

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇELİK BİR ELEMANIN YANGIN ETKİSİNDEKİ MEKANİK
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

SEMİHA BETÜL KALEMCİ

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇELİK BİR ELEMANIN YANGIN ETKİSİNDEKİ MEKANİK
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

SEMİHA BETÜL KALEMCI

Doç. Dr. Fuad OKAY

Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Erkan AKPINAR

Eş Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Doç. Dr. Seval PINARBAŞI ÇUHADAROĞLU

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Doç. Dr. Salih Taner YILDIRIM

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Melis TAŞKIN

Jüri Üyesi, Süleyman Demirel Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 12.07.2019

.....
.....
.....
.....
.....

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, çelik yapı tasarımında yangın etkisinin ne denli önemli ve kritik olduğunu analitik olarak irdelemek ve hesaplarla ortaya koymak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmamda desteğini esirgemeyen, çalışmalarına yön veren, bana güvenen ve yüreklendiren danışmanım Doç. Dr. Fuad OKAY ve eş danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Erkan AKPINAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kocaeli Üniversitesi'ndeki lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca katkıda bulunan tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana güç veren en büyük destekçilerim, her aşamada sıkıntılarımı ve mutluluklarımı paylaşan kıymetli babam Yılmaz KALEMCİ, annem Filiz KALEMCİ, abim ve kardeşlerim ile sevgili eşim Mesut Cazim AKÇELİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Haziran – 2019

Semiha Betül KALEMCİ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
TABLolar DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
GİRİŞ	1
1. ISI TRANSFERİ	3
1.1. İletim	3
1.2. Taşınım.....	5
1.3. Işınım.....	5
1.4. Zamana Bağlı Isı İletim Denklemi.....	6
2. ÇELİK BİR ELEMANIN SICAKLIĞININ BELİRLENMESİ	12
2.1. Ortam Sıcaklığının Belirlenmesi.....	12
2.2. Eleman Sıcaklığının Belirlenmesi.....	14
2.2.1. Sabit öz ısı ve sabit ısıl iletkenlik durumu	14
2.2.2. Değişken öz ısı ve sabit ısıl iletkenlik durumu	17
2.2.2.1. Avrupa standardına göre değişim	17
2.2.2.2. Amerikan standardına göre değişim	18
2.2.3. Sabit öz ısı ve değişken ısıl iletkenlik durumu.....	22
2.2.3.1. Avrupa standardına göre değişim	22
2.2.3.2. Amerikan standardına göre değişim	22
2.2.4. Değişken öz ısı ve değişken ısıl iletkenlik durumu	26
2.2.5. Sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması	28
3. YANGIN ETKİSİNDE ÇELİK BİR ELEMANIN ELASTİSİTE MODÜLÜNÜN BELİRLENMESİ	31
3.1. Sabit Öz Isı ve Sabit Isıl İletkenlik Durumu.....	31
3.1.1. Avrupa standardına göre değişim	31
3.1.2. Amerikan standardına göre değişim	33
3.2. Değişken Öz Isı ve Sabit Isıl İletkenlik Durumu	35
3.2.1. Avrupa standardına göre değişim	35
3.2.2. Amerikan standardına göre değişim	36
3.3. Sabit Öz Isı ve Değişken Isıl İletkenlik Durumu	37
3.3.1. Avrupa standardına göre değişim	37
3.3.2. Amerikan standardına göre değişim	37
3.4. Değişken Öz Isı ve Değişken Isıl İletkenlik Durumu	38
3.4.1. Avrupa standardına göre değişim	38
3.4.2. Amerikan standardına göre değişim	38
3.5. Elastisite Modülü Değerlerinin Karşılaştırılması.....	39
4. YANGIN ETKİSİNDE ÇELİK BİR ELEMANIN AKMA MUKAVEMETİNİN BELİRLENMESİ.....	44

4.1.	Sabit Öz Isı ve Sabit Isıl İletkenlik Durumu.....	44
4.1.1.	Avrupa standardına göre değişim	44
4.1.2.	Amerikan standardına göre değişim	45
4.2.	Değişken Öz Isı ve Sabit Isıl İletkenlik Durumu	48
4.2.1.	Avrupa standardına göre değişim	48
4.2.2.	Amerikan standardına göre değişim	49
4.3.	Sabit Öz Isı ve Değişken Isıl İletkenlik Durumu	50
4.3.1.	Avrupa standardına göre değişim	50
4.3.2.	Amerikan standardına göre değişim	50
4.4.	Değişken Öz Isı ve Değişken Isıl İletkenlik Durumu	51
4.4.1.	Avrupa standardına göre değişim	51
4.4.2.	Amerikan standardına göre değişim	51
4.5.	Akma Mukavemeti Değerlerinin Karşılaştırılması	52
5.	YANGIN ETKİSİNDE ÇELİK BİR ELEMANNIN UZAMA MİKTARININ BELİRLENMESİ	57
5.1.	Sabit Öz Isı ve Sabit Isıl İletkenlik Durumu.....	57
5.1.1.	Avrupa standardına göre değişim	58
5.1.2.	Amerikan standardına göre değişim	58
5.2.	Değişken Öz Isı ve Sabit Isıl İletkenlik Durumu	60
5.2.1.	Avrupa standardına göre değişim	61
5.2.2.	Amerikan standardına göre değişim	61
5.3.	Sabit Öz Isı ve Değişken Isıl İletkenlik Durumu	62
5.3.1.	Avrupa standardına göre değişim	62
5.3.2.	Amerikan standardına göre değişim	62
5.4.	Değişken Öz Isı ve Değişken Isıl İletkenlik Durumu	63
5.4.1.	Avrupa standardına göre değişim	64
5.4.2.	Amerikan standardına göre değişim	64
5.5.	Uzama Miktarlarının Karşılaştırılması	65
6.	YANGIN ETKİSİNDE ÇELİK BİR ELEMANNIN KENDİ AĞIRLIĞI ALTINDA YAPTIĞI SEHİM MİKTARININ BELİRLENMESİ	69
6.1.	Ortalama Elastisite Modülü Yöntemi.....	69
6.2.	Lineer Değişen Elastisite Modülü Yöntemi	71
6.3.	Sabit Öz Isı ve Sabit Isıl İletkenlik Durumu.....	72
6.3.1.	Avrupa standardına göre değişim	72
6.3.2.	Amerikan standardına göre değişim	72
6.4.	Değişken Öz Isı ve Sabit Isıl İletkenlik Durumu	75
6.4.1.	Avrupa standardına göre değişim	75
6.4.2.	Amerikan standardına göre değişim	75
6.5.	Sabit Öz Isı ve Değişken Isıl İletkenlik Durumu	76
6.5.1.	Avrupa standardına göre değişim	76
6.5.2.	Amerikan standardına göre değişim	76
6.6.	Değişken Öz Isı ve Değişken Isıl İletkenlik Durumu	77
6.6.1.	Avrupa standardına göre değişim	77
6.6.2.	Amerikan standardına göre değişim	77
6.7.	Sehim Miktarlarının Karşılaştırılması	78
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	81
	KAYNAKLAR	84
	KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	85
	ÖZGEÇMİŞ	86

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Kartezyen koordinat sistemi.....	3
Şekil 1.2.	Taşınım ısı transfer mekanizması.....	6
Şekil 2.1.	Çalışmada model olarak seçilen çelik yapı elemanı.....	12
Şekil 2.2.	Sıcaklık-zaman eğrileri.....	13
Şekil 2.3.	Sıcaklık hesaplarının yapıldığı pozitif noktalar.....	14
Şekil 2.4.	Eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklık-zaman grafiği.....	17
Şekil 2.5.	Öz ısı – sıcaklık grafiği.....	19
Şekil 2.6.	Öz ısı – zaman grafiği.....	19
Şekil 2.7.	(a) $x=0$, (b) $x=L/4$, (c) $x=L/2$, (d) $x=3L/4$, (e) $x=L$ için değişken öz ısı durumunda sıcaklık değerlerinin standartlar arasındaki oranı.....	21
Şekil 2.8.	Isıl iletkenlik katsayısı – sıcaklık grafiği.....	23
Şekil 2.9.	Isıl iletkenlik katsayısı – zaman grafiği.....	23
Şekil 2.10.	(a) $x=0$, (b) $x=L/4$, (c) $x=L/2$, (d) $x=3L/4$, (e) $x=L$ için değişken ısı iletkenlik katsayısı durumunda sıcaklık değerlerinin standartlar arasındaki oranı.....	25
Şekil 2.11.	(a) $x=0$, (b) $x=L/4$, (c) $x=L/2$, (d) $x=3L/4$, (e) $x=L$ için değişken öz ısı ve değişken ısı iletkenlik katsayısı durumunda sıcaklık değerlerinin standartlar arasındaki oranı.....	27
Şekil 3.1.	T sıcaklığındaki elastisite modülünün oda sıcaklığındaki elastisite modülüne oranının sıcaklığa bağlı grafiği.....	34
Şekil 3.2.	T sıcaklığındaki elastisite modülünün oda sıcaklığındaki elastisite modülüne oranının zamana bağlı grafiği.....	35
Şekil 3.3.	EC3-1-2 standardına göre (a) değişken öz ısı (b) değişken ısı iletkenlik katsayısı (c) değişken öz ısı ve değişken ısı iletkenlik katsayısı için hesaplanan elastisite modülü değerlerinin sabit oldukları durumdaki elastisite modülüne oranı.....	41
Şekil 3.4.	ASCE-78 standardına göre (a) değişken öz ısı (b) değişken ısı iletkenlik katsayısı (c) değişken öz ısı ve değişken ısı iletkenlik katsayısı için hesaplanan elastisite modülü değerlerinin sabit oldukları durumdaki elastisite modülüne oranı.....	42
Şekil 4.1.	T sıcaklığındaki akma mukavemetinin oda sıcaklığındaki akma mukavemetine oranının sıcaklığa bağlı grafiği.....	46
Şekil 4.2.	T sıcaklığındaki akma mukavemetinin oda sıcaklığındaki akma mukavemetine oranının zamana bağlı grafiği.....	47
Şekil 4.3.	EC3-1-2 standardına göre (a) değişken öz ısı (b) değişken ısı iletkenlik katsayısı (c) değişken öz ısı ve değişken ısı iletkenlik katsayısı için hesaplanan akma mukavemeti değerlerinin sabit oldukları durumdaki akma mukavemetine oranı.....	54
Şekil 4.4.	ASCE-78 standardına göre (a) değişken öz ısı (b) değişken ısı iletkenlik katsayısı (c) değişken öz ısı ve değişken ısı iletkenlik katsayısı için hesaplanan akma mukavemeti değerlerinin sabit oldukları durumdaki akma mukavemetine oranı.....	55

