaktadır.
- Normal hava koşullarında rüzgar hızındaki artış sıcaklığı ve çatlak riskini düşürmektedir.
- Buhar kürünün uygulanması durumunda betona rüzgarlı bir ortamda küre devam ettirilirse maksimum sıcaklık değeri düşse dahi çatlak riskinin arttığı gözlenmiştir.

- Buhar kürü değerindeki düşme çatlak riskini düşürmektedir.
- Normal kür uygulandığı durumlarda maksimum beton sıcaklığı ve çatlak riski, buhar kürü uygulandığı durumlara göre daha düşüktür.
- Yapılmış olan gerçek ölçüm ile analizlerin kıyaslamasından elde edilen sonuçlarda görölmüşdür ki, analiz sonuçları tutarlılık göstermektedir. Böylece kullandığımız programın sonuçlarının gerçeği yansıttığı ıspatlanmıştır. Gerçek ölçümlerde yalnızca beton sıcaklık değerinde ölçüm yapılabilmektedir ve buna göre analiz sonuçlarındaki tutarlılık, çatlak riski sonuçları için de analiz programına güvenilebileceğinin bir kanıtıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Akman, M.S.** 1990. Yapı Malzemeleri, II, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [2] **Ramachandran, V.S. and Beaudoin, J.J.**, 2001. Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology, New York.
- [3] **Thurston, S.J., Priestley, M.J.M., Cooke**, 1980. No Thermal Analysis of Thick Concrete Sections, *Journal of A.C.I.*
- [4] **Harrison, T.A.**, 1981. Early Age Thermal Crack Control in Concrete. Construction Industry Rese Arch and Information Report 91.
- [5] **Pedersen, E.S. and Spange, H.**, 1997. Control of Early age Craking in Concrete, HETEK Main report, Denmark.
- [6] **Ravina, D., Shalon, R.**, 1968. Plastic Shrinkage Cracking, *A.C.I. Journal*, Proceedings V. 65, No.4, 282-291.
- [7] **Akman, S.**, 1984. Beton Yapılarda Çatlaklar, D.S.İ. Beton Semineri, D.S.İ. Basım ve Foto-Film İşletme Müd. Matbaası, Ankara.
- [8] **Taşdemir, M.A.**, 2002. Betonun Dayanım ve Dürabiliteye Göre Tasarımı ve Üretimi, İMO İstanbul Şubesi, Sürekli Eğitim Seminerleri, İstanbul.
- [9] **Lerch, W.**, 1957. Plastic Shrinkage, *A.C.I. Journal*, Proceedings V. 53, No.8, 797-802.
- [10] **Neville, A.M.**, 1975. Properties of Concrete, Pitman Publishing, London.
- [11] **Grzybowski, M.**, 1989. Determination of Crack Arresting Properties of Fiber Reinforced Cementitious Composites, Department of Structural Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, TRITA/BRO-89/008
- [12] **Bentur**, 2003. Early Age Cracking in Cementitious Systems: Report of RILEM Technical Committee181-EAS, Early Age Shrinkage Induced Stresses and Cracking in Cementitious Systems, RILEM Publications, Bagneux, France.
- [13] **Neville, A.M., Brooks, J.J.**, 1987. Concrete Technology, Longman.
- [14] **A.C.I. Committee 305**, 1977. Hot Weather Concreting, *A.C.I. Journal*, Proceedings V. 74, No.8, 333-360.

- [15] **Neville, A.M.**, 1981. Properties of Concrete, 3 rd Edn., Pitman.
- [16] **Aydan, Ö., Ersen, A., Ichikawa, Y., Kawamoto, T.**, 2001. Kalın Beton Kaplamalı Maden Kuyusu ve Tünel Astarlarında Betonun Hidratasyonu Sırasında Oluşan Sıcaklık Dağılımları ve Isısal Gerilmeler, İstanbul.
- [17] **4C Temp&Stress**, 1998. 4C Temperature and Stress Ver.2.0 for Windows User Manuel, Danish Technology Institute, Denmark.
- [18] **Faria, R., Azenha, M., Figueiras, J.A.**, 2006. Modelling of Concrete at Early Ages: Application to an Externally Restraint Slab *Cement & Concrete Composites*, **28**, 572-585.
- [19] **Nagy, A.**, 1997. Simulation of Thermal Stress in Reinforced Concrete at Early Ages with a Simplified Model *Material and Structure* **30**, 167-173.
- [20] **Pedersen, E.S., Spange, H., Pedersen, E.J., Jensen, O.M., Pela, B.F. and Hansen, J.H.**, 1997. Control of Early age Cracking in Concrete – State of the Art, HETEK report, Denmark.
- [21] **Pedersen, E.S., Spange, H. and Pedersen, E.J.**, 1997. Control of Early age Cracking in Concrete Phase: 9 Stress Calculations and Crack Observations, HETEK report, Denmark
- [22] **Nilsson, M.**, 2003. Restraint Factors and Partial Coefficient for Crack Risk Analyses of Early Age Concrete Structure, *Doctoral Thesis*, Lulea University, Sweden.
- [23] **Nilsson, M.**, 2000. Thermal Cracking of Young Concrete Partial Coefficient, Restraint Effects and Influence of Casting Joints, *Licentiate Thesis*, Lulea University, Sweden.
- [24] **Pedersen, E.S., Spange, H., Pedersen, E.J., Jensen, H.E., Andersen, M.E., Jensen, Per F. And Knudsen, J.G.**, 1997. Control of Early age Cracking in Concrete Guidelines, HETEK report, Denmark.
- [25] **NT BUILD 388**, 1992. Çelik yapıların plastik teoriye göre hesap kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [26] **Freisleben Hansen, P., Pedersen, E.J.**, 1977. Maturity Computer for Controlled Curing and Hardening of Concrete, Nordisk Betong, V.1.
- [27] **Jonasson, J.E., Groth, P.E., Hedlund, H.**, 1995. Modelling of Temperature and Moisture Field in Concrete to Study Early Age Movements as a Basis for Stress Analysis, Proceedings of the RILEM International Symposium on Thermal Cracking in Concrete at Early Ages, R. Springenschmid, ed., E&FN Spon, London.
- [28] **Kasap, Ö., Tokyay, M.**, 2004. Betonun Eşdeğer Yaşının Çimento Hidratasyon Isısıyla Tahmini İçin Bir Yöntem, *İ.M.O. Teknik Dergi*, 215.

- [29] **Gauthier, E., Regourd, M.**, 1982. The Hardening of Cement in Function of Temperature, Proceedings of the RILEM International Symposium on Thermal Cracking in Concrete at Early Ages, V.1 Ecole Nationale des Pones et Chaussées, Paris.
- [30] **Guo Chengju**, 1989. Maturity of Concrete : Method for Predicting Early-Stage Strength, *A.C.I. Materials Journal*, V.86, No.4.
- [31] **Carino, N.J.**, 2001 The Maturity Method: Theory and Application, Cement, Concrete and Aggregates, CCAGDP, V.6, No.2.
- [32] **ASTM C 1074-87**, 2002. Standart Practice for Estimating Concrete Strength by Maturity Method, Annual Book of ASTM Standarts, West Conshohocken.
- [33] **Schindler, A., Folliard, K.J.**, 2005. Heat of Hydration Models of Cementitious Materials, *A.C.I. Materials Journal*, 102-V1.
- [34] **Lepage, S., Baalbaki, M., Dallaire, E., Aitcin, P.C.**, 1999. Early Shrinkage Development in a High Performance Concrete, Cement, Concrete and Aggregates.
- [35] **RILEM Report 15**, 1998. Prevention of Thermal Cracking in Concrete at Early Ages, State-of-the-Art Report prepared by RILEM Technical Committee 119, Avodiance of Thermal Cracking in Concrete at Early Ages, R. Springenschmid, editor.
- [36] **Byfors**, 1980. "Plain Concrete at Early Ages", Swedish Cement and Concrete Institute, Fo 3:80 Stockholm, (Referred by RILEM 1998).
- [37] **A.C.I. Committee 517**, 1980. "Accelerated curing of concrete at atmosphoric pressure-state of the art" *ACI Journal*, No.77, 429-448.
- [38] **Miao, B., Chaallal, O., Perraton, D., Aitcin, P.C.**, 1993. "On-site Early Age Monitoring of High Performance Concrete Coloums", *A.C.I. Material Journal*, No.90, 415-420.
- [39] **Newman, J., Chao**, 2003. Advanced Concrete Technology, Concrete Properties, Oxford.
- [40] **Hansen, W.**, 1987. "Drying Shrinkage Mechanisms in Portland Cement Pastel", *j. Am. Ceram. Soc.* 70, 323-328
- [41] **Van Breugel, K.**, 1980. "Relaxation of Young Concrete", Report 5-80-08, Delft University of Technology.
- [42] **Rostasy, F.S., Gutsch, A., Laube, M.**, 1993. "Creep and Relaxation of Concrete at Early Ages" in "Creep and Shrinkage of Concrete", Z. Bazant and C. Carol, editors, E&FN Spon, London.

- [43] **De Schutter, G., Taerwe, L.**, 1997. "Towards a More Fundamental Non-linear Basic Creep Model for Early Age Concrete", *Magazine of Concrete Research*, 195-200.
- [44] **De Schutter, G.**, 1999. "Degree of Hydration Based Kelvin Model for the Basic Creep of Early Age Concrete" *Materials and Structures*, 260-265.
- [45] **De Schutter, G.**, 2001. "Modelling of Early Age Thermal Cracking in Hardening Concrete, Including Creep and Softening Behaviour", *Concrete Science and Engineering*, 146-150.
- [46] **Messing, M. And Ünlütepe, A.**, 2005 Tünel Ölçme Uygulamalarında Son Yenilikler, 2.Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İstanbul.

EK A TBM ANALİZİNE AİT ÇEVRE VE KÜR KOŞULLARI TABLOLARI

Tablo A.1: Analiz 4.1' e ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Normal sıcaklık-1	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 24.8 - 0.25 / 24.5 - 0.75 / 24.1 - 1.83 / 23.7 - 3. / 23.8 - 4.42 / 22.9 - 7. / 22.4 - 7.42 / 22.1 - 8. / 21.8 - 8.67 / 21.3 - 9.33 / 21.4 - 10. / 21.2 - 11. / 22.8 - 11.92 / 24.2 - 12.67 / 25.9 - 13.75 / 27.9 - 15. / 31.3 - 16. / 31.5 - 18. / 31. - 18.75 / 27.9 - 21.75 / 24.8 - 25. / 23. - 28.25 / 21.7 - 31.25 / 21.9 - 34.25 / 25. - 37.75 / 28. - 41.08 / 30.1 - 44.08 / 28.1 - 47.58 / 23.7 - 51. / 21.5 - 53.92 / 20.5 - 57.17 / 22.4 - 60.42 / 28.4 - 63.42 / 30.1
Rüzgar-1	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0. - 62. / 0.
	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 18. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 19.99 - 18. / 20. - 62. / 20.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 19.99 - 1. / 20. - 62. / 20.

Tablo A.2: Analiz 4.2' ye ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Normal sıcaklık-1	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 24.8 - 0.25 / 24.5 - 0.75 / 24.1 - 1.83 / 23.7 - 3. / 23.8 - 4.42 / 22.9 - 7. / 22.4 - 7.42 / 22.1 - 8. / 21.8 - 8.67 / 21.3 - 9.33 / 21.4 - 10. / 21.2 - 11. / 22.8 - 11.92 / 24.2 - 12.67 / 25.9 - 13.75 / 27.9 - 15. / 31.3 - 16. / 31.5 - 18. / 31. - 18.75 / 27.9 - 21.75 / 24.8 - 25. / 23. - 28.25 / 21.7 - 31.25 / 21.9 - 34.25 / 25. - 37.75 / 28. - 41.08 / 30.1 - 44.08 / 28.1 - 47.58 / 23.7 - 51. / 21.5 - 53.92 / 20.5 - 57.17 / 22.4 - 60.42 / 28.4 - 63.42 / 30.1
Rüzgar-2	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 60. / 0.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 18. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 18. / 27. - 60. / 27.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 60. / 27.

Tablo A.3: Analiz 4.3' e ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
buhar kürü-1	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 27.7 - 0.08 / 26.9 - 0.17 / 26.9 - 1.25 / 25.1 - 2.33 / 24.4 - 3. / 24.1 - 3.68 / 34. - 3.75 / 40. - 4.17 / 48. - 4.58 / 57. - 5. / 57. - 5.08 / 57. - 5.33 / 57. - 5.67 / 57. - 5.83 / 57. - 6.08 / 57. - 6.33 / 57. - 6.58 / 57. - 7. / 22.4 - 7.42 / 22.1 - 8. / 21.8 - 8.67 / 21.3 - 9.33 / 21.4 - 10. / 21.2 - 11. / 22.8 - 11.92 / 24.2 - 12.67 / 25.9 - 13.75 / 27.9 - 15. / 31.3 - 16. / 31.5 - 18. / 31. - 18.75 / 27.9 - 21.75 / 24.8 - 25. / 23. - 28.25 / 21.7 - 31.25 / 21.9 - 34.25 / 25. - 37.75 / 28. - 41.08 / 30.1 - 44.08 / 28.1 - 47.58 / 23.7 - 51. / 21.5 - 53.92 / 20.5 - 57.17 / 22.4 - 60.42 / 28.4 - 63.42 / 30.1
Rüzgar-1	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0. - 60. / 0.
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 19.99 - 1. / 20. - 60. / 20.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 19.99 - 7. / 20. - 60. / 20.

Tablo A.4: Analiz 4.4'e ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Buhar kürü-1	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 27.7 - 0.08 / 26.9 - 0.17 / 26.9 - 1.25 / 25.1 - 2.33 / 24.4 - 3. / 24.1 - 3.68 / 34. - 3.75 / 40. - 4.17 / 48. - 4.58 / 57. - 5. / 57. - 5.08 / 57. - 5.33 / 57. - 5.67 / 57. - 5.83 / 57. - 6.08 / 57. - 6.33 / 57. - 6.58 / 57. - 7. / 22.4 - 7.42 / 22.1 - 8. / 21.8 - 8.67 / 21.3 - 9.33 / 21.4 - 10. / 21.2 - 11. / 22.8 - 11.92 / 24.2 - 12.67 / 25.9 - 13.75 / 27.9 - 15. / 31.3 - 16. / 31.5 - 18. / 31. - 18.75 / 27.9 - 21.75 / 24.8 - 25. / 23. - 28.25 / 21.7 - 31.25 / 21.9 - 34.25 / 25. - 37.75 / 28. - 41.08 / 30.1 - 44.08 / 28.1 - 47.58 / 23.7 - 51. / 21.5 - 53.92 / 20.5 - 57.17 / 22.4 - 60.42 / 28.4 - 63.42 / 30.1
Rüzgar-2	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 60. / 0.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 60. / 27.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 7. / 27. - 60. / 27.

Tablo A.5: Analiz 4.5' e ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Tahmin edilen buhar sıcaklığı-1	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 20. - 3. / 20. - 3.75 / 60. - 4.5 / 60. - 5. / 60. - 7. / 60. - 7.01 / 10. - 8. / 10. - 8.01 / 30. - 17. / 30. - 17.01 / 10. - 36. / 10. - 120. / 10. - 240. / 10.
Rüzgar-3	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 7. / 0.5 - 7.01 / 0.5 - 8. / 0.5 - 8.01 / 0.5 - 17. / 0.5 - 17.01 / 0.5 - 18. / 2.5 - 18.01 / 0.5 - 36. / 0.5 - 36.01 / 2.5 - 240. / 2.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 7. / 27. - 7.01 / 27. - 8. / 27. - 8.01 / 27. - 17. / 27. - 17.01 / 27. - 18. / 55. - 18.01 / 27. - 36. / 27. - 36.01 / 55. - 240. / 55.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 7. / 27. - 7.01 / 27. - 8. / 27. - 8.01 / 27. - 17. / 27. - 17.01 / 27. - 18. / 55. - 18.01 / 27. - 36. / 27. - 36.01 / 55. - 240. / 55.

Tablo A.6: Analiz 4.6' ya ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Tahmin edilen buhar sıcaklığı-2	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 20. - 3. / 20. - 3.5 / 20. - 4. / 37.5 - 5. / 55. - 7. / 55. - 7.01 / 20. - 8. / 20. - 8.01 / 30. - 17. / 30. - 17.01 / 20. - 36. / 20. - 120. / 20. - 240. / 20.
Rüzgar-3	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 7. / 0.5 - 7.01 / 0.5 - 8. / 0.5 - 8.01 / 0.5 - 17. / 0.5 - 17.01 / 0.5 - 18. / 2.5 - 18.01 / 0.5 - 36. / 0.5 - 36.01 / 2.5 - 240. / 2.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 7. / 27. - 7.01 / 27. - 8. / 27. - 8.01 / 27. - 17. / 27. - 17.01 / 27. - 18. / 55. - 18.01 / 27. - 36. / 27. - 36.01 / 55. - 240. / 55.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 7. / 27. - 7.01 / 27. - 8. / 27. - 8.01 / 27. - 17. / 27. - 17.01 / 27. - 18. / 55. - 18.01 / 27. - 36. / 27. - 36.01 / 55. - 240. / 55.

Tablo A.7: Analiz 4.7' ye ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
tahmin edilen buhar sıcaklığı-1	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 20. - 3. / 20. - 3.75 / 60. - 4.5 / 60. - 5. / 60. - 7. / 60. - 7.01 / 10. - 8. / 10. - 8.01 / 30. - 17. / 30. - 17.01 / 10. - 36. / 10. - 120. / 10. - 240. / 10.
rüzgar-3	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 7. / 0.5 - 7.01 / 0.5 - 8. / 0.5 - 8.01 / 0.5 - 17. / 0.5 - 17.01 / 0.5 - 18. / 2.5 - 18.01 / 0.5 - 36. / 0.5 - 36.01 / 2.5 - 240. / 2.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 7. / 27. - 7.01 / 27. - 8. / 27. - 8.01 / 27. - 17. / 27. - 17.01 / 27. - 18. / 55. - 18.01 / 27. - 36. / 27. - 36.01 / 55. - 240. / 55.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 7. / 27. - 7.01 / 27. - 8. / 27. - 8.01 / 27. - 17. / 27. - 17.01 / 27. - 18. / 55. - 18.01 / 27. - 36. / 27. - 36.01 / 55. - 240. / 55.

Tablo A.8: Analiz 4.8'e ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
tahmin edilen buhar sıcaklığı-1	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 20. - 3. / 20. - 3.75 / 60. - 4.5 / 60. - 5. / 60. - 7. / 60. - 7.01 / 10. - 8. / 10. - 8.01 / 10. - 17. / 10. - 17.01 / 10. - 36. / 10. - 120. / 10. - 240. / 10.
rüzgar-3	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 7. / 0.5 - 7.01 / 0.5 - 8. / 0.5 - 8.01 / 0.5 - 17. / 0.5 - 17.01 / 0.5 - 18. / 2.5 - 18.01 / 0.5 - 36. / 0.5 - 36.01 / 2.5 - 240. / 2.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm 8. - 17. : Örtü
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm 8. - 17. : Örtü
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 7. / 27. - 7.01 / 27. - 8. / 4.66 - 8.01 / 4.66 - 17. / 27. - 17.01 / 27. - 18. / 55. - 18.01 / 27. - 36. / 27. - 36.01 / 55. - 240. / 55.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 7. / 27. - 7.01 / 27. - 8. / 4.66 - 8.01 / 4.66 - 17. / 27. - 17.01 / 27. - 18. / 55. - 18.01 / 27. - 36. / 27. - 36.01 / 55. - 240. / 55.

Tablo A.9: Analiz 4.9' a ait çevre ve kür koşulları fonksiyon tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Tahmin edilen buhar sıcaklığı-3	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 25. - 1. / 25. - 2. / 25. - 3. / 25. - 4. / 40. - 4.5 / 47.5 - 4.75 / 51.3 - 5. / 55. - 6. / 55. - 7. / 55. - 7.01 / 25. - 8. / 25. - 18. / 25. - 36. / 25. - 60. / 25. - 100. / 25. - 200. / 25. - 240. / 25.
Rüzgar-3	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 10. / 0.5 - 30. / 0.5 - 36. / 0.5 - 36.1 / 2.5 - 240. / 2.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 10. / 27. - 30. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 7. / 27. - 10. / 27. - 30. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.

Tablo A.10: Analiz 4.10' a ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Tahmin edilen buhar sıcaklığı-4	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 22.5 - 1. / 22.5 - 2. / 22.5 - 3. / 22.5 - 4. / 22.5 - 4.63 / 55. - 4.75 / 55. - 5. / 55. - 6. / 55. - 7. / 55. - 7.01 / 22.5 - 30. / 22.5 - 60. / 22.5 - 100. / 22.5 - 200. / 22.5 - 240. / 22.5
Rüzgar-3	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 10. / 0.5 - 30. / 0.5 - 36. / 0.5 - 36.1 / 2.5 - 240. / 2.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 10. / 27. - 30. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 7. / 27. - 10. / 27. - 30. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.

Tablo A.11: Analiz 4.11' e ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
tahmin edilen buhar sıcaklığı-2	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 20. - 1. / 20. - 2. / 20. - 3. / 20. - 4. / 40. - 4.5 / 50. - 4.75 / 55. - 5. / 55. - 6. / 55. - 7. / 55. - 7.01 / 20. - 8. / 20. - 18. / 20. - 36. / 20. - 60. / 20. - 100. / 20. - 200. / 20. - 240. / 20.
rüzgar-3	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 10. / 0.5 - 15. / 0.5 - 18. / 0.5 - 36. / 0.5 - 36.1 / 2.5 - 240. / 2.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm 8. - 18. : Örtü
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm 8. - 18. : Örtü
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 8. / 4.66 - 10. / 4.66 - 15. / 4.66 - 18. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 7. / 27. - 8. / 4.66 - 10. / 4.66 - 15. / 4.66 - 18. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.

Tablo A.12: Analiz 4.12' ye ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Tahmin edilen buhar sıcaklığı-5	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 20. - 1. / 20. - 2. / 20. - 3. / 20. - 4. / 40. - 4.5 / 50. - 4.75 / 55. - 5. / 55. - 6. / 55. - 7. / 55. - 7.01 / 10. - 8. / 10. - 18. / 10. - 36. / 10. - 60. / 10. - 100. / 10. - 200. / 10. - 240. / 10.
rüzgar-3	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 10. / 0.5 - 15. / 0.5 - 18. / 0.5 - 36. / 0.5 - 36.1 / 2.5 - 240. / 2.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm 8. - 18. : Örtü
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm 8. - 18. : Örtü
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 8. / 4.66 - 10. / 4.66 - 15. / 4.66 - 18. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 7. / 27. - 8. / 4.66 - 10. / 4.66 - 15. / 4.66 - 18. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.

Tablo A.13: Analiz 4.13' e ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Tahmin edilen buhar sıcaklığı-5	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 20. - 1. / 20. - 2. / 20. - 3. / 20. - 4. / 40. - 4.5 / 50. - 4.75 / 55. - 5. / 55. - 6. / 55. - 7. / 55. - 7.01 / 10. - 8. / 10. - 18. / 10. - 36. / 10. - 60. / 10. - 100. / 10. - 200. / 10. - 240. / 10.
rüzgar-3	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 10. / 0.5 - 15. / 0.5 - 18. / 0.5 - 36. / 0.5 - 36.1 / 2.5 - 240. / 2.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm 8. - 18. : Örtü
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm 8. - 18. : Örtü
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 8. / 4.66 - 10. / 4.66 - 15. / 4.66 - 18. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 7. / 27. - 8. / 4.66 - 10. / 4.66 - 15. / 4.66 - 18. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.

Tablo A.14: Analiz 4.14' e ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Tahmin edilen sıcaklık-1	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 25. - 1. / 25. - 240. / 25.
Rüzgar3	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 36. / 0.5 - 36.1 / 2.5 - 240. / 2.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 18. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 18. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.

Tablo A.15: Analiz 4.15' e ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Tahmin edilen sıcaklık-2	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 22.5 - 100. / 22.5 - 240. / 22.5
Rüzgar-3	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 36. / 0.5 - 36.1 / 2.5 - 240. / 2.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 18. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 18. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.

Tablo A.16: Analiz 4.16' ya ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Tahmin edilen sıcaklık-3	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 20. - 20. / 20. - 240. / 20.
Rüzgar-3	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 36. / 0.5 - 36.1 / 2.5 - 240. / 2.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 18. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 18. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.

Tablo A.17: Analiz 4.17' ye ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Tahmin edilen sıcaklık-4	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 10. - 240. / 10.
Rüzgar-3	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 36. / 0.5 - 36.1 / 2.5 - 240. / 2.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 18. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 18. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.

Tablo A.18: Analiz 4.18' e ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Tahmin edilen sıcaklık-4	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 10. - 240. / 10.
Rüzgar-3	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 36. / 0.5 - 36.1 / 2.5 - 240. / 2.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 18. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 18. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.

Tablo A.19: Analiz 4.19' a ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Tahmin edilen buhar sıcaklığı-6	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 20. - 3. / 20. - 4.75 / 55. - 7. / 55. - 7. / 20. - 8. / 20. - 8. / 40. - 14. / 20. - 25. / 20. - 60. / 20. - 66. / 20.
Rüzgar-3	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 5. / 0.5 - 20. / 0.5 - 36. / 0.5 - 45. / 2.5 - 60. / 2.5 - 66. / 2.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm 8. - 18. : Örtü
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm 8. - 18. : Örtü
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 5. / 26.98 - 7. / 27. - 8. / 4.66 - 18. / 27. - 20. / 27. - 36. / 27. - 45. / 55. - 60. / 55. - 66. / 55.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 5. / 27. - 8. / 4.66 - 18. / 27. - 20. / 27. - 36. / 27. - 45. / 55. - 60. / 55. - 66. / 55.

Tablo A.20: Analiz 4.20' ye ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
buhar kürü-1	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 27.7 - 0.08 / 26.9 - 0.17 / 26.9 - 1.25 / 25.1 - 2.33 / 24.4 - 3. / 24.1 - 3.42 / 26.9 - 3.83 / 34.4 - 4.42 / 39.5 - 5.17 / 52.9 - 5.56 / 55. - 7.06 / 55. - 7.17 / 36.9 - 8.08 / 32. - 9.25 / 29.7 - 10.33 / 28.9 - 11.5 / 28.8 - 12.67 / 29.2 - 13.75 / 30.7 - 15. / 31.3 - 16. / 31.5 - 18. / 31. - 18.75 / 27.9 - 21.75 / 24.8 - 25. / 23. - 28.25 / 21.7 - 31.25 / 21.9 - 34.25 / 25. - 37.75 / 28. - 41.08 / 30.1 - 44.08 / 28.1 - 47.58 / 23.7 - 51. / 21.5 - 53.92 / 20.5 - 57.17 / 22.4 - 60.42 / 28.4 - 63.42 / 30.1
rüzgar-1	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0. - 60. / 0.
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 19.99 - 1. / 20. - 60. / 20.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 19.99 - 7. / 20. - 60. / 20.

Tablo A.21: Analiz 4.21' e ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
buhar kürü-1	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 27.7 - 0.08 / 26.9 - 0.17 / 26.9 - 1.25 / 25.1 - 2.33 / 24.4 - 3. / 24.1 - 3.42 / 26.9 - 3.83 / 34.4 - 4.42 / 39.5 - 5.17 / 52.9 - 5.56 / 55. - 7.06 / 55. - 7.17 / 36.9 - 8.08 / 32. - 9.25 / 29.7 - 10.33 / 28.9 - 11.5 / 28.8 - 12.67 / 29.2 - 13.75 / 30.7 - 15. / 31.3 - 16. / 31.5 - 18. / 31. - 18.75 / 27.9 - 21.75 / 24.8 - 25. / 23. - 28.25 / 21.7 - 31.25 / 21.9 - 34.25 / 25. - 37.75 / 28. - 41.08 / 30.1 - 44.08 / 28.1 - 47.58 / 23.7 - 51. / 21.5 - 53.92 / 20.5 - 57.17 / 22.4 - 60.42 / 28.4 - 63.42 / 30.1
rüzgar-1	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0. - 60. / 0.
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 19.99 - 1. / 20. - 60. / 20.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 19.99 - 7. / 20. - 60. / 20.

Tablo A.22: Analiz 4.22' ye ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
buhar kürü-1	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 27.7 - 0.08 / 26.9 - 0.17 / 26.9 - 1.25 / 25.1 - 2.33 / 24.4 - 3. / 24.1 - 3.42 / 26.9 - 3.83 / 34.4 - 4.42 / 39.5 - 5.17 / 52.9 - 5.56 / 55. - 7.06 / 55. - 7.17 / 36.9 - 8.08 / 32. - 9.25 / 29.7 - 10.33 / 28.9 - 11.5 / 28.8 - 12.67 / 29.2 - 13.75 / 30.7 - 15. / 31.3 - 16. / 31.5 - 18. / 31. - 18.75 / 27.9 - 21.75 / 24.8 - 25. / 23. - 28.25 / 21.7 - 31.25 / 21.9 - 34.25 / 25. - 37.75 / 28. - 41.08 / 30.1 - 44.08 / 28.1 - 47.58 / 23.7 - 51. / 21.5 - 53.92 / 20.5 - 57.17 / 22.4 - 60.42 / 28.4 - 63.42 / 30.1
Rüzgar-2	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 60. / 0.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 60. / 27.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 7. / 27. -60./27.

Tablo A.23: Analiz 4.23' e ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
buhar kürü-1	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 27.7 - 0.08 / 26.9 - 0.17 / 26.9 - 1.25 / 25.1 - 2.33 / 24.4 - 3. / 24.1 - 3.83 / 34.4 -4.42 / 39.5 - 5.17 / 52.9 - 5.56 / 55. - 7.06 / 55. - 7.17 / 36.9 - 8.08 / 32. - 9.25 / 29.7 - 10.33 / 28.9 - 11.5 / 28.8 - 12.67 / 29.2 - 13.75 / 30.7 - 15. / 31.3 - 16. / 31.5 - 18. / 31. - 18.75 / 27.9 - 21.75 / 24.8 - 25. / 23. - 28.25 / 21.7 - 31.25 / 21.9 - 34.25 / 25. - 37.75 / 28. - 41.08 / 30.1 - 44.08 / 28.1 - 47.58 / 23.7 - 51. / 21.5 - 53.92 / 20.5 - 57.17 / 22.4 - 60.42 / 28.4 - 63.42 / 30.1
Rüzgar-4	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 1. - 60. / 1.
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 33.97 - 1. / 34. - 60. / 34.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 33.97 - 7. / 34. - 60. / 34.

Tablo A.24: Analiz 4.24' e ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
buhar kürü-1	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 27.7 - 0.08 / 26.9 - 0.17 / 26.9 - 1.25 / 25.1 - 2.33 / 24.4 - 3. / 24.1 - 4.17 / 48. - 4.58 / 57. - 5. / 57. - 5.08 / 57. - 5.33 / 57. - 5.67 / 57. - 5.83 / 57. - 6.08 / 57. - 6.33 / 57. - 6.58 / 57. - 7. / 22.4 - 7.42 / 22.1 - 8. / 21.8 - 8.67 / 21.3 - 11. / 22.8 - 11.92 / 24.2 - 12.67 / 25.9 - 13.75 / 27.9 - 15. / 31.3 - 16. / 31.5 - 18. / 31. - 18.75 / 27.9 - 28.25 / 21.7 - 31.25 / 21.9 - 34.25 / 25. - 37.75 / 28. - 41.08 / 30.1 - - 47.58 / 23.7 - 51. / 21.5 - 57.17 / 22.4 - 60.42 / 28.4 - 63.42 / 30.1
Rüzgar-2	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 60. / 0.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 60. / 27.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 7. / 27. -60./27.

Tablo A.25: Analiz 4.25' e ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
buhar kürü-1	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 27.7 - 0.08 / 26.9 - 0.17 / 26.9 - 1.25 / 25.1 - 2.33 / 24.4 - 3. / 24.1 - 3.68 / 34. - 3.75 / 40. - 4.17 / 48. - 4.58 / 57. - 5. / 57. - 5.08 / 57. - 5.33 / 57. - 5.67 / 57. - 5.83 / 57. - 6.08 / 57. - 6.33 / 57. - 6.58 / 57. - 7. / 22.4 - 7.42 / 22.1 - 8. / 21.8 - 8.67 / 21.3 - 11. / 22.8 - 11.92 / 24.2 - 15. / 31.3 - 16. / 31.5 - 18. / 31. - 18.75 / 27.9 - 28.25 / 21.7 - 31.25 / 21.9 - 34.25 / 25. - 37.75 / 28. - 44.08 / 28.1 - 53.92 / 20.5 - 57.17 / 22.4 - 60.42 / 28.4 - 63.42 / 30.1
Rüzgar-3	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 7. / 0.5 - - 30. / 0.5 - 36. / 0.5 - 37. / 2.5 - 45. / 2.5 66. / 2.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm 7. - 18. : Örtü
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm 8. - 18. : Örtü

Tablo A.26: Analiz 4.26' ya ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Normal sıcaklık-1	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 24.8 - 0.25 / 24.5 - 0.75 / 24.1 - 1.83 / 23.7 - 3. / 23.8 - 4.42 / 22.9 - 7.08 / 21.3 - 8.75 / 22.4 - 10. / 24.2 - 13.08 / 28.7 - 17.58 / 27.4 - 22. / 23.5 - 26.33 / 21.7 - 30.75 / 22.6 - 35.17 / 27.5 - 39.5 / 30.1 - 43.92 / 25.3 - 48.33 / 22.2 - 52.75 / 20.2 - 57.08 / 26.5 - 61.5 / 30.1
rüzgar-1	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0. - 62. / 0.
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 18. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 19.99 - 18. / 20. - 62. / 20.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 19.99 - 1. / 20. -62/20

Tablo A.27: Analiz 4.27' ye ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Normal sıcaklık-1	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 24.8 - 0.25 / 24.5 - 0.75 / 24.1 - 1.83 / 23.7 - 3. / 23.8 - 4.42 / 22.9 - 7.08 / 21.3 - 8.75 / 22.4 - 10. / 24.2 - 13.08 / 28.7 - 17.58 / 27.4 - 22. / 23.5 - 26.33 / 21.7 - 30.75 / 22.6 - 35.17 / 27.5 - 39.5 / 30.1 - 43.92 / 25.3 - 48.33 / 22.2 - 52.75 / 20.2 - 57.08 / 26.5 - 61.5 / 30.1
rüzgar-2	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 60. / 0.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 18. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 18. / 27. - 60. / 27.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 60. / 27.

Tablo A.28: Analiz 4.28' e ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Normal sıcaklık-1	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 24.8 - 0.25 / 24.5 - 0.75 / 24.1 - 1.83 / 23.7 - 3. / 23.8 - 4.42 / 22.9 - 7.08 / 21.3 - 8.75 / 22.4 - 10. / 24.2 - 13.08 / 28.7 - 17.58 / 27.4 - 22. / 23.5 - 26.33 / 21.7 - 30.75 / 22.6 - 35.17 / 27.5 - 39.5 / 30.1 - 43.92 / 25.3 - 48.33 / 22.2 - 52.75 / 20.2 - 57.08 / 26.5 - 61.5 / 30.1
Rüzgar-4	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 1. - 60. / 1.
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 18. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 33.97 - 18. / 34. - 60. / 34.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 33.97 - 1. / 34. - 60. / 34.

Tablo A.29: Analiz 4.29' a ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
normal sıcaklık-1	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 24.8 - 0.25 / 24.5 - 0.75 / 24.1 - 1.83 / 23.7 - 3. / 23.8 - 4.42 / 22.9 - 7. / 22.4 - 7.42 / 22.1 - 8. / 21.8 - 8.67 / 21.3 - 9.33 / 21.4 - 10. / 21.2 - 11. / 22.8 - 11.92 / 24.2 - 12.67 / 25.9 - 13.75 / 27.9 - 15. / 31.3 - 16. / 31.5 - 18. / 31. - 18.75 / 27.9 - 21.75 / 24.8 - 25. / 23. - 28.25 / 21.7 - 31.25 / 21.9 - 34.25 / 25. - 37.75 / 28. - 41.08 / 30.1 - 44.08 / 28.1 - 47.58 / 23.7 - 51. / 21.5 - 53.92 / 20.5 - 57.17 / 22.4 - 60.42 / 28.4 - 63.42 / 30.1
rüzgar-2	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 60. / 0.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 18. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 18. / 27. - 60. / 27.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 60. / 27.

Tablo A.30: Analiz 4.30' a ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Buhar sıcaklığı-1	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 27.7 - 0.08 / 26.9 - 0.17 / 26.9 - 1.25 / 25.1 - 2.33 / 24.4 - 3. / 24.1 - 3.42 / 26.9 - 3.83 / 34.4 - 4.42 / 39.5 - 5.17 / 52.9 - 5.75 / 51.4 - 6.83 / 48.3 - 7.17 / 36.9 - 8.08 / 32. - 10.33 / 28.9 - 11.5 / 28.8 - 12.67 / 29.2 - 13.75 / 30.7 - 15. / 31.3 - 16. / 31.5 - 18. / 31. - 18.25 / 30.7 - 23.17 / 27.6 - 27.5 / 25.4 - 32.08 / 24.8 - 36.5 / 28.3 - 41. / 30.3 - 45.58 / 27.4 - 50.33 / 24.3 - 54.67 / 22.4 - 57. / 23.5 - 59.08 / 26.8 - 61.5 / 28.9 - 63.42 / 30.1
Rüzgar-5	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.75 - 60. / 0.75
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 30.48 - 1. / 30.5 - 60. / 30.5
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 30.48 - 7. / 30.5 - 60. / 30.5

Tablo A.31: Analiz 4.31' e ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Tahmin edilen buhar sıcaklığı-7	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 25. - 1. / 25. - 2. / 25. - 3. / 25. - 4. / 37.5 - 4.5 / 43.8 - 4.75 / 46.9 - 5. / 50. - 6. / 50. - 7. / 50. - 7.01 / 25. - 8. / 25. - 18. / 25. - 36. / 25. - 60. / 25. - 100. / 25. - 200. / 25. - 240. / 25.
Rüzgar-3	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 6. / 0.5 - 7. / 0.5 - 10. / 0.5 - 30. / 0.5 - 36. / 0.5 - 36.1 / 2.5 - 240. / 2.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 6. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 6. / 26.98 - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.

Tablo A.32: Analiz 4.32' ye ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Tahmin edilen buhar sıcaklığı-8	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 25. - 1. / 25. - 2. / 25. - 3. / 25. - 4. / 35. - 5. / 45. - 6. / 45. - 7. / 45. - 7.01 / 25. - 8. / 25. - 18. / 25. - 36. / 25. - 60. / 25. - 100. / 25. - 200. / 25. - 240. / 25.
Rüzgar-3	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 10. / 0.5 - 30. / 0.5 - 36. / 0.5 - 36.1 / 2.5 - 240. / 2.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 10. / 27. - 30. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 7. / 27. - 10. / 27. - 30. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.

Tablo A.33: Analiz 4.33' e ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Tahmin edilen buhar sıcaklığı-9	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 25. - 1. / 25. - 2. / 25. - 3. / 25. - 4. / 32.5 - 5. / 40. - 6. / 40. - 7. / 40. - 7.01 / 25. - 8. / 25. - 18. / 25. - 36. / 25. - 60. / 25. - 100. / 25. - 200. / 25. - 240. / 25.
Rüzgar-3	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 10. / 0.5 - 30. / 0.5 - 36. / 0.5 - 36.1 / 2.5 - 240. / 2.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 10. / 27. - 30. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 7. / 27. - 10. / 27. - 30. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.

Tablo A.34: Analiz 4.34' e ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Tahmin edilen buhar sıcaklığı-10	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 25. - 1. / 25. - 2. / 25. - 3. / 25. - 4. / 30. - 5. / 35. - 6. / 35. - 7. / 35. - 7.01 / 25. - 8. / 25. - 18. / 25. - 36. / 25. - 60. / 25. - 100. / 25. - 200. / 25. - 240. / 25.
Rüzgar-3	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 10. / 0.5 - 30. / 0.5 - 36. / 0.5 - 36.1 / 2.5 - 240. / 2.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 10. / 27. - 30. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 7. / 27. - 10. / 27. - 30. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.

Tablo A.35: Analiz 4.35' e ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Tahmin edilen buhar sıcaklığı-11	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 20. - 1. / 20. - 2. / 20. - 3. / 20. - 4. / 47.5 - 4.5 / 75. - 4.75 / 75. - 5. / 75. - 6. / 75. - 7. / 75. - 7.01 / 50. - 8. / 50. - 18. / 50. - 36. / 20. - 60. / 20. - 100. / 20. - 200. / 20. - 240. / 20.
Rüzgar-3	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 10. / 0.5 - 30. / 0.5 - 36. / 0.5 - 36.1 / 2.5 - 240. / 2.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm 7. - 18. : Örtü
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm 1. - 18. : Örtü
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 4.66 - 10. / 4.66 - 18. / 27. - 30. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 7. / 4.66 - 10. / 4.66 - 18. / 27. - 30. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.

Tablo A.36: Analiz 4.36' ya ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Tahmin edilen buhar sıcaklığı-2	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 20. - 1. / 20. - 2. / 20. - 3. / 20. - 4. / 37.5 - 4.5 / 40. - 4.75 / 45. - 5. / 55. - 6. / 55. - 7. / 55. - 7.01 / 30. - 7.59 / 30. - 8. / 30. - 17.59 / 30. - 18. / 20. - 100. / 20. - 200. / 20. - 240. / 20.
Rüzgar-3	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 10. / 0.5 - 30. / 0.5 - 36. / 0.5 - 36.1 / 2.5 - 240. / 2.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm 7. - 18. : Örtü
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm 1. - 18. : Örtü
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 4.66 - 10. / 4.66 - 18. / 27. - 30. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 7. / 4.66 - 10. / 4.66 - 18. / 27. - 30. / 27. - 36. / 27. - 36.1 / 55. - 240. / 55.