Şekil 5.1.	Uzama miktarının hesabı için belirlenen bölgeler.....	57
Şekil 5.2.	Birim şekil değiştirme-sıcaklık grafiği	59
Şekil 5.3.	Birim şekil değiştirme-zaman grafiği	59
Şekil 5.4.	EC3-1-2 standardına göre (a) değişken öz ısı (b) değişken ısı iletkenlik katsayısı (c) değişken öz ısı ve değişken ısı iletkenlik katsayısı için hesaplanan uzama miktarlarının sabit oldukları durumdaki uzama miktarına oranı.....	66
Şekil 5.5.	ASCE-78 standardına göre (a) değişken öz ısı (b) değişken ısı iletkenlik katsayısı (c) değişken öz ısı ve değişken ısı iletkenlik katsayısı için hesaplanan uzama miktarlarının sabit oldukları durumdaki uzama miktarına oranı.....	67
Şekil 6.1.	Kendi ağırlığı altında düzgün yayılı yük ile yüklenmiş basit mesnetli çelik eleman.....	69
Şekil 6.2.	Ortalama Elastisite Modülü Yöntemi ile elde edilen açıklık ortası sehim miktarlarının sıcaklığa ve zamana bağlı değişimleri	73
Şekil 6.3.	Lineer Değişen Elastisite Modülü Yöntemi ile elde edilen açıklık ortası sehim miktarlarının sıcaklığa ve zamana bağlı değişimleri.....	74

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Denklem çözümünü sağlayan λ_n değerleri ve buna karşılık gelen A_n sabitleri.....	15
Tablo 2.2. Eleman boyunca belirlenen noktaların zamana bağlı sıcaklık değerleri	16
Tablo 2.3. EC3-1-2 standardına göre değişken öz ısı ile eleman boyunca belirlenen noktaların zamana bağlı sıcaklık değerleri	20
Tablo 2.4. ASCE-78 standardına göre değişken öz ısı ile eleman boyunca belirlenen noktaların zamana bağlı sıcaklık değerleri	20
Tablo 2.5. EC3-1-2 standardına göre değişken ısı iletkenlik katsayısı ile eleman boyunca belirlenen noktaların zamana bağlı sıcaklık değerleri	24
Tablo 2.6. ASCE-78 standardına göre değişken ısı iletkenlik katsayısı ile eleman boyunca belirlenen noktaların zamana bağlı sıcaklık değerleri	24
Tablo 2.7. EC3-1-2 standardına göre değişken öz ısı ve değişken ısı iletkenlik katsayısı ile eleman boyunca belirlenen noktaların zamana bağlı sıcaklık değerleri	26
Tablo 2.8. ASCE-78 standardına göre değişken öz ısı ve değişken ısı iletkenlik katsayısı ile eleman boyunca belirlenen noktaların zamana bağlı sıcaklık değerleri	26
Tablo 2.9. EC3-1-2 standardı için termal parametrelere göre $x = 0$ noktasındaki sıcaklıkların yüzdesel değişimleri.....	28
Tablo 2.10. ASCE-78 standardı için termal parametrelere göre $x = 0$ noktasındaki sıcaklıkların yüzdesel değişimleri.....	29
Tablo 2.11. Termal parametrelere göre $x = 0$ noktasındaki sıcaklıkların EC3-1-2 ve ASCE-78 standartları arasındaki yüzdesel değişimleri.....	30
Tablo 3.1. EC3-1-2 standardına göre sabit öz ısı ve sabit ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı elastisite modülü değerleri.....	33
Tablo 3.2. ASCE-78 standardına göre sabit öz ısı ve sabit ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı elastisite modülü değerleri.....	34
Tablo 3.3. EC3-1-2 standardına göre değişken öz ısı ve sabit ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı elastisite modülü değerleri.....	36
Tablo 3.4. ASCE-78 standardına göre değişken öz ısı ve sabit ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı elastisite modülü değerleri.....	36
Tablo 3.5. EC3-1-2 standardına göre sabit öz ısı ve değişken ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı elastisite modülü değerleri.....	37

Tablo 3.6. ASCE-78 standardına göre sabit öz ısı ve değişken ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı elastisite modülü değerleri.....	38
Tablo 3.7. EC3-1-2 standardına göre değişken öz ısı ve değişken ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı elastisite modülü değerleri	39
Tablo 3.8. ASCE-78 standardına göre değişken öz ısı ve değişken ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı elastisite modülü değerleri	39
Tablo 3.9. EC3-1-2 standardı için termal parametrelere göre $x = 0$ noktasındaki elastisite modülü değerlerinin yüzdesel değişimleri	40
Tablo 3.10. ASCE-78 standardı için termal parametrelere göre $x = 0$ noktasındaki elastisite modülü değerlerinin yüzdesel değişimleri	41
Tablo 3.11. Termal parametrelere göre $x = 0$ noktasındaki elastisite modülü değerlerinin EC3-1-2 ve ASCE-78 standartları için oda sıcaklığına göre değişimleri	43
Tablo 4.1. EC3-1-2 standardına göre sabit öz ısı ve sabit ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı akma mukavemeti değerleri	47
Tablo 4.2. ASCE-78 standardına göre sabit öz ısı ve sabit ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı akma mukavemeti değerleri	48
Tablo 4.3. EC3-1-2 standardına göre değişken öz ısı ve sabit ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı akma mukavemeti değerleri	49
Tablo 4.4. ASCE-78 standardına göre değişken öz ısı ve sabit ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı akma mukavemeti değerleri	49
Tablo 4.5. EC3-1-2 standardına göre sabit öz ısı ve değişken ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı akma mukavemeti değerleri	50
Tablo 4.6. ASCE-78 standardına göre sabit öz ısı ve değişken ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı akma mukavemeti değerleri	51
Tablo 4.7. EC3-1-2 standardına göre değişken öz ısı ve değişken ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı akma mukavemeti değerleri	52
Tablo 4.8. ASCE-78 standardına göre değişken öz ısı ve değişken ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı akma mukavemeti değerleri	52
Tablo 4.9. EC3-1-2 standardı için termal parametrelere göre $x = 0$ noktasındaki akma mukavemeti değerlerinin yüzdesel değişimleri	53
Tablo 4.10. ASCE-78 standardı için termal parametrelere göre $x = 0$ noktasındaki akma mukavemeti değerlerinin yüzdesel değişimleri	54
Tablo 4.11. Termal parametrelere göre $x = 0$ noktasındaki akma mukavemeti değerlerinin EC3-1-2 ve ASCE-78 standartları için oda sıcaklığına göre değişimleri	56

Tablo 5.1.	EC3-1-2 standardına göre sabit öz ısı ve sabit ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı birim şekil değiştirme ve uzama miktarları	60
Tablo 5.2.	ASCE-78 standardına göre sabit öz ısı ve sabit ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı birim şekil değiştirme ve uzama miktarları	60
Tablo 5.3.	EC3-1-2 standardına göre değişken öz ısı ve sabit ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı birim şekil değiştirme ve uzama miktarları	61
Tablo 5.4.	ASCE-78 standardına göre değişken öz ısı ve sabit ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı birim şekil değiştirme ve uzama miktarları	62
Tablo 5.5.	EC3-1-2 standardına göre sabit öz ısı ve değişken ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı birim şekil değiştirme ve uzama miktarları	63
Tablo 5.6.	ASCE-78 standardına göre sabit öz ısı ve değişken ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı birim şekil değiştirme ve uzama miktarları	63
Tablo 5.7.	EC3-1-2 standardına göre değişken öz ısı ve değişken ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı birim şekil değiştirme ve uzama miktarları	64
Tablo 5.8.	ASCE-78 standardına göre değişken öz ısı ve değişken ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı birim şekil değiştirme ve uzama miktarları	65
Tablo 5.9.	EC3-1-2 standardı için termal parametrelere göre elemanın uzama miktarlarının yüzdesel değişimleri	65
Tablo 5.10.	ASCE-78 standardı için termal parametrelere göre elemanın uzama miktarlarının yüzdesel değişimleri	67
Tablo 6.1.	Sabit öz ısı ve sabit ısı iletkenlik durumu için elemanın sehım miktarları ve oda sıcaklığına göre oranları	75
Tablo 6.2.	Değişken öz ısı ve sabit ısı iletkenlik durumu için elemanın sehım miktarları ve oda sıcaklığına göre oranları	76
Tablo 6.3.	Sabit öz ısı ve değişken ısı iletkenlik durumu için elemanın sehım miktarları ve oda sıcaklığına göre oranları	77
Tablo 6.4.	Değişken öz ısı ve değişken ısı iletkenlik durumu için elemanın sehım miktarları ve oda sıcaklığına göre oranları	78
Tablo 6.5.	EC3-1-2 standardı için termal parametrelere göre Ortalama Elastisite Modülü Yöntemi ile hesaplanan sehım miktarlarının yüzdesel değişimleri	78
Tablo 6.6.	EC3-1-2 standardı için termal parametrelere göre Lineer Değişen Elastisite Modülü Yöntemi ile hesaplanan sehım miktarlarının yüzdesel değişimleri	79
Tablo 6.7.	ASCE-78 standardı için termal parametrelere göre Ortalama Elastisite Modülü Yöntemi ile hesaplanan sehım miktarlarının yüzdesel değişimleri	79
Tablo 6.8.	ASCE-78 standardı için termal parametrelere göre Lineer Değişen Elastisite Modülü Yöntemi ile hesaplanan sehım miktarlarının yüzdesel değişimleri	80