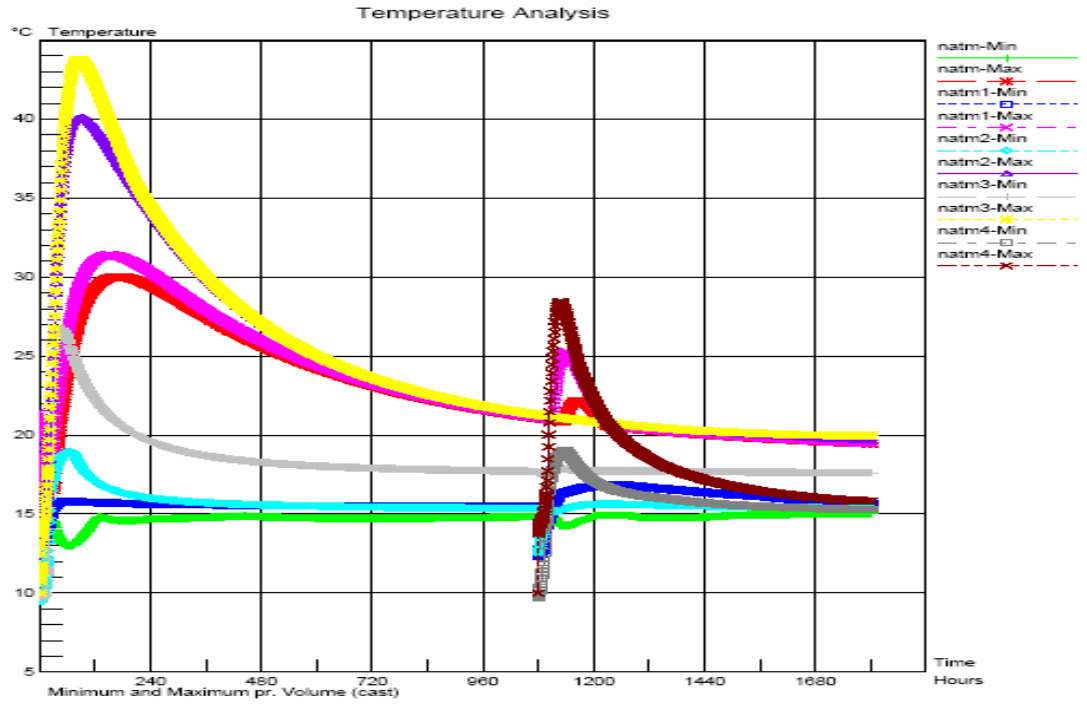
Tablo A.37: Analiz 4.37' ye ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Normal sıcaklık-2	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 15.6 - 0.25 / 14.8 - 0.75 / 14.7 - 1.83 / 13.6 - 3. / 12.6 - 4.42 / 12. - 5. / 11.6 - 6. / 11.8 - 7. / 11.7 - 7.42 / 11.2 - 8. / 10.7 - 8.67 / 8.8 - 9.33 / 8.5 - 10. / 7.6 - 11. / 7.3 - 13.75 / 7.5 - 15. / 8. - 16. / 9.9 - 18. / 13.9 - 18.75 / 14.3 - 21. / 16.6 - 25. / 9.4 - 28.25 / 9. - 31.25 / 8.5 - 34.25 / 7.4 - 37.75 / 6.5 - 41.08 / 6.2 - 44.08 / 6.9 - 47.58 / 5.8 - 51. / 5.2 - 53.92 / 4.6 - 57.17 / 4.5 - 60.42 / 4.8 - 63.42 / 7.8
rüzgar-2	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 60. / 0.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 18. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 18. / 27. - 60. / 27.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 60. / 27.

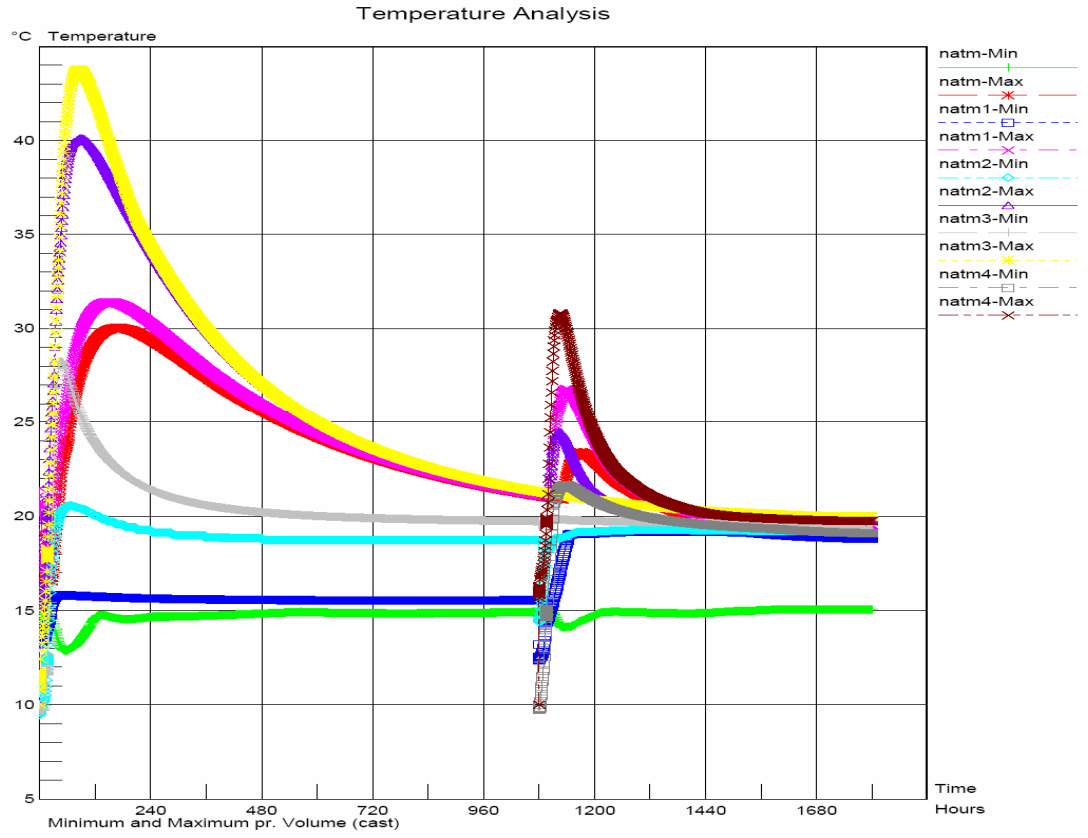
Tablo A.38: Analiz 4.38' e ait çevre ve kür koşulları tablosu

Fonksiyon	Çevre ve Kür Şartları	Açıklama	Birim	Fonksiyon Tablosu Zaman [s] / Ölçüm
Buhar sıcaklığı	Sıcaklık	Lineer Eğri	[°C]	0. / 18. - 0.25 / 17. - 0.75 / 17. - 1.83 / 16. - 2.25 / 18.3 - 3. / 14. - 4.42 / 51. - 5.5 / 58. - 6. / 61. - 6.92 / 54. - 7. / 11.7 - 7.42 / 11.2 - 8. / 10.7 - 8.67 / 8.8 - 9.33 / 8.5 - 10. / 7.6 - 11. / 7.3 - 11.92 / 7.2 - 12.67 / 7.2 - 13.75 / 7.5 - 15. / 8. - 16. / 9.9 21. / 16.6 - 25. / 9.4 - 28.25 / 9. - 31.25 / 8.5 - 34.25 / 7.4 - 37.75 / 6.5 - 41.08 / 6.2 - 44.08 / 6.9 - 47.58 / 5.8 - 51. / 5.2 - 53.92 / 4.6 - 57.17 / 4.5 - 60.42 / 4.8 - 63.42 / 7.8
wind1	Rüzgar Hızı	-	[m/s]	0. / 0.5 - 60. / 0.5
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 7. : Çelik Kalıp 8mm
-	Örtü Cinsi	-	[-]	0. - 1. : Çelik Kalıp 8mm
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 1. / 27. - 60. / 27.
-	İletim Katsayısı	-	[kJ/m ² /h/°C]	0. / 26.98 - 7. / 27. - 60. / 27.

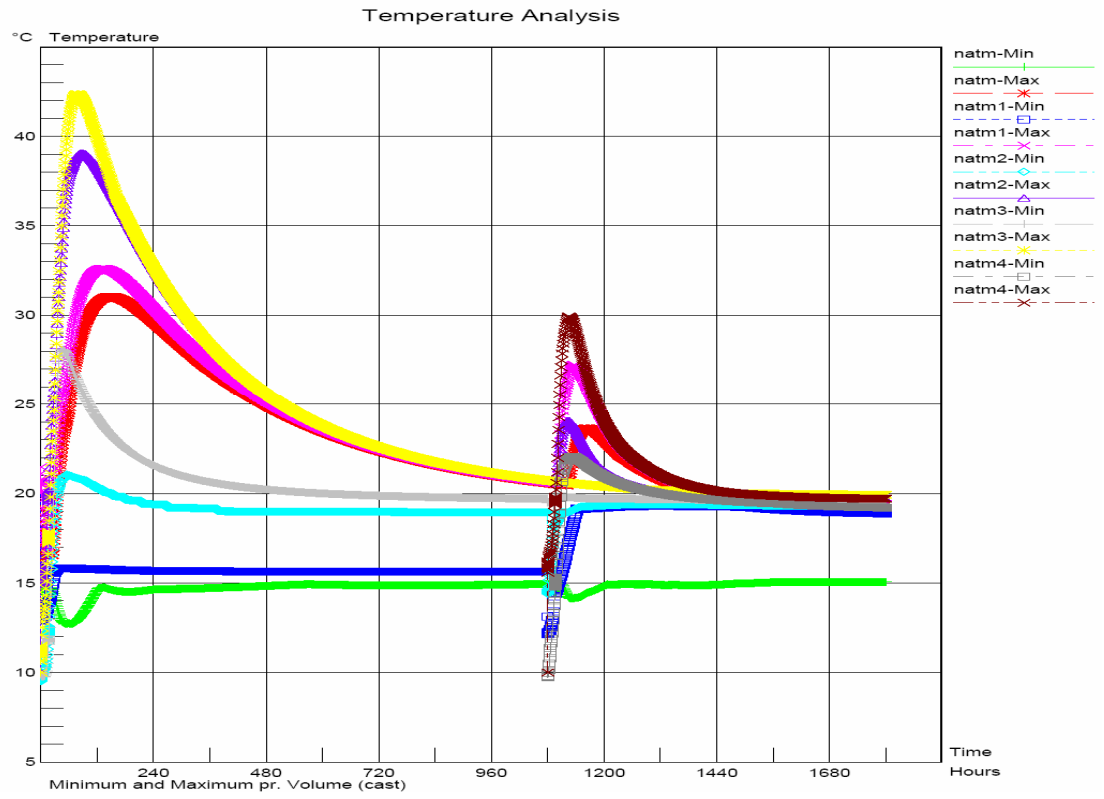
EK B: ANALİZLERE AİT SICAKLIK GARFİKLERİ



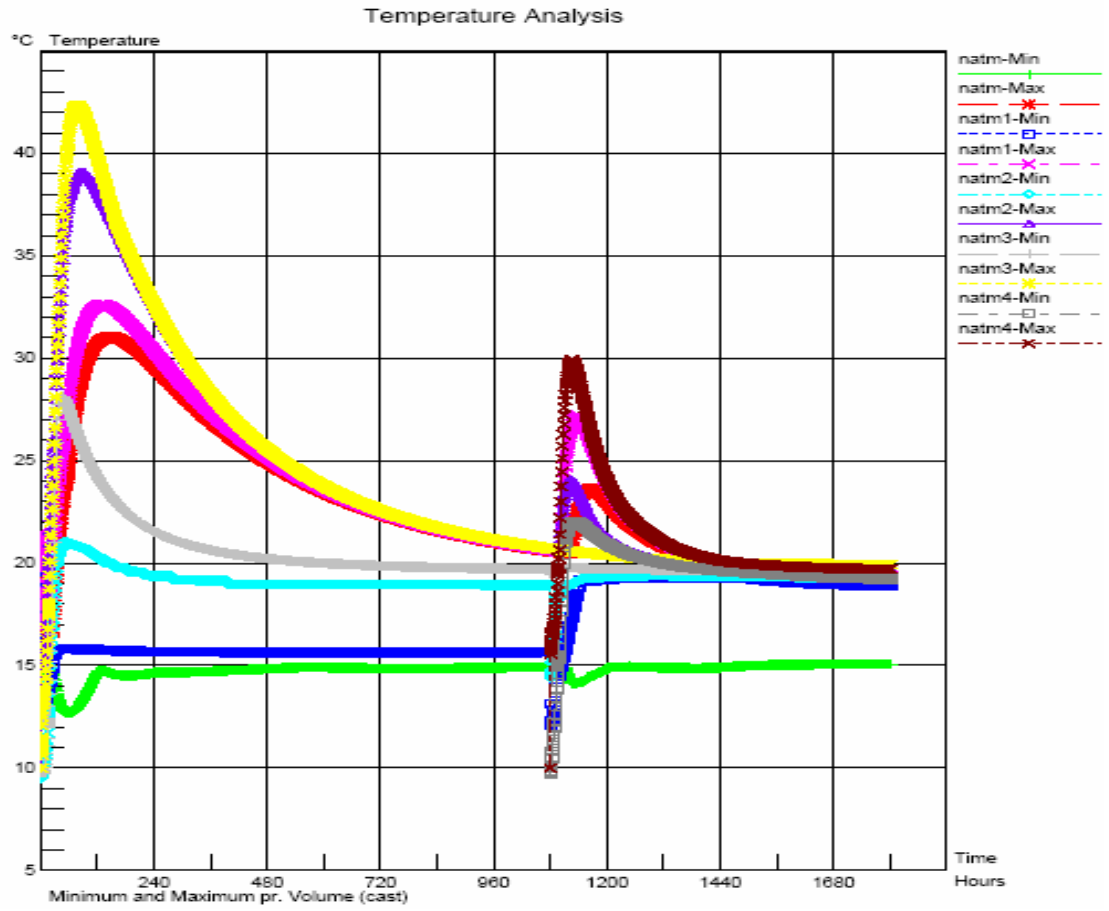
Şekil B.1: Analiz-1 Sıcaklık Grafiği



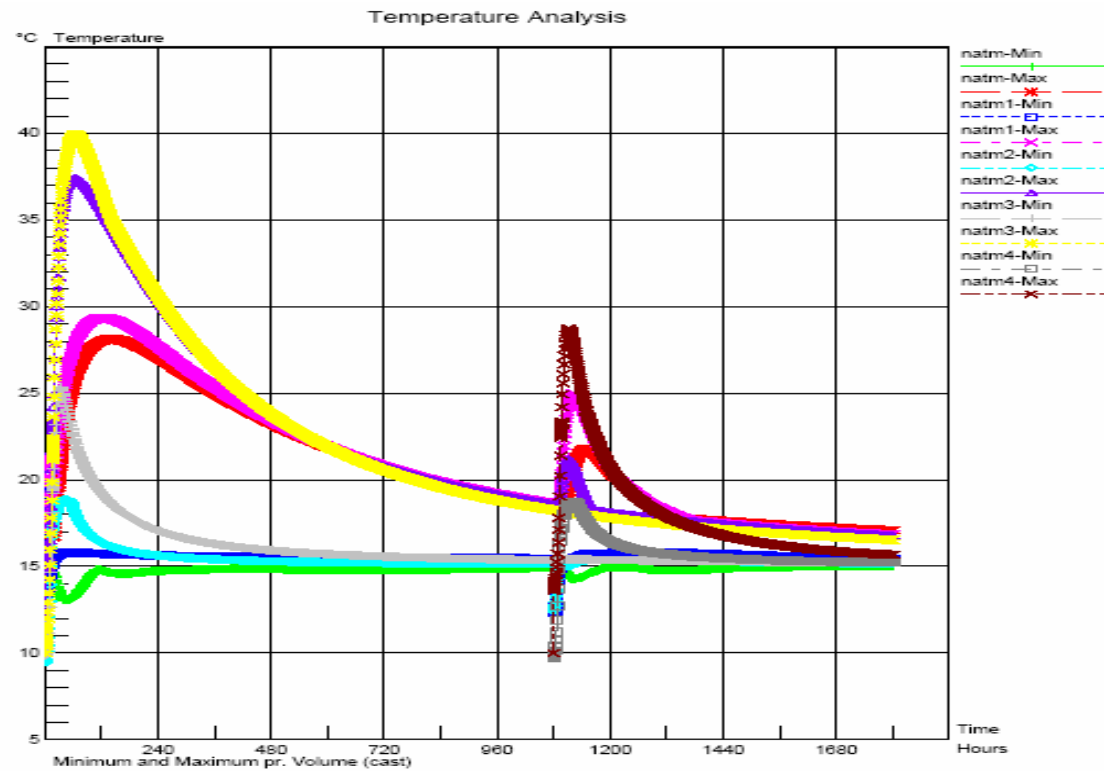
Şekil B.2: Analiz-1.1 Sıcaklık Grafiği



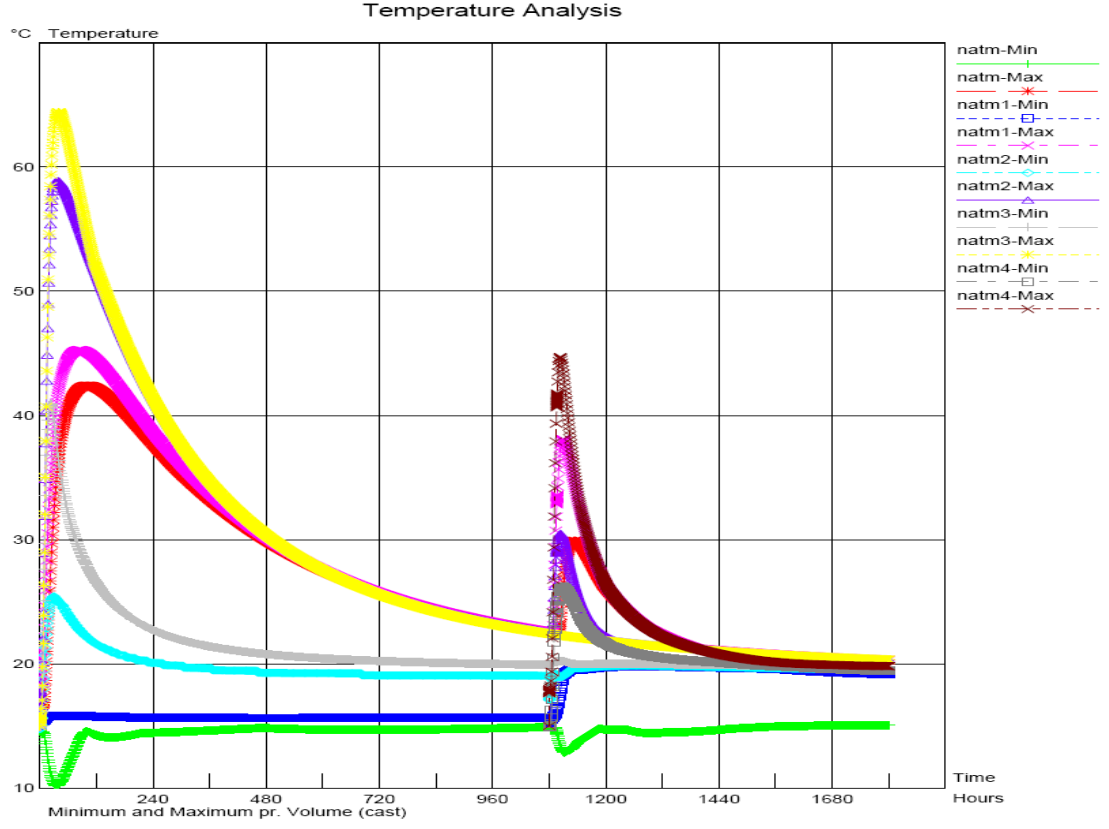
Şekil B.3: Analiz-1.2 Sıcaklık Grafiği



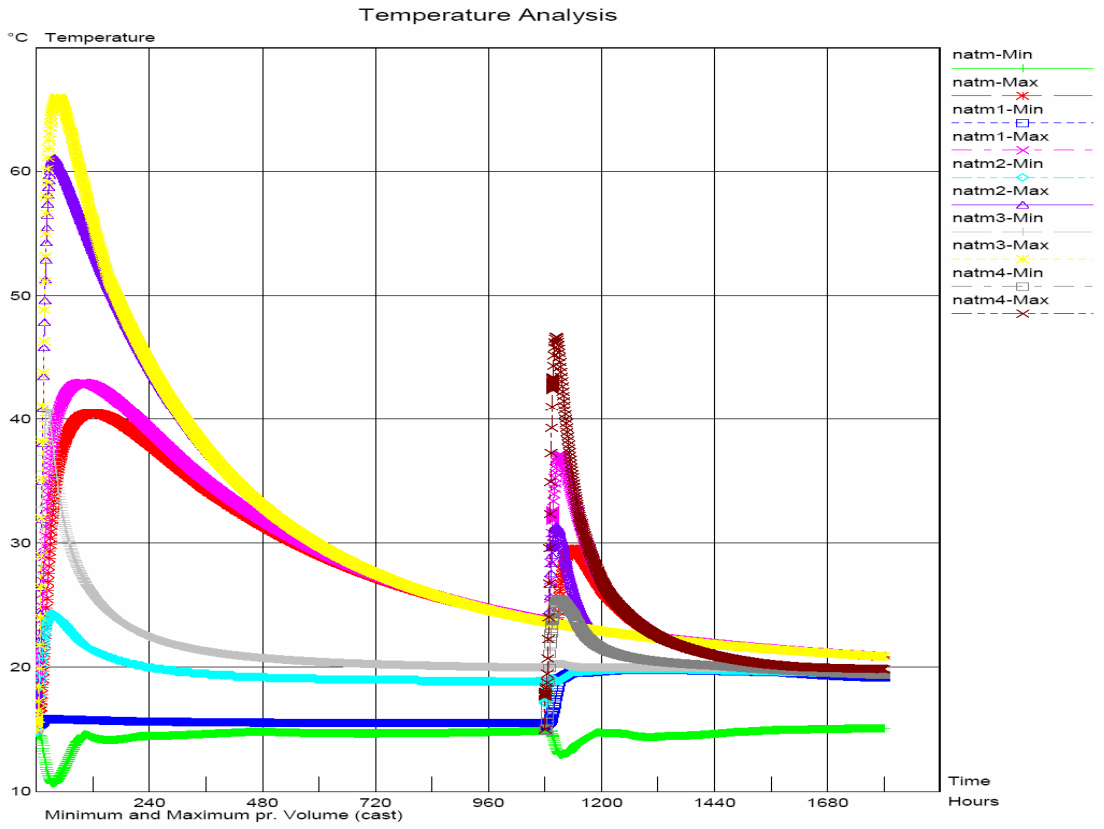
Şekil B.4: Analiz-1.3 Sıcaklık Grafiği



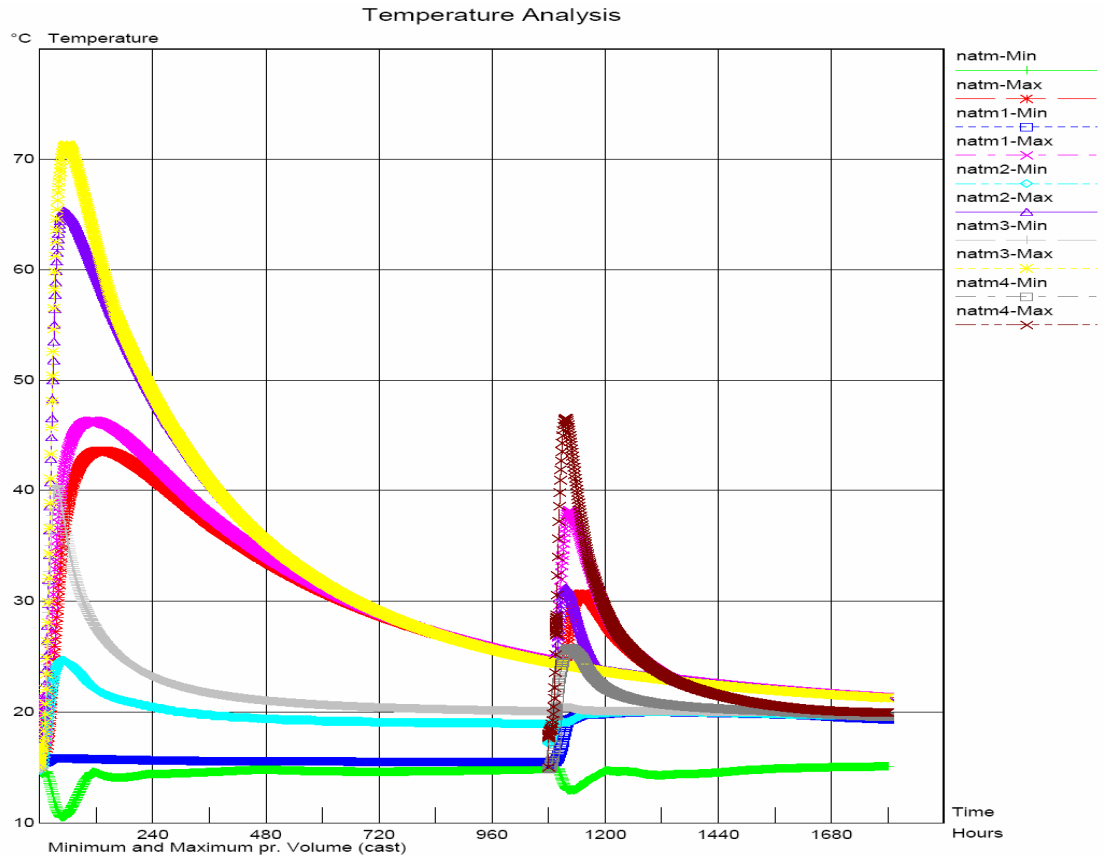
Şekil B.5: Analiz-1.4 Sıcaklık Grafiği



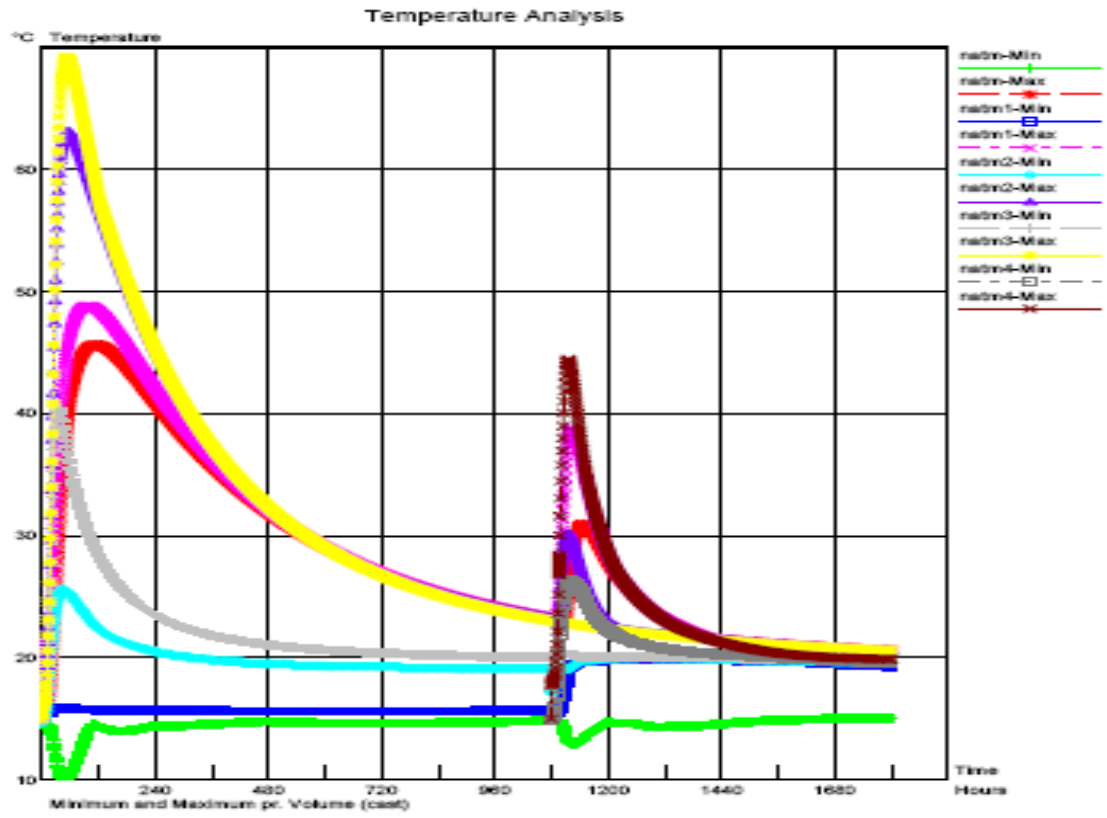
Şekil B.6: Analiz-2 Sıcaklık Grafiği



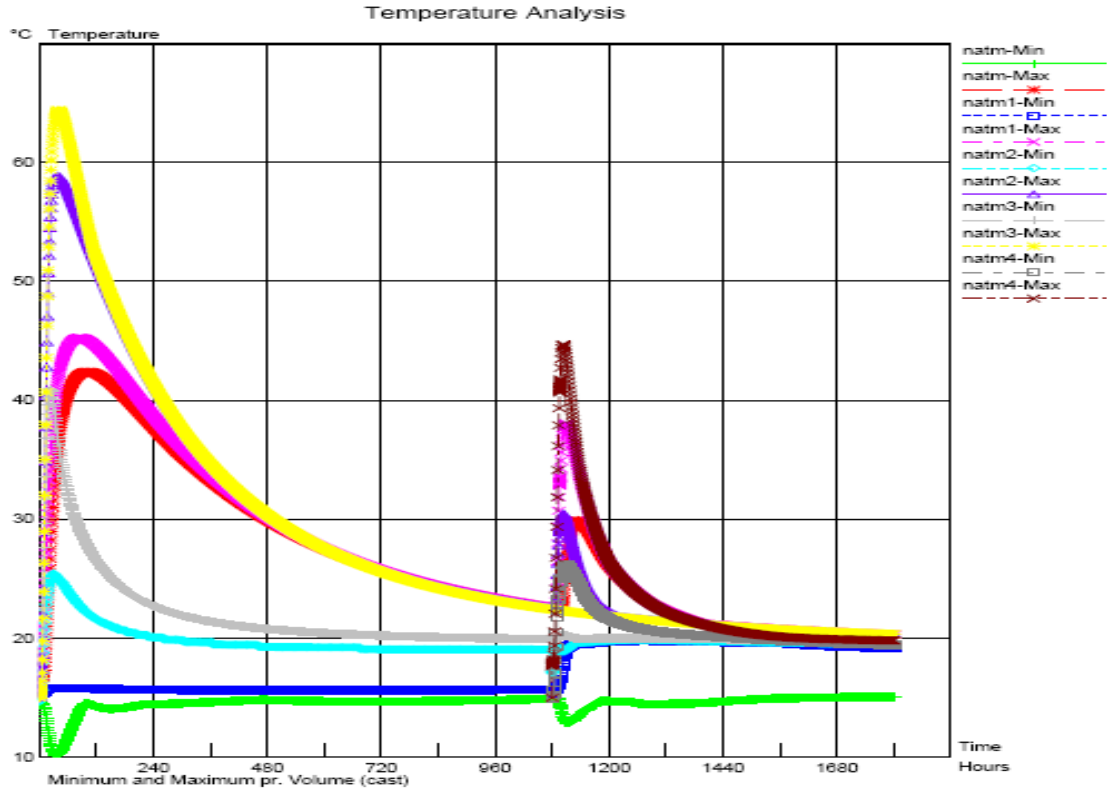
Şekil B.7: Analiz-2.1 Sıcaklık Grafiği



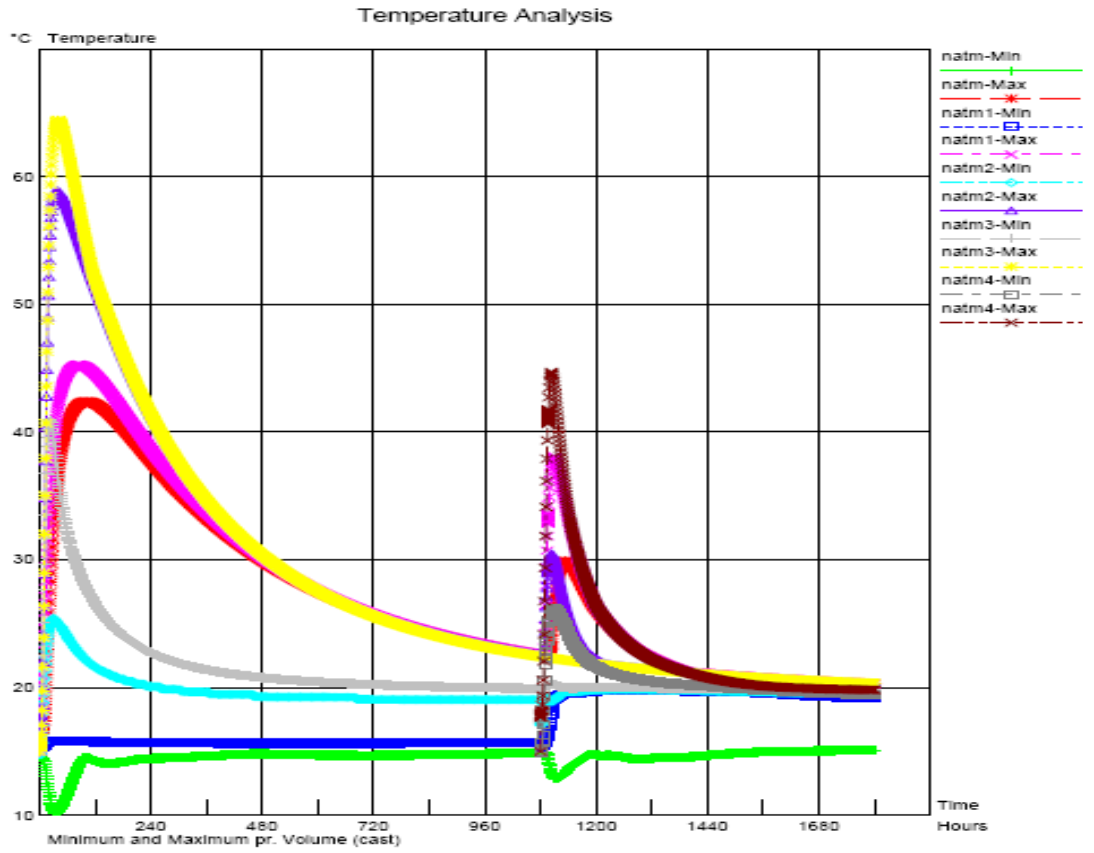
Şekil B.8: Analiz-2.2 Sıcaklık Grafiği



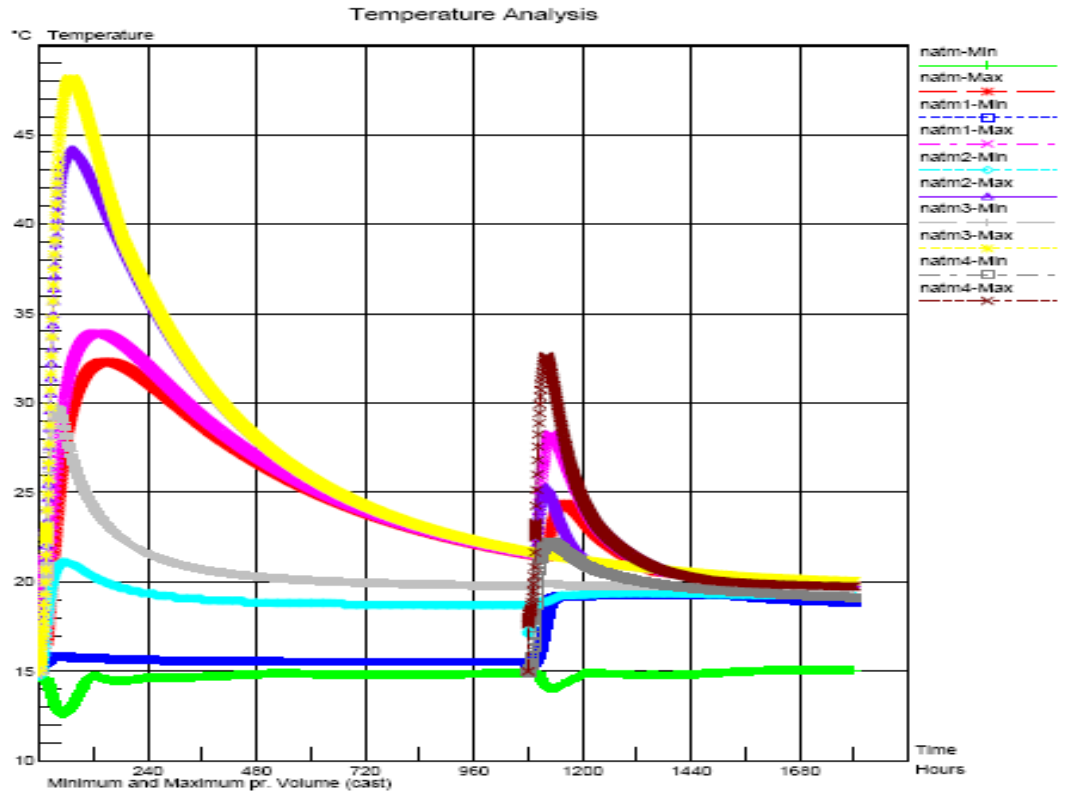
Şekil B.9: Analiz-2.3 Sıcaklık Grafiği



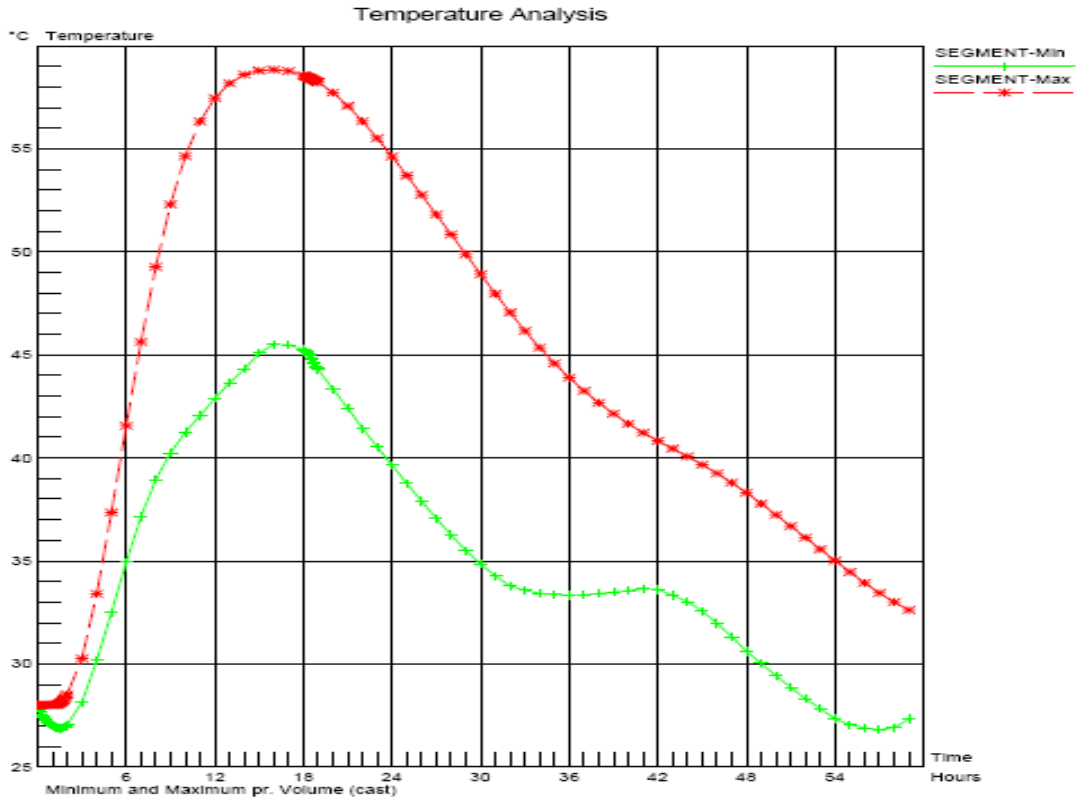
Şekil B.10: Analiz-2.4 Sıcaklık Grafiği



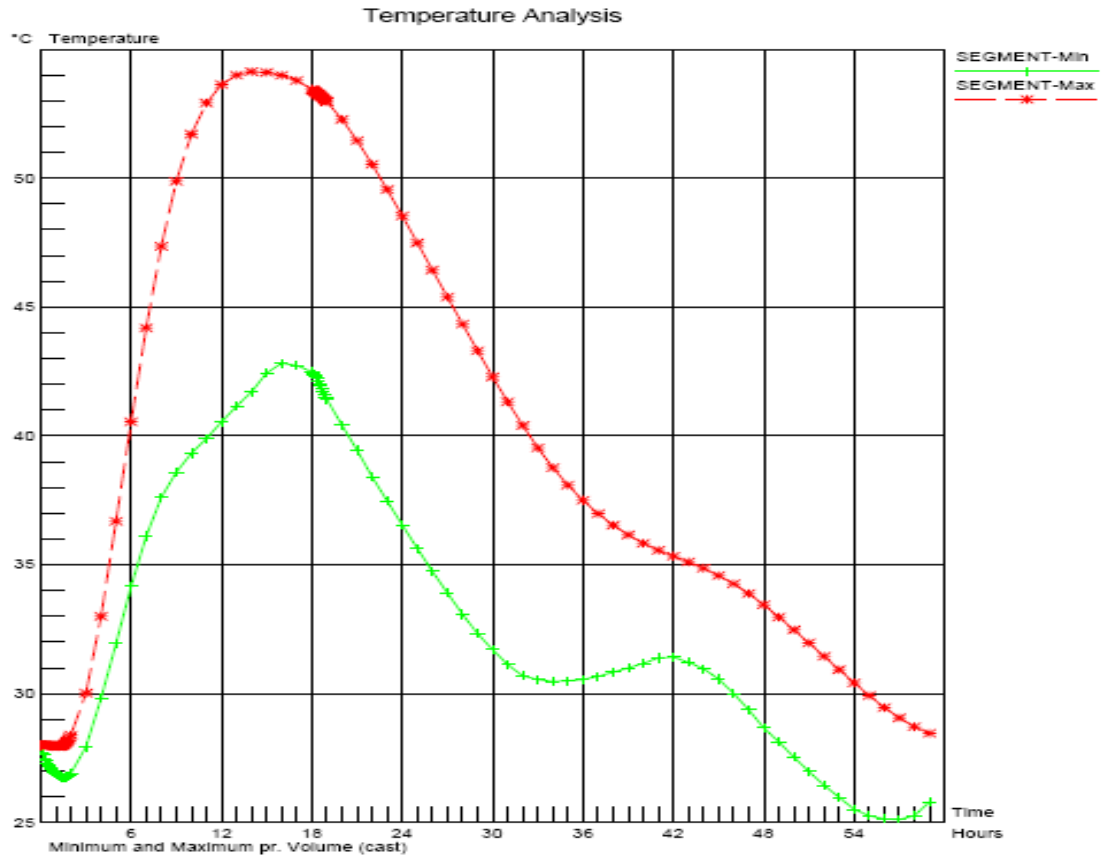
Şekil B.11: Analiz-2.5 Sıcaklık Grafiği



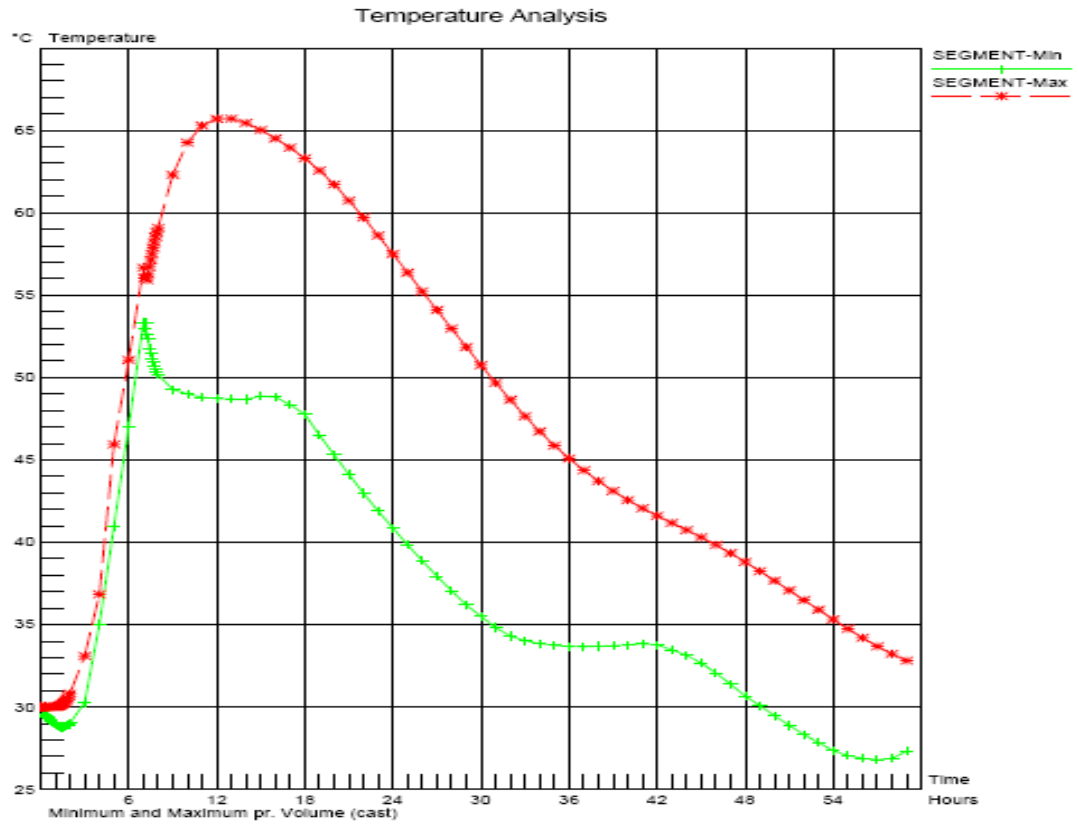
Şekil B.12: Analiz-3 Sıcaklık Grafiği



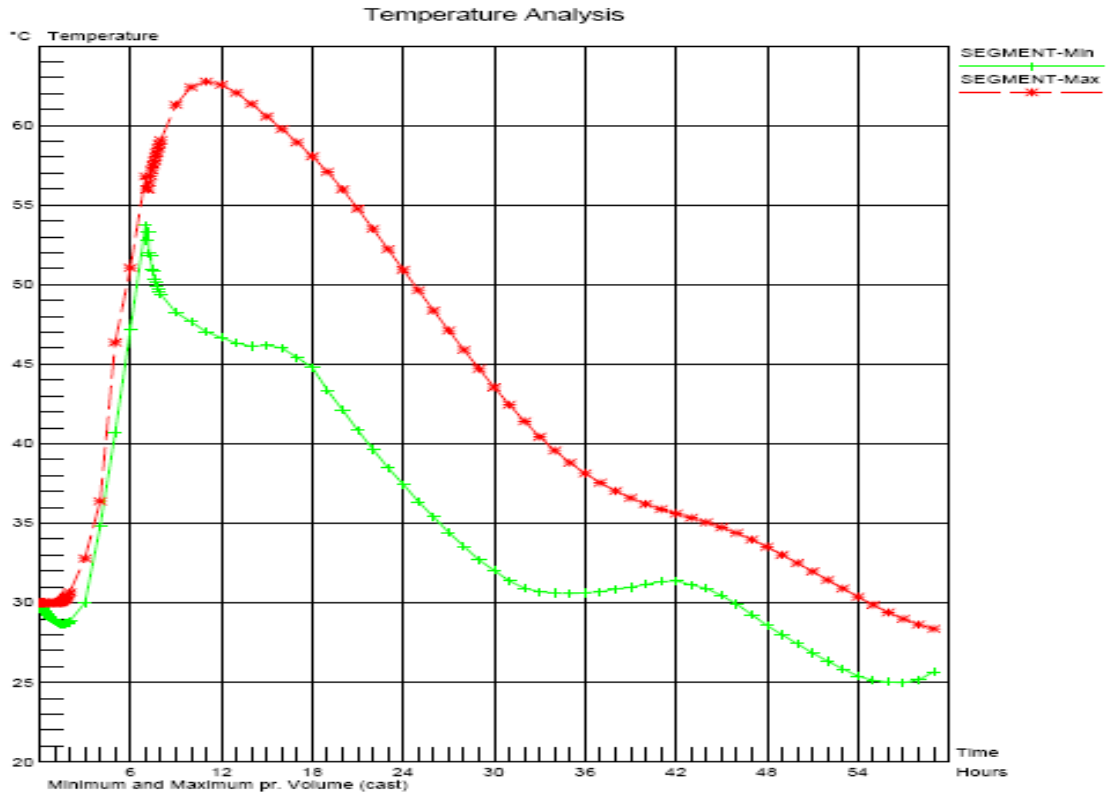
Şekil B.13: Analiz-4.1 Sıcaklık Grafiği



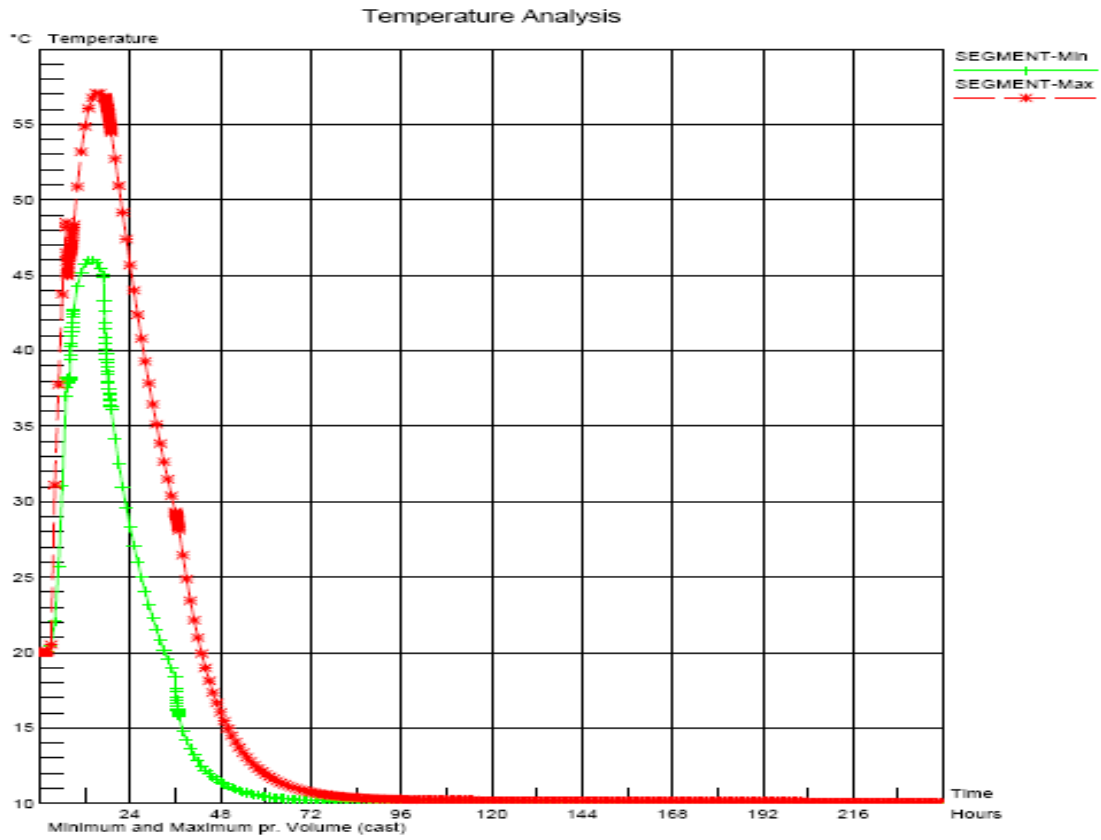
Şekil B.14: Analiz-4.2 Sıcaklık Grafiği



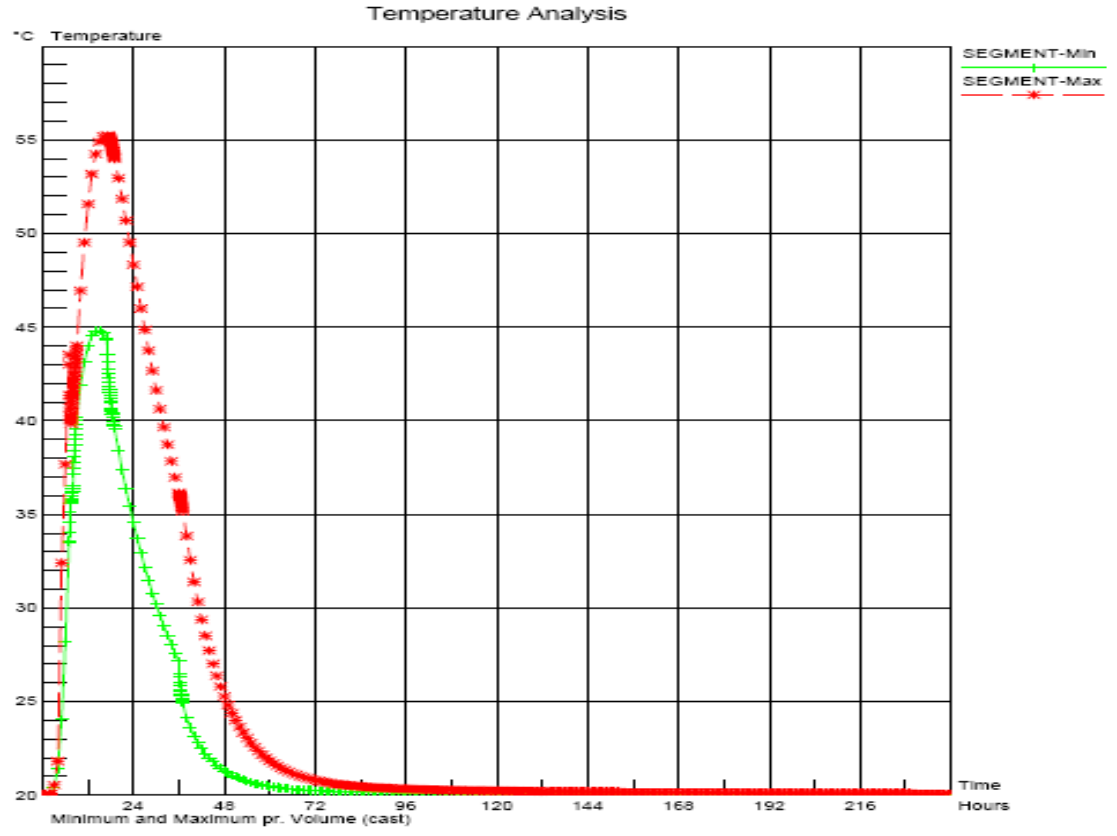
Şekil B.15: Analiz-4.3 Sıcaklık Grafiği



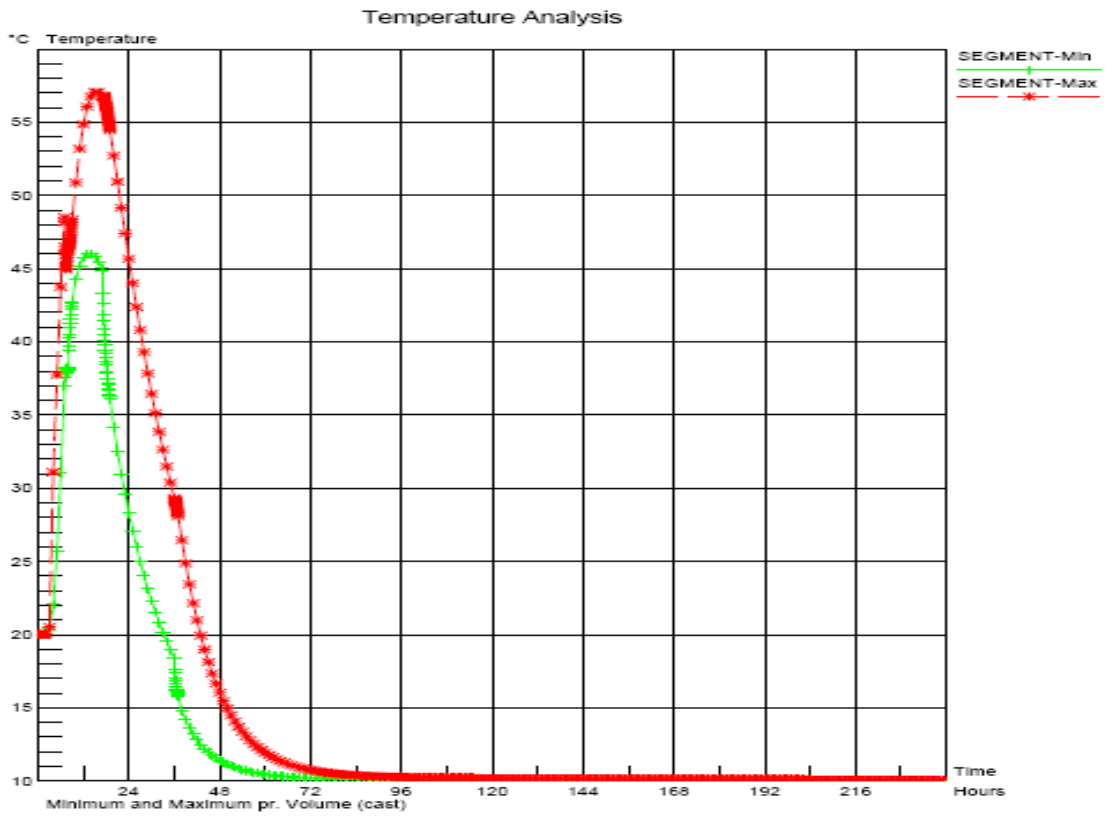
Şekil B.16: Analiz-4.4 Sıcaklık Grafiği



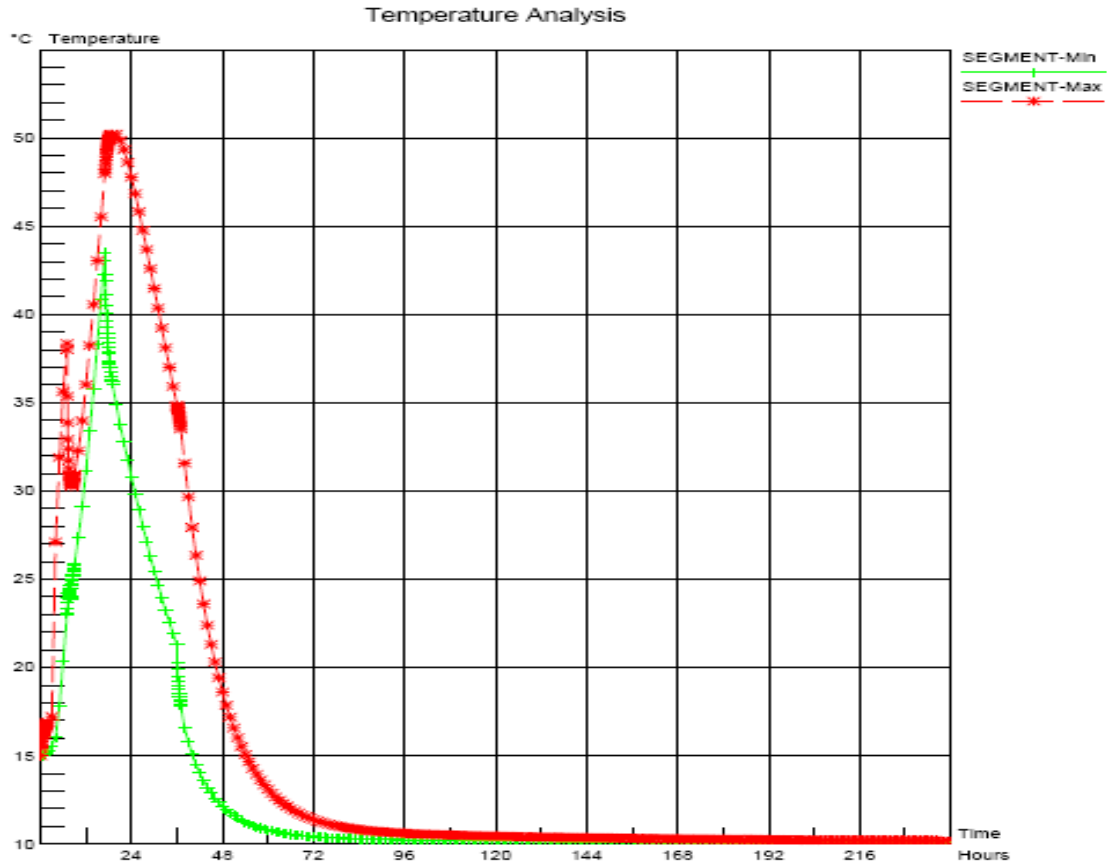
Şekil B.17: Analiz-4.5 Sıcaklık Grafiği



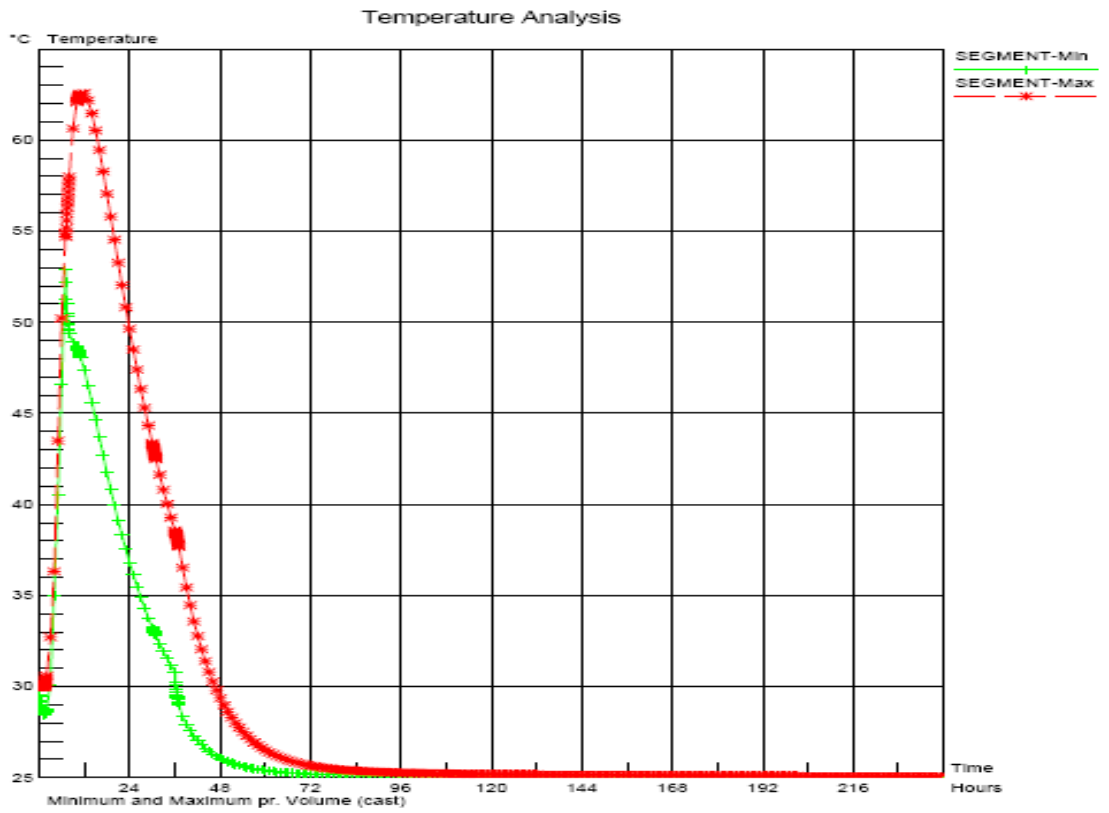
Şekil B.18: Analiz-4.6 Sıcaklık Grafiği



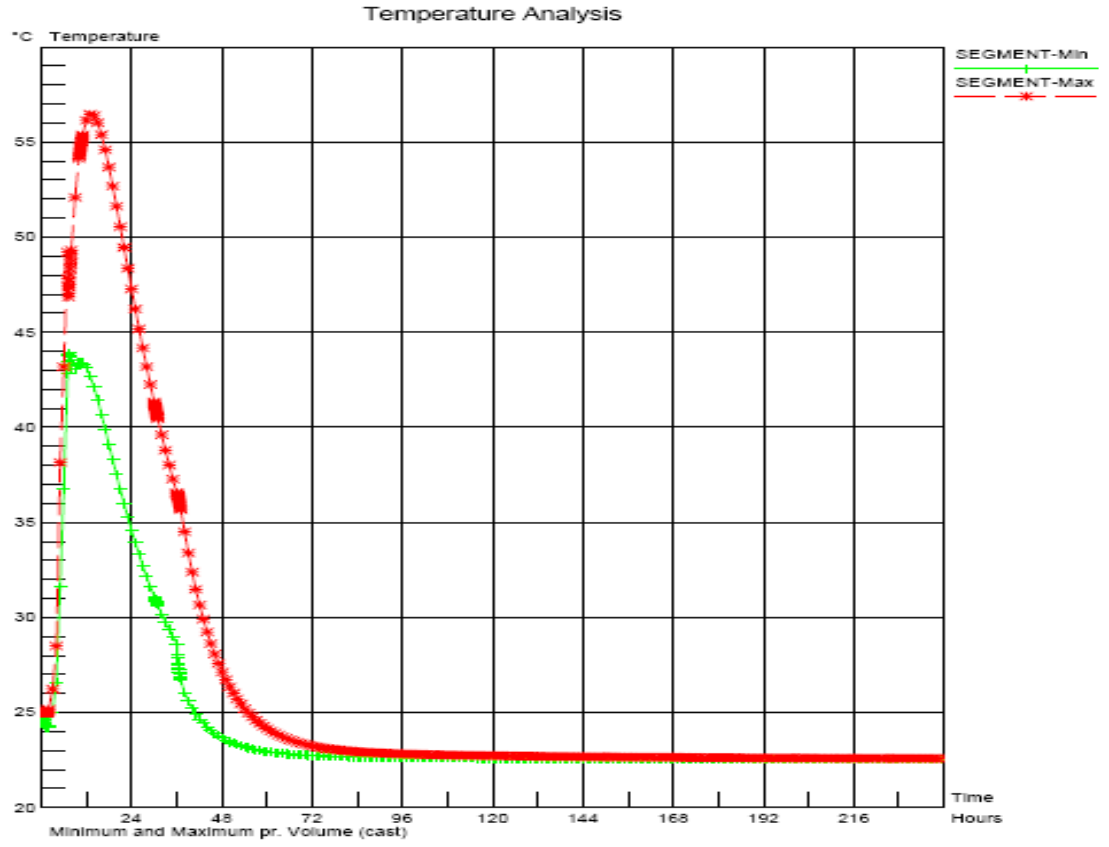
Şekil B.19: Analiz-4.7 Sıcaklık Grafiği



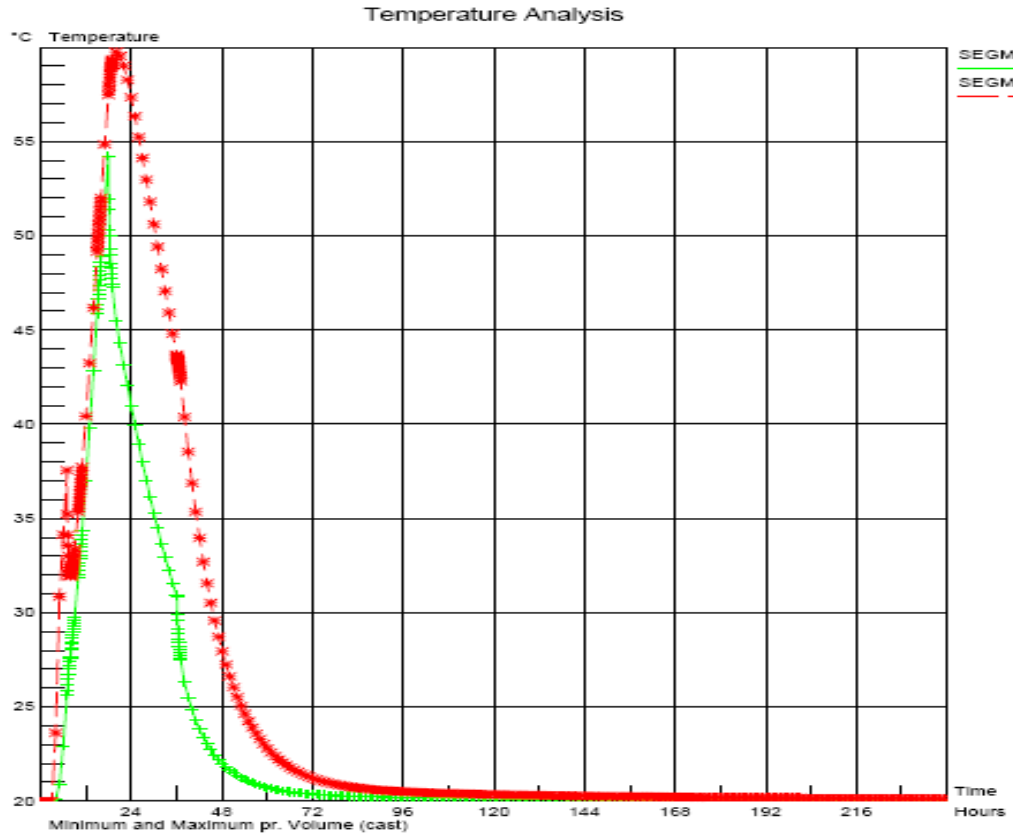
Şekil B.20: Analiz-4.8 Sıcaklık Grafiği



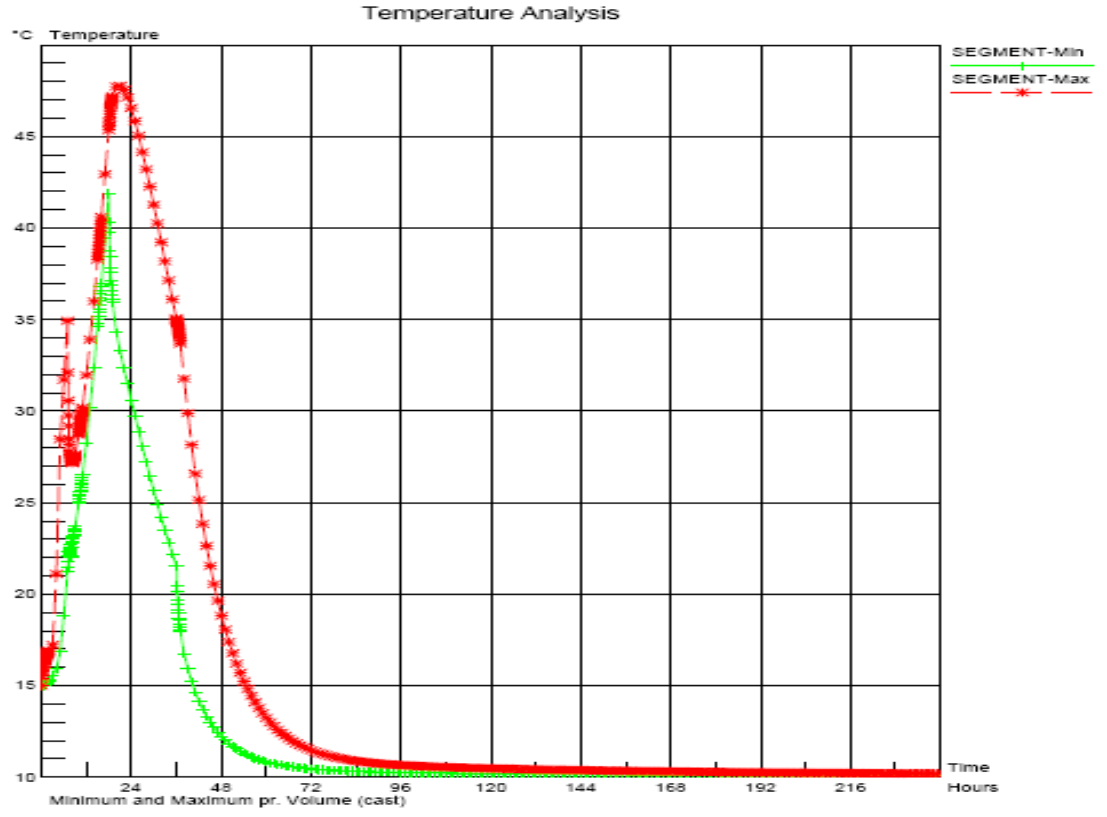
Şekil B.21: Analiz-4.9 Sıcaklık Grafiği



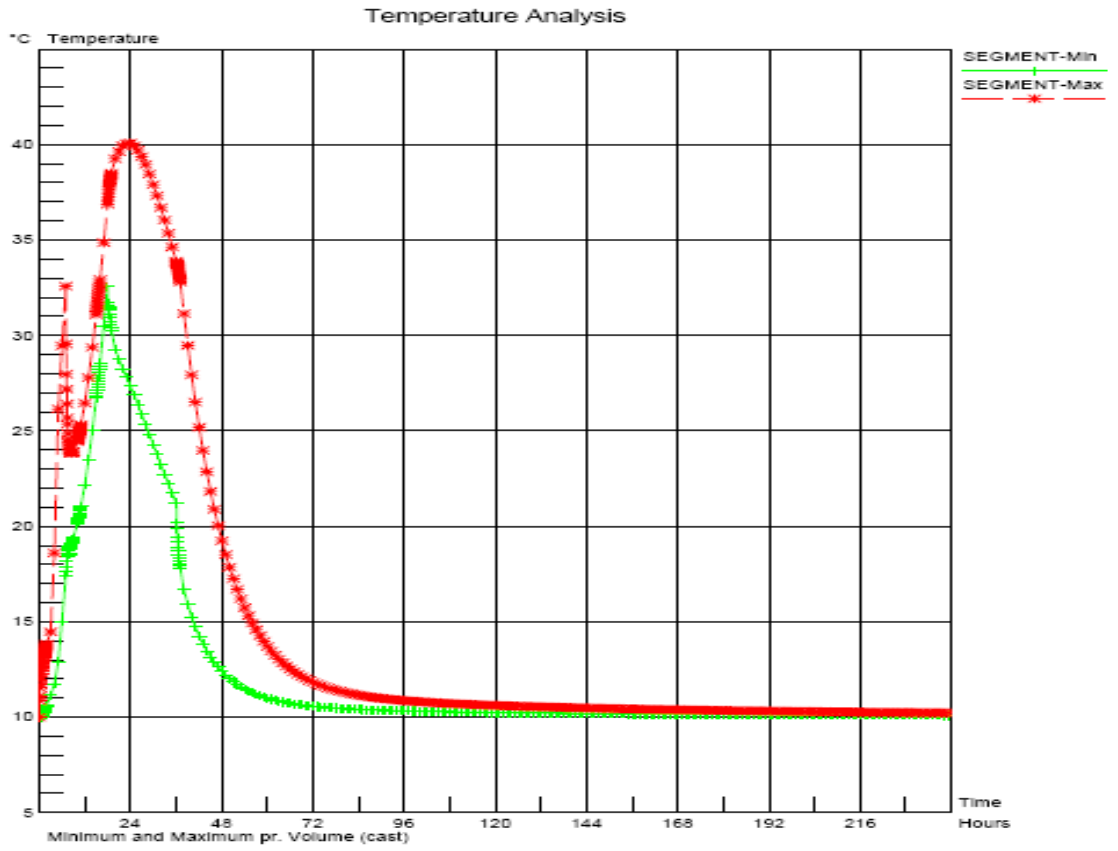
Şekil B.22: Analiz-4.10 Sıcaklık Grafiği



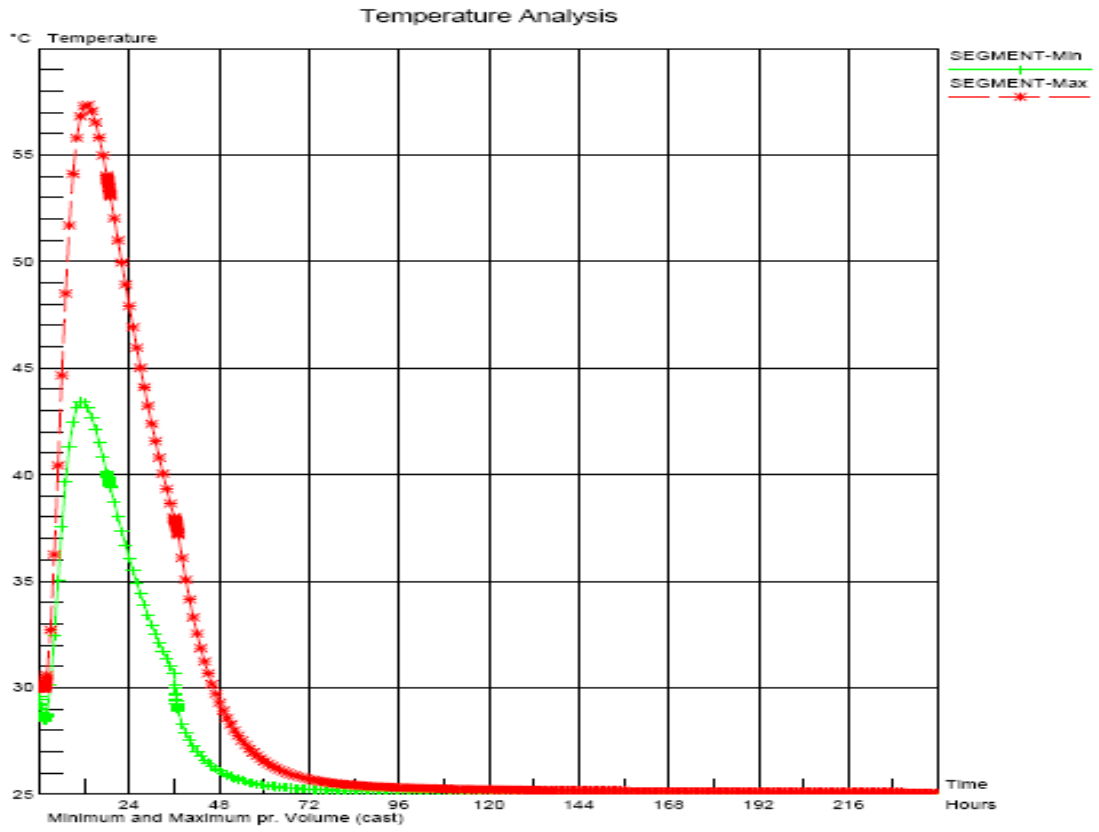
Şekil B.23: Analiz-4.11 Sıcaklık Grafiği



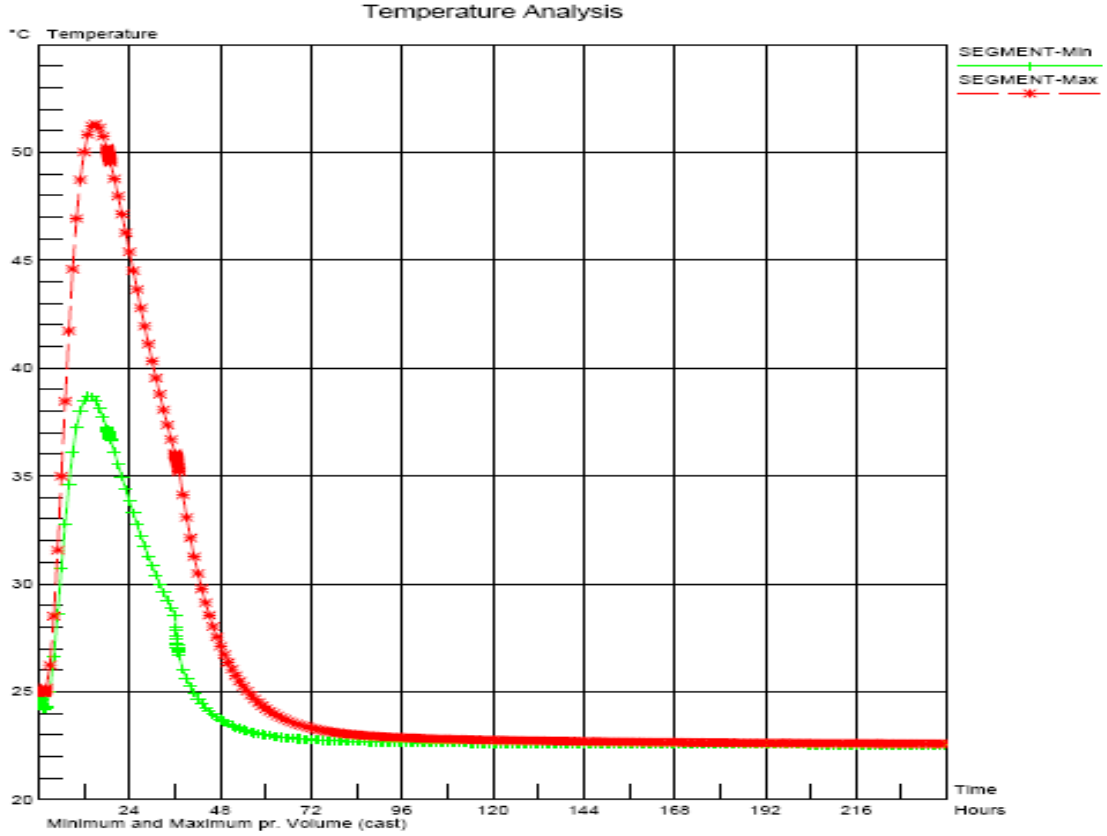
Şekil B.24: Analiz-4.12 Sıcaklık Grafiği