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

α	: Isıl yayılım katsayısı, (m^2/s)
β	: Orta nokta ile uç nokta arasındaki Elastisite Modülü oranına bağlı bir katsayı
Δl	: Sıcaklık etkisiyle meydana gelen uzama miktarı
ε	: Yüzey yayıcılığı
ρ	: Yoğunluk, (kg/m^3)
σ	: Stefan-Boltzmann sabiti, ($5,670.10^{-8} W/m^2 \cdot ^\circ C^4$)
θ	: Boyutsuz sıcaklık
τ	: Boyutsuz zaman
A	: Isı transferine dik alan, (m^2)
Bi	: Biot sayısı
c	: Öz ısı, ($J/kg \cdot ^\circ C$)
E	: Elastisite Modülü, (Pa)
E_0	: Oda sıcaklığındaki Elastisite Modülü, (Pa)
E_1, E_2, E_3, E_4	: Belirlenen dört bölgenin ortalama Elastisite Modülü değerleri, (Pa)
E'	: Kirişin uç noktasındaki Elastisite Modülü, (Pa)
E_T	: T sıcaklığına sahip noktanın Elastisite Modülü, (Pa)
E_X	: Kirişin X konumundaki Elastisite Modülü, (Pa)
$F_{y,0}$: Oda sıcaklığındaki Akma Mukavemeti, (Pa)
$F_{y,T}$: T sıcaklığına sahip noktanın Akma Mukavemeti, (Pa)
h	: Taşınım ısı transfer katsayısı, ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
I	: Atalet momenti, (m^4)
$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$: Birim vektörler
k	: Isıl iletkenlik katsayısı, ($W/m \cdot ^\circ C$)
L	: Kiriş yarı uzunluğu, (m)
l	: Elemanın oda sıcaklığındaki uzunluğu, (m)
M	: Moment, (Nm)
n	: Herhangi bir noktanın sabit sıcaklık yüzeyinin normali
P_j	: Şehimi aranan noktadaki tekil yük, (N)
Q	: Fiktif yük, (N)
$\dot{Q}_{ışınım}$: Birim zamanda ışıınım yoluyla transfer edilen ısı miktarı, (W)
\dot{Q}_{iletim}	: Birim zamanda iletim yoluyla transfer edilen ısı miktarı, (W)
$\dot{Q}_{taşınım}$: Birim zamanda taşınım yoluyla transfer edilen ısı miktarı, (W)
$\dot{Q}_x, \dot{Q}_y, \dot{Q}_z$: x, y, z doğrultularındaki ısı transfer hızları
t	: Zaman, (s/dk)
T	: Sıcaklık, ($^\circ C$)
$T_{çevre}$: Çok geniş bir yüzeyle tamamen çevrelenmiş akışkan sıcaklığı, ($^\circ C$)
T_i	: Kiriş başlangıç sıcaklığı, ($^\circ C$)
T_∞	: Yüzeyden yeteri kadar uzaktaki akışkan sıcaklığı, ($^\circ C$)
w	: Düzgün yayılı yük, (N/m)
x, y, z	: Bir noktanın kartezyen koordinatlardaki konumu, (m)
X, Y, Z	: Merkeze olan boyutsuz uzaklık

- y_j : Herhangi j noktasının sehim miktarı, (m)
 y_0 : Orta nokta sehim miktarı, (m)
 y_{01} : Ortalama Elastisite Modülü Yöntemi ile hesaplanan orta nokta sehim miktarı, (m)
 y_{02} : Lineer değişen Elastisite Modülü Yöntemi ile hesaplanan orta nokta sehim miktarı, (m)

Kısaltmalar

- ASCE-78 : American Society of Civil Engineers Manual Practise 78 (Amerikan İnşaat Mühendisleri Topluluğu Kılavuzu No.78)
EC1-1-2 : Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire (Avrupa Çelik Yönetmeliği Bölüm 1 Kısım 1-2)
EC3-1-2 : Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General rules – Structural fire design (Avrupa Çelik Yönetmeliği Bölüm 3 Kısım 1-2)

ÇELİK BİR ELEMANIN YANGIN ETKİSİNDEKİ MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Çelik, pek çok üstün özelliklere sahip olmasına karşın ısı değişimlere oldukça duyarlı bir yapı malzemesidir. Yangın nedeniyle ortam sıcaklığının artması sonucunda çelik yapı elemanlarının termal, mekanik ve kullanılabilirlik özelliklerinde olumsuz etkiler gerçekleşir. Yüksek sıcaklık etkisinde çelik malzemede, elastisite modülü ve akma mukavemeti değerinde önemli ölçüde azalma ve buna bağlı olarak çelik yapı elemanının şekil değiştirmelerinde artış meydana gelir. Yangın; yanıcı maddeler, havadaki oksijen ve sıcaklık üçgeni arasında gerçekleşen yanma olayının zaman ve mekân olarak kontrolsüz bir şekilde yayılmasıdır. Bu çalışmada, yangın durumunda ortaya çıkan yüksek sıcaklık etkisinde, çelik yapı elemanlarındaki termal ve mekanik davranış değişimi analitik olarak incelenmiştir. Ortam sıcaklığının yangın etkisindeki değişimi, “standart sıcaklık-zaman eğrisi” olarak ifade edilmiştir. Bu sıcaklık değerlerinin çelik yapı elemanları üzerindeki etkisini belirlemek için iletim ve taşınım transfer mekanizmaları kullanılarak üç boyutlu ve zamana bağlı ısı transfer denklemi oluşturulmuştur. Avrupa Çelik Yönetmeliği Bölüm 3 Kısım 1-2 (EC3-1-2) ve Amerikan İnşaat Mühendisleri Topluluğu Kılavuzu No.78’de (ASCE-78) bulunan, sıcaklık değişimlerinin elastisite modülü ve akma mukavemetine olan etkilerine yönelik bağıntılar kullanılmış ve belirlenen noktaların rijitlik ve dayanım değerleri elde edilmiştir. İncelenen elemanın açıklık ortası sehim miktarı iki farklı yaklaşımla hesaplanmış ve oda sıcaklığındaki duruma oranla meydana gelen değişim yüzdeleri incelenmiştir. Ayrıca, belirlenen noktaların birim şekil değiştirme miktarları belirlenmiş ve elemanın uzama deformasyonu hesaplanmıştır. Özel olarak düzgün yayılı yüklü basit mesnetli bir çelik yapı elemanının yangına maruz kalması durumunda; sıcaklık değişimlerinin sonucu olarak, yukarıda bahsedilen özelliklerin miktarlarında oluşan değişimler sayısal olarak ortaya koyulmuştur. Çelik yapı tasarımında, yangın etkisinin ne denli önemli ve kritik olduğu teorik olarak irdelenmiş ve hesapla gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akma Mukavemeti, Çelik Yapılar, Elastisite Modülü, Sehim, Yangın.

INVESTIGATION OF MECHANICAL BEHAVIOUR OF A STEEL MEMBER SUBJECTED TO FIRE

ABSTRACT

Although steel has many superior properties, it is a highly sensitive construction material with respect to thermal changes. Increase in ambient temperature due to fire, it has negative effects on the thermal, mechanical and serviceability properties of structural steel. Under the effect of high temperature, modulus of elasticity and yield strength of steel decrease and consequently amounts of deformations increase. Fire is defined as the propagation of combustion among the triangle of flammable materials, oxygen in the air and temperature, in an uncontrollable manner as in time and place. In this study, changes in thermal and mechanical behavior of steel members under the effect of high temperature caused by fire is investigated theoretically. The change of the ambient temperature in the effect of fire is expressed as “standart temperature-time curve.” Conduction and convection transfer mechanisms are used to create a three dimensional and time dependent thermal transfer equation for steel members under the effect of these temperature values. Correlations in the European Committee for Standardization Part 1-2 (EC3-1-2) and the American Society of Civil Engineers Manual No.78 (ASCE-78) were used for the effects of temperature changes on modulus of elastisity and yield strength and then stiffness and strength values of designated points are obtained. Mid-span deflection values of the member’s are calculated using different approaches. In addition, the unit deformation amounts of the points were determined and member elongation deformation was calculated. In particular, if a simply supported steel member with a uniformly distributed load is exposed to fire from all sides, as a result of the temperature change, the changes in the above mentioned quantities are numerically revealed. In the design of steel structures, the importance of the fire effect, is analytically examined and calculated.