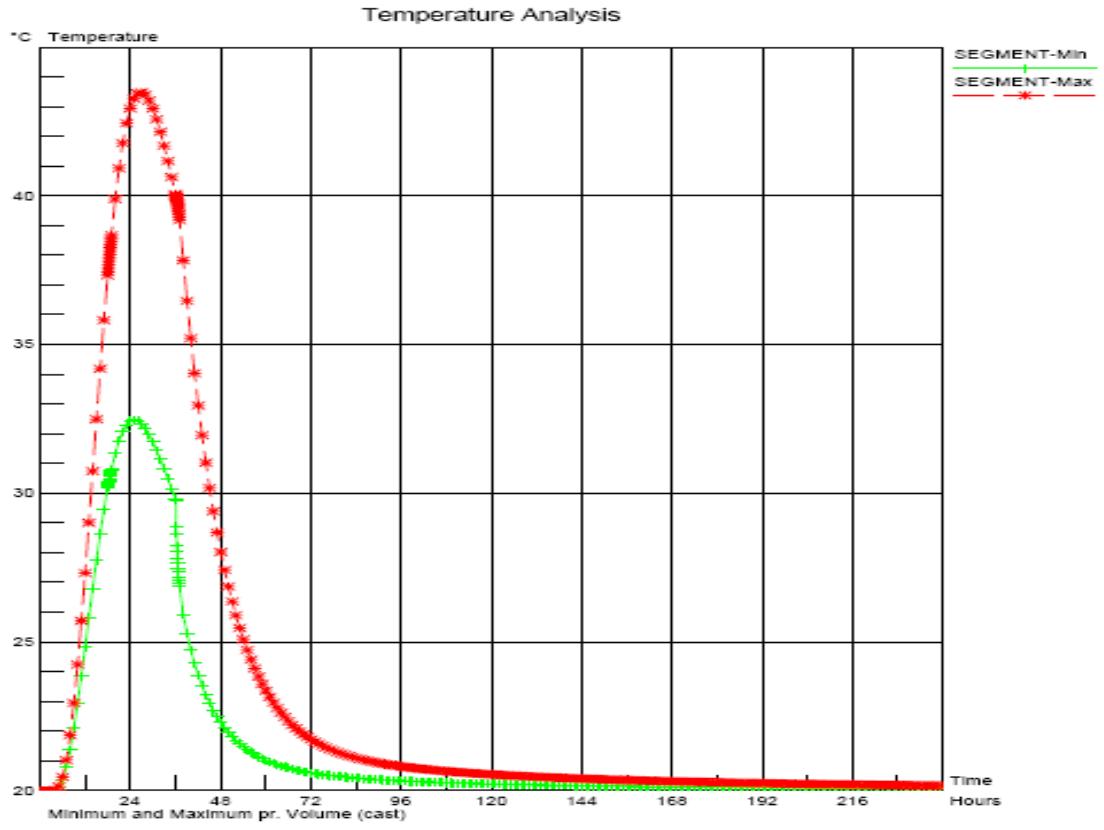
Şekil B.25: Analiz-4.13 Sıcaklık Grafiği



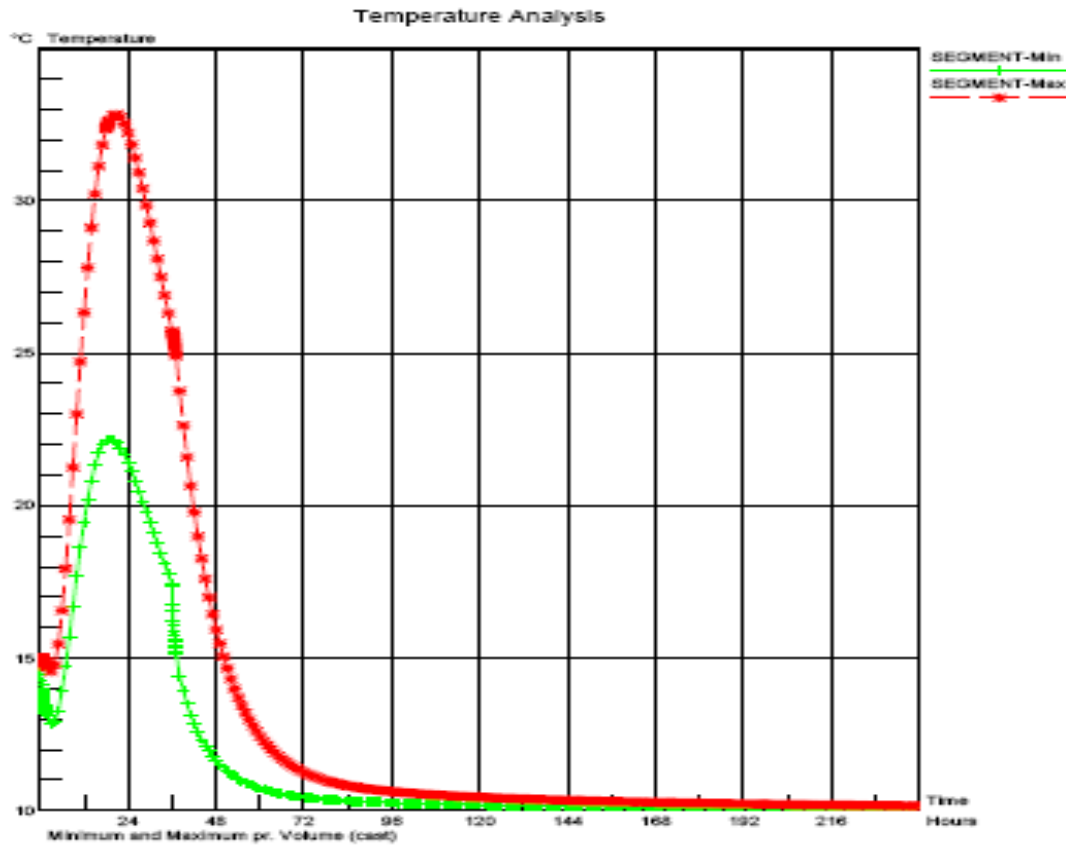
Şekil B.26: Analiz-4.14 Sıcaklık Grafiği



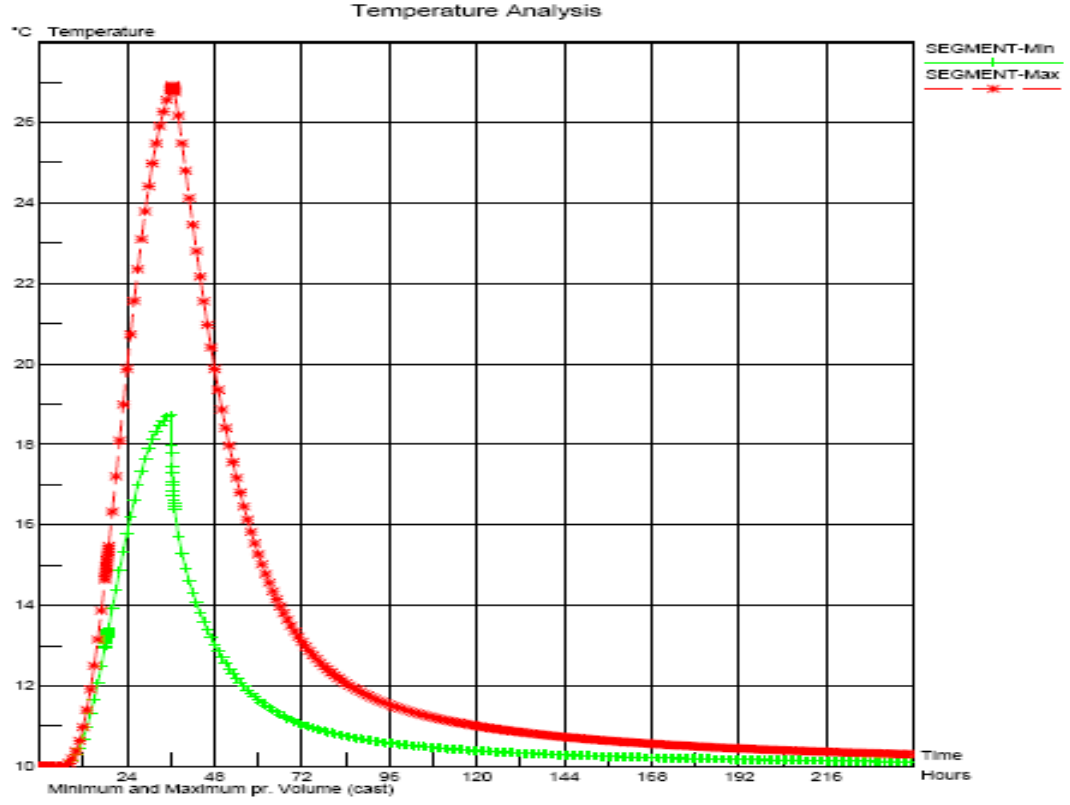
Şekil B.27: Analiz-4.15 Sıcaklık Grafiği



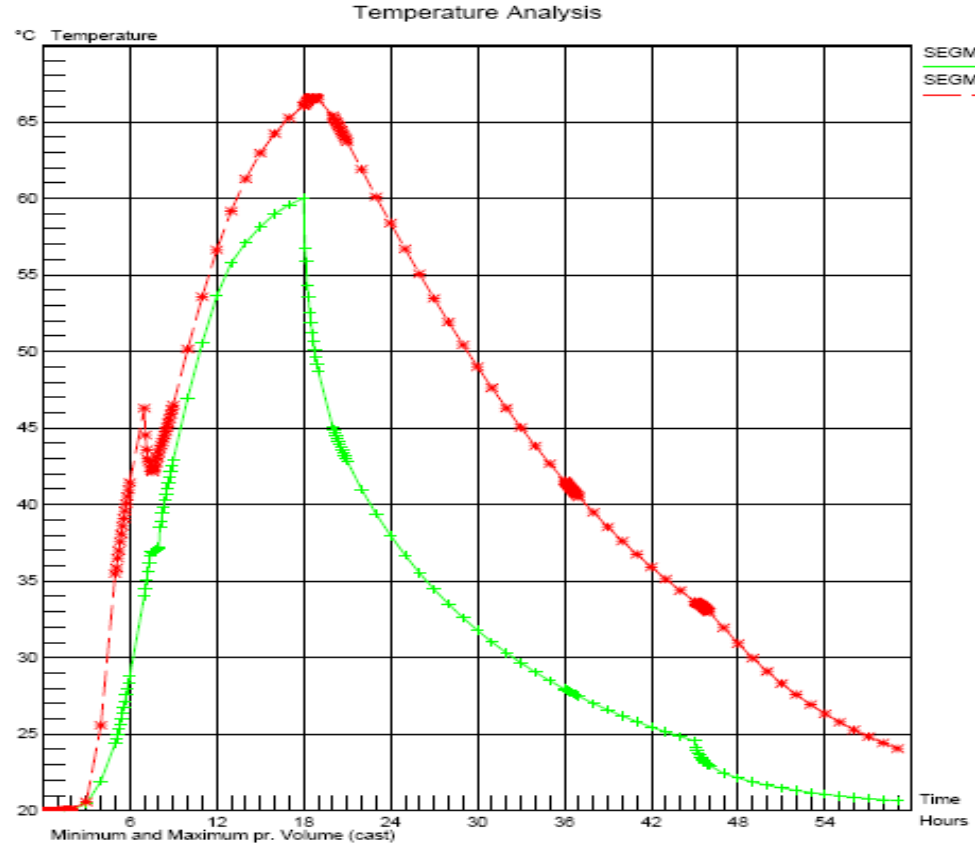
Şekil B.28: Analiz-4.16 Sıcaklık Grafiği



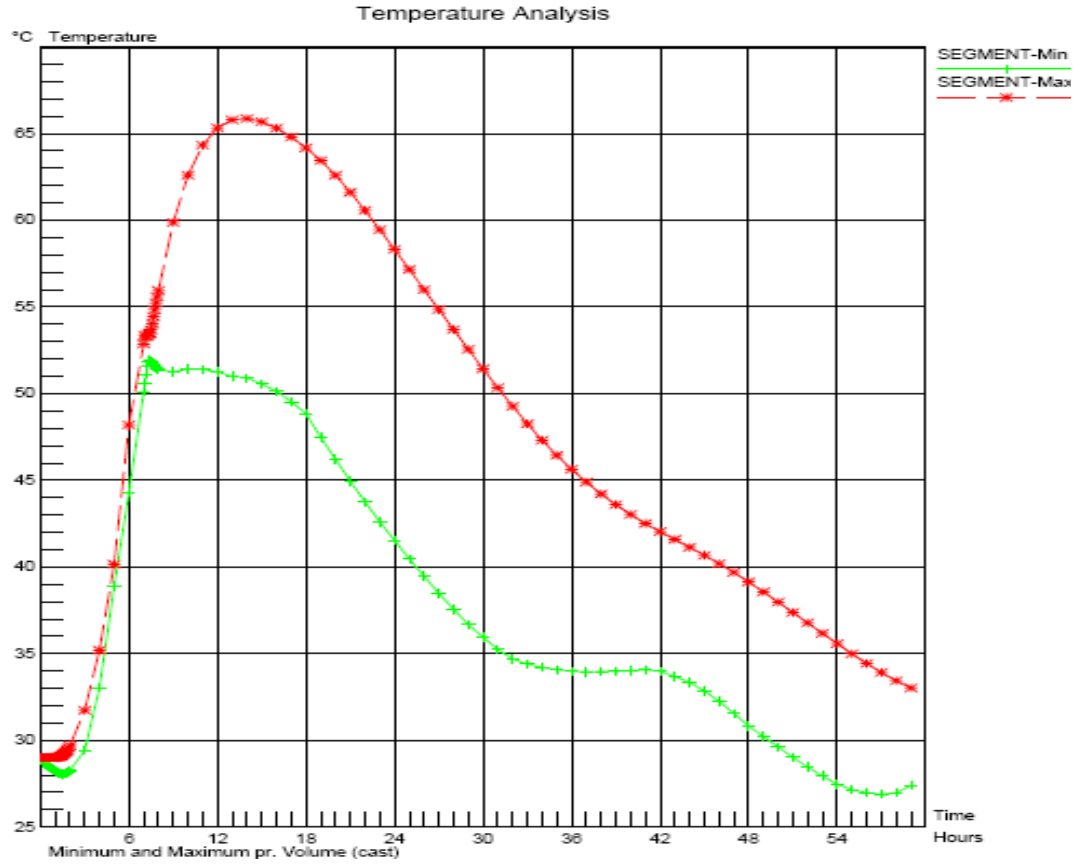
Şekil B.29: Analiz-4.17 Sıcaklık Grafiği



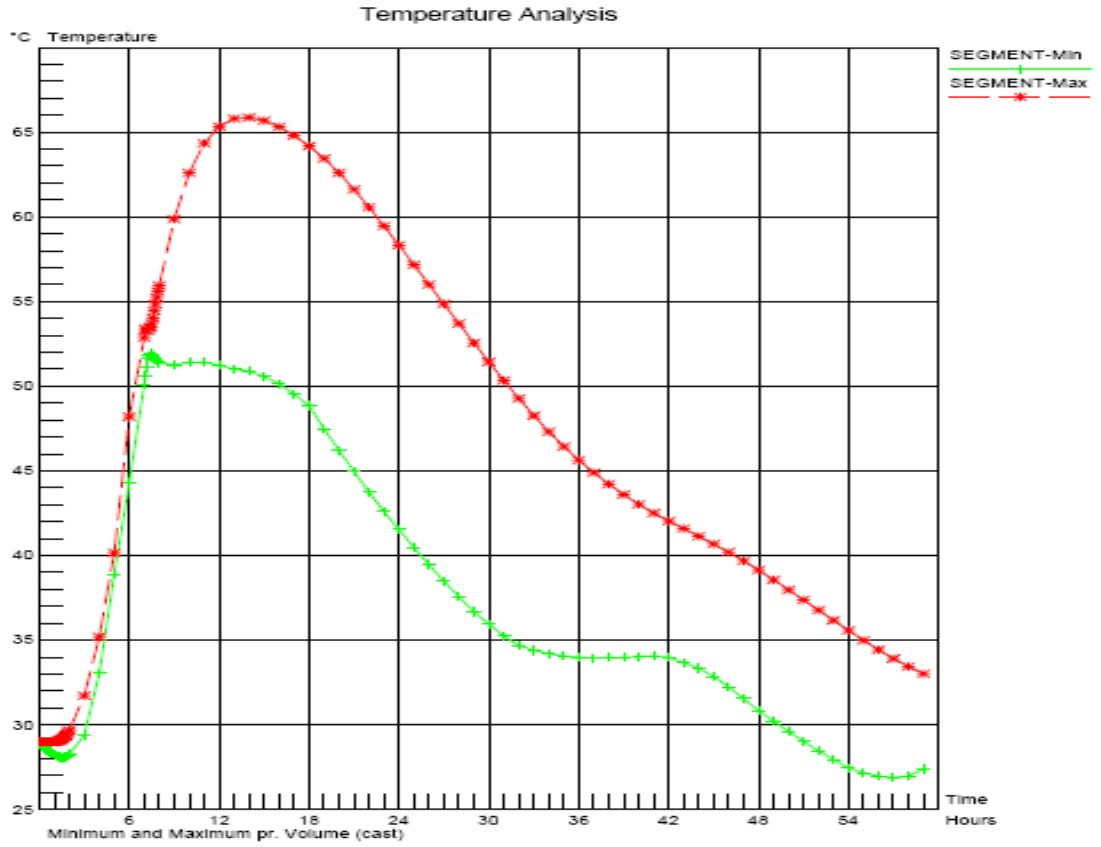
Şekil B.30: Analiz-4.18 Sıcaklık Grafiği



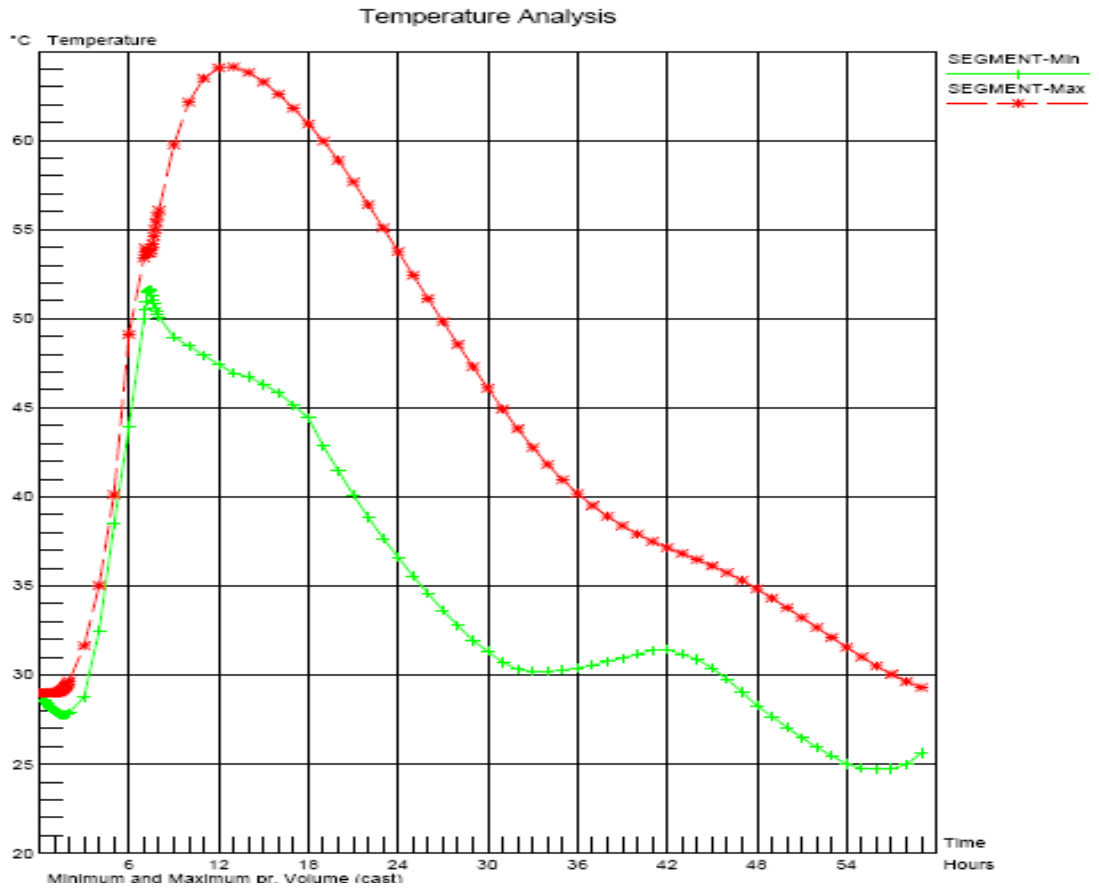
Şekil B.31: Analiz-19 Sıcaklık Grafiği



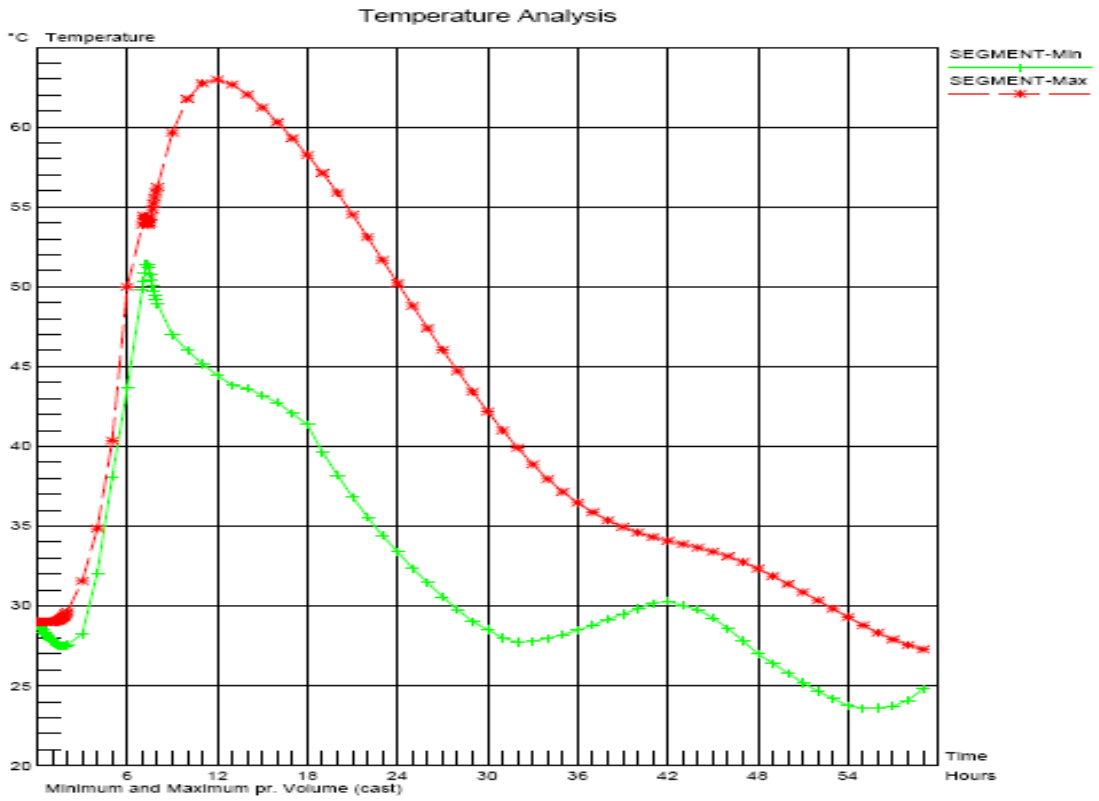
Şekil B.32: Analiz-4.20 Sıcaklık Grafiği



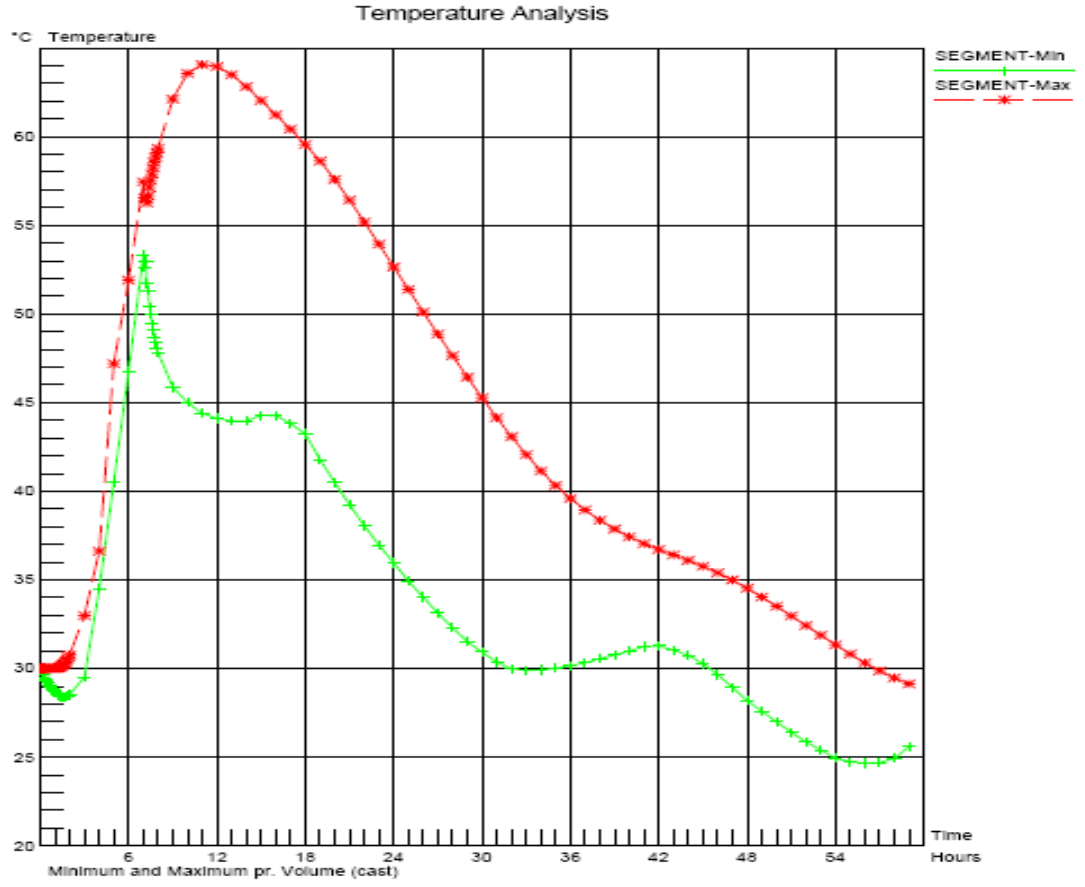
Şekil B.33: Analiz-4.21 Sıcaklık Grafiği



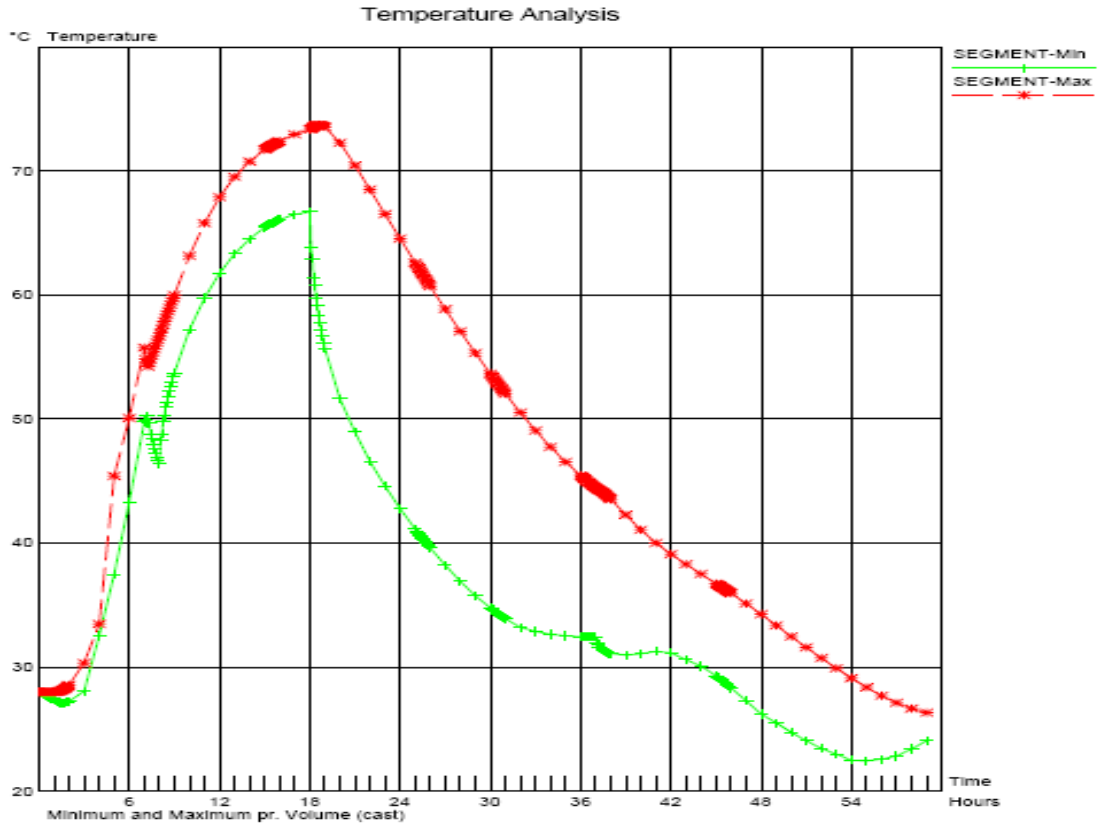
Şekil B.34: Analiz-4.22 Sıcaklık Grafiği



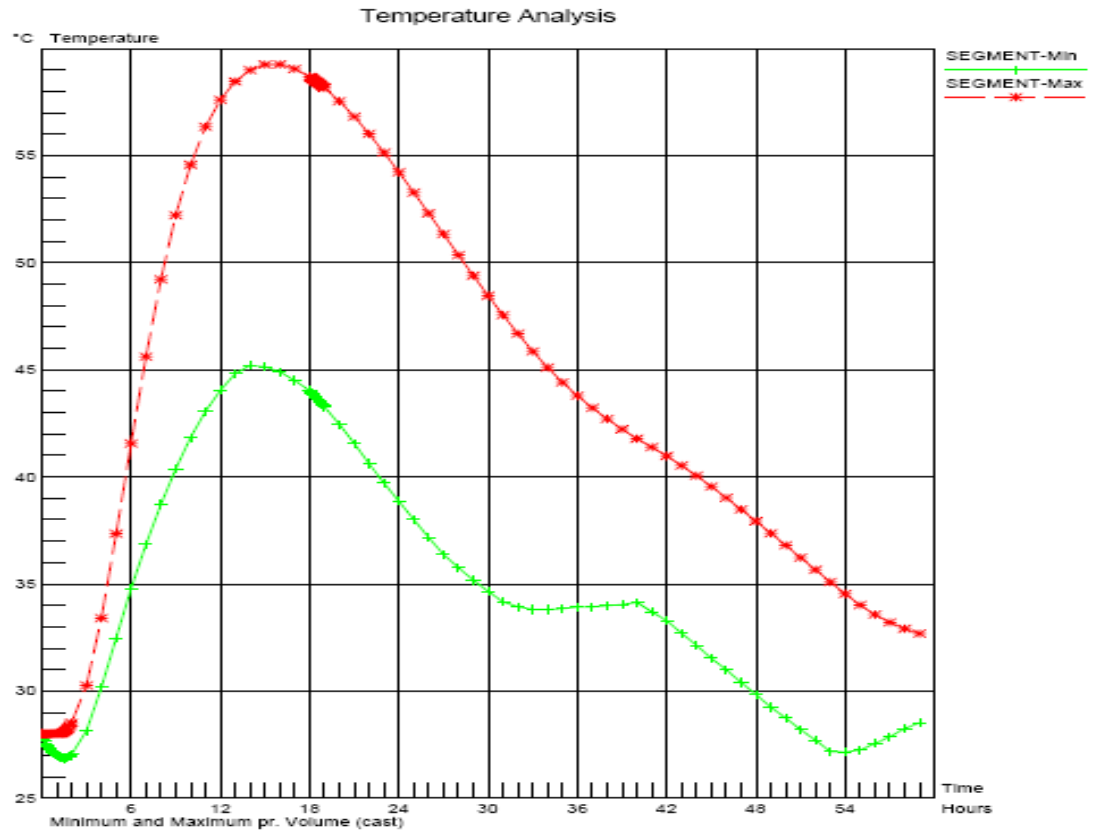
Şekil B.35: Analiz-4.23 Sıcaklık Grafiği



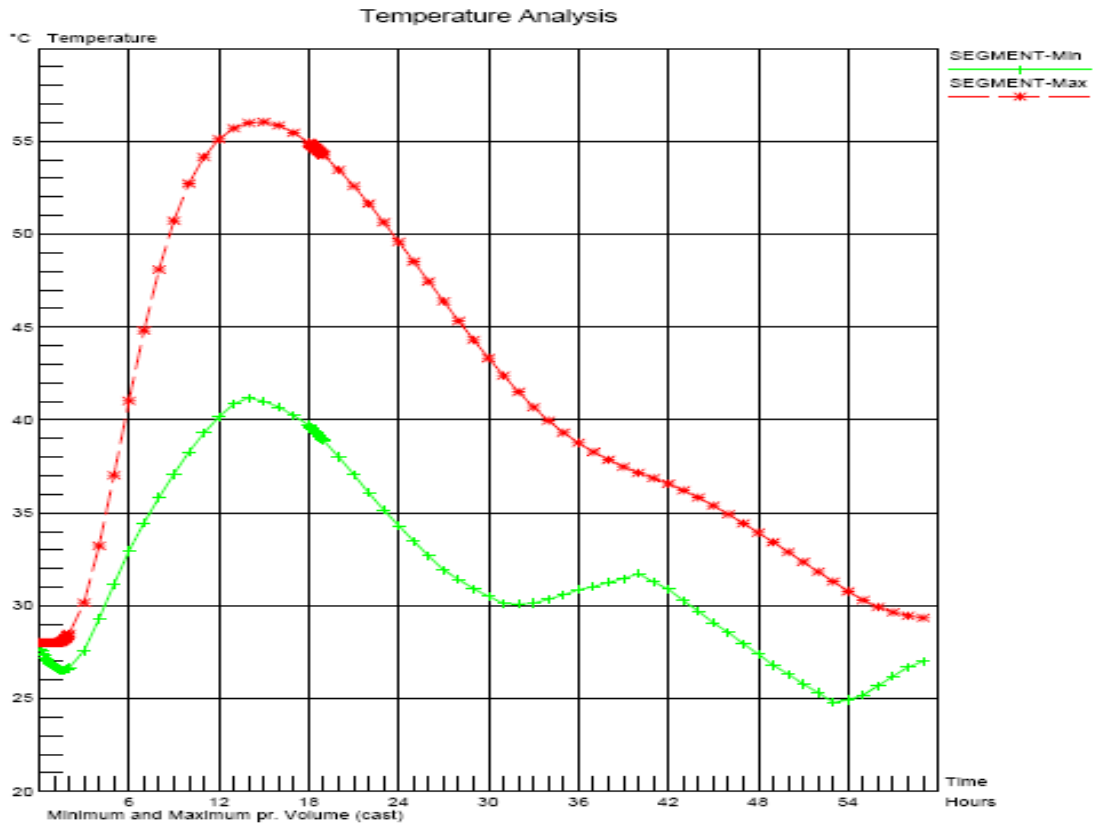
Şekil B.36: Analiz-4.24 Sıcaklık Grafiği



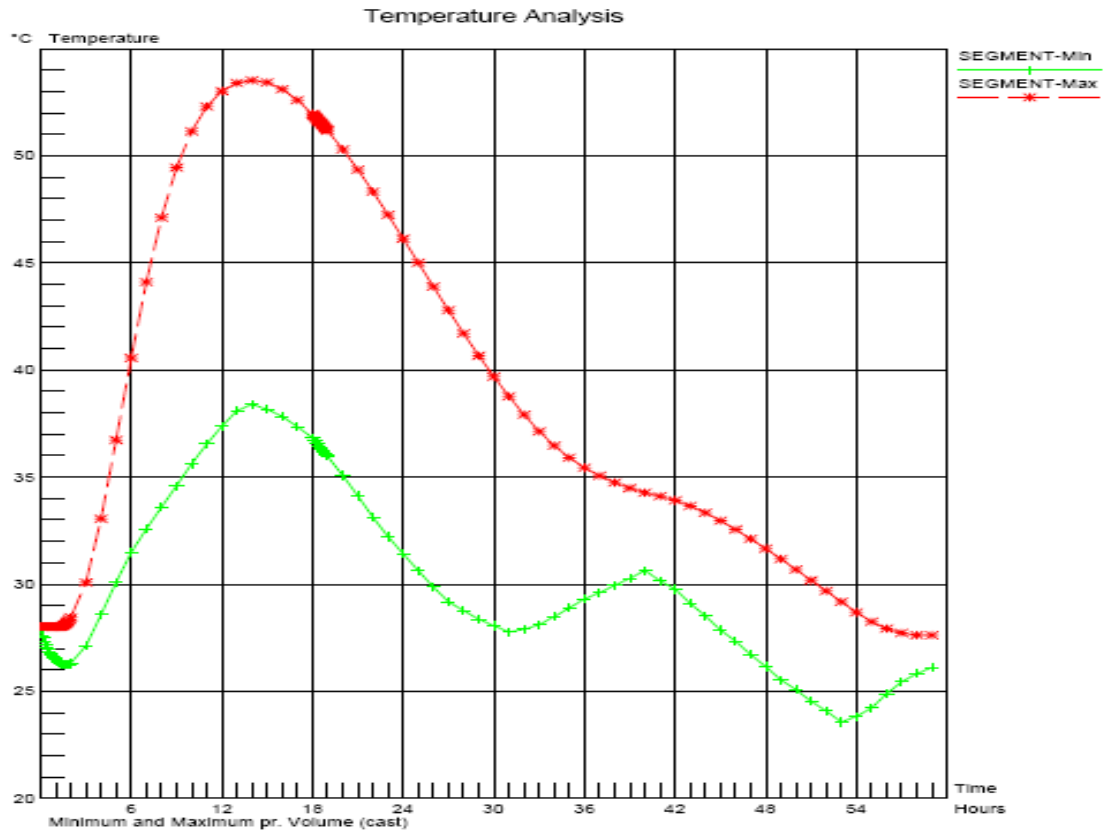
Şekil B.37: Analiz-4.25 Sıcaklık Grafiği



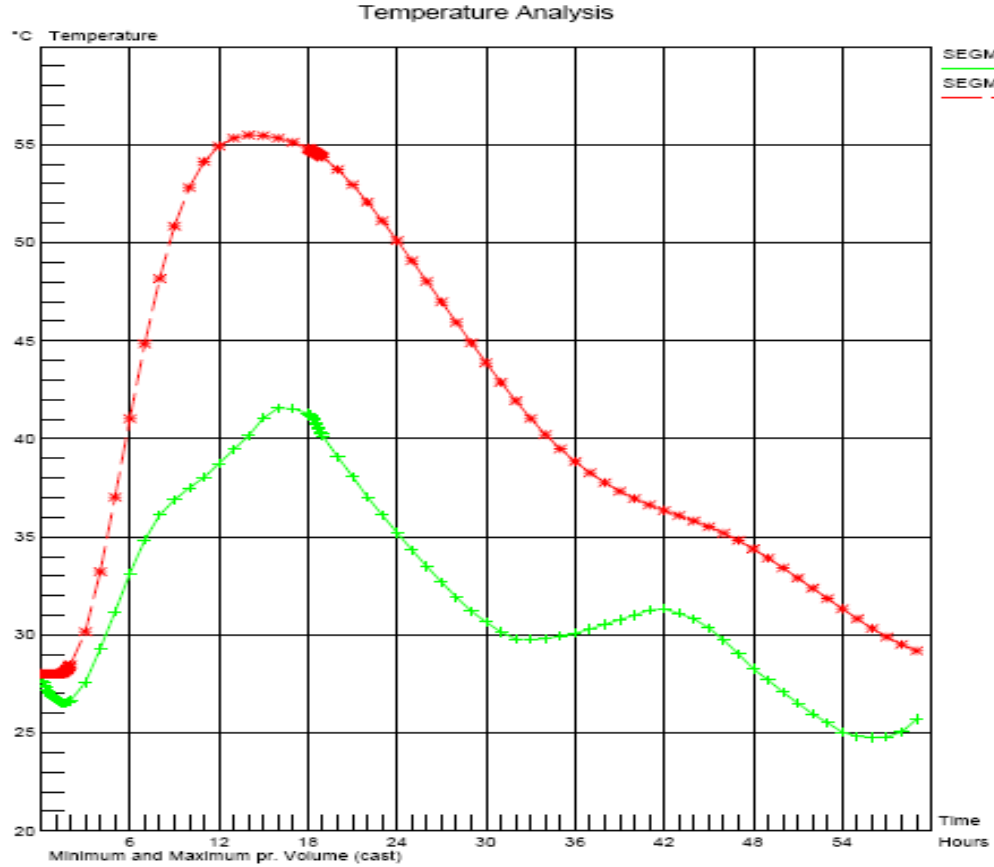
Şekil B.38: Analiz-4.26 Sıcaklık Grafiği



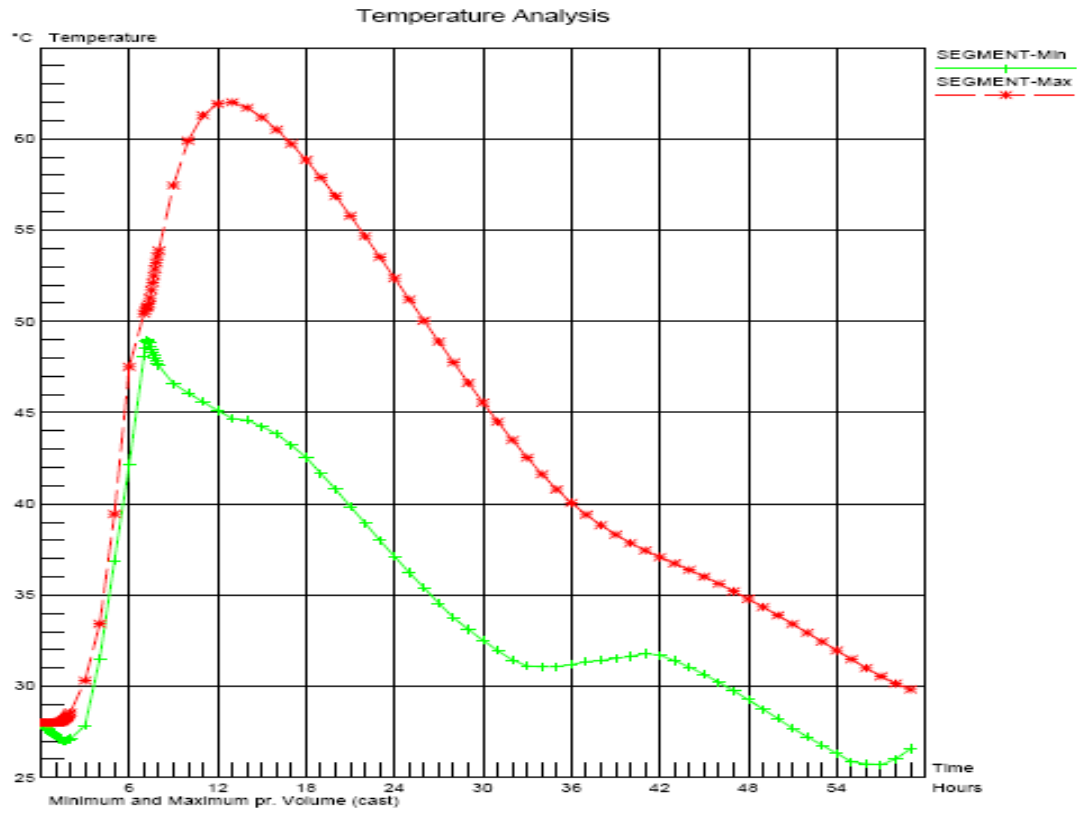
Şekil B.39: Analiz-4.27 Sıcaklık Grafiği