Keywords: Yield Strength, Steel Structures, Modulus of Elastisity, Deflection, Fire

GİRİŞ

Çelik; yüksek mukavemet, yüksek rijitlik, homojenlik ve izotropluk, denetim altında üretilebilirlik, prefabrikasyona uygunluk, dayanıklılık, yüksek enerji yutma kabiliyetine sahip çevrimsel davranış gibi pek çok üstün özelliklere sahip bir yapı malzemesidir. Bu özelliklerine karşın ısı değişimlere oldukça duyarlıdır ve sıcaklık arttıkça mekanik özelliklerinde olumsuz yönde önemli değişiklikler olur. Bu nedenle çelik yapı tasarımında yangın, önemli bir yükleme türüdür.

Yangın; alev alabilen maddelerin, çevresine değişik oranlarda ısı ve ışık yayarak kontrol dışı yanmasıdır [1]. Yanmanın başlaması ve sürebilmesi için yanıcı madde (yakıt), yakıcı madde (oksijen) ve ısının (ateşleme kaynağı) uygun koşullarda bir araya gelmesi gerekir ve buna “yangın üçgeni” denir.

Yangın nedeniyle ortamdaki sıcaklık artışı çelik yapı elemanlarının termal ve mekanik özelliklerini olumsuz etkiler. Çeliğin ısı iletkenlik katsayısı ve özısı değerlerinde sıcaklık değerlerine bağlı değişimler meydana gelir. Elastisite modülü, akma ve kopma mukavemeti gibi özelliklerinin azalmasına ve dolayısıyla kendi ağırlığı altında dahi sehim miktarının önemli ölçüde artmasına neden olur. Ayrıca yapının kullanımı için gereken işlevsellik özelliklerinin kaybı da söz konusu olabilir. Daha ötesinde, yangının nispeten uzun süreler boyunca kontrol altına alınamaması veya söndürülememesi, çelik yapılarda stabilite kaybına, kısmi veya toptan göçmeye sebep olabilmektedir.

Yangın etkisiyle oluşan yüksek sıcaklıklarda, termal ve mekanik özellikleri değişen çelik malzemedan yapılmış elemanların, sıcaklık etkisi altında, eleman boyunca elastisite modülü değerleri ve buna bağlı olarak orta nokta sehim miktarlarında oluşan farklar ile akma mukavemetlerinde meydana gelen değişimler vurgulanmak istenmiştir.

Bu çalışmada; düzgün yayılı yük ile yüklenmiş, yangına karşı korumasız çelik bir elemanın, sıcaklık etkisi altında termal ve mekanik özelliklerinin değişimi

incelenmiştir. Bunun için elemanın, “standart sıcaklık-zaman eğrisi” ile ifade edilen sıcaklığa sahip bir ortamda olduğu varsayılmıştır. Bu koşullara uygun sıcaklık dağılımı, iletim ve taşınım denklemleri ile elde edildikten sonra bu sıcaklıklara karşılık gelen elastisite modülü değerleri Avrupa Çelik Yönetmeliği Bölüm 3 Kısım 1-2 (EC3-1-2) [2] ve Amerikan İnşaat Mühendisleri Topluluğu Kılavuzu No.78’de (ASCE-78) [3] verilen bağıntılar kullanılarak elde edilmiştir. Böylece çubuk boyunca sıcaklık etkisiyle değişen bir elastisite modülü fonksiyonu tanımlanmış ve buna bağlı olarak elemanın orta noktasının sehiminin nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, yine aynı sıcaklık değerlerine karşılık gelen akma mukavemeti değerleri iki ayrı yönetmeliğe göre belirlenmiştir. Benzer bir çalışma, çeliğin öz ısı ve ısı iletkenlik katsayısı gibi termal özelliklerinin ortam sıcaklığı etkisinde değişmesi durumunda yapılmış ve mekanik özelliklerin ilk duruma göre değişimi karşılaştırılmıştır.

Bölüm 1’de ısı ve ısı transferinin tanımlamaları ile ısı transfer mekanizmaları hakkında bilgiler verilmiştir. İletim, taşınım ve ışınım denklemlerinin genel gösterimlerinden bahsedilmiştir. Genel ısı iletim denkleminin sabit iletkenlik, ısı üretimi olmayan ve zamana bağlı durum için olan formu tanımlanmıştır. Başlangıç durumunda sabit ve üniform sıcaklığa sahip bir çelik elemanın, sabit taşınım ısı transfer katsayısına sahip bir ortamda, yangın etkisiyle artan sıcaklığının belirlenebilmesi için zamana bağlı ısı iletim denklemi elde edilmiştir. Bölüm 2’de çelik eleman üzerinde belirlenen noktaların sıcaklığı hesaplanmıştır. Termal parametrelerin sabit ve değişken olması durumları için ayrı ayrı sonuçlar verilmiştir. Bölüm 3’te eleman üzerinde sıcaklığı belirlenen enkesitlerdeki elastisite modülü değerleri EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarına uygun olarak elde edilmiştir. Bölüm 4’te, Bölüm 3’te elastisite modülü belirlenen enkesitlerdeki akma mukavemeti değerleri, EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarına uygun olarak hesaplanmıştır. Bölüm 5’te elemanda oluşan birim şekil değiştirme ve buna bağlı uzama miktarları elde edilmiştir. Bölüm 6’da elemanın kendi ağırlığı altında orta noktasının sehim miktarı belirlenmiştir. Bölüm 7’de çalışmada elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

1. ISI TRANSFERİ

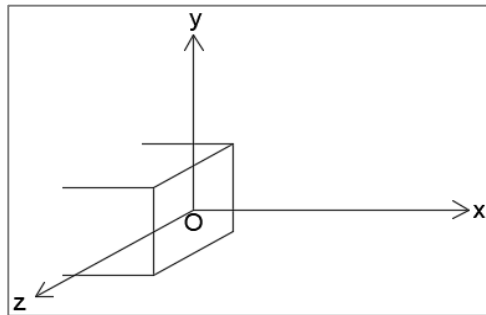
Isı, sıcaklık farkı sonucu bir sistemden diğerine transfer edilebilen bir enerji türüdür. Enerji transferinin hızını bulmakla ilgilenen alt bilim dalı ısı transferidir. Enerjinin ısı olarak transferi, her zaman yüksek sıcaklıktaki bir ortamdan düşük sıcaklıktaki bir ortama doğrudur ve iki ortam aynı sıcaklığa eriştiğinde ısı transferi durur [4]. Isı, üç farklı yolla aktarılabilir: iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) ve ışıyım (radyasyon).

1.1. İletim

İletim, parçacıklar arası etkileşme sonucu olarak bir maddenin daha yüksek enerjili parçacıklarından bitişiklerindeki daha düşük enerjili olanlara enerji aktarılmasıdır [4]. İletim; katılarda, sıvılarda ve gazlarda olabilir. Isı iletimi ortamdaki sıcaklık farkına, ortamın geometrisine, cismin kalınlığına ve malzemesinin cinsine bağlıdır. Fourier ısı iletim kanunu olarak bilinen,

$$\dot{Q}_{\text{iletim}} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1.1)$$

bağıntısı ile gösterilir [4]. Q, sisteme ya da sistemden transfer edilen net ısı miktarıdır. Nokta simgesi ile fonksiyonun zamana göre türevi alınmış olup, \dot{Q}_{iletim} birim zamanda iletim yoluyla transfer edilen ısı miktarını (Watt, W) ifade eder. k ısı iletkenlik katsayısı (W/m.°C), A ısı transferine dik alan (m²), T sıcaklık (Celsius, °C), x ise cismin kalınlığı doğrultusundaki Kartezyen koordinat sistemindeki konumudur (metre, m).



Şekil 1.1. Kartezyen koordinat sistemi

Bir ortamda ısı iletimi genellikle üç boyutlu ve zamana bağlıdır. Ortamdaki sıcaklık hem konuma hem de zamana göre değişir.

$$T=T(x,y,z,t) \quad (1.2)$$

Burada; x, y, z bir noktanın kartezyen koordinatlardaki konumu (m), t ise zamandır (saniye, s).

Isı transfer hızı -birim zamanda transfer edilen ısı miktarı- ortam içindeki sıcaklık farkı ve ısı transfer doğrultusuna dik alan ile doğru, o doğrultudaki uzaklıkla ters orantılıdır. Fourier kanunu ile,

$$\dot{Q}_n = -kA \frac{dT}{dn} \quad (1.3)$$

şeklinde tanımlanır. Burada, n indisi herhangi bir noktanın sabit sıcaklık yüzeyinin normalidir. Kartezyen koordinatlar için ısı iletim vektörü bileşenleri cinsinden,

$$\vec{Q}_n = \dot{Q}_x \vec{i} + \dot{Q}_y \vec{j} + \dot{Q}_z \vec{k} \quad (1.4)$$

olarak ifade edilir. Burada, \vec{i} , \vec{j} , \vec{k} birim vektörler, \dot{Q}_x , \dot{Q}_y , \dot{Q}_z ise x, y, z doğrultularındaki ısı transfer hızlarıdır.