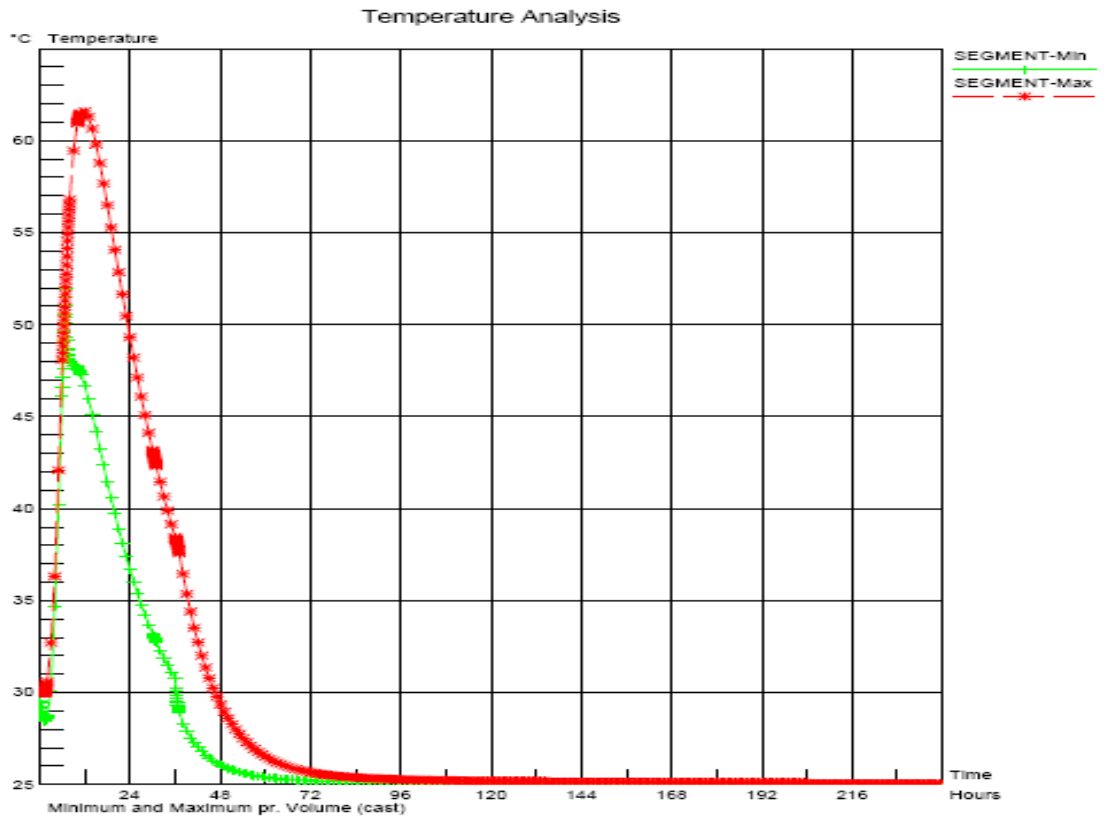
Şekil B.40: Analiz-4.28 Sıcaklık Grafiği



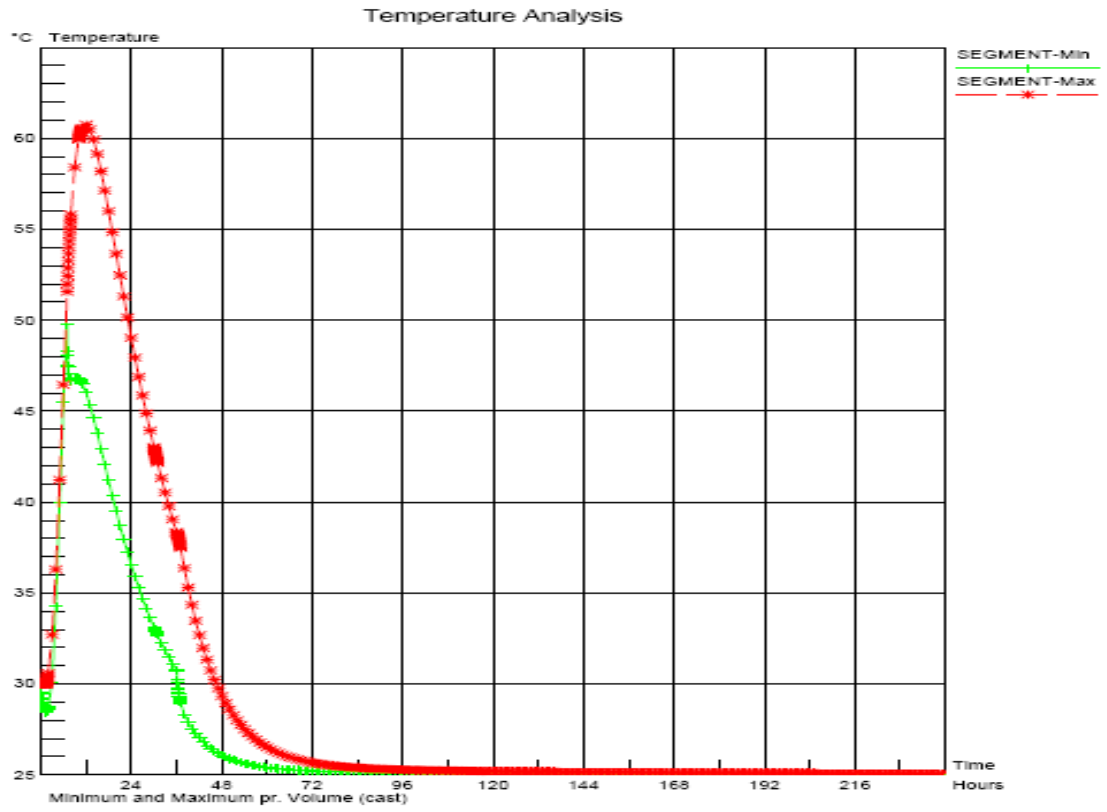
Şekil B.41: Analiz-4.29 Sıcaklık Grafiği



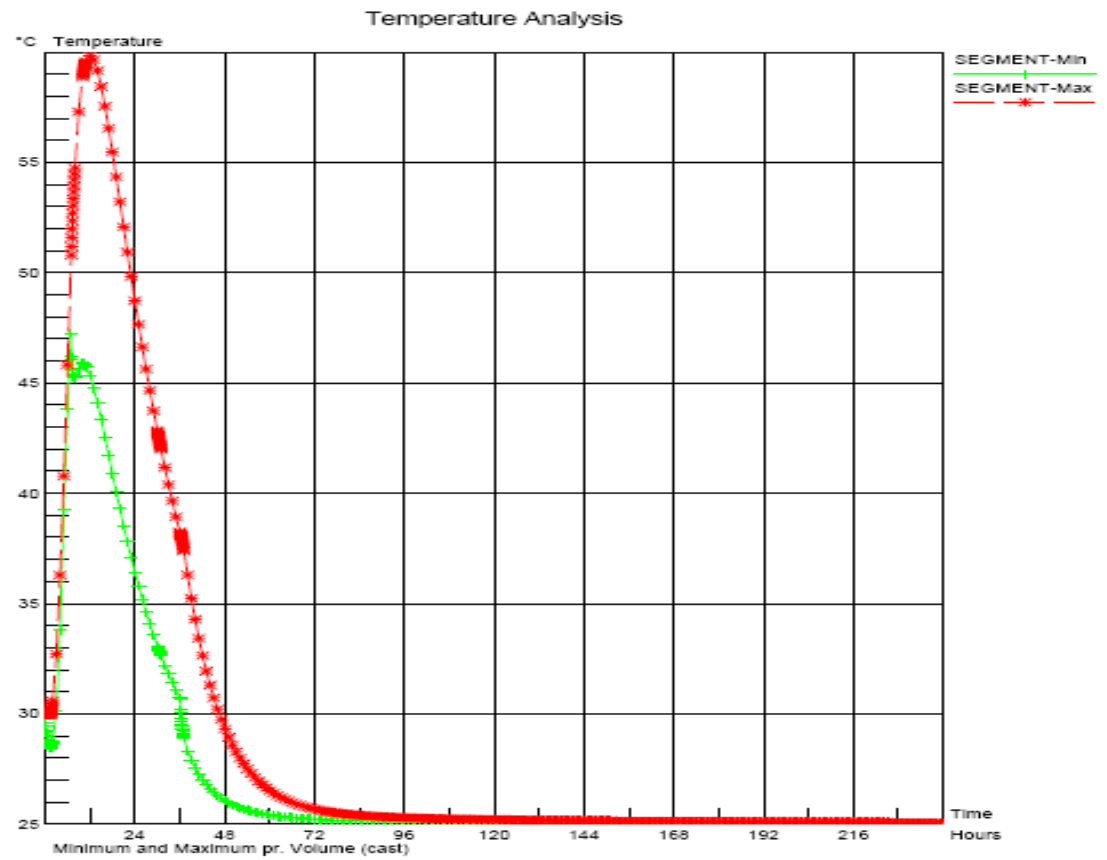
Şekil B.42: Analiz-4.30 Sıcaklık Grafiği



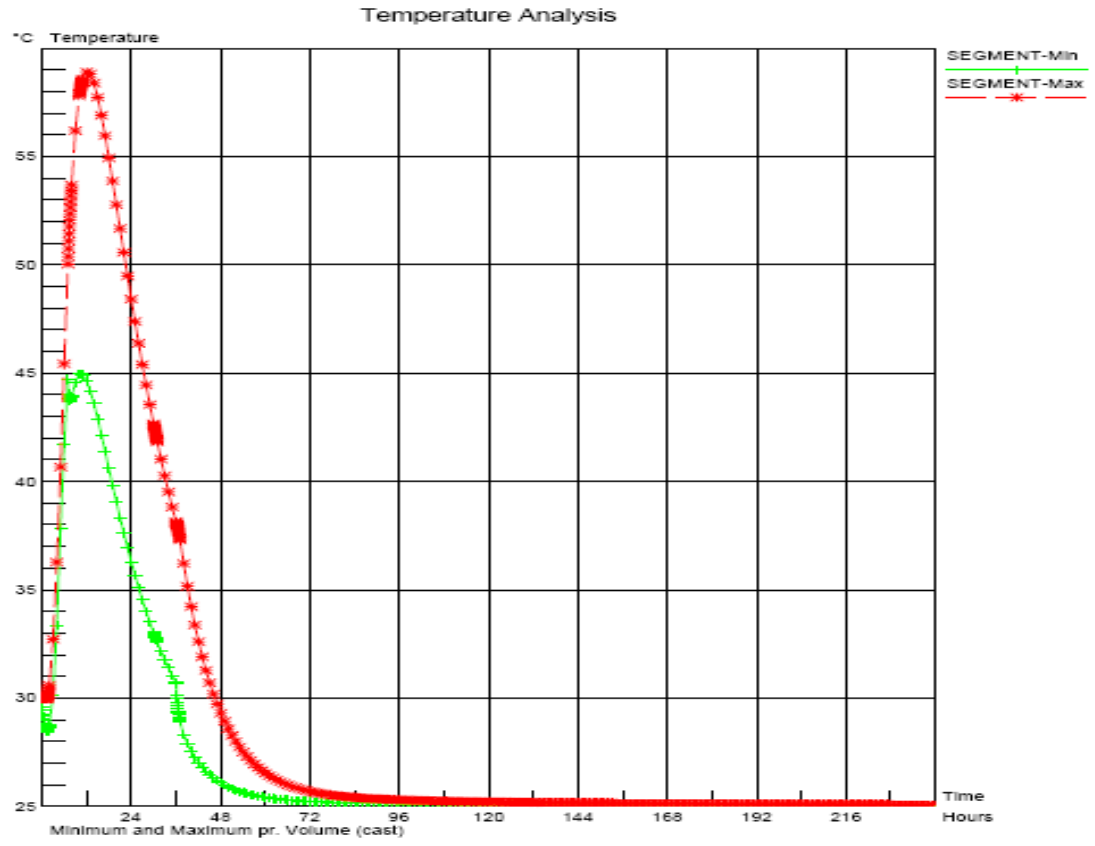
Şekil B.43: Analiz-4.31 Sıcaklık Grafiği



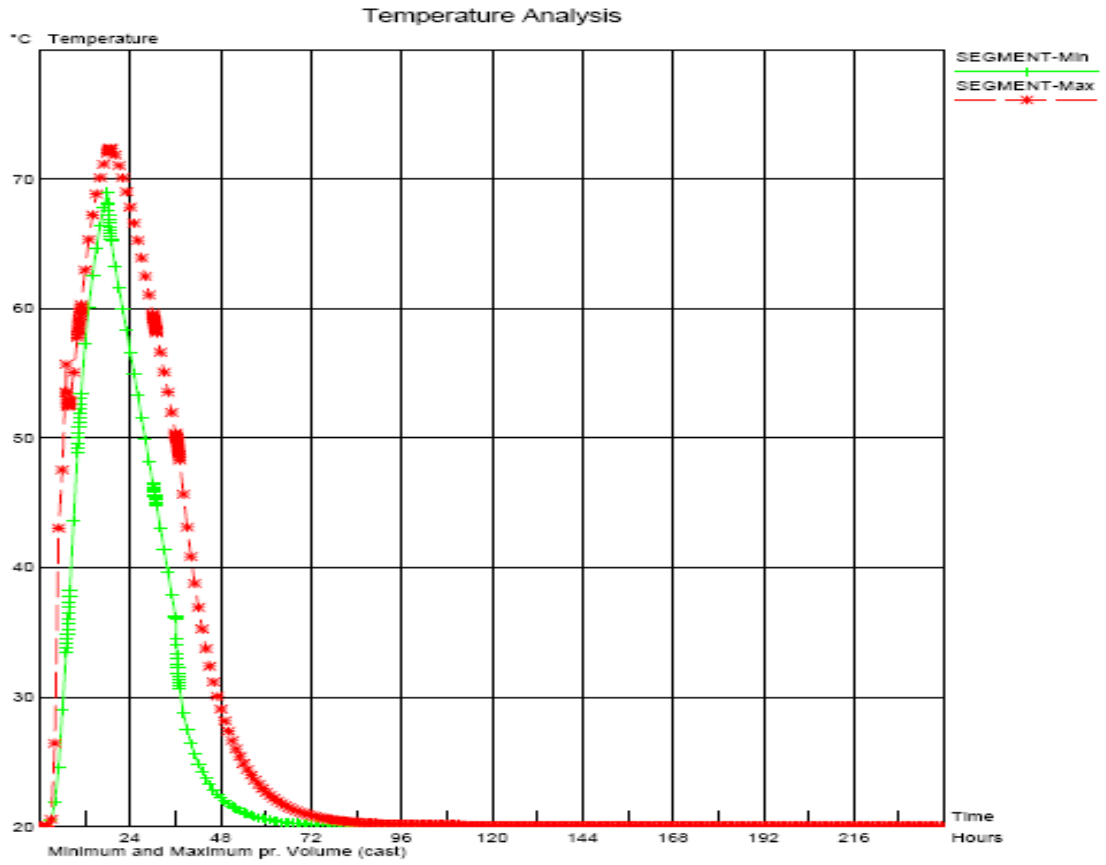
Şekil B.44: Analiz-4.32 Sıcaklık Grafiği



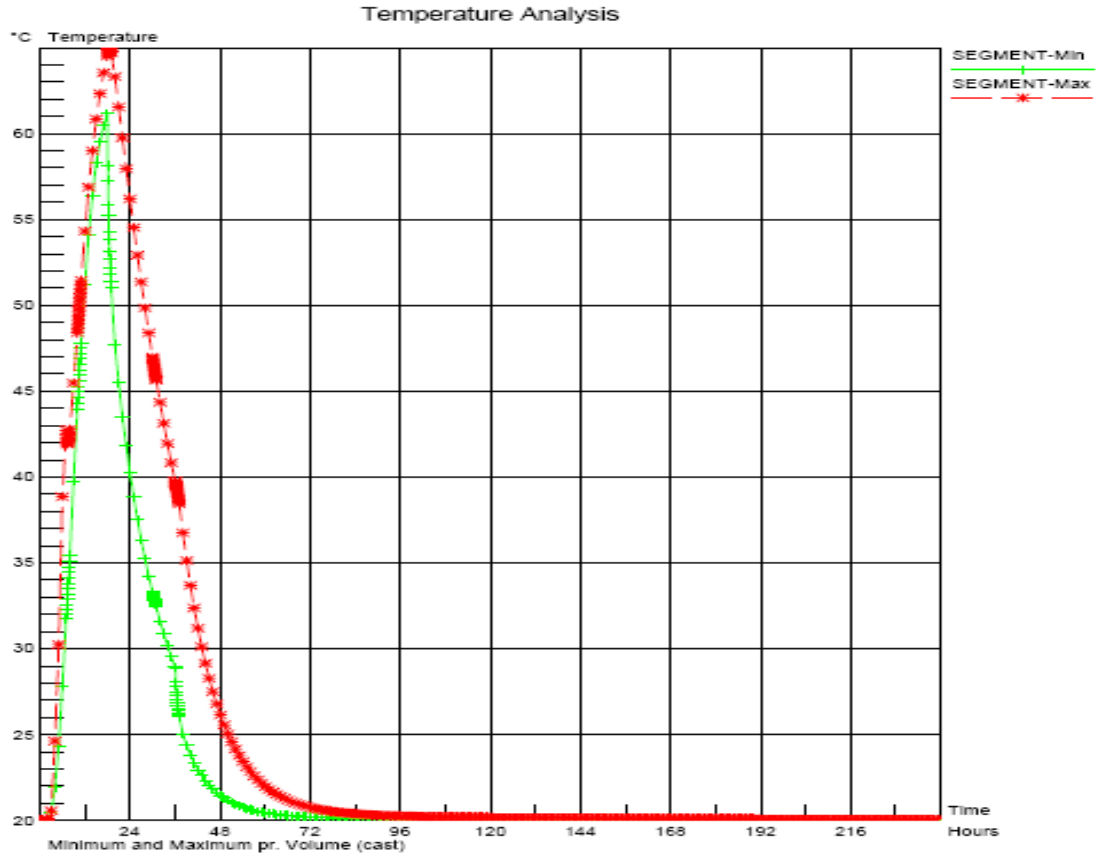
Şekil B.45: Analiz-4.33 Sıcaklık Grafiği



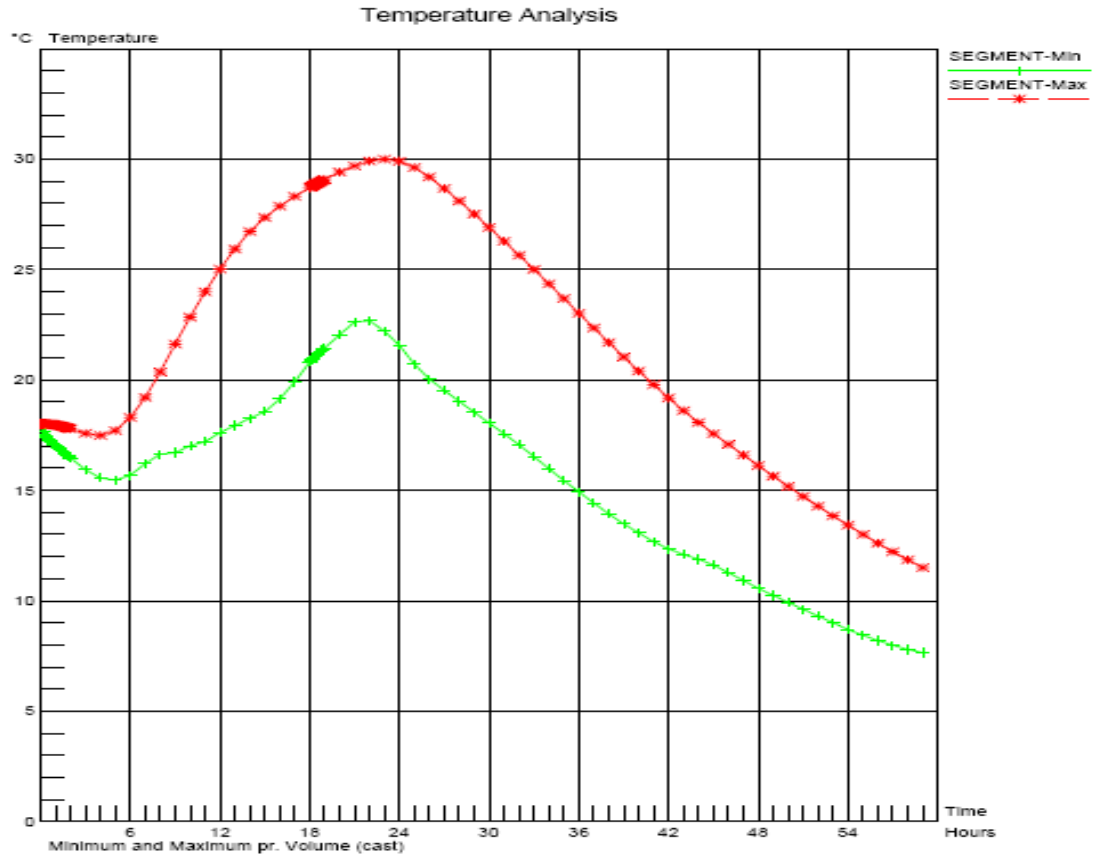
Şekil B.46: Analiz-4.34 Sıcaklık Grafiği



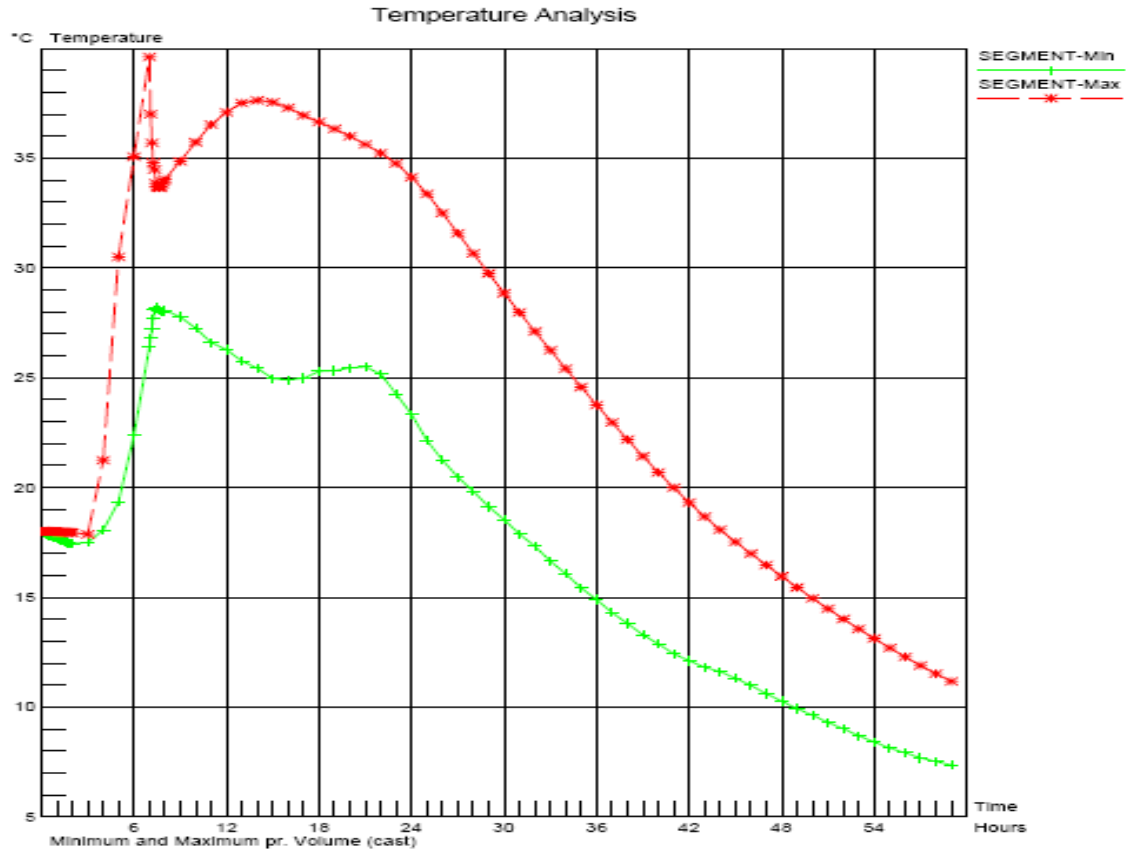
Şekil B.47: Analiz-4.35 Sıcaklık Grafiği



Şekil B.48: Analiz-4.36 Sıcaklık Grafiği

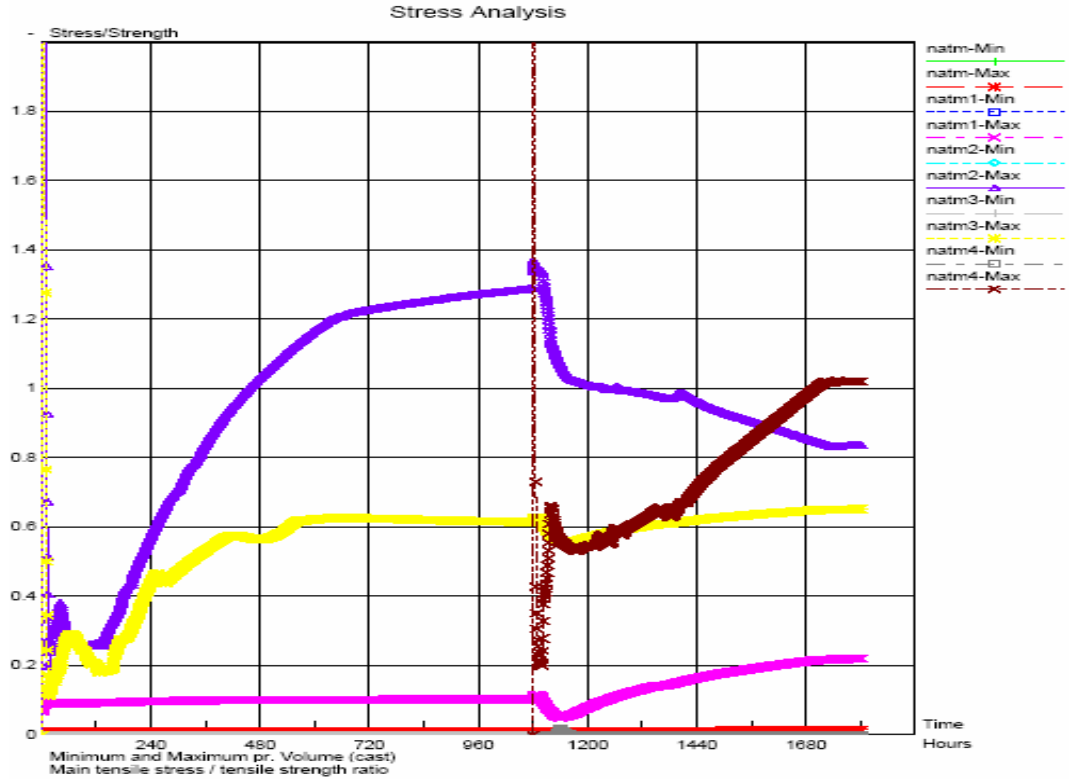


Şekil B.49: Analiz-4.37 Sıcaklık Grafiği

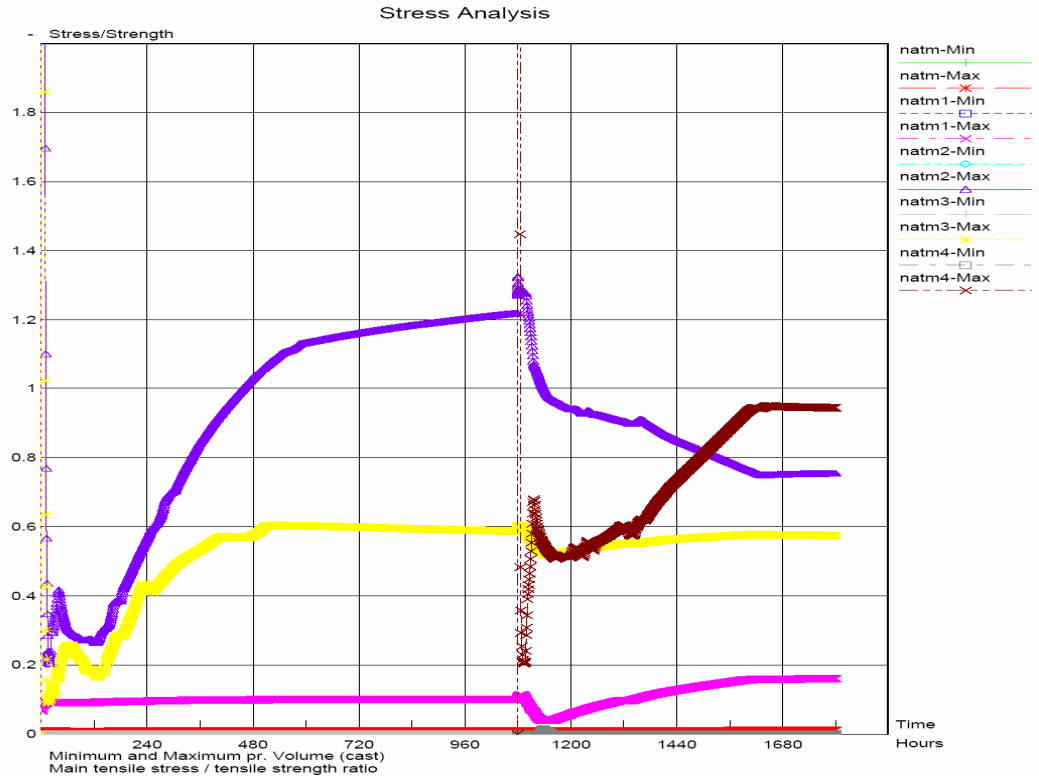


Şekil B.50: Analiz-4.38 Sıcaklık Grafiği

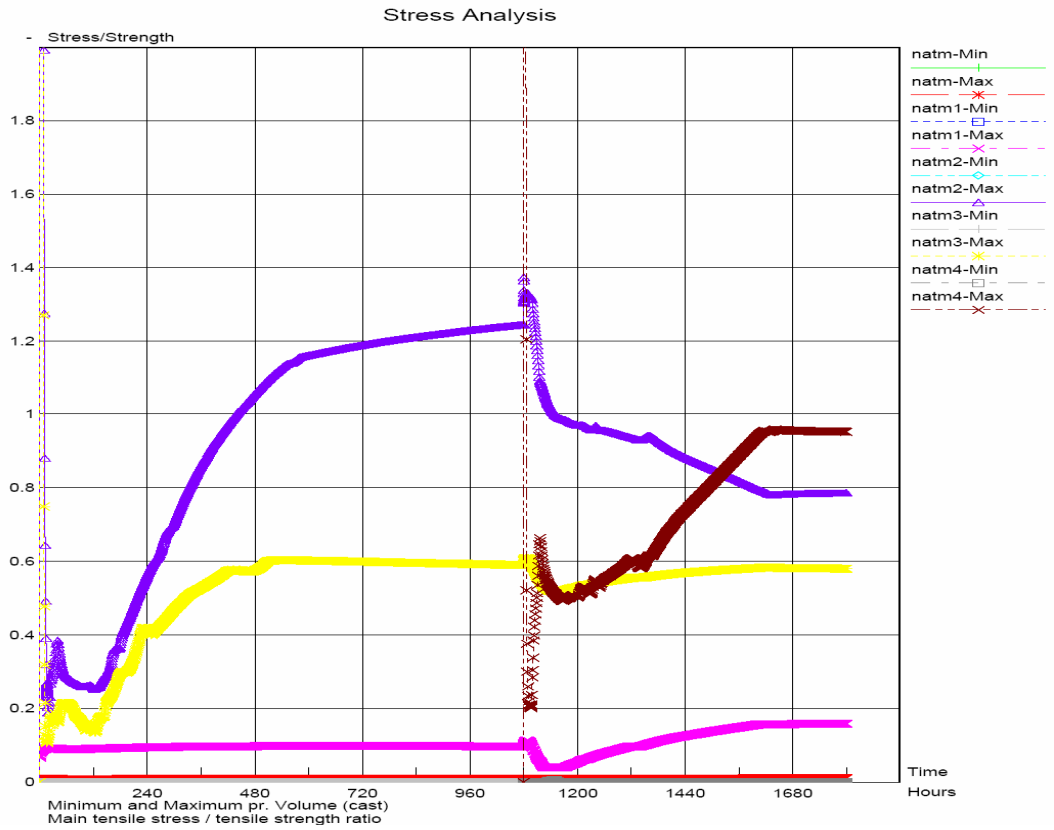
EK C: ANALİZLERE AİT ÇATLAK RİSK GRAFİKLERİ



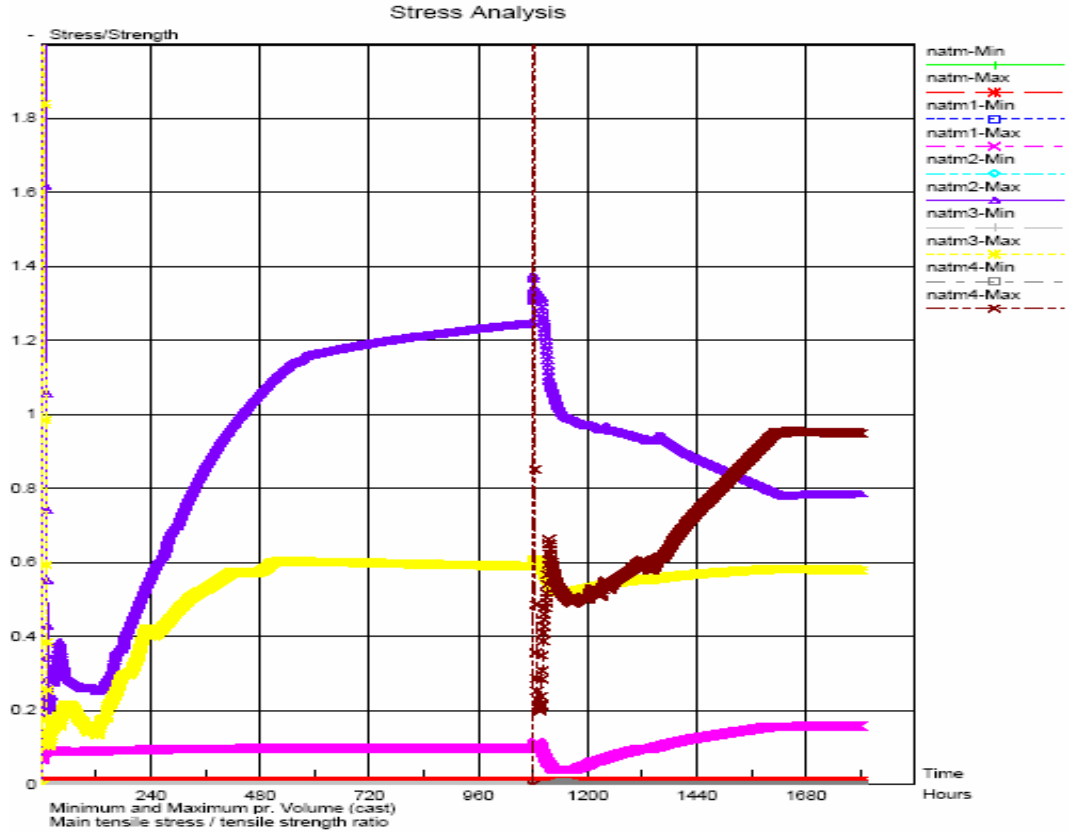
Şekil C.1: Analiz-1 gerilme grafiği



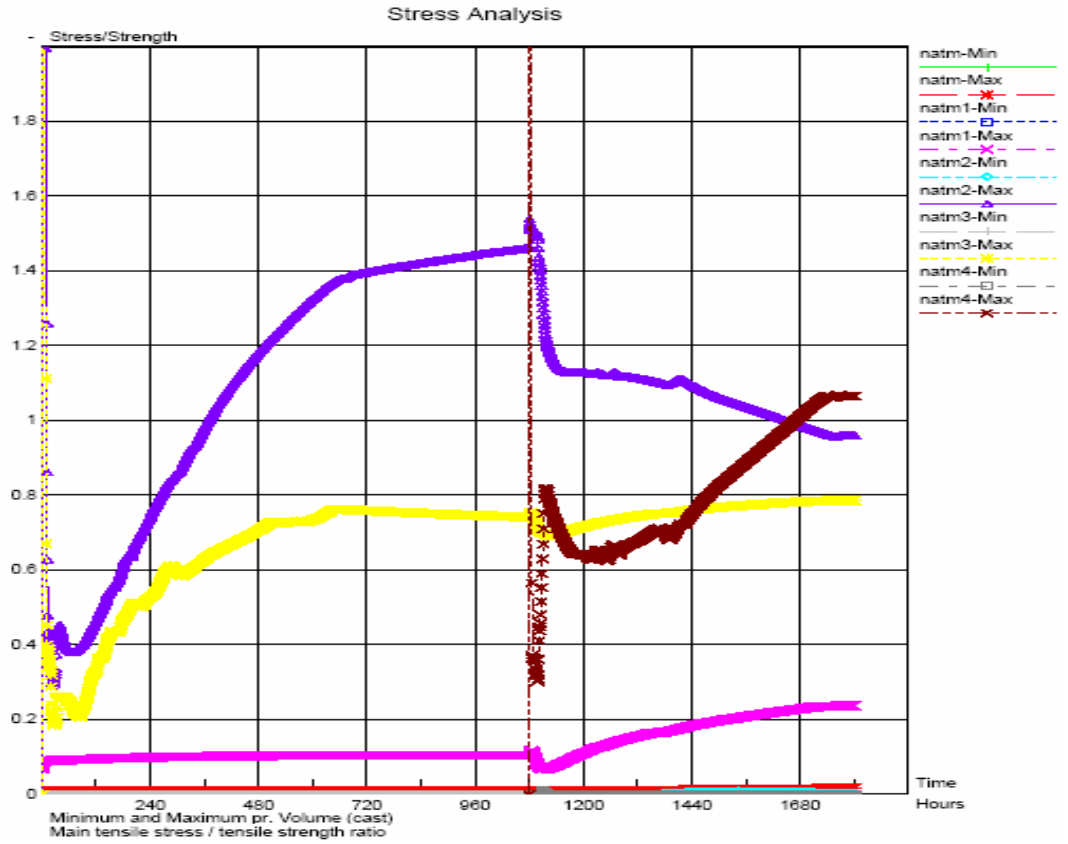
Şekil C.2: Analiz-1.1 gerilme grafiği



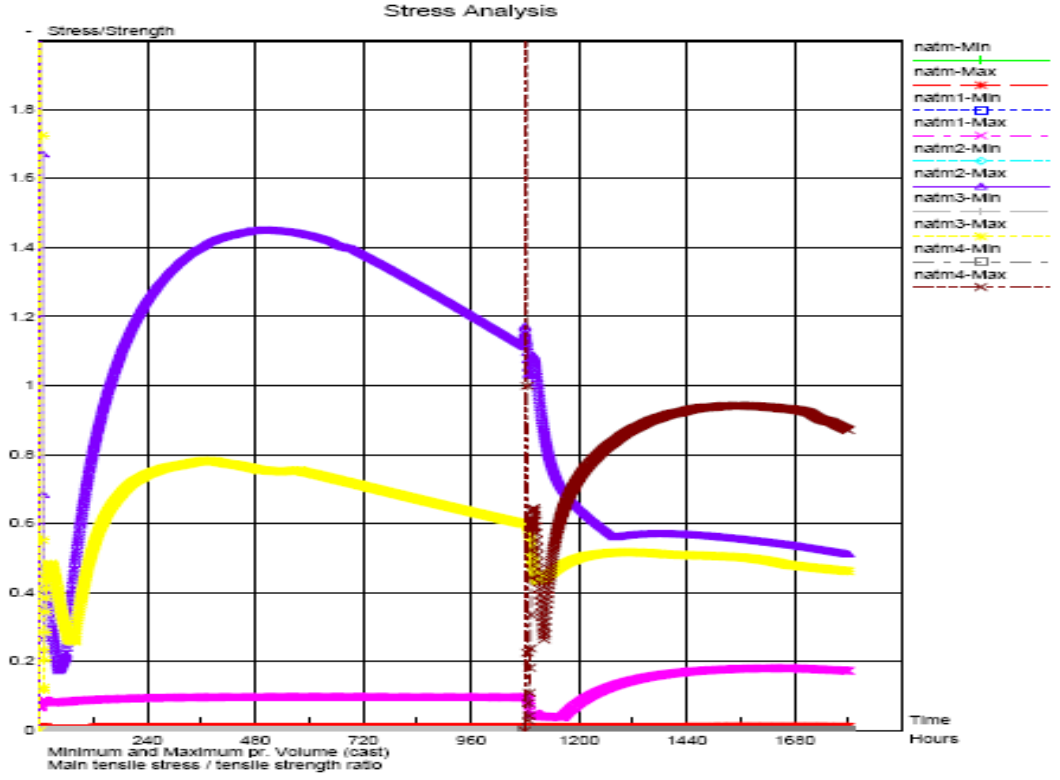
Şekil C.3: Analiz-1.2 gerilme grafiği



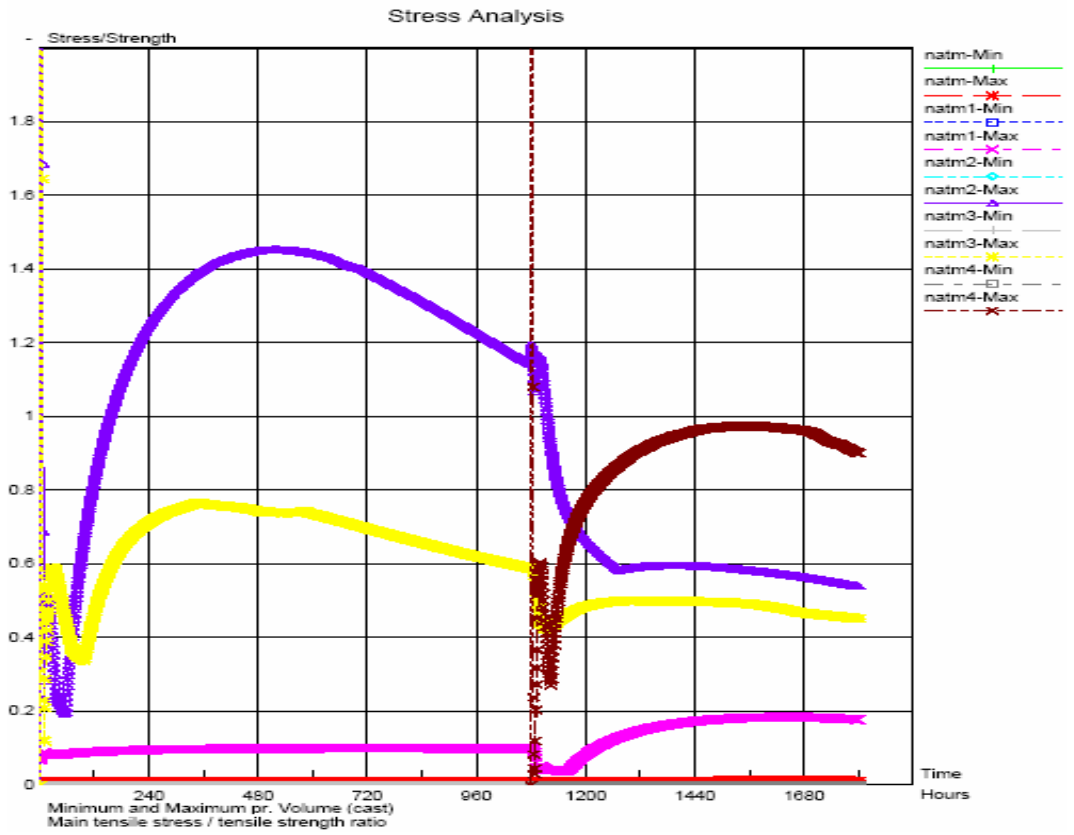
Şekil C.4: Analiz-1.3 gerilme grafiği



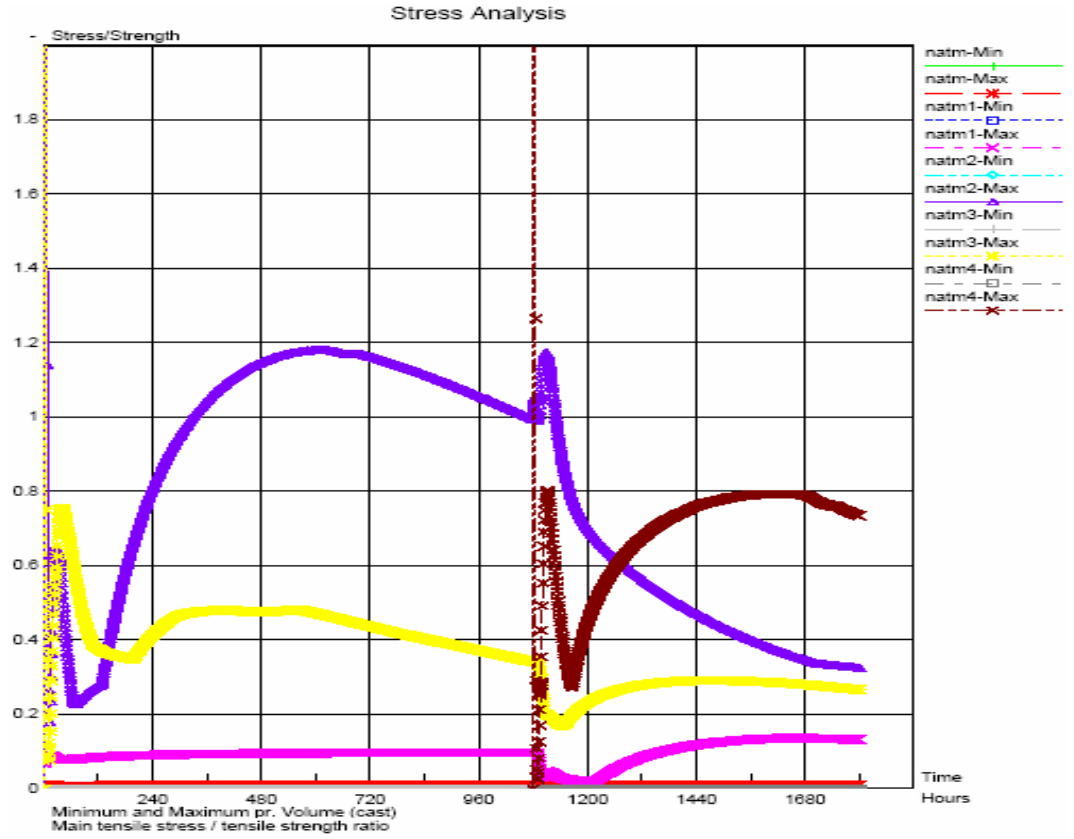
Şekil C.5: Analiz-1.4 gerilme grafiği



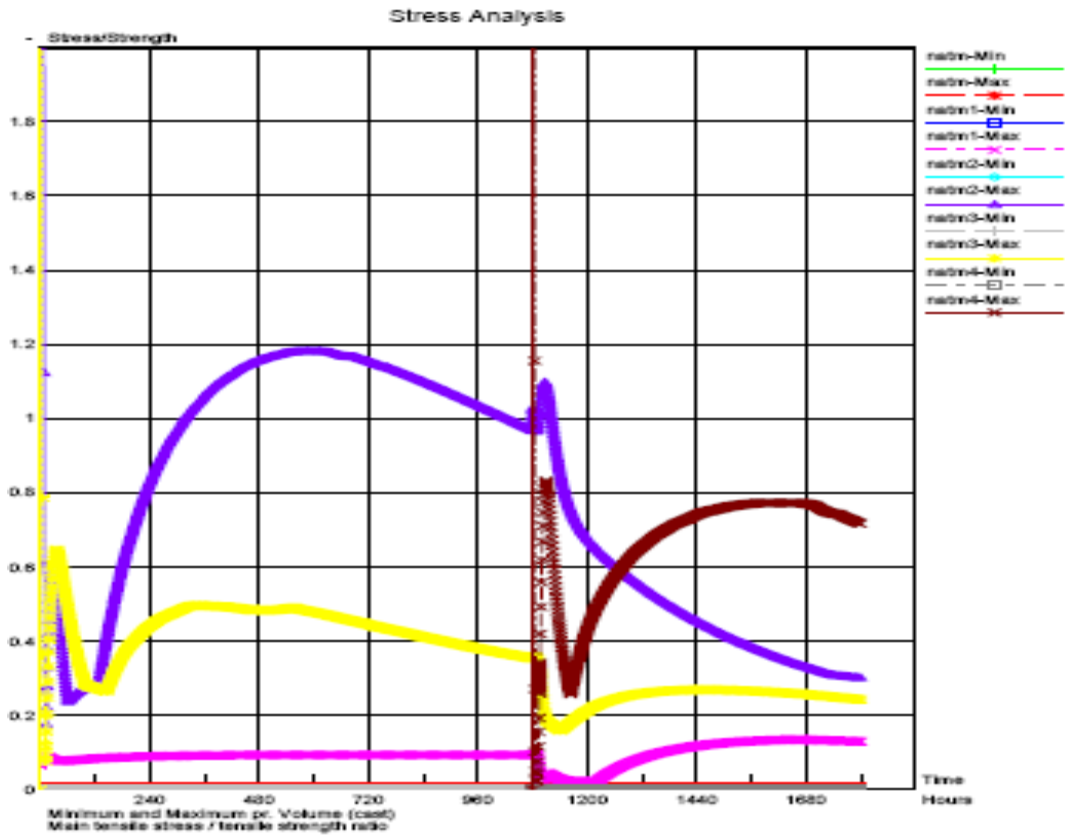
Şekil C.6: Analiz-2 gerilme grafiği



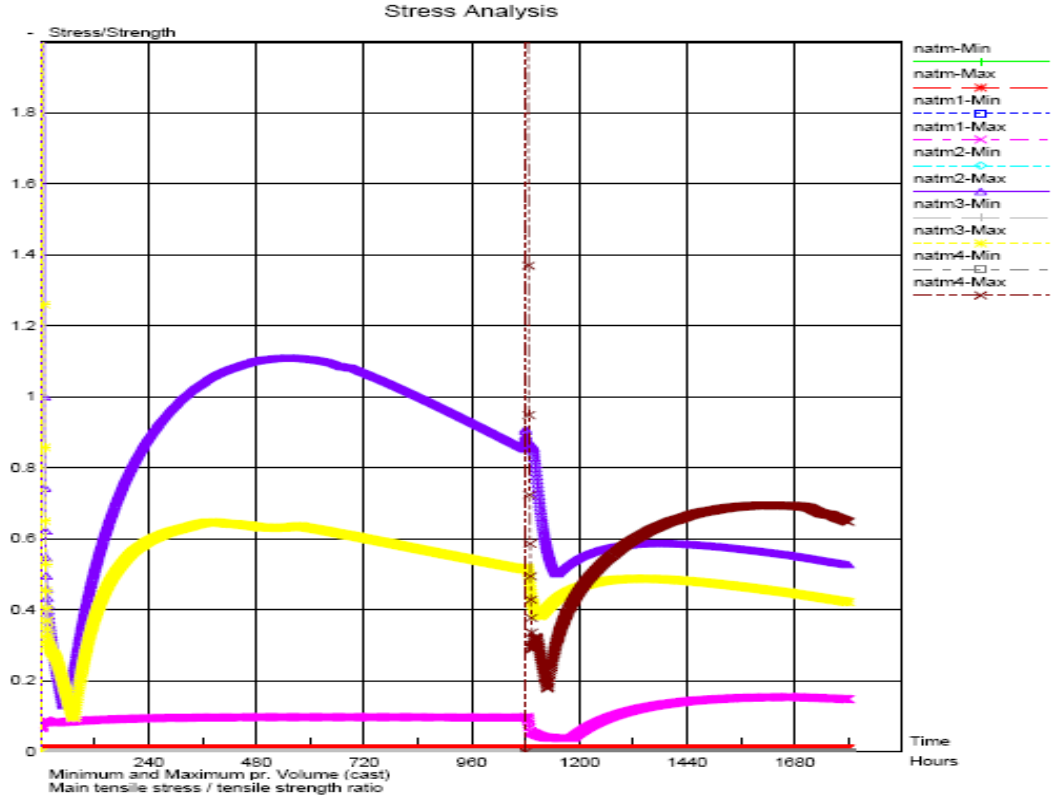
Şekil C.7: Analiz-2.1 gerilme grafiği



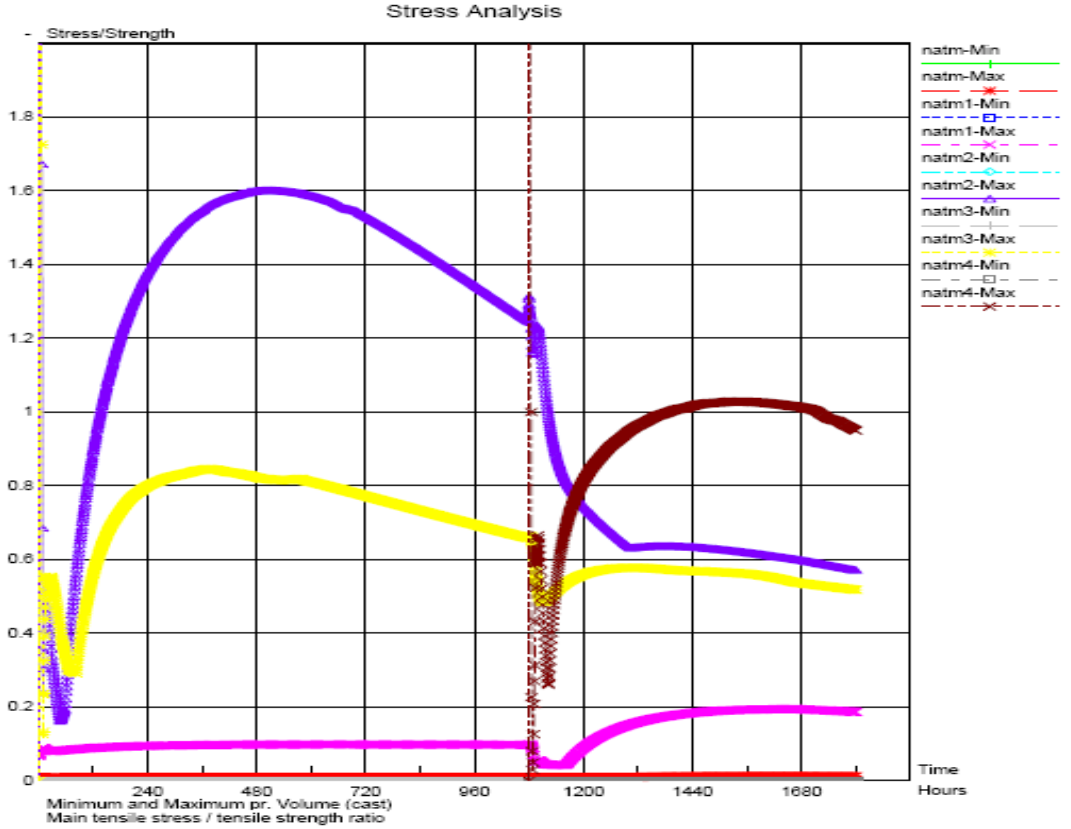
Şekil C.8: Analiz-2.2 gerilme grafiği



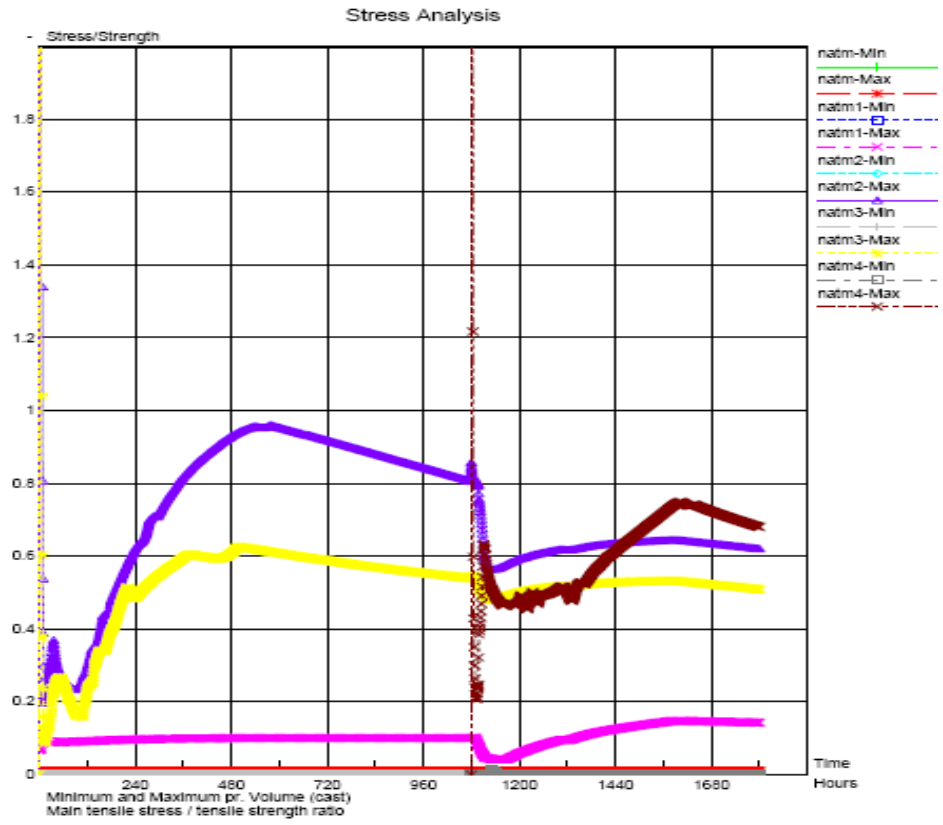
Şekil C.9: Analiz-2.3 gerilme grafiği



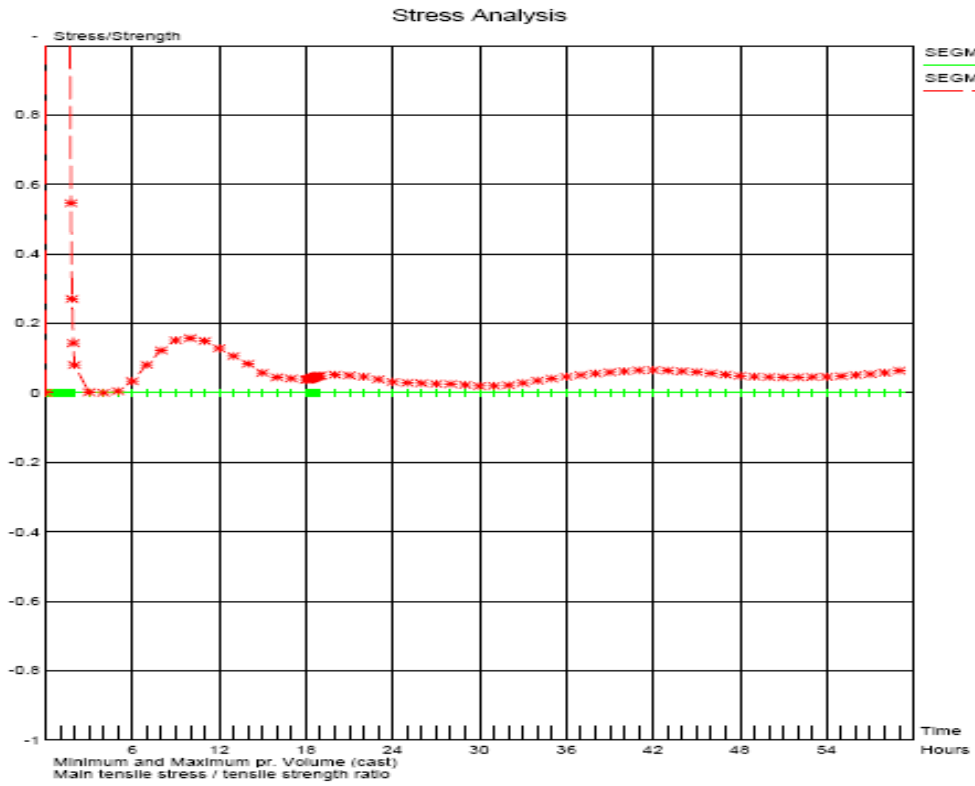
Şekil C.10: Analiz-2.4 gerilme grafiği



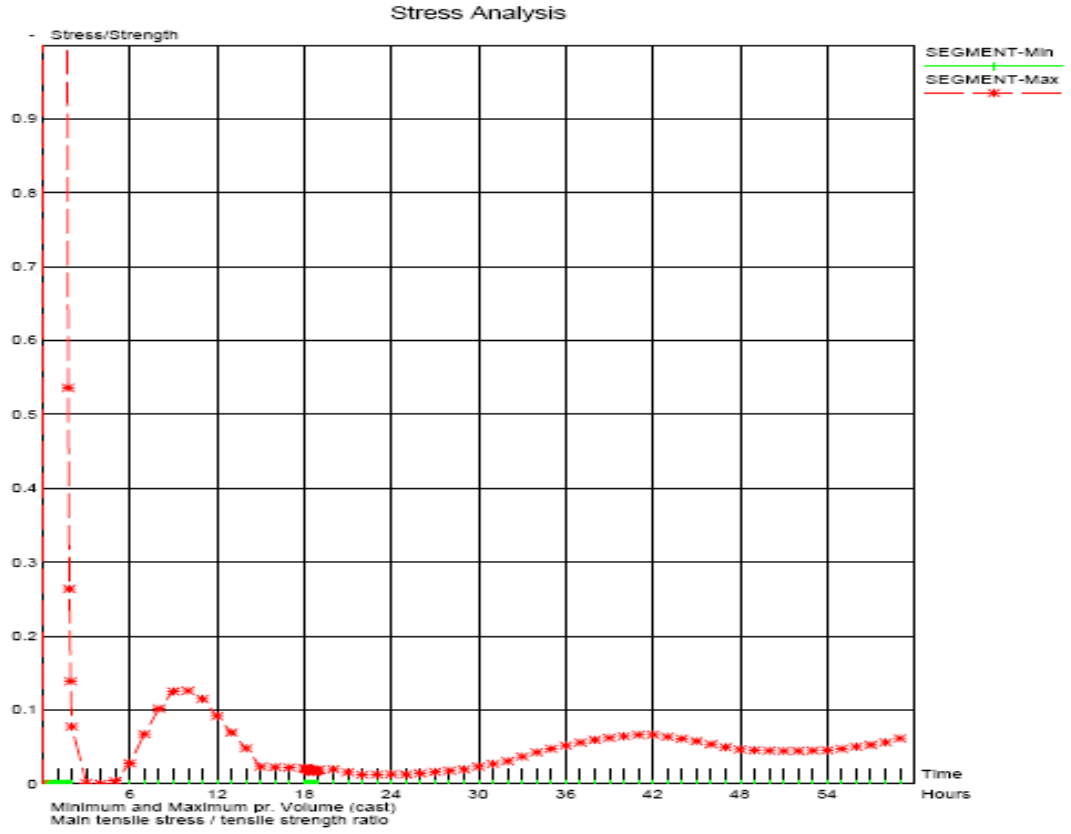
Şekil C.11: Analiz-2.5 gerilme grafiği



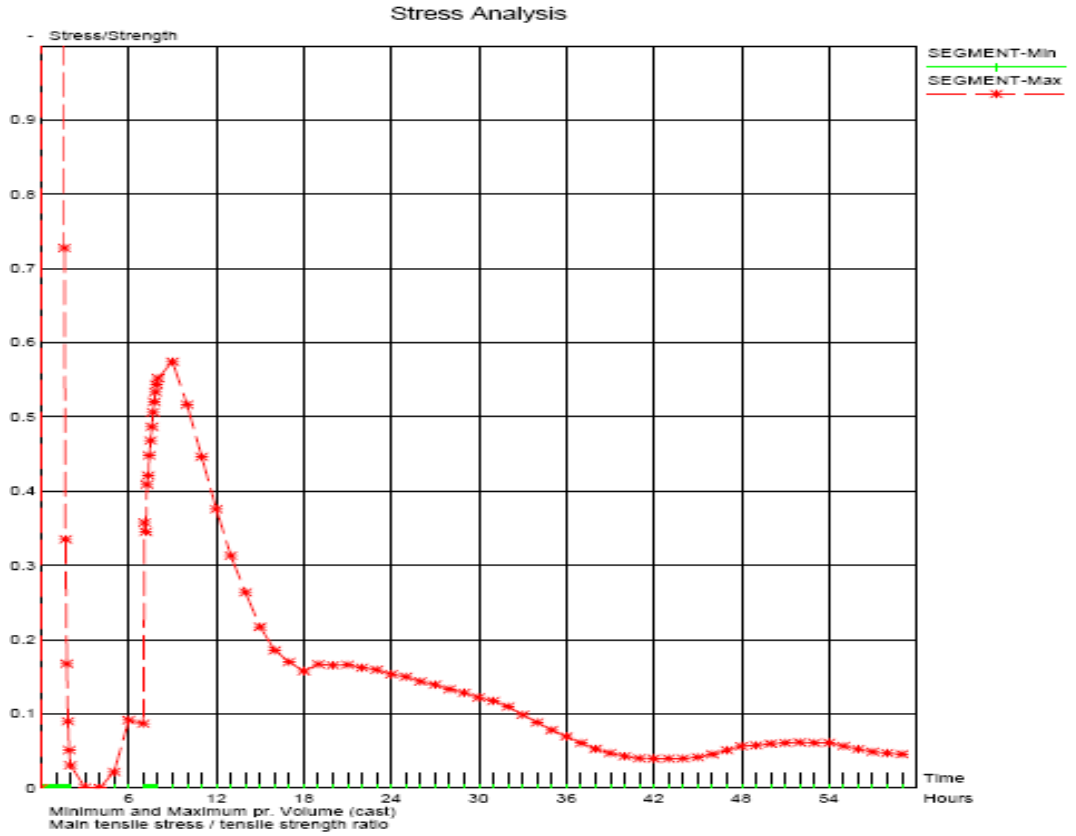
Şekil C.12: Analiz-3 gerilme grafiği



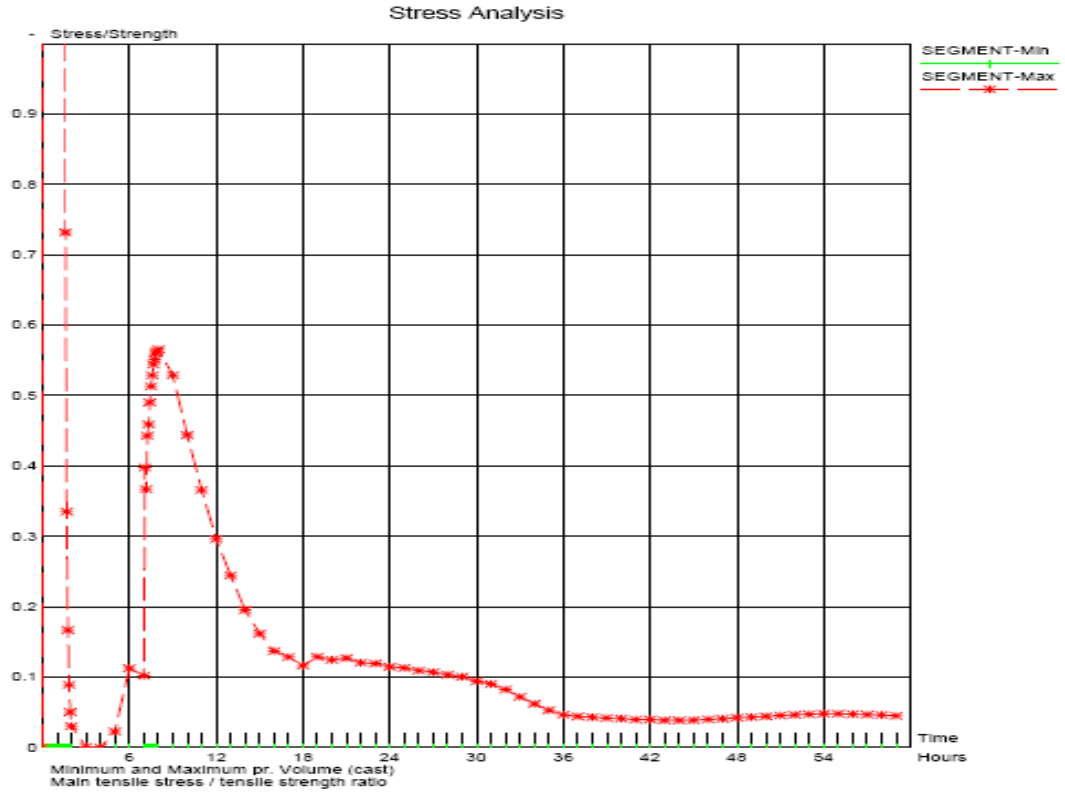
Şekil C.13: Analiz-4.1 gerilme grafiği



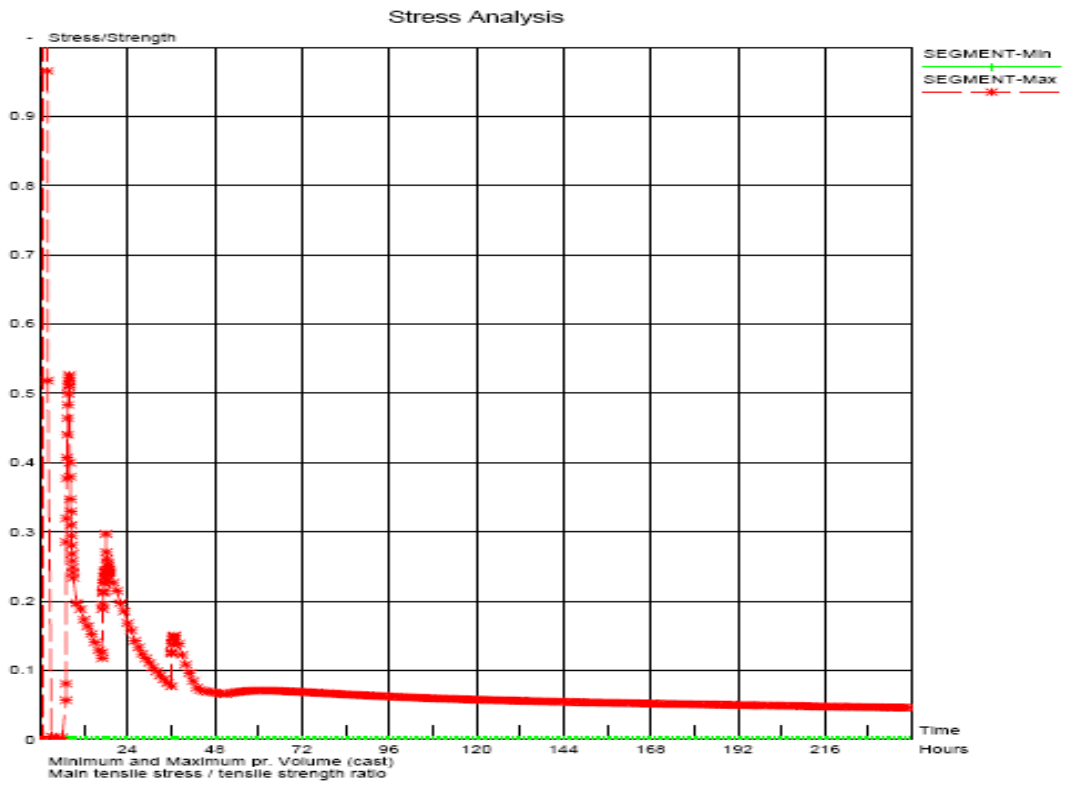
Şekil C.14: Analiz-4.2 gerilme grafiği



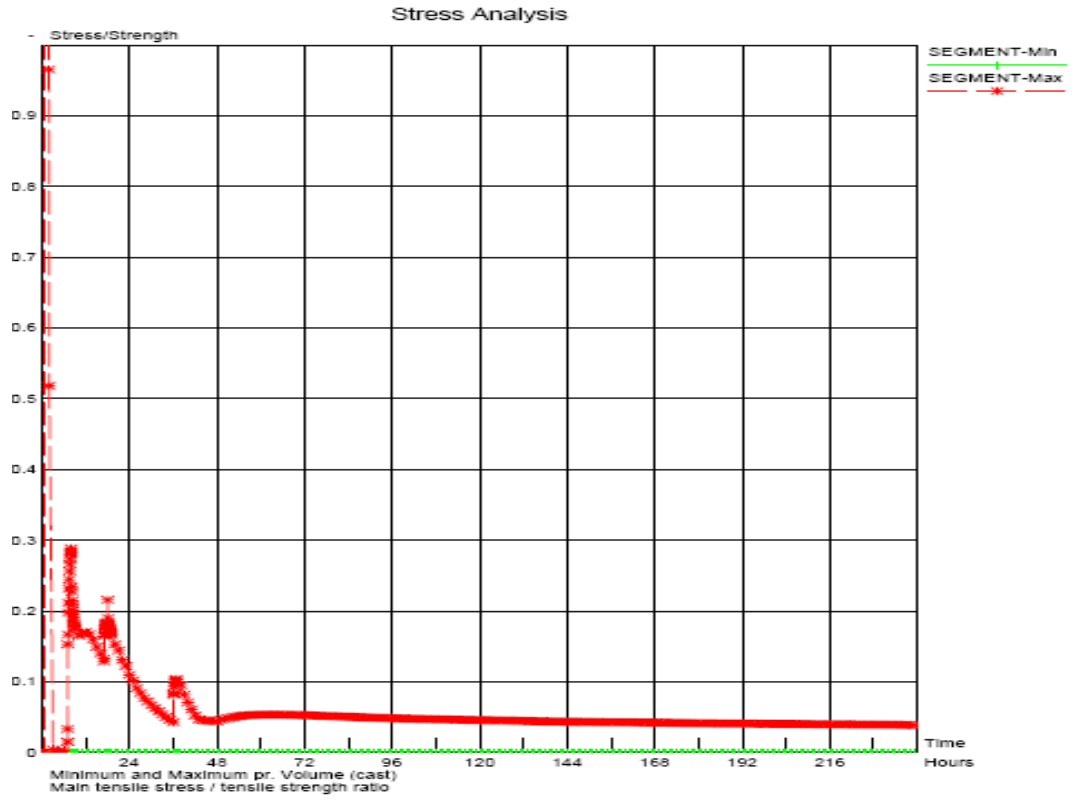
Şekil C.15: Analiz-4.3 gerilme grafiği



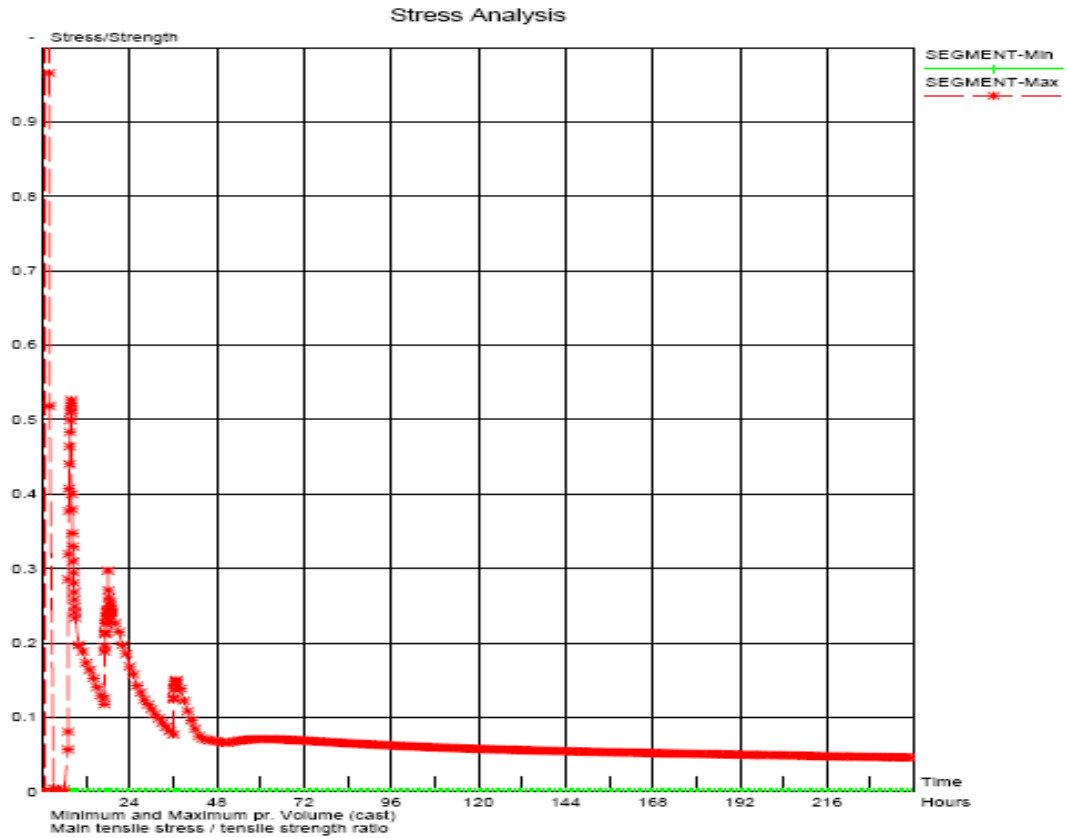
Şekil C.16: Analiz-4.4 gerilme grafiği



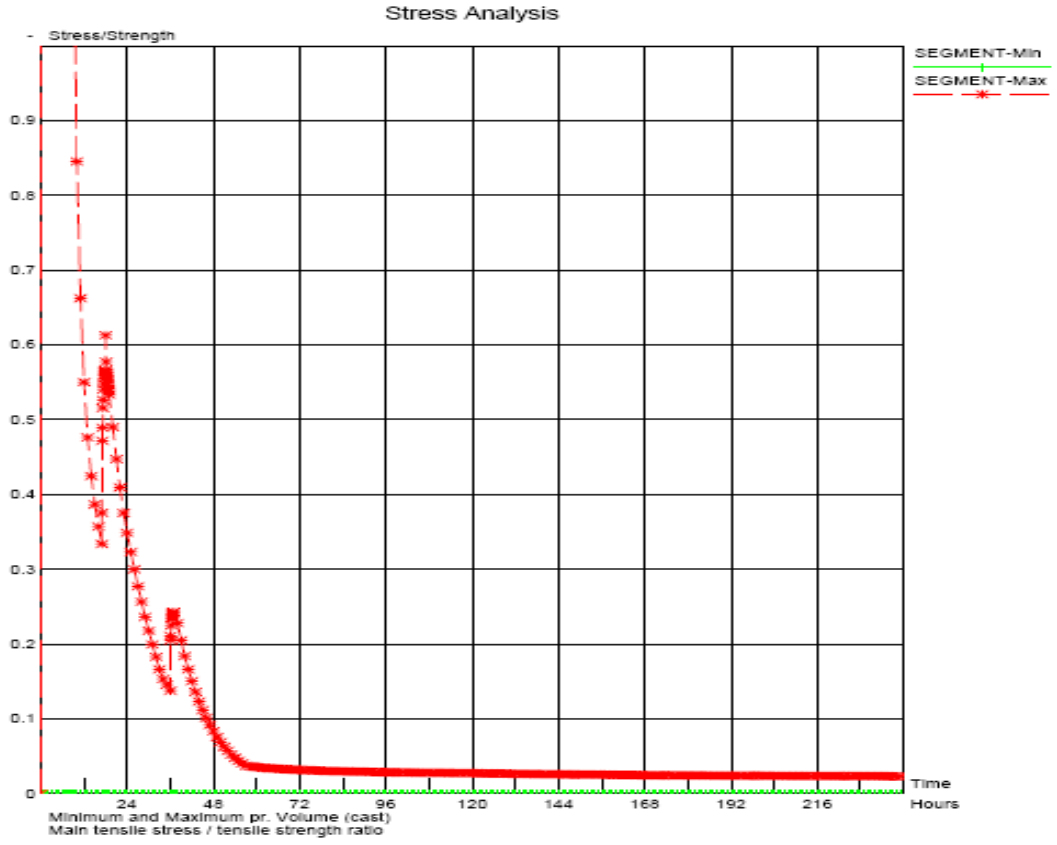