Kartezyen koordinatlarda genel ısı iletim denklemi; sabit iletkenlik, ısı üretimi olmayan ve zamana bağlı durum göz önüne alındığında,

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1.5)$$

$$\alpha = \frac{k}{\rho c} \quad (1.6)$$

bağıntısı ile ifade edilir ve bu bağıntı yayılım denklemi olarak tanımlanır. Burada; k (W/m.°C) ısıl iletkenlik katsayısı, bir malzemenin birim kalınlığından, birim alan ve birim sıcaklık başına olan ısı transfer hızıdır. Yani bir malzemenin ısıyı iletme kabiliyetinin bir ölçüsüdür. ρ (kg/m³) yoğunluktur ve belirli sıcaklık ve basınç altında birim hacimdeki madde miktarıdır. c (J/kg.°C) öz ısıdır ve malzemelerin ısıl enerji

depolama kabiliyetinin bir ölçüsüdür. α (m^2/s) ısı yayılım katsayısı, ısının malzeme içinde ne kadar hızlı yayıldığını gösterir.

1.2. Taşınım

Taşınım, bir katı yüzey ve bitişindeki hareket halinde olan sıvı veya gaz akışkan arasındaki ısı aktarımı biçimidir ve iletim ile akışkan hareketinin birleşik etkilerini içerir. Akışkan hareketi ne kadar hızlı olursa, taşınım yoluyla ısı aktarımı da o kadar büyük olur [4].

Taşınım yoluyla ısı transferi ortamdaki akışkan sıcaklığına, taşınım ısı transfer katsayısına, taşınımın gerçekleştiği yüzey alanına ve yüzey sıcaklığına bağlıdır. Taşınım, Newton'un soğutma kanununa bağlı olarak,

$$\dot{Q}_{\text{taşınım}} = hA(T - T_{\infty}) \quad (1.7)$$

bağıntısı ile ifade edilir [4]. Burada; $\dot{Q}_{\text{taşınım}}$ birim zamanda taşınım yoluyla transfer edilen ısı miktarı (W), h taşınım ısı transfer katsayısıdır ve akışkanın bir özelliği olmamakla birlikte akışkanın özelliklerine bağlı bir parametredir ($W/m^2 \cdot ^\circ C$), A ısı transferine dik alan (m^2), T ısı transferine dik yüzey sıcaklığı ($^\circ C$), T_{∞} ise yüzeyin bulunduğu ortamdaki akışkan sıcaklığıdır ($^\circ C$).

1.3. Işınım

Işınım, atom veya moleküllerin elektron düzenlerindeki değişmelerin bir sonucu olarak, maddeden elektromanyetik dalga (veya fotonlar) şeklinde yayılan enerjidir. İletim ve taşınımdan farklı olarak ışınım ısı transferi bir aracı ortam gerektirmez [4].

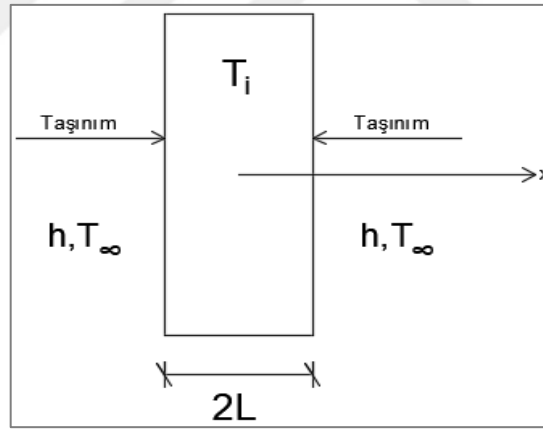
Işınım yoluyla ısı transferi çevre sıcaklığına, yüzey yayıcılığına, yüzey alanına ve sıcaklığına bağlı olarak hesaplanır. Işınım yoluyla ısı transferi Stefan-Boltzman kanunu ile,

$$\dot{Q}_{\text{ışınım}} = \epsilon \sigma A (T^4 - T_{\text{çevre}}^4) \quad (1.8)$$

olarak verilmiştir [4]. Burada; $\dot{Q}_{ışınım}$ birim zamanda ışıınım yoluyla transfer edilen ısı miktarı (W), ϵ yüzey yayıcılığıdır ve $0 \leq \epsilon \leq 1$ arasında değer alır. Bir yüzeyin $\epsilon = 1$ olan karacisme ne kadar yakın olduğunun bir ölçüsüdür [4] Karacisim, termodinamik sıcaklığa sahip bir yüzeyden yayılabilecek maksimum hızla ışıınım yayan ideal yüzeye karacisim denir. σ Stefan-Boltzmann sabiti ($5,670 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}^4$) [4, 5], A ısı transferine dik alan (m^2), T ısı transferine dik yüzey sıcaklığı (°C), $T_{çevre}$ ise çok geniş bir yüzeyle tamamen çevrelenmiş akışkan sıcaklığıdır (°C).

1.4. Zamana Bağlı Isı İletim Denklemi

Zamana bağlı ısı iletimini açıklayabilmek adına, başlangıç durumunda, üniform T_i sıcaklığında ve $2L$ uzunluğundaki bir cismin, T_∞ sabit sıcaklığa ve sabit ve üniform h taşınım ısı transfer katsayısına sahip bir ortamda bulunduğu düşünülmektedir. Cisim ile ortam arasındaki ısı alışverişi taşınım mekanizması ile gerçekleşir. Işıınım ısı transferi, çok geniş bir yüzey ile çevrelenmiş bir ortam gerektirdiği için ihmal edilmektedir.



Şekil 1.2. Taşınım ısı transfer mekanizması

Şekil 1.2’de gösterilen cisim, taşınımına maruz kaldığı her iki yüzeyinden aynı ısı şartlarına açık olduğundan orta düzlem etrafında ısıl simetriye sahiptir ve bu yüzden sıcaklık dağılımı orta düzleme göre simetrik olmalıdır. Her iki yüzeyinden h taşınım katsayısı ile taşınım ısı transferi olmaktadır. Bu durumda, herhangi bir t anında herhangi bir $-x$ ’teki sıcaklık değeri, $+x$ ’teki sıcaklık değerine eşit olmalıdır. Bu nedenle cismin sadece pozitif L uzunluğu boyunca hesaplamalar yapılmıştır.

Isı üretimi olmayan, sabit ve üniform başlangıç özelliklerine sahip ve orta düzlemde ısı ve geometrik simetri olduğu durumda tek boyutlu zamana bağlı ısı iletimi,

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1.9)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir ki bu, Denklem (1.5)'teki yayılım denkleminin tek boyuta indirgenmiş şeklidir. Sınır ve başlangıç koşulları,

$$\frac{\partial T(0,t)}{\partial x} = 0 \quad (1.10)$$

$$-k \frac{\partial T(L,t)}{\partial x} = h[T(L,t) - T_\infty] \quad (1.11)$$

$$T(x,0) = T_i \quad (1.12)$$

şeklindedir. Cismin orta düzlem etrafında ısı simetriye sahip olması nedeniyle $x = 0$ olan orta noktada, herhangi bir t anındaki sıcaklık gradyanı sıfırdır. Bir başka deyişle, $x = 0$ noktasındaki sıcaklık-zaman diyagramındaki eğim değeri sıfırdır. $x = L$ noktasında ise taşınım sınır şartı söz konusudur. Yani bu, sıcaklığı ve h ısı transfer katsayısı tanımlı bir ortamla çevrili yüzeye, ortamdaki ısının taşınım yoluyla aktarıldığı anlamına gelir. $t = 0$ başlangıç durumunda cismin üniform ve sabit sıcaklıkta olması nedeniyle herhangi bir x noktasında sıcaklık değeri sabittir.

Isı iletim probleminde değişken sayısını azaltmak ve çözüm kolaylığı sağlamak için boyutsuzlaştırma yapılmıştır. Bunun için bazı tanımlamalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu aşamada,

$$\theta(X,\tau) = \frac{T(x,t) - T_i}{T_\infty - T_i} \quad (1.13)$$

$$X = \frac{x}{L} \quad (1.14)$$

$$\tau = \frac{\alpha t}{L^2} \quad (1.15)$$

tanımlamaları yapılmıştır. Burada, θ boyutsuz sıcaklık, X merkeze olan boyutsuz uzaklık, τ ise boyutsuz zaman olarak ifade edilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial(LX)} = \frac{1}{L} \frac{\partial}{\partial X} \quad (1.16)$$

$$\frac{\partial}{\partial x^2} = \frac{1}{L^2} \frac{\partial}{\partial X^2} \quad (1.17)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial(\frac{tL^2}{\alpha})} = \frac{\alpha}{L^2} \frac{\partial}{\partial \tau} \quad (1.18)$$

$$T(x,t) = \theta(X,\tau)(T_i - T_\infty) + T_\infty \quad (1.19)$$

Denklem (1.16), Denklem (1.17), Denklem (1.18) ve Denklem (1.19), Denklem (1.9)'da yerine koyulup yeniden düzenlendiğinde,

$$\frac{1}{L^2} \frac{\partial^2}{\partial X^2} [\theta(X,\tau)(T_i - T_\infty) + T_\infty] = \frac{1}{\alpha L^2} \frac{\partial}{\partial \tau} [\theta(X,\tau)(T_i - T_\infty) + T_\infty] \quad (1.20)$$

$$(T_i - T_\infty) \frac{\partial^2 \theta(X,\tau)}{\partial X^2} = (T_i - T_\infty) \frac{\partial \theta(X,\tau)}{\partial \tau} \quad (1.21)$$

$$\frac{\partial^2 \theta(X,\tau)}{\partial X^2} = \frac{\partial \theta(X,\tau)}{\partial \tau} \quad (1.22)$$

bağıntısı elde edilmiştir. Denklem (1.22) boyutsuz ısı transfer denklemini ifade etmektedir. Sınır ve başlangıç koşulları ise,

$$\frac{\partial \theta(0,\tau)}{\partial X} = 0 \quad (1.23)$$

$$\frac{\partial \theta(1,\tau)}{\partial X} = -Bi \cdot \theta(1,\tau) \quad (1.24)$$

$$\theta(X,0) = 1 \quad (1.25)$$

olarak elde edilmiştir. Burada Bi Biot sayısıdır ve,

$$Bi = \frac{hL}{k} \quad (1.26)$$

şeklinde tanımlanmıştır ve boyutsuz ısı transfer katsayısını ifade eder.