Şekil C.17: Analiz-4.5 gerilme grafiği



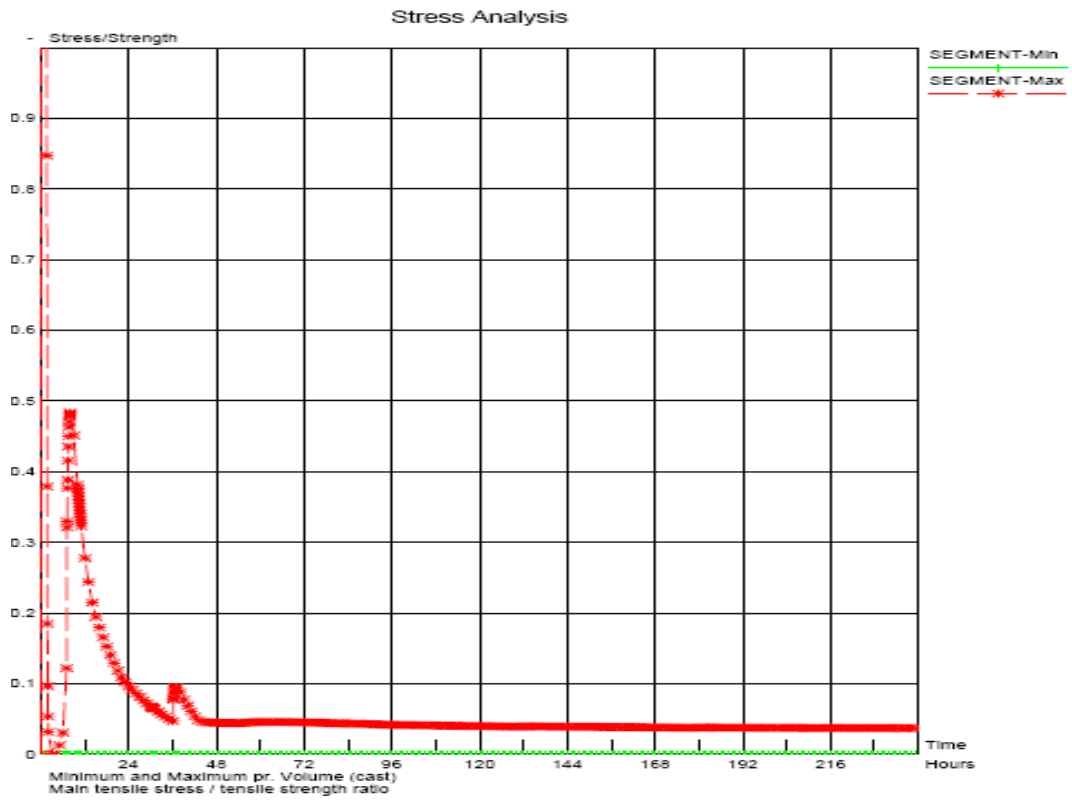
Şekil C.18: Analiz-4.6 gerilme grafiği



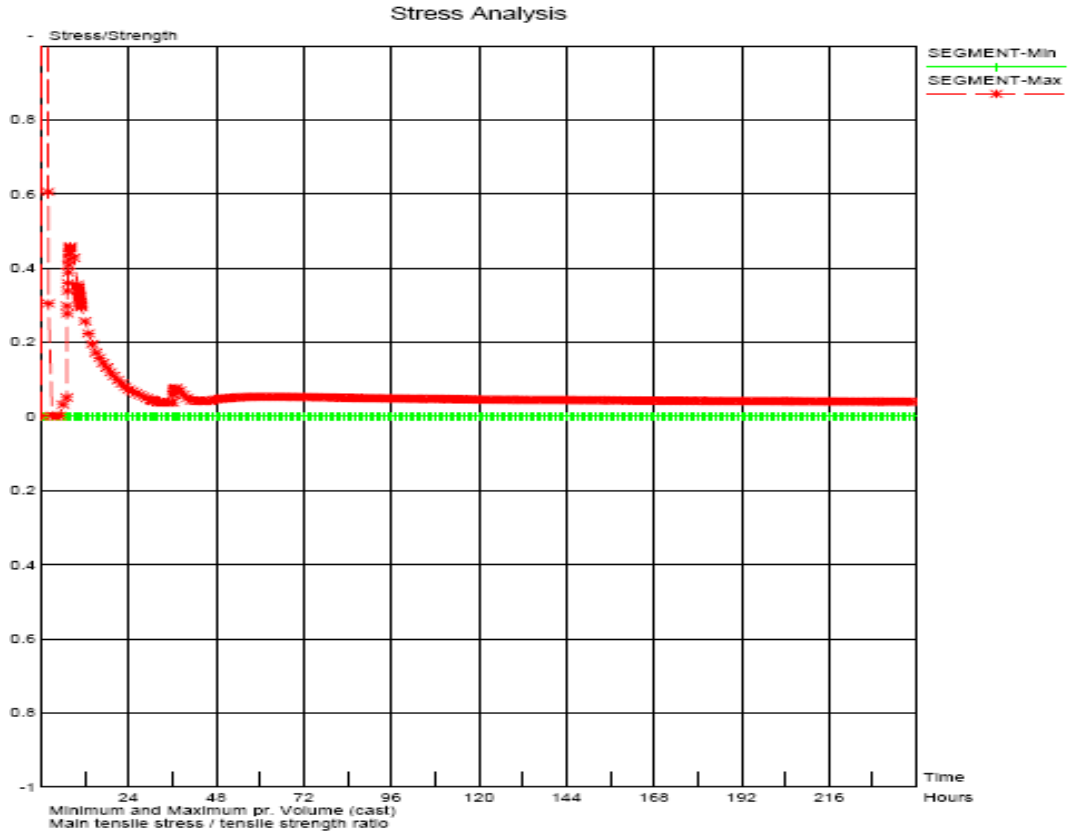
Şekil C.19: Analiz-4.7 gerilme grafiği



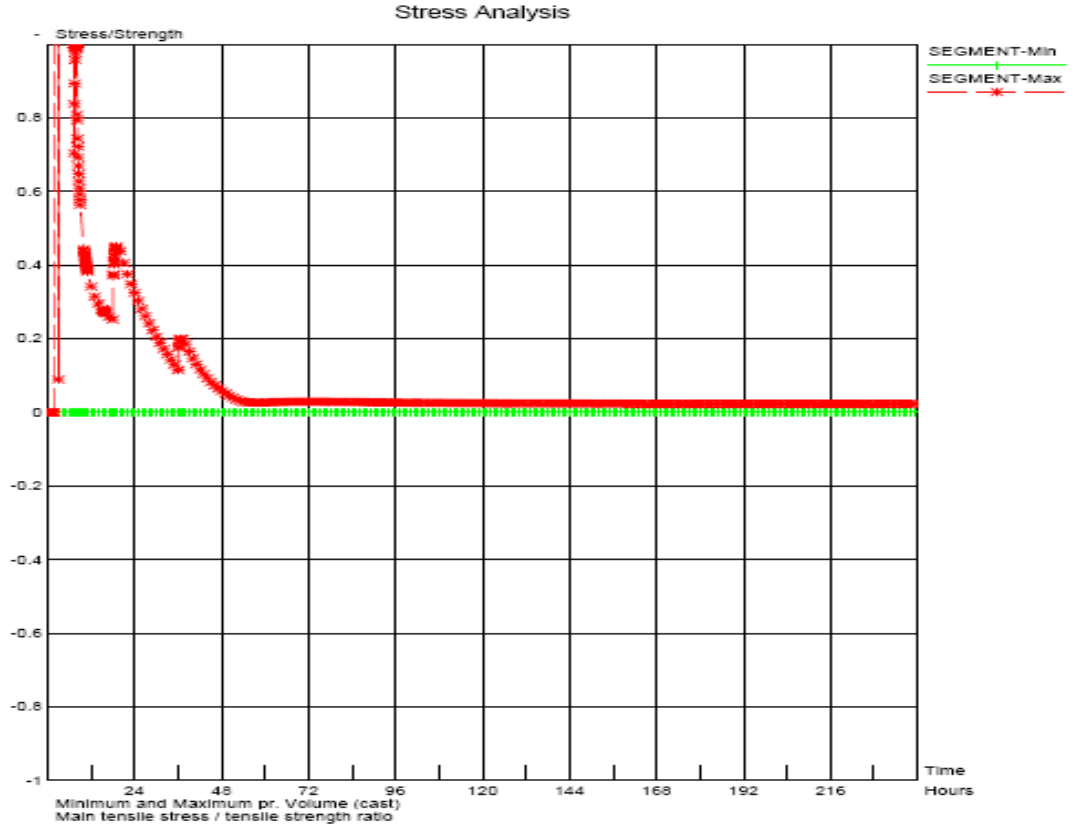
Şekil C.20: Analiz-4.8 gerilme grafiği



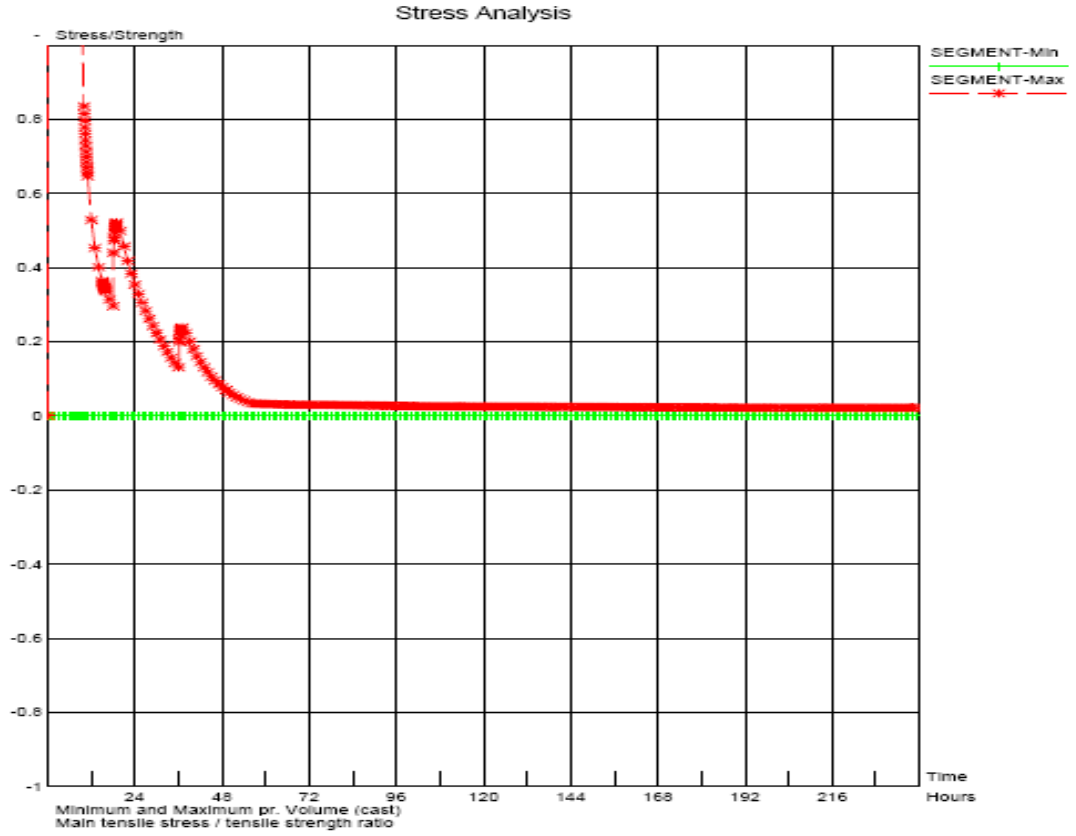
Şekil C.21: Analiz-4.9 gerilme grafiği



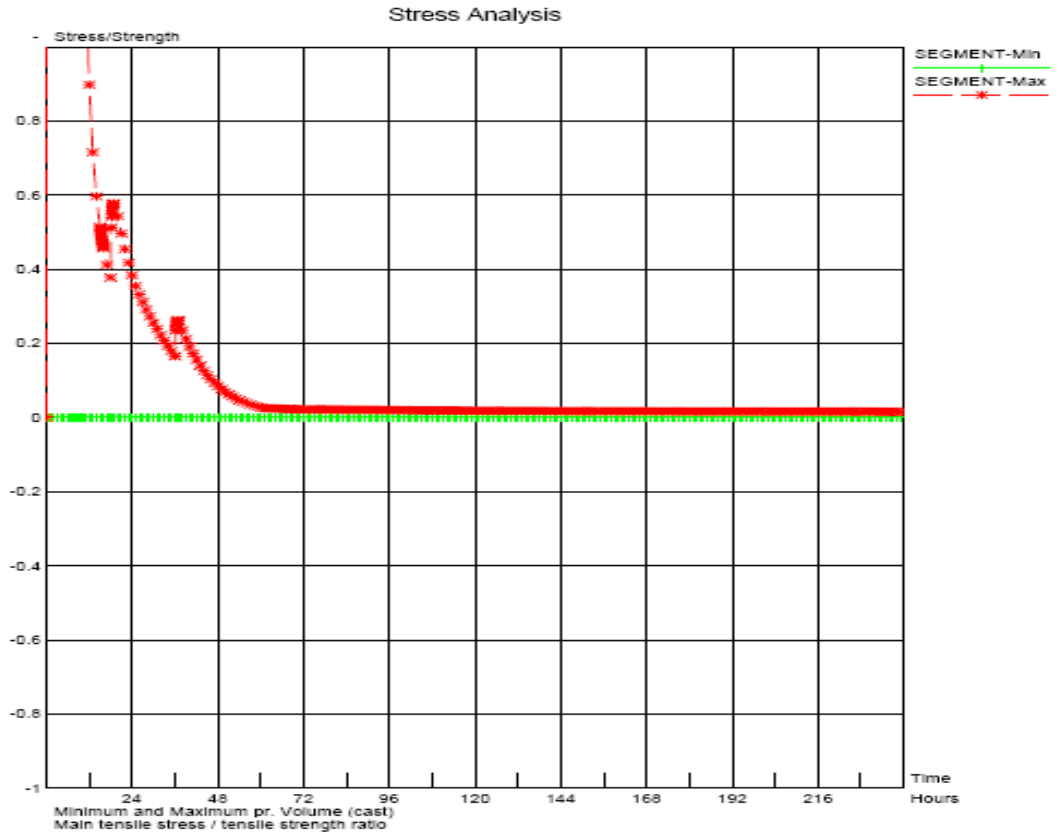
Şekil C.22: Analiz-4.10 gerilme grafiği



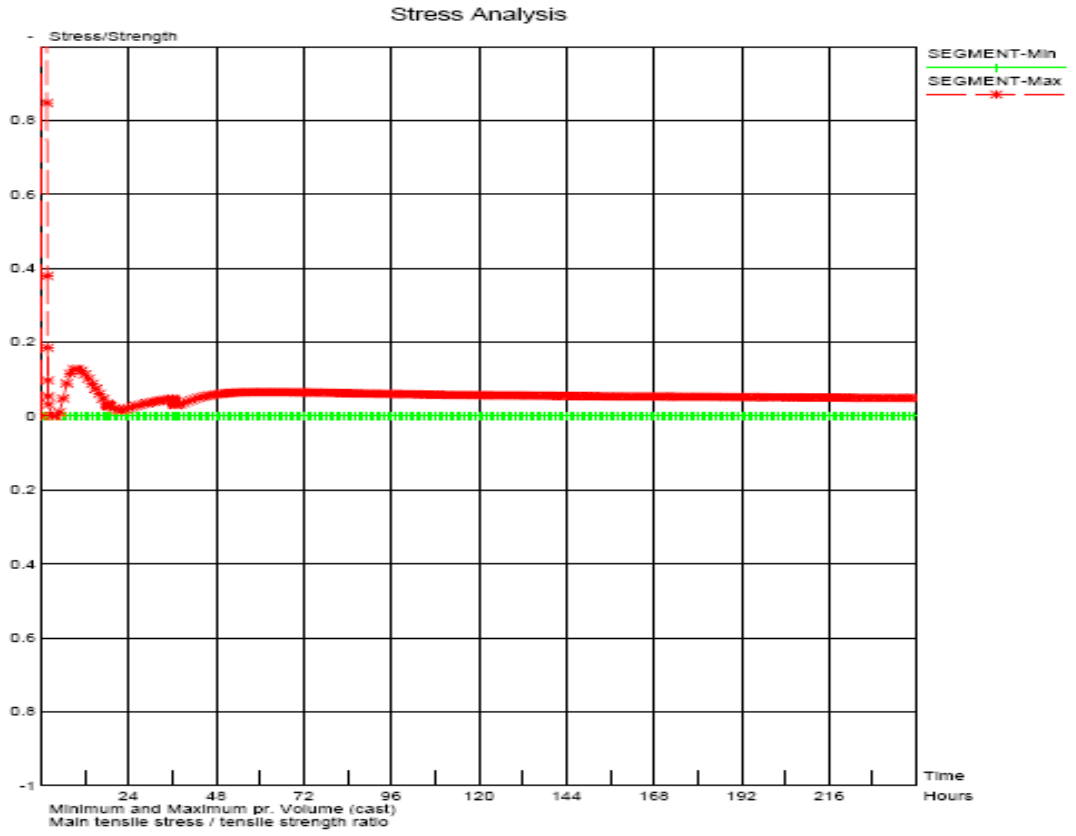
Şekil C.23: Analiz-4.11 gerilme grafiği



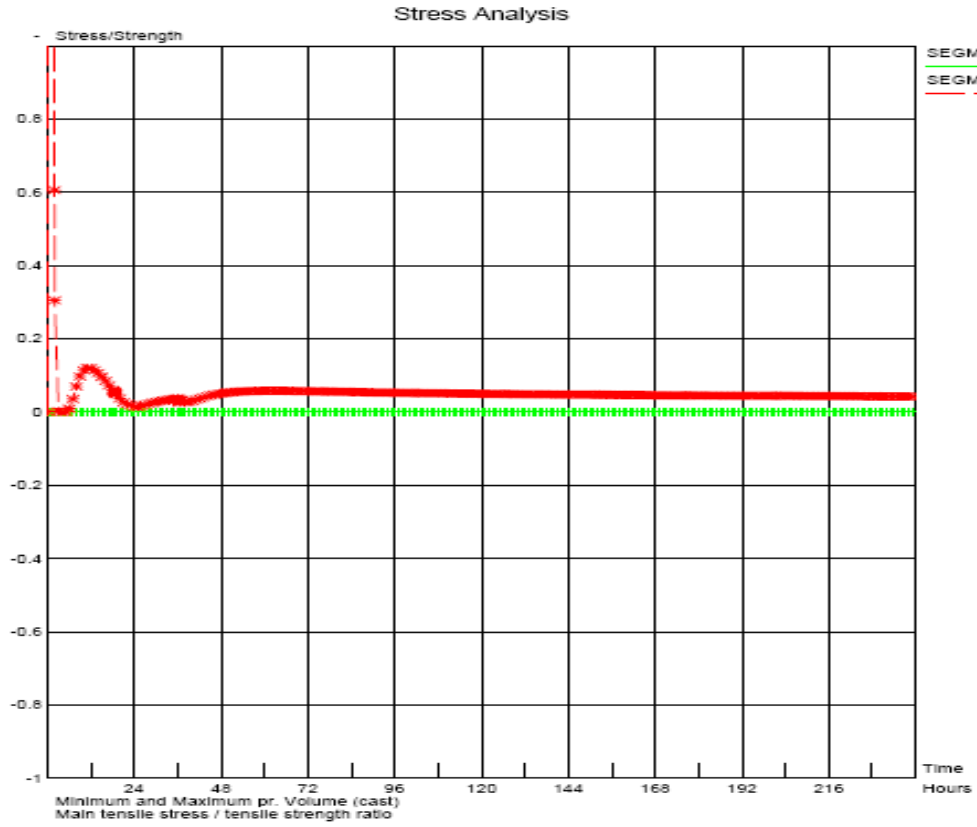
Şekil C.24: Analiz-4.12 gerilme grafiği



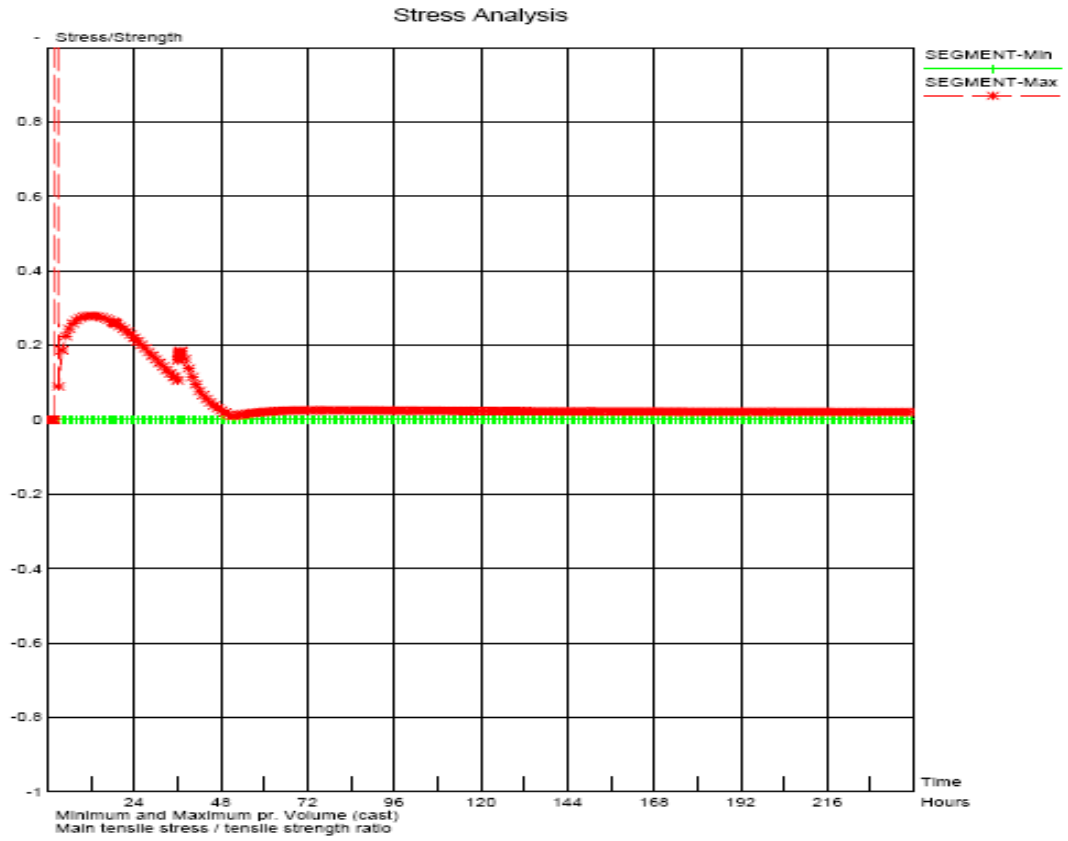
Şekil C.25: Analiz-4.13 gerilme grafiği



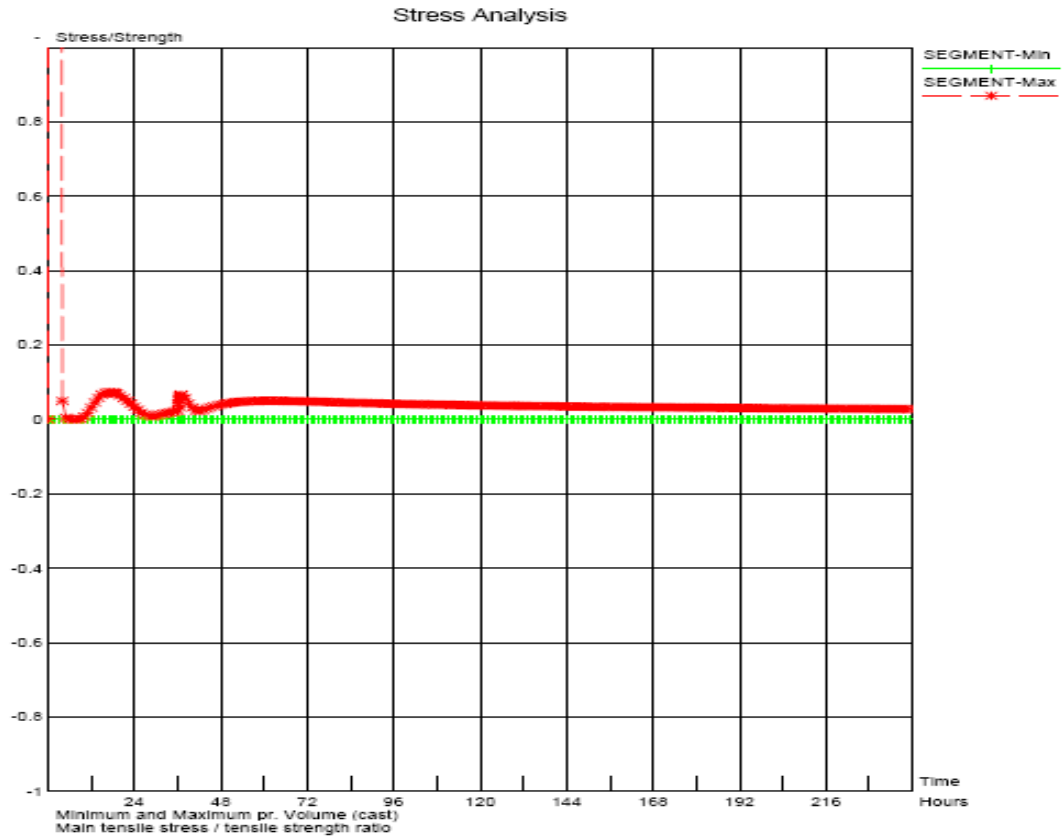
Şekil C.26: Analiz-4.14 gerilme grafiği



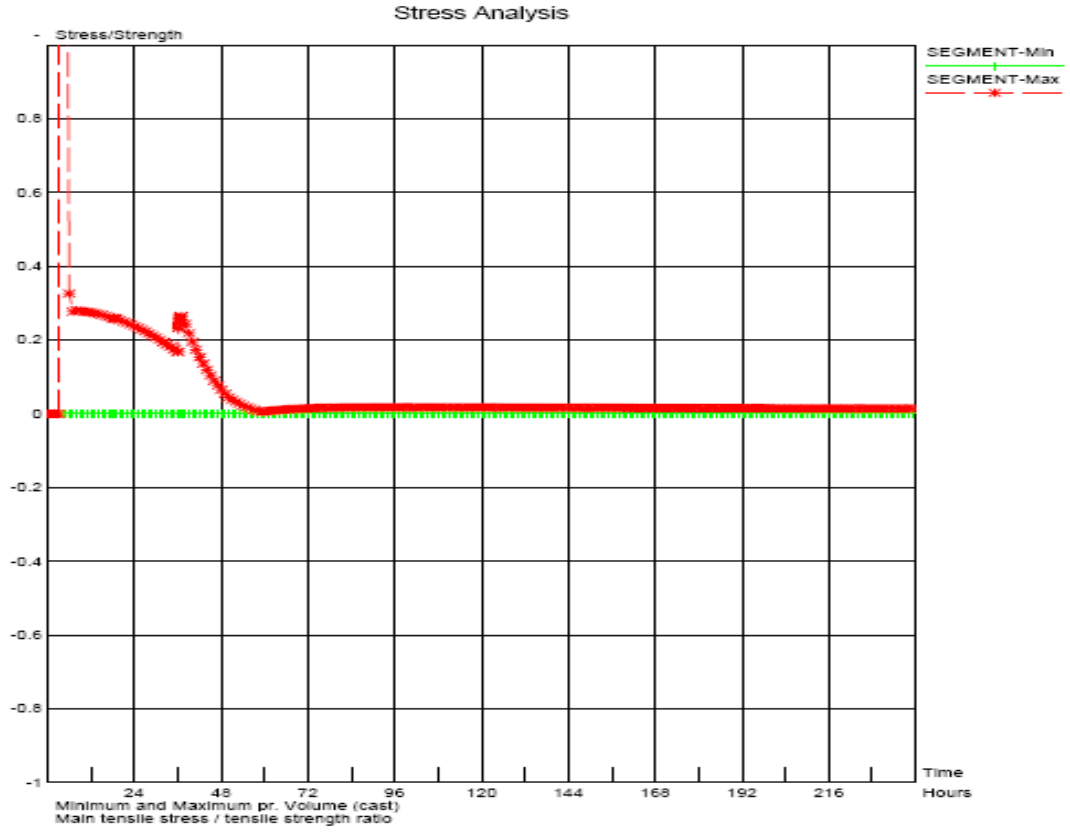
Şekil C.27: Analiz-4.15 gerilme grafiği



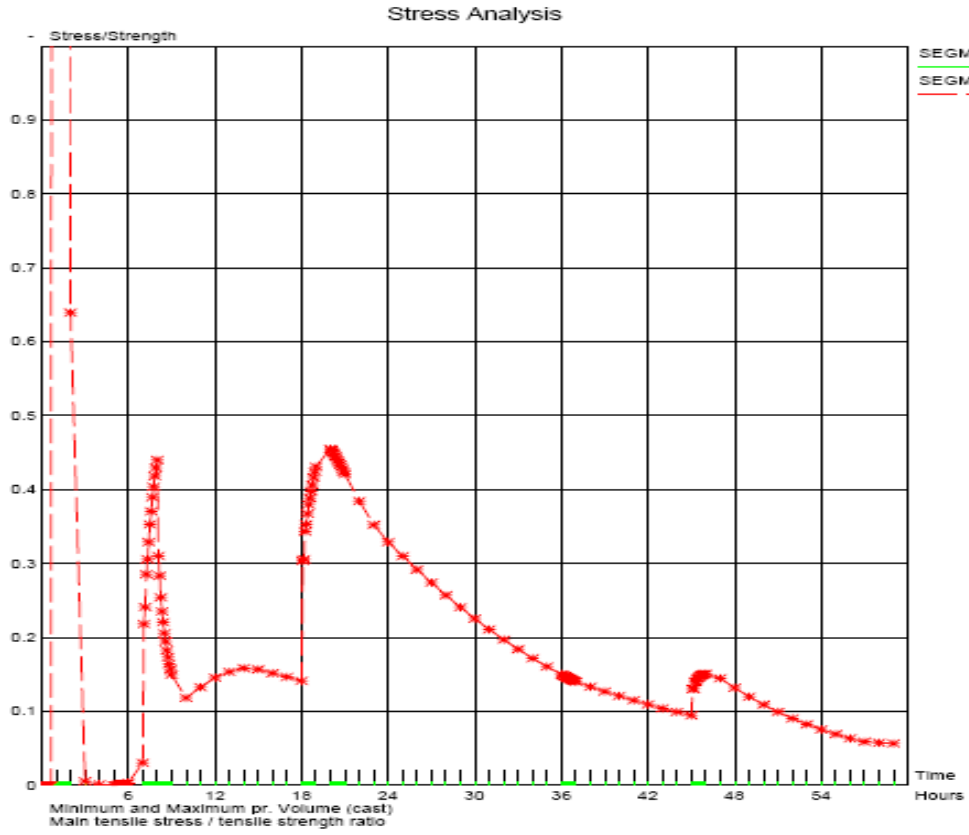
Şekil C.28: Analiz-4.16 gerilme grafiği



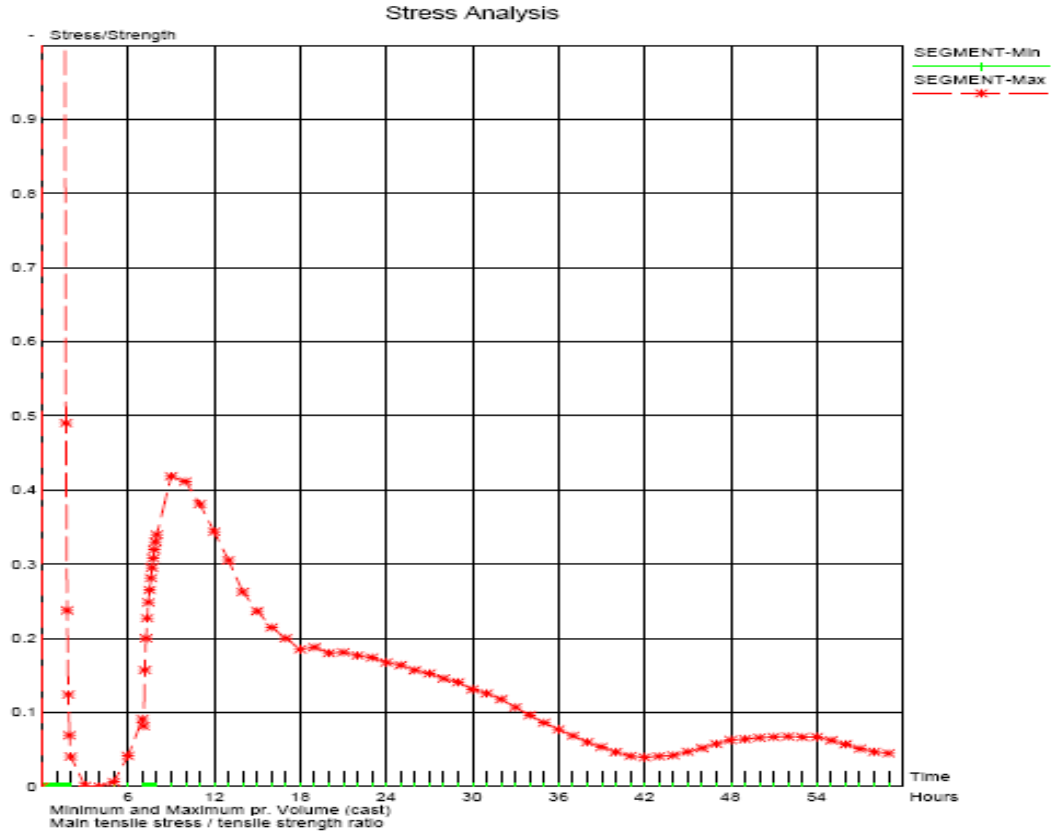
Şekil C.29: Analiz-4.17 gerilme grafiği



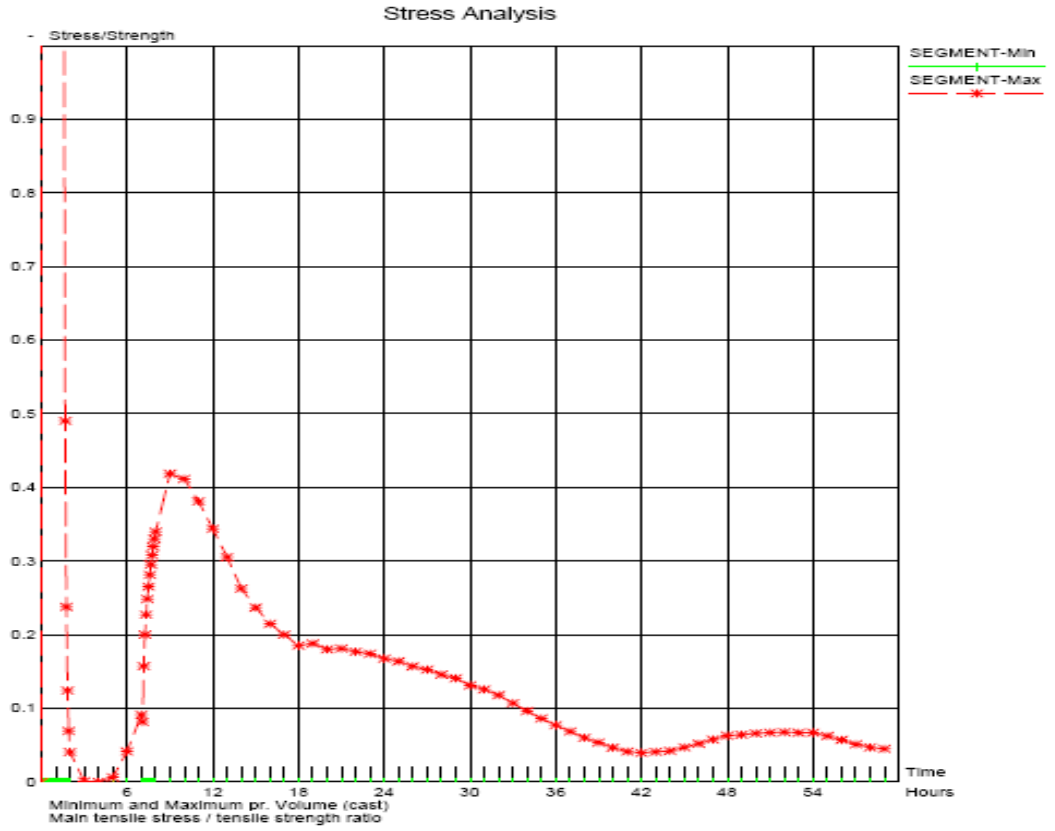
Şekil C.30: Analiz-4.18 gerilme grafiği



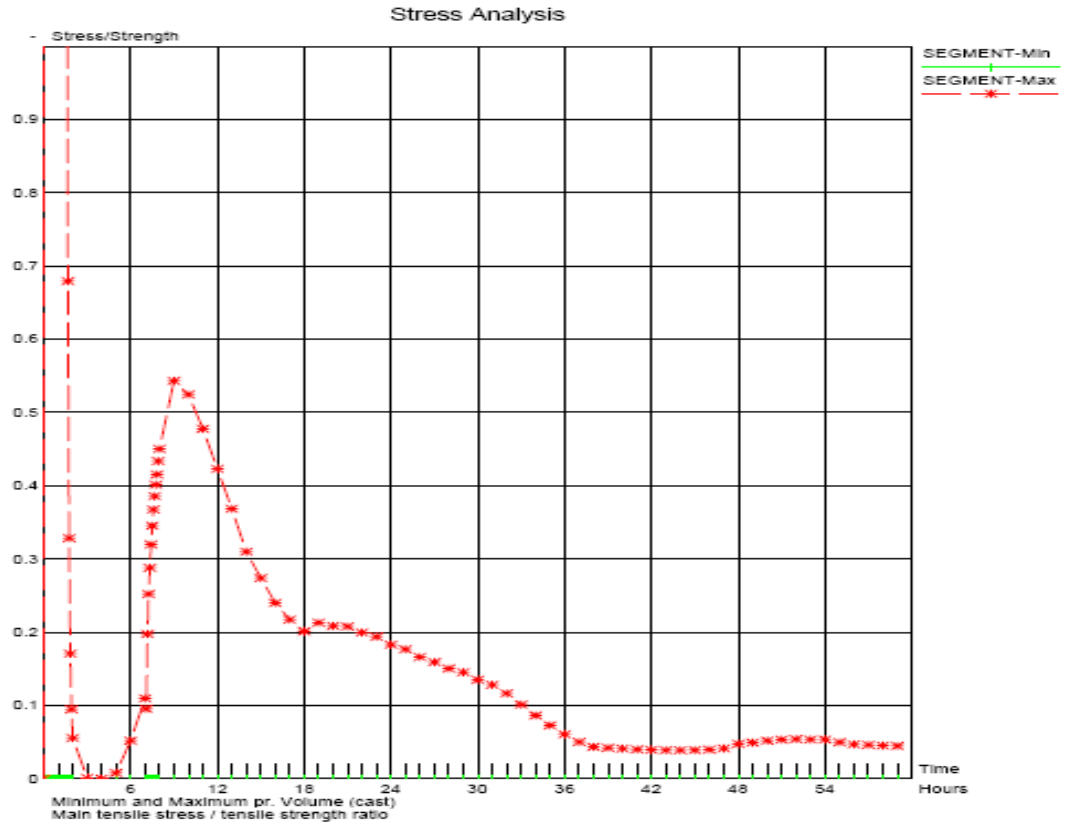
Şekil C.31: Analiz-4.19 gerilme grafiği



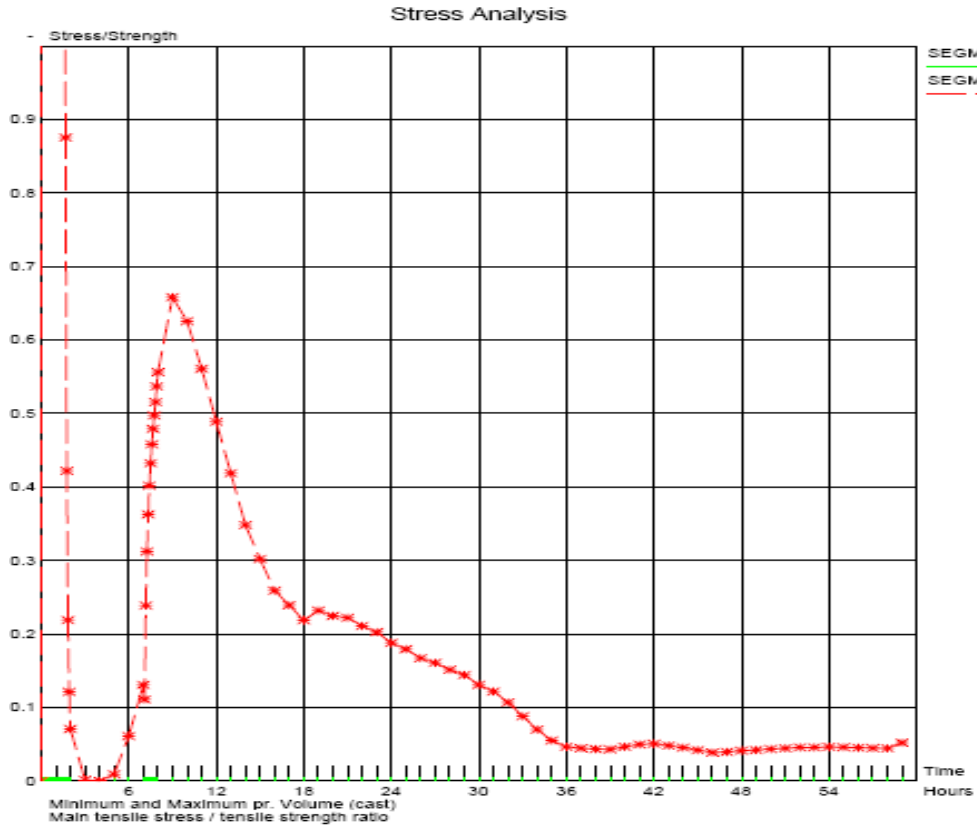
Şekil C.32: Analiz-4.20 gerilme grafiği



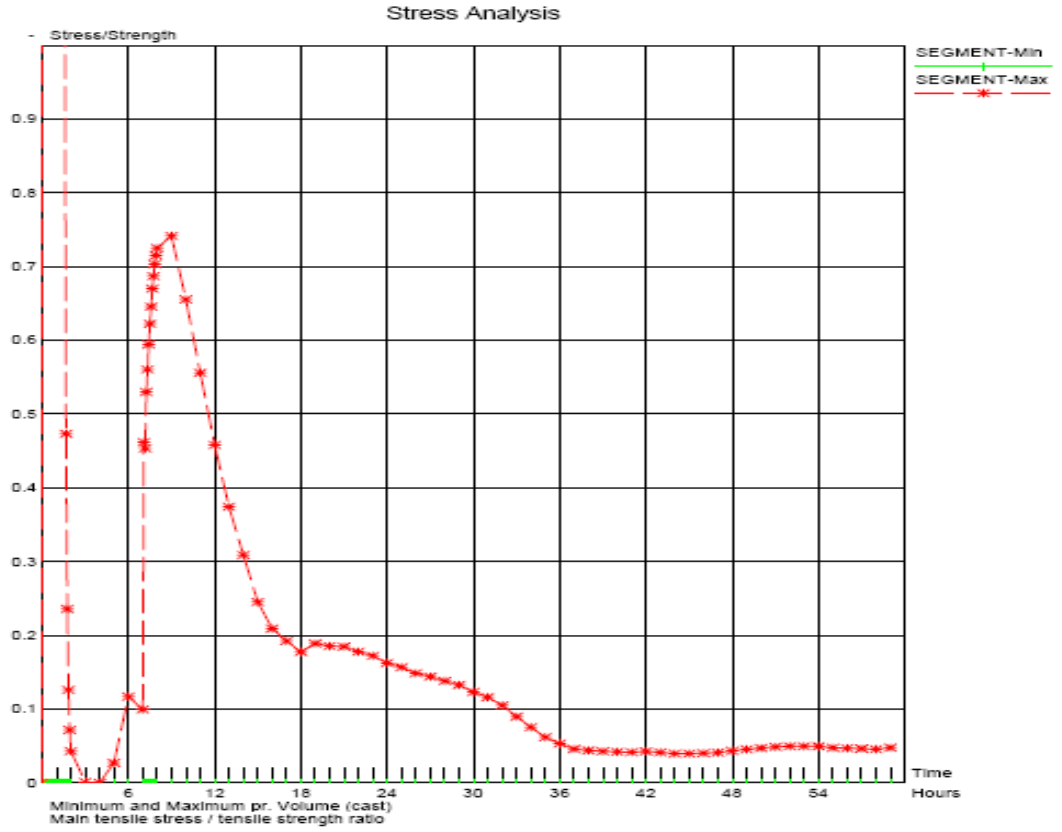
Şekil C.33: Analiz-4.21 gerilme grafiği



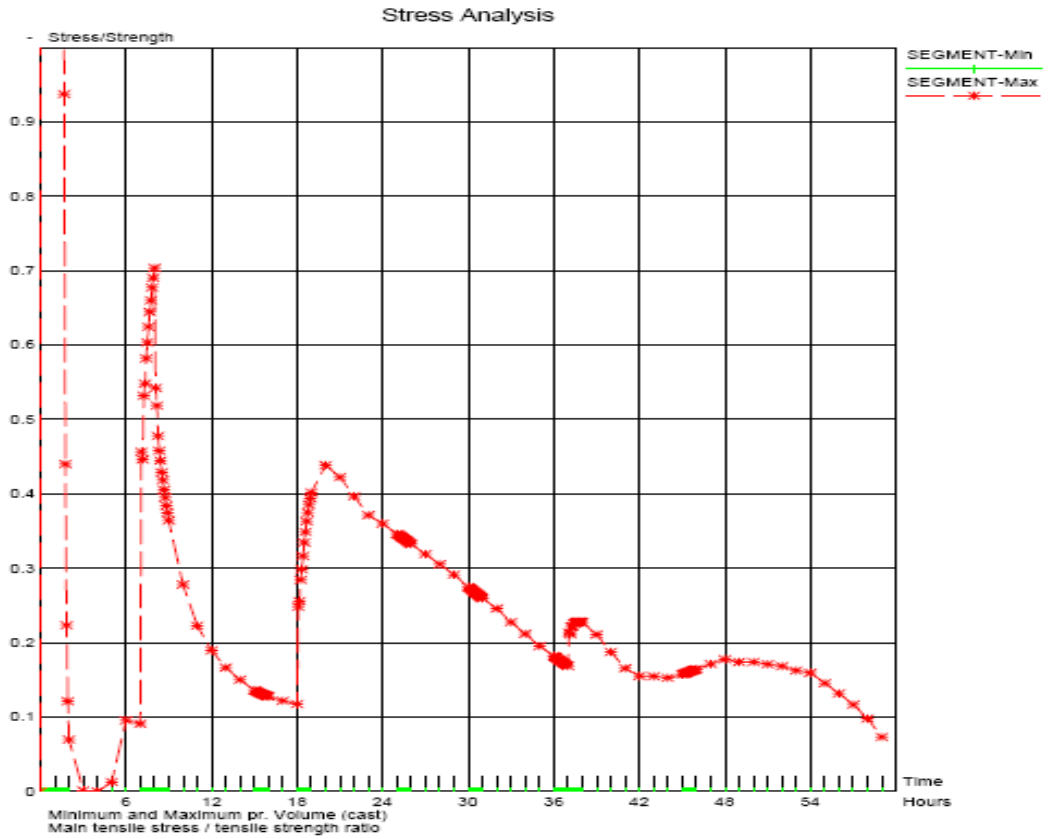
Şekil C.34: Analiz-4.22 gerilme grafiği



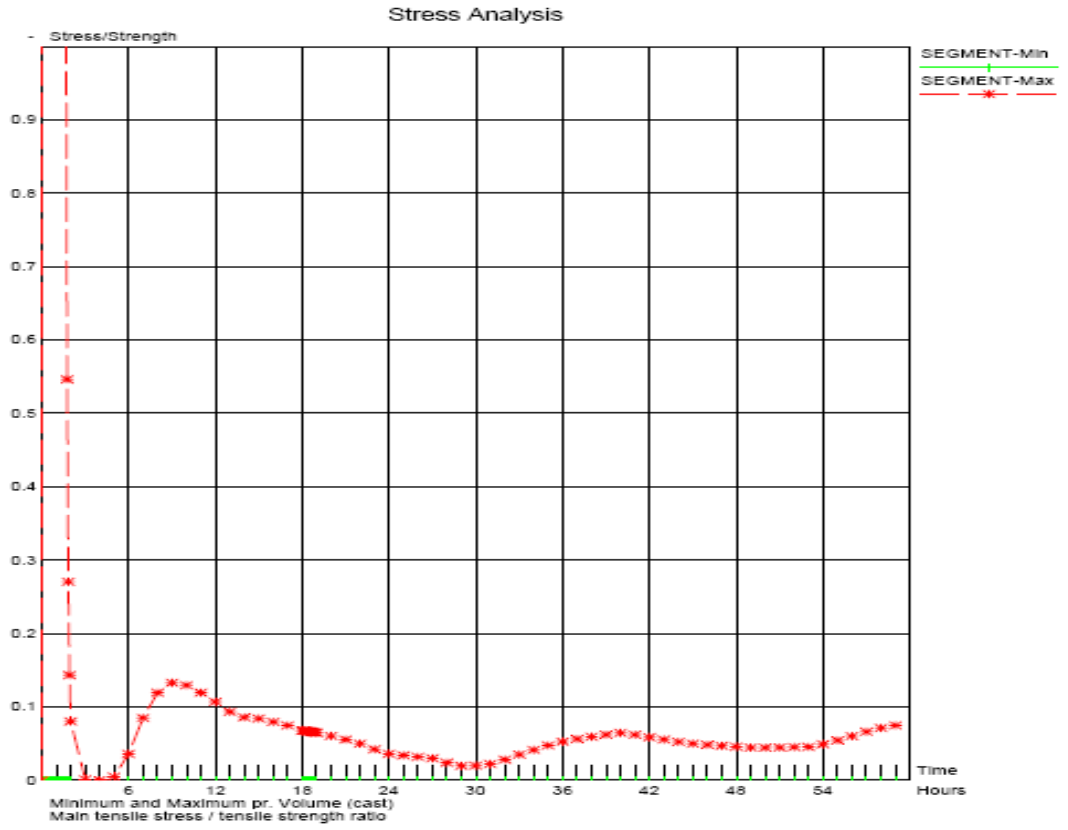
Şekil C.35: Analiz-4.23 gerilme grafiği



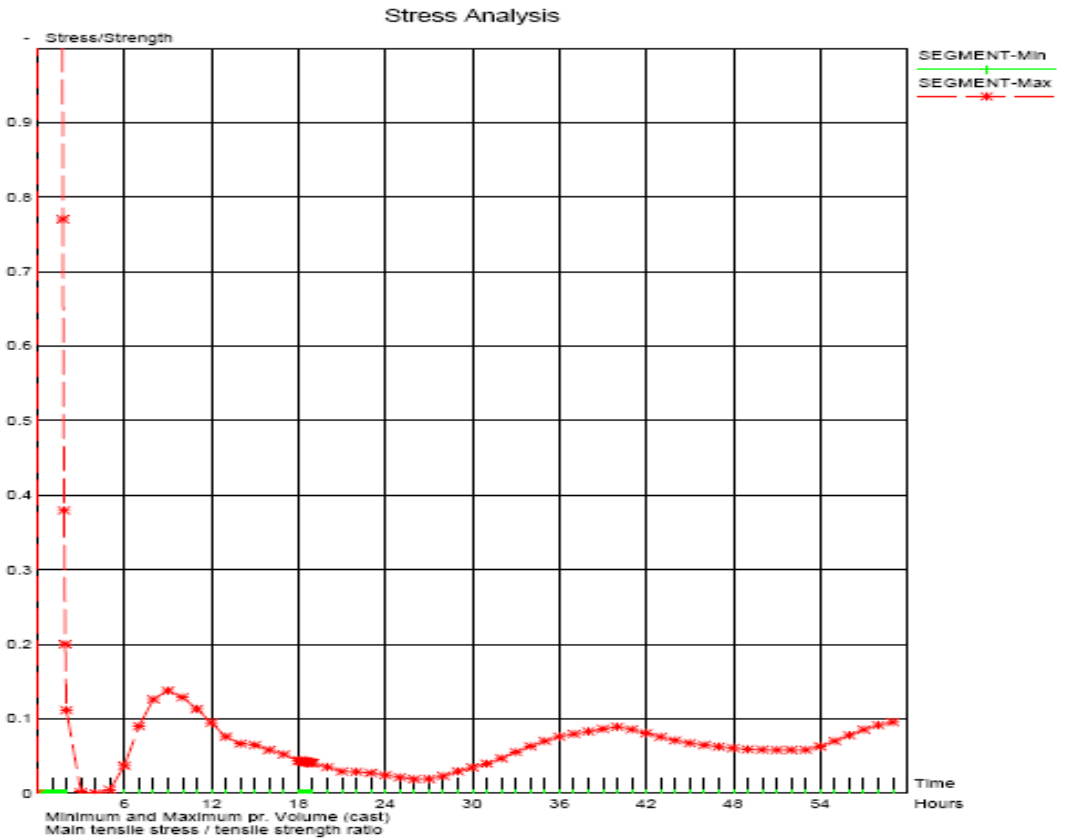
Şekil C.36: Analiz-4.24 gerilme grafiği



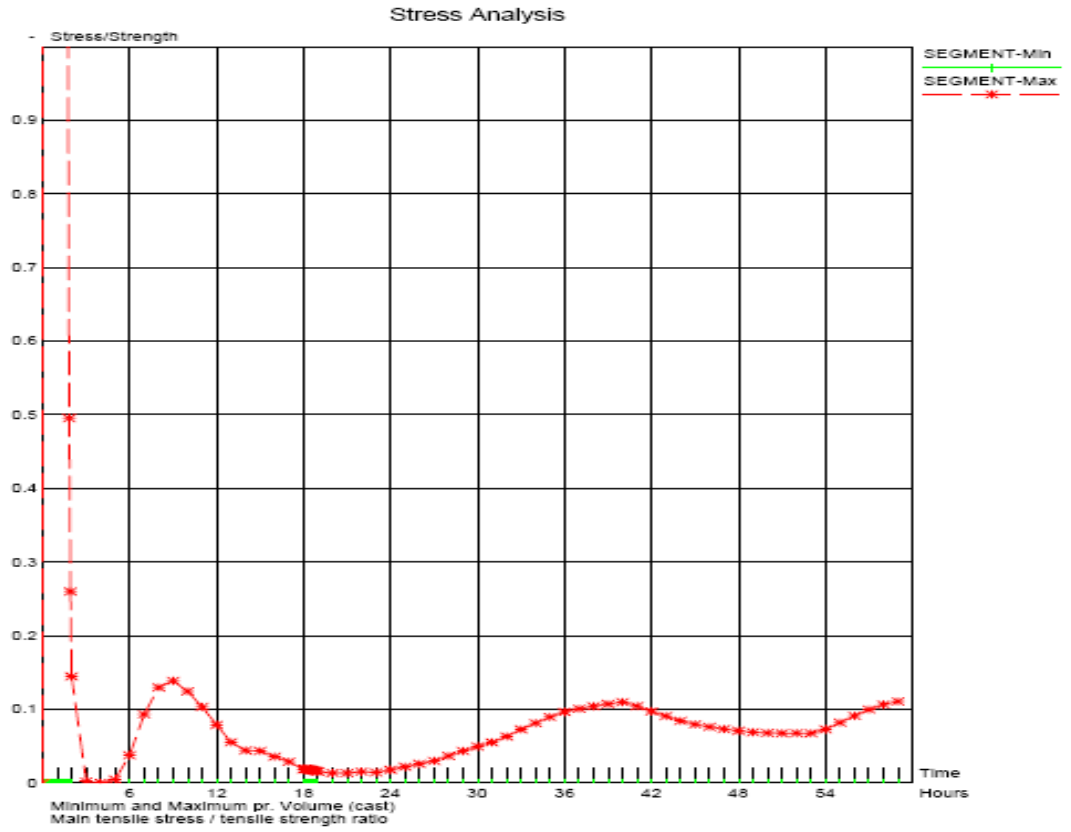