Boyutsuz ısı iletim denkleminin çözümü için, asimetric türevler içermediğinden, değişkenlerine ayrıştırma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, her biri tek bağımsız değişkenin fonksiyonu olan bağımsız değişken, birkaç fonksiyonun çarpımı olarak kabul edilir. Bu işlem kısmi diferansiyel denklemi her biri tek bağımsız değişkenin fonksiyonu olan adi diferansiyel denklemler sistemine indirger. Boyutsuz sıcaklık fonksiyonu,

$$\theta(X,\tau)=F(X).G(\tau) \quad (1.27)$$

şeklinde yalnız X'e ve yalnız τ 'ya bağılı fonksiyonlar cinsinden ifade edilmiştir.

$$\frac{\partial\theta}{\partial X}=F'G \quad (1.28a)$$

$$\frac{\partial^2\theta}{\partial X^2}=F''G \quad (1.28b)$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial\tau}=F\dot{G} \quad (1.28c)$$

Denklem (1.28), Denklem (1.22)'de yerine yazılıp FG çarpımına bölündüğünde,

$$\frac{F''}{F}=\frac{\dot{G}}{G} \quad (1.29)$$

ifadesi elde edilmiştir. Burada; (') sembolü konuma göre, (·) sembolü ise zamana göre türevi belirtir. Bu ifadenin doğru olabilmesi yalnızca bir sabite eşit olması durumunda mümkün olabilir. Bu nedenle Denklem (1.29), $-\lambda^2$ gibi bir negatif sabite eşitlenmiştir. Pozitif bir sabit $G(\tau)$ fonksiyonunun zamana bağılı belirsiz şekilde artmasına sebep olur ki fiziksel olarak bu mümkün değildir ve sabitin sıfır değeri zamana bağılı olmayan anlamına gelir [4].

Bu durumda,

$$F''+\lambda^2F=0 \quad (1.30a)$$

$$\dot{G}+\lambda^2G=0 \quad (1.30b)$$

ifadeleri elde edilmiştir. Çözüm fonksiyonları,

$$F(X)=c_1 \cos (\lambda X)+c_2 \sin (\lambda X) \quad (1.31a)$$

$$G(\tau)=c_3 e^{-\lambda^2 \tau} \quad (1.31b)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Denklem (1.30), Denklem (1.27)'de yerine koyulup düzenlendiğinde,

$$\theta(X, \tau)=[A \cos (\lambda X)+B \sin (\lambda X)] e^{-\lambda^2 \tau} \quad (1.32)$$

çözümü elde edilmiştir. A ve B katsayılarını belirlemek için sınır koşulları uygulanmıştır. Denklem (1.23)'ten $B=0$ olarak belirlenmiştir. Denklem (1.24)'den,

$$B_i = \lambda_n \tan \lambda_n \quad (1.33)$$

denklemini elde edilmiştir. Buradaki B_i fonksiyonları, öz fonksiyonlar olarak adlandırılırlar ve her biri birer çözümdür. Gerçek çözüm ise başlangıç çözümlerini sağlayacak şekilde bunların sonsuz toplamıyla elde edilir. Yani,

$$\theta(X, \tau)=\sum_{n=1}^{\infty} A_n e^{-\lambda_n^2 \tau} \cos (\lambda_n X) \quad (1.34)$$

çözüm fonksiyonuna ulaşılmıştır. A_n sabitini belirlemek için Denklem (1.25) başlangıç koşulu uygulanmıştır.

$$\sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos (\lambda_n X)=1 \quad (1.35)$$

Denklem (1.35), bir sabiti kosinüs fonksiyonlarının sonsuz serisi cinsinden tanımlayan Fourier serisi açılımıdır. Eşitliğin her iki tarafı $\cos (\lambda_n X)$ ile çarpılıp 0 ile 1 aralığında integre edildiğinde,

$$A_n = \frac{4 \sin \lambda_n}{2 \lambda_n + \sin (2 \lambda_n)} \quad (1.36)$$

olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak tek boyutlu zamana bağlı ısı iletim denkleminin boyutsuz tam çözümü,

$$\theta(X, \tau)=\sum_{n=1}^{\infty} \frac{4 \sin \lambda_n}{2 \lambda_n + \sin (2 \lambda_n)} e^{-\lambda_n^2 \tau} \cos (\lambda_n X) \quad (1.37)$$

şeklinde belirlenmiştir.

Uzayda çok boyutlu ve zamana bağlı bir geometri için çözüm, ara kesitleri tek boyutlu ve zamana bağlı geometrilerin çözümlerinin çarpımı şeklinde ifade edilebilir. [4].

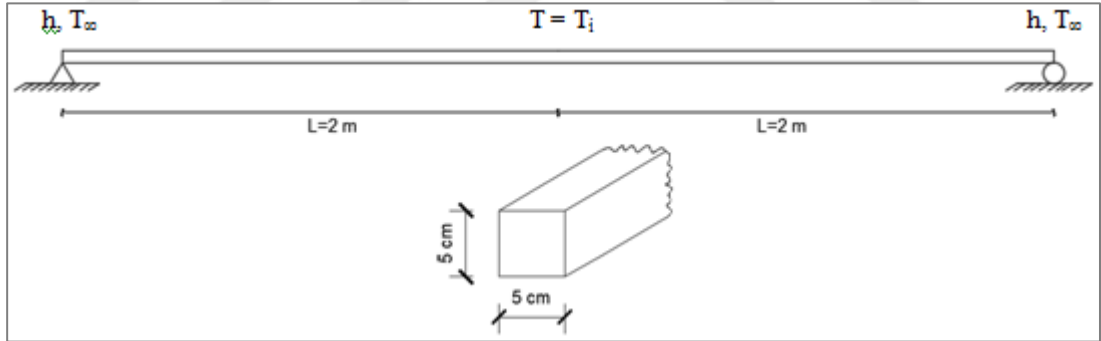
$$\theta(X,Y,Z,\tau)=\theta(X,\tau).\theta(Y,\tau).\theta(Z,\tau) \quad (1.38)$$



2. ÇELİK BİR ELEMANIN SICAKLIĞININ BELİRLENMESİ

Çalışmada model olarak, bir ucu basit diğer ucu hareketli mesnet ile mesnetlenmiş bir çelik yapı elemanı seçilmiş ve iletim ve taşınım mekanizmaları ile eleman uzunluğunca ve kesit boyunca sıcaklık değişimi incelenmiştir.

$t = 0$ anında $T_i = 20$ °C üniform ve sabit sıcaklığa sahip çelik yapı elemanı, $T_\infty = 20$ °C üniform sıcaklıktaki ortamda bulunmaktadır. Eleman 4 m uzunluğunda olup, 5 cm × 5 cm kare enkesite sahiptir. Kartezyen koordinat sistemi kullanıldığı için dikdörtgen ve özel bir hali olan kare kesit seçilmiştir. Sıcaklığı zamana bağlı olarak değişen bir ortamdaki çelik yapı elemanına, üniform ve sabit ısı transfer katsayısı ile taşınım yoluyla ısı transferi olacaktır. Işıma ısı transferi ihmal edilmiştir. Eleman orta düzlemler etrafında ısıl simetriye sahiptir. Modele ait görsel Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Çalışmada model olarak seçilen çelik yapı elemanı

2.1. Ortam Sıcaklığının Belirlenmesi

Yangın etkisiyle ortam sıcaklığında meydana gelen değişimi belirlemek için Avrupa Çelik Yönetmeliği Bölüm 1 Kısım 1-2’de (EC1-1-2) [6] üç farklı nominal sıcaklık-zaman eğrisi önerilmiştir ve Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Bunlar standart sıcaklık-zaman eğrisi, dış yangın eğrisi ve hidrokarbon eğrisidir.

Standart sıcaklık-zaman eğrisi, tam gelişmiş yangın olduğunda yapısal elemanları değerlendirmek için kullanılır [7]. Standart sıcaklık-zaman eğrisi,

$$T_{\infty}=20+345 \log (8t+1) \quad (2.1)$$

fonksiyonu ile verilmektedir [6-8]. Burada, T_{∞} ortam sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), t ise dakika cinsinden zamandır.

Dış yangın eğrisi, yangına maruz kalan dış duvarların yüzeyleri için kullanılır. Taşıyıcı elemanlarda kullanılmaz [7]. Sıcaklık-zaman eğrisi,

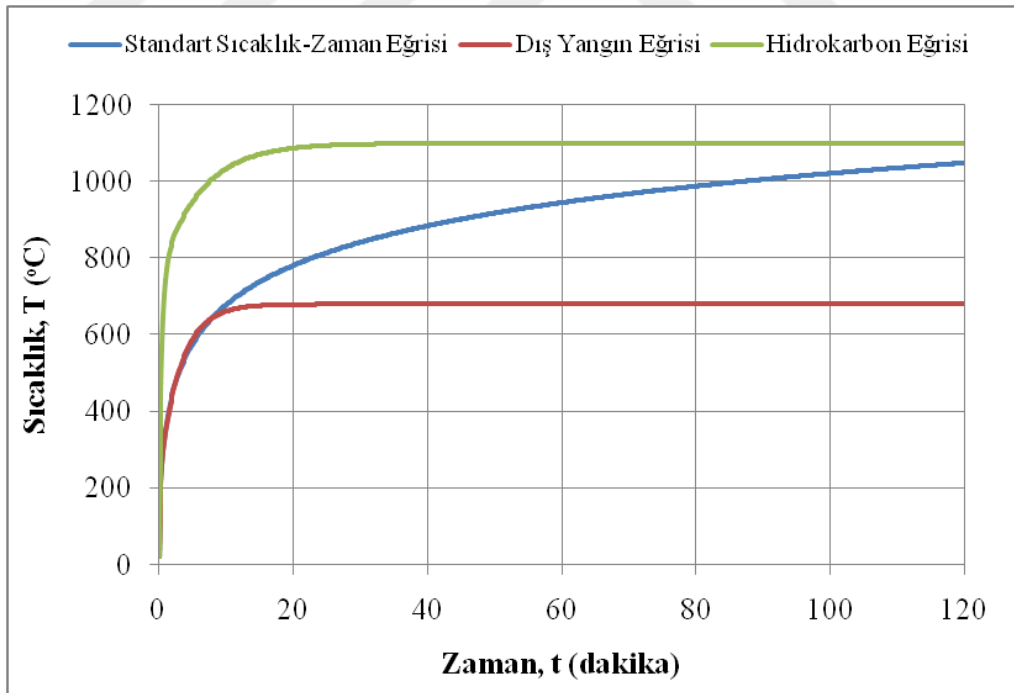
$$T_{\infty}=20+660(1-0,687e^{-0,32t}-0,313e^{-3,8t}) \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilmektedir [6, 7].

Hidrokarbon eğrisi ise hidrokarbon tipi yangınların etkisini göstermek için kullanılır [7]. Sıcaklık-zaman eğrisi,

$$T_{\infty}=20+1080(1-0,325e^{-0,167t}-0,675e^{-2,5t}) \quad (2.3)$$

olarak tanımlanmaktadır [6, 7].

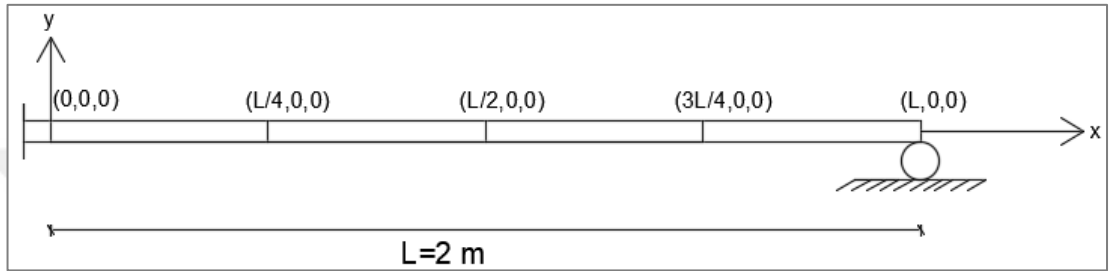


Şekil 2.2. Sıcaklık-zaman eğrileri

Bu çalışmada, çelik bir yapı elemanı üzerine etki eden bir yangın düşünüldüğünden, ortam sıcaklığının belirlenmesinde, standart sıcaklık-zaman eğrisi esas alınmıştır.

2.2. Eleman Sıcaklığının Belirlenmesi

Çalışmada model olarak kullanılan 4 m uzunluğundaki çelik eleman üzerinde eşit aralıklı 10 nokta seçilmiştir. Orta düzlem etrafında ısıl simetriye sahip olması nedeniyle Şekil 2.3'te gösterilen pozitif L uzunluğundaki 5 nokta için hesaplamalar yapılmıştır. Noktalar kesit merkezinde olup sadece x koordinatı değişmektedir. Ortam ile cisim arasındaki taşınım ısı transfer katsayısı $h = 25 \text{ W/m}^2\text{°C}$ değerinde sabit ve üniformdur [6, 7].



Şekil 2.3. Sıcaklık hesaplarının yapıldığı pozitif noktalar

Yangın etkisiyle değişen ortam sıcaklığına bağlı olarak, çelik elemanın sıcaklığı her 10 saniyede bir olmak üzere 2 saat süresince hesaplanmıştır.

2.2.1. Sabit öz ısı ve sabit ısıl iletkenlik durumu

Çalışmanın bu kısmında elemanın termal özelliklerinin, yangın etkisiyle değişen ortam sıcaklığı karşısında sabit kaldığı varsayılmıştır. Çelik malzeme için öz ısı $c = 600 \text{ J/kg° C}$ ve ısıl iletkenlik katsayısı $k = 45 \text{ W/m° C}$ olarak verilmiştir [8, 9]. Yoğunluk ise $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ 'tür [5, 9]. $t = 10$ saniye ve (0,0,0) noktası için detaylı işlem adımları verilmiştir.

Bölüm 1'de açıklanan boyutsuzlaştırma işlemi için gerekli parametreler,

$$Bi = \frac{hL}{k} = \frac{25 \times 2}{45} = 1,111 \quad (2.4)$$

$$\alpha = \frac{k}{\rho c} = \frac{45}{7850 \times 600} = 9,554 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad (2.5)$$

$$\tau = \frac{at}{L^2} = \frac{9,554 \cdot 10^{-6} \times 10}{2^2} = 23,89 \cdot 10^{-6} \quad (2.6)$$

$$X = \frac{x}{L} = \frac{0}{2} = 0 \quad (2.7)$$

olarak belirlenmiştir. Denklem (1.33)'teki eşitliği sağlayan λ değerleri tespit edilmiştir. Çözüm hassasiyeti açısından 16 adet λ belirlenmiştir ve her biri için Denklem (1.36)'ya göre A sabiti hesaplanmış ve Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Denklem çözümünü sağlayan λ_n değerleri ve buna karşılık gelen A_n sabitleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8
λ_n	0,893	3,45	6,45	9,54	12,7	15,8	18,9	22,0
A_n	1,13	-0,164	0,0512	-0,0240	0,0137	-0,00886	0,00618	-0,00456
n	9	10	11	12	13	14	15	16
λ_n	25,2	28,3	31,5	34,6	37,7	40,9	44,0	47,1
A_n	0,00349	-0,00276	0,00224	-0,00185	0,00156	-0,00132	0,00114	-0,00100

Denklem (1.37)'de verilen fonksiyona istinaden, Denklem (2.6), Denklem (2.7) ve Tablo 2.1'deki değerler kullanılarak $x = 0$ noktasındaki boyutsuz sıcaklık,

$$\theta(X,\tau)=0,9995 \quad (2.8)$$

olarak elde edilmiştir.

Aynı işlemler ile $y = 0$ ve $z = 0$ noktalarındaki boyutsuz sıcaklık değerleri,

$$\theta(Y,\tau)=0,9996 \quad (2.9)$$

$$\theta(Z,\tau)=0,9996 \quad (2.10)$$

şeklinde belirlenmiştir. Eleman kare enkesite sahip olduğu için y ve z koordinatlarında aynı sonuçların elde edilmesi beklenen bir durumdur. Boyutsuz sıcaklık değeri için tek boyutlu sistemden üç boyutlu sisteme geçiş yapılmıştır. Denklem (1.38) uyarınca,

$$\theta(X,Y,Z,\tau)=0,9987 \quad (2.11)$$

boyutsuz üç boyutlu sıcaklık değeri elde edilmiştir. Eleman sıcaklığına geçiş yapmak için Denklem (1.13)'teki boyutsuzlaştırma tanımı gereğince,

$$T(x,y,z,t)=\theta(X,Y,Z,\tau)\times(T_i-T_\infty)+T_\infty \quad (2.12)$$

bağıntısı elde edilmiştir. T_i , sıcaklığı aranan t anından bir önceki andaki nokta sıcaklığıdır. T_∞ , Denklem (2.1) ile 146,95 °C olarak elde edilmiştir. Buradan,