Şekil C.37: Analiz-4.25 gerilme grafiği



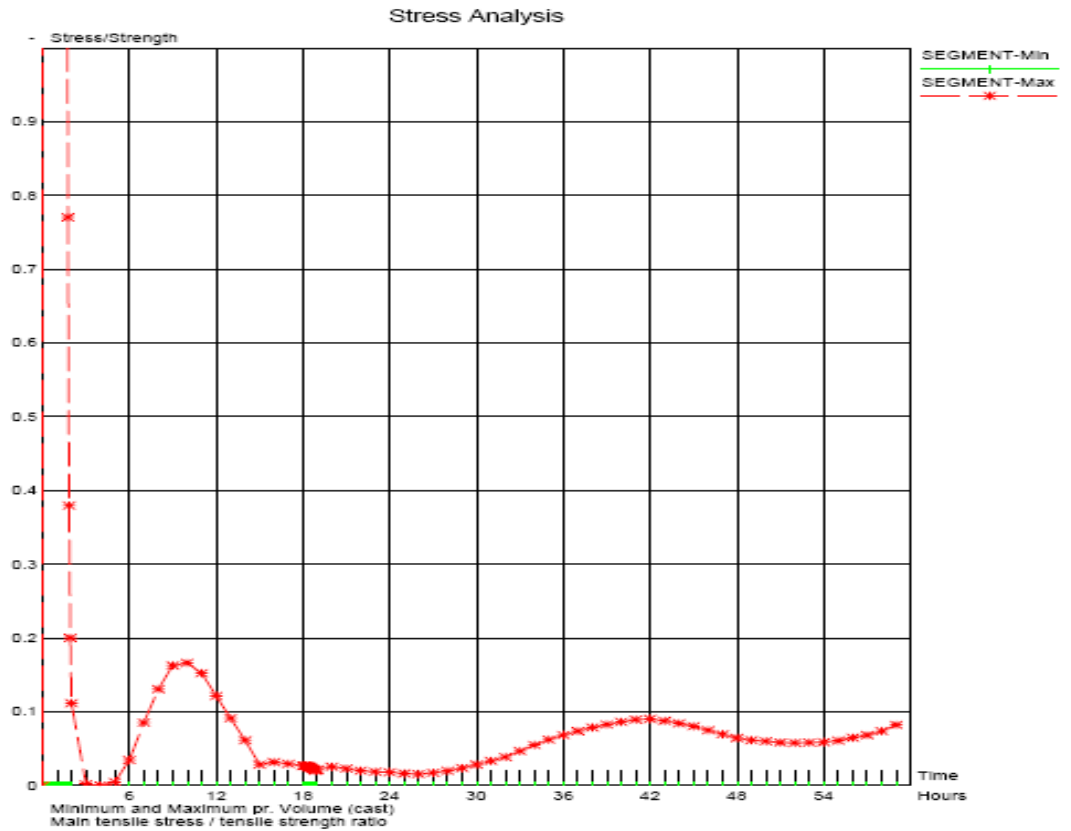
Şekil C.38: Analiz-4.26 gerilme grafiği



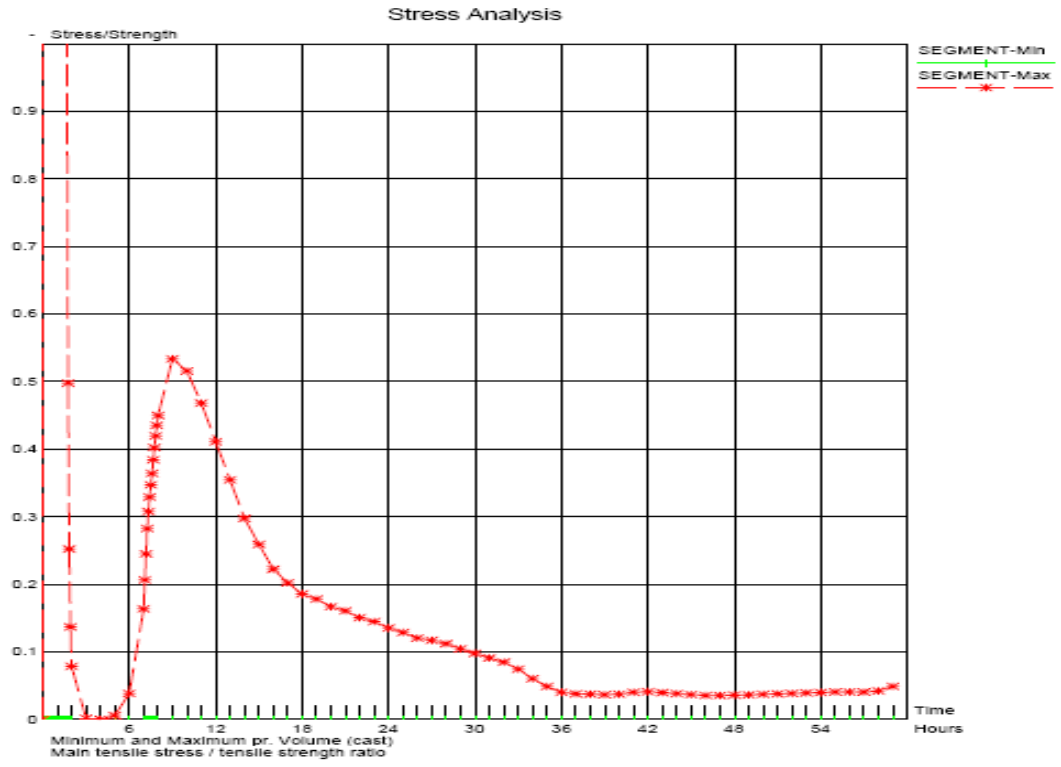
Şekil C.39: Analiz-4.27 gerilme grafiği



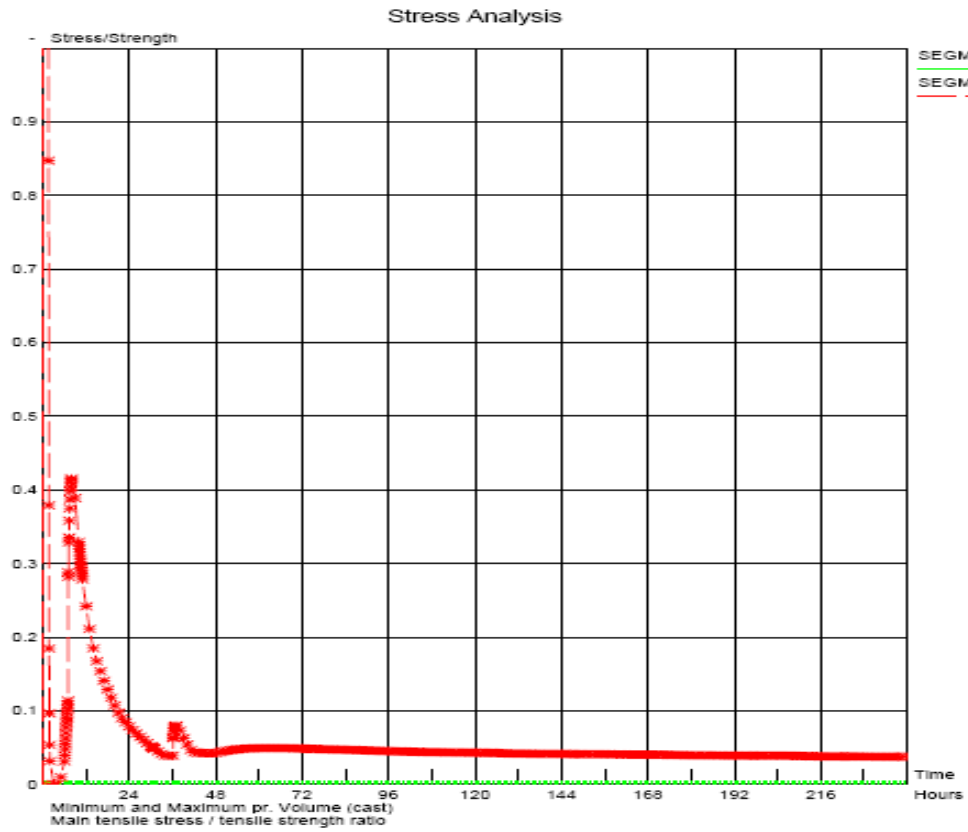
Şekil C.40: Analiz-4.28 gerilme grafiği



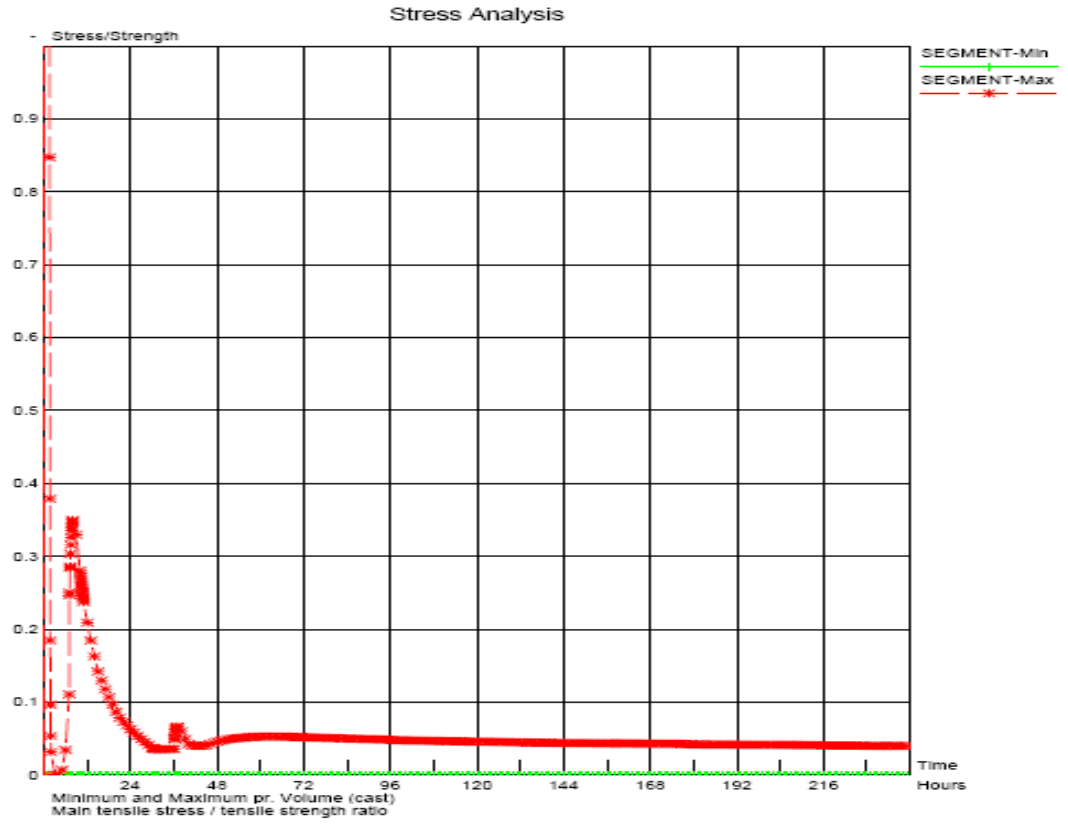
Şekil C.41: Analiz-4.29 gerilme grafiği



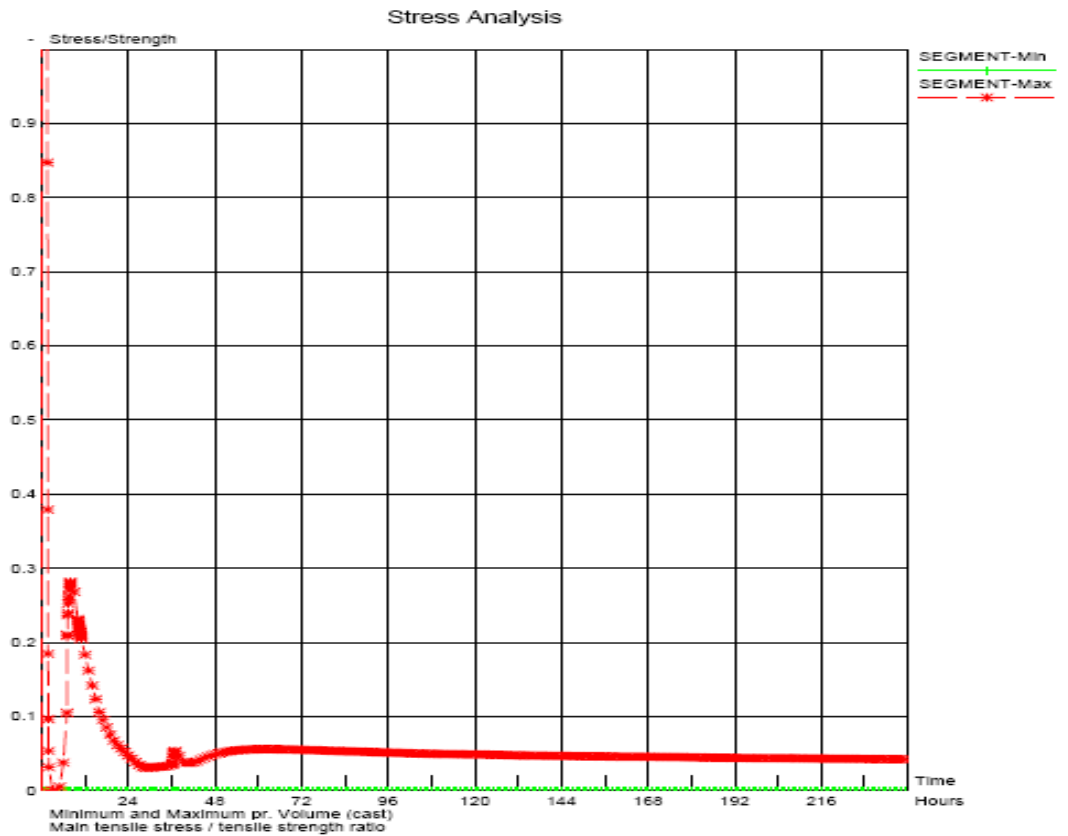
Şekil C.42: Analiz-4.30 gerilme grafiği



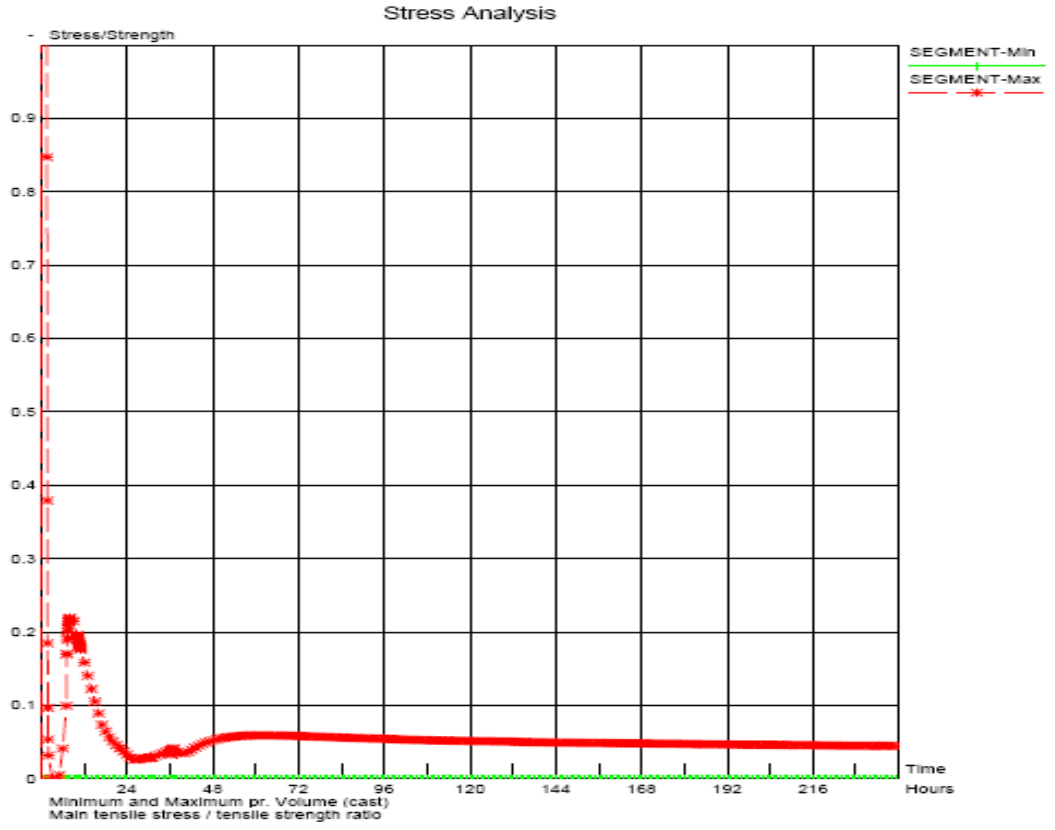
Şekil C.43: Analiz-4.31 gerilme grafiği



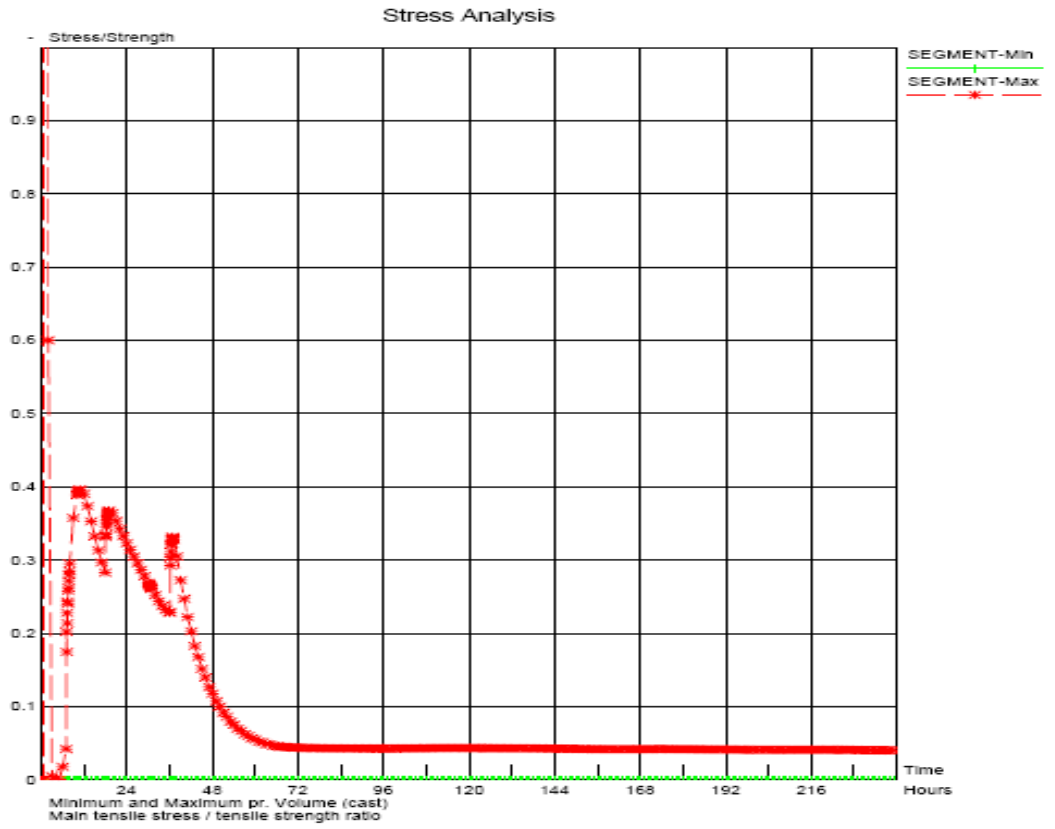
Şekil C.44: Analiz-4.32 gerilme grafiği



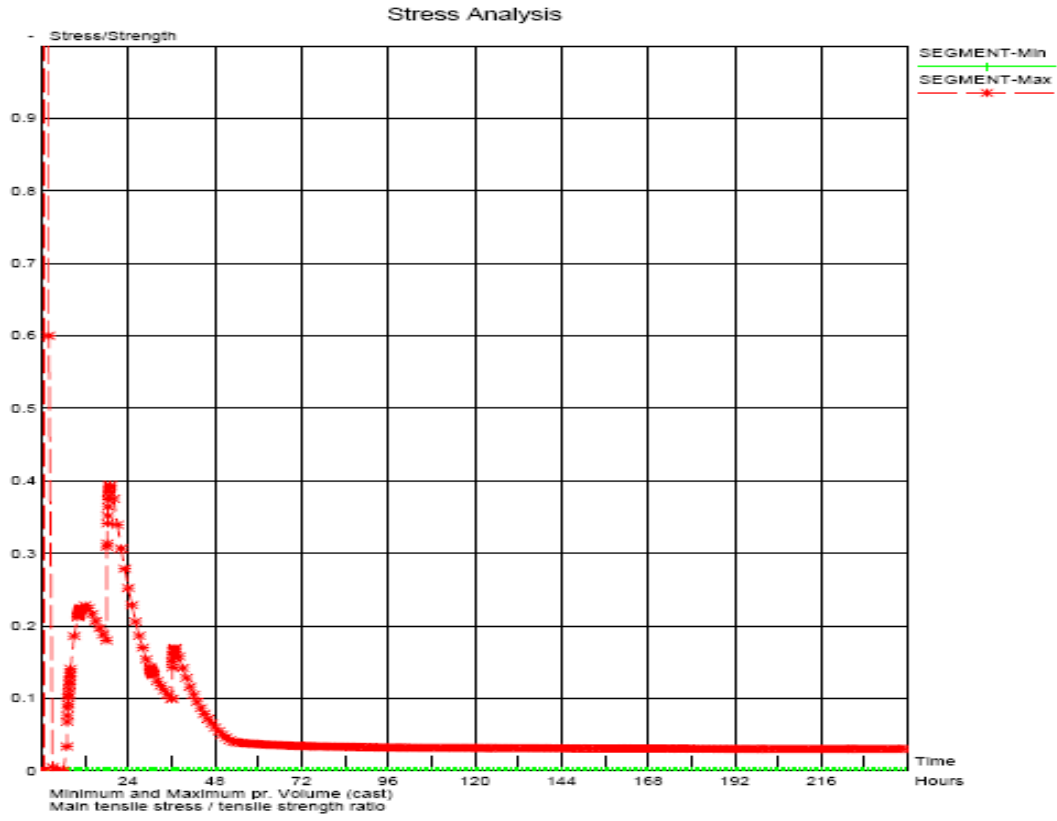
Şekil C.45: Analiz-4.33 gerilme grafiği



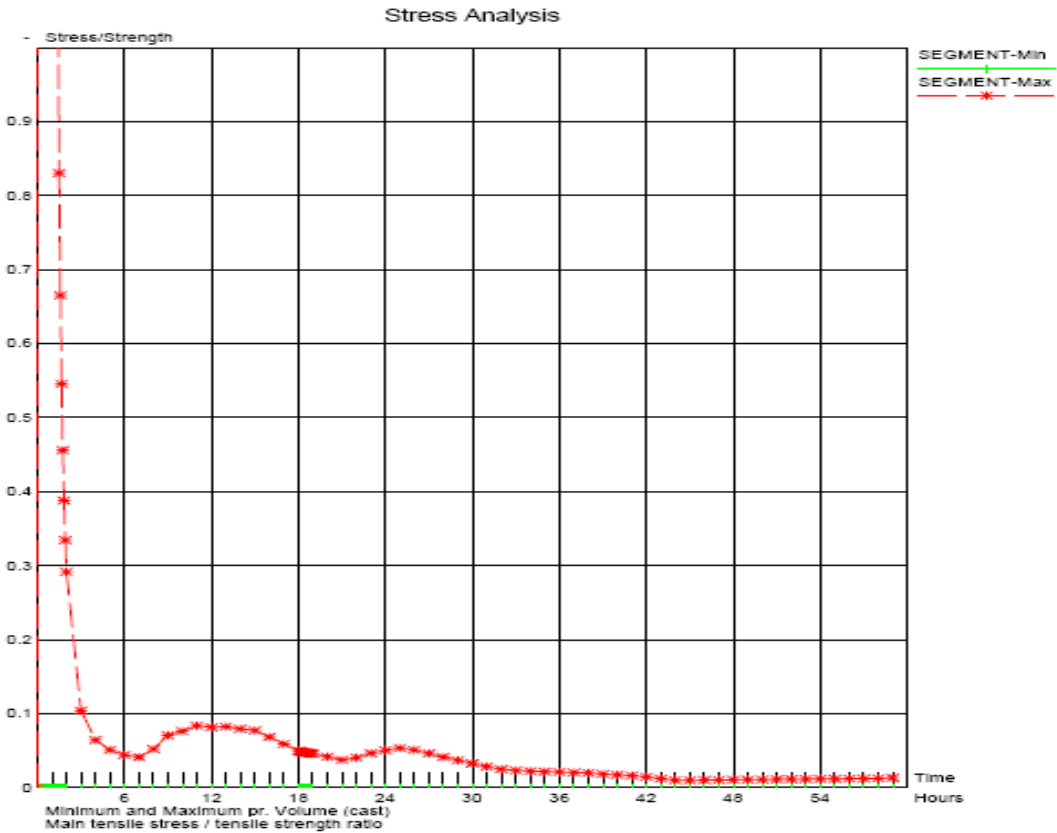
Şekil C.46: Analiz-4.34 gerilme grafiği



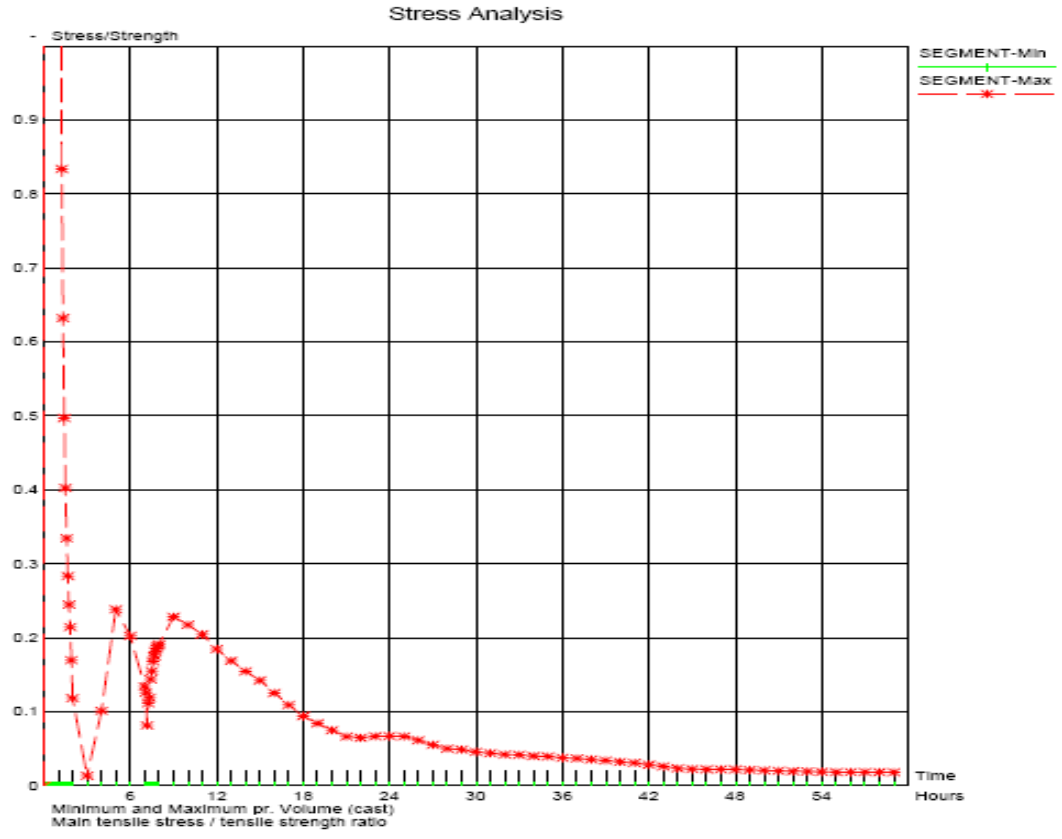
Şekil C.47: Analiz-4.35 gerilme grafiği



Şekil C.48: Analiz-4.36 gerilme grafiği



Şekil C.49: Analiz-4.37 gerilme grafiği



Şekil C.50: Analiz-4.38 gerilme grafiği

ÖZGEÇMİŞ

Ceylan Demirel 1981 yılında İstanbulda doğmuştur. Lise öğrenimini Sakıp Sabancı Anadolu Lisesi' nde yapmış ve 2000 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesini 2005 yılında bitirmiştir. Üniversite eğitimini tamamladıktan sonra 2005 yılında, üniversite öğrenimi döneminde de seçtiği Yapı Malzemesi Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitime başlamıştır. Aynı yıl içinde ilk iş deneyimi ile şantiye çalışmasına başlamıştır. 2006 yılında Taisei Corporation firmasında beton uzmanı olarak görev yapmıştır. 2007 yılında evlenerek Ankara' da yaşamaya başlamış ve halen görev yaptığı Su Yapı firmasında çalışmaya başlamıştır.