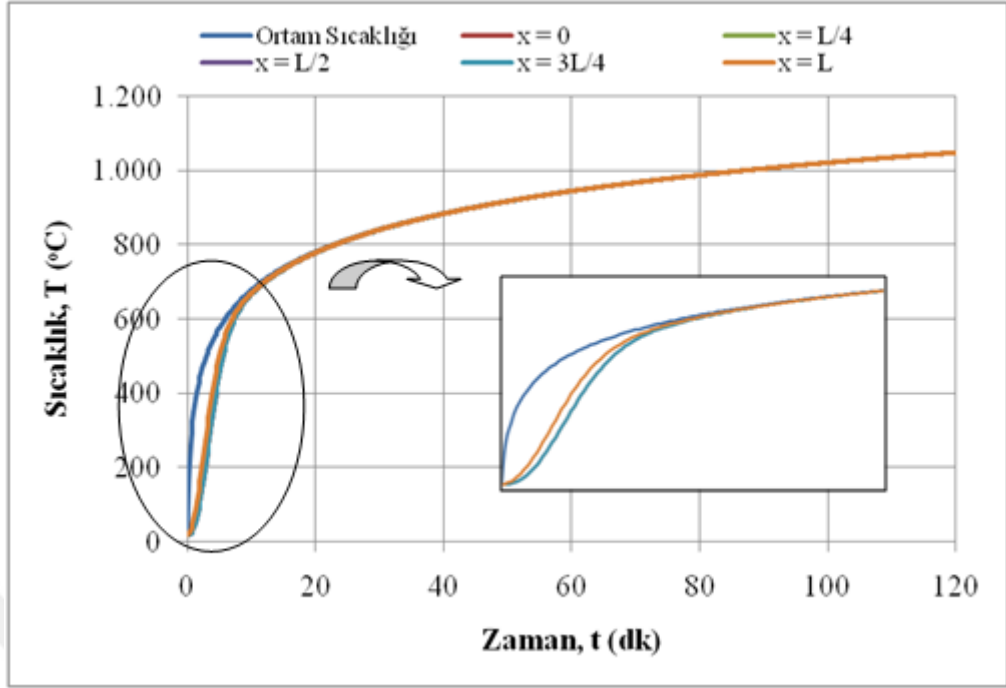
$$T(x,y,z,t)=20,17 \text{ °C} \quad (2.13)$$

sonucuna ulaşılmıştır. Aynı işlemler Şekil 2.3'te gösterilen tüm noktalar için tekrarlanmıştır. Her 10 saniyede bir belirlenen sıcaklık değerleri içinden bazıları Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Eleman boyunca belirlenen noktaların zamana bağlı sıcaklık değerleri

t (dk)	T_∞ (°C)	T (x = 0) (°C)	T (x = L/4) (°C)	T (x = L/2) (°C)	T (x = 3L/4) (°C)	T (x = L) (°C)
0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
1	349	38,2	38,1	38,2	38,3	61,2
2	445	111	111	111	112	164
3	502	225	225	225	226	293
4	544	349	348	348	349	412
5	576	455	454	454	455	501
10	678	668	668	668	668	670
20	781	779	779	779	779	780
30	842	841	841	841	841	841
60	945	945	945	945	945	945
120	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050

Bütün noktalar enkesit merkezinde bulunmakla birlikte sadece $x = L$ noktasının (eleman ucu) ortamla doğrudan temas halinde olduğu açıktır. Bu nedenle uç noktanın sıcaklık artışının diğer noktalara göre daha hızlı olduğu görülmektedir. Buna rağmen, 10. dakika itibariyle sıcaklık değerlerinin çok yaklaştığı ve eleman boyunca üniform sıcaklığa eriştiği söylenebilmektedir.



Şekil 2.4. Eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklık-zaman grafiği

2.2.2. Değişken öz ısı ve sabit ısı iletkenlik durumu

Yangın etkisiyle artan ortam sıcaklığı, çelik malzemeden yapılmış elemanın termal özelliklerinde değişime neden olmaktadır. Bölüm 1.1.'de, öz ısının, malzemelerin ısı enerji depolama kabiliyetinin bir ölçüsü olduğu belirtilmişti. Sıcaklık artışı ile çelik öz ısı değerlerinde meydana gelen değişimin eleman sıcaklığına etkisi hesaplara dahil edilmiştir. Bunun için Avrupa ve Amerikan standartlarında yer alan sıcaklığa bağlı öz ısı değişim bağıntıları kullanılarak ayrı ayrı yorumlanmıştır.

2.2.2.1. Avrupa standardına göre değişim

Avrupa Çelik Yönetmeliği Bölüm 3 Kısım 1-2'de (EC3-1-2) yer alan, öz ısının sıcaklığa bağlı değişimlerine ilişkin bağıntılar,

$20^{\circ}\text{C} \leq T < 600^{\circ}\text{C}$ için,

$$c = 425 + 7,73 \times 10^{-1} T - 1,69 \times 10^{-3} T^2 + 2,22 \times 10^{-6} T^3 \quad (2.14a)$$

$600^{\circ}\text{C} \leq T < 735^{\circ}\text{C}$ için,

$$c = 666 + \frac{13002}{738 - T} \quad (2.14b)$$

735°C ≤ T < 900°C için,

$$c = 545 + \frac{17820}{T - 731} \quad (2.14c)$$

735°C ≤ T < 900°C için

$$c = 650 \quad (2.14d)$$

şeklinde verilmiştir [2, 10]. Burada T, noktanın bir önceki andaki sıcaklık değeridir.

2.2.2.2. Amerikan standardına göre değişim

Amerikan İnşaat Mühendisleri Topluluğu Kılavuzu No.78'de (ASCE-78) yer alan, öz ısının sıcaklık ile değişimini veren bağıntılar,

0°C ≤ T ≤ 650°C için,

$$\rho_c = (0,004T + 3,3) \cdot 10^6 \quad (2.15a)$$

650°C < T ≤ 725°C için,

$$\rho_c = (0,068T - 38,3) \cdot 10^6 \quad (2.15b)$$

725°C < T ≤ 800°C için,

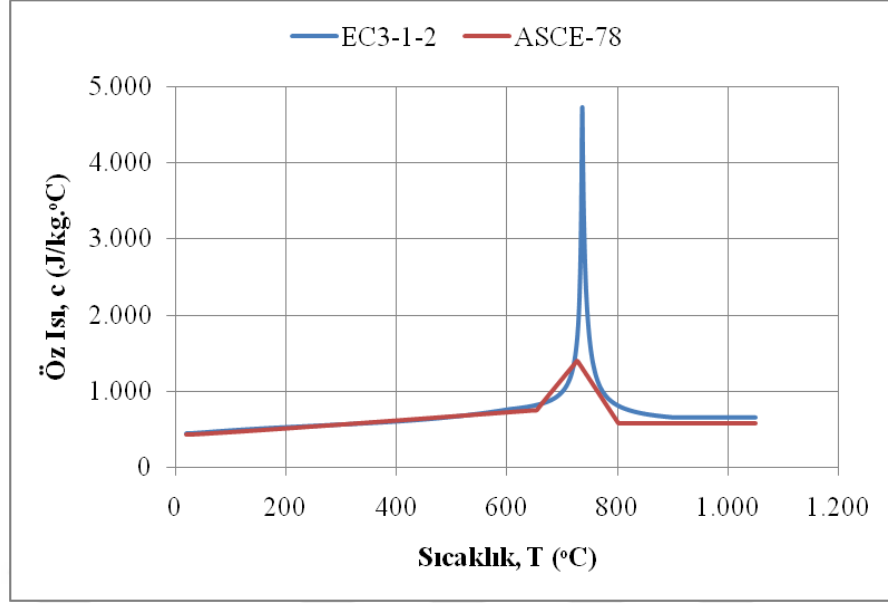
$$\rho_c = (-0,086T + 73,35) \cdot 10^6 \quad (2.15c)$$

T > 800°C için,

$$\rho_c = 4,55 \cdot 10^6 \quad (2.15d)$$

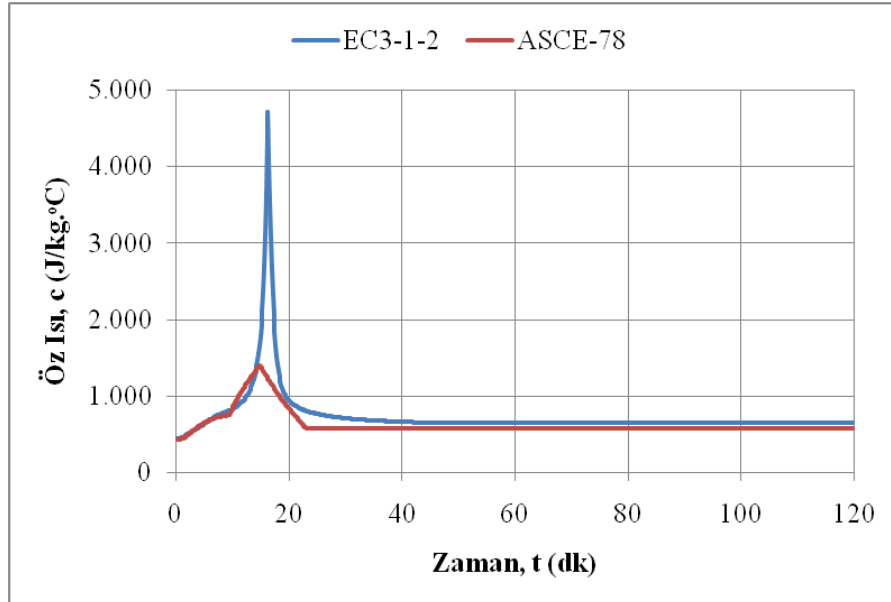
olarak verilmiştir [3]. Burada, T bir önceki andaki sıcaklık değeri, ρ ise yoğunluktur.

Sıcaklığı belirlenecek noktanın, bir önceki sıcaklığına bağlı olarak, uygun bağıntı kullanılıp öz ısı değeri belirlenmiştir. Öz ısı değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 2.5'te, zamana bağlı değişim grafiği de Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.5. Öz ısı – sıcaklık grafiği

EC3-1-2 için sıcaklık 650 °C civarlarında iken öz ısının hızla artmaya başladığı ve 736 °C’de maksimum değere ulaştığı görülmüştür. Maksimum değere ulaştığı zaman $t = 16$ dakikadır. ASCE-78 için ise yine aynı platoda artışa geçtiği, maksimum öz ısı değerine 726 °C’de geldiği, ve bu değere 15. dakikada ulaştığı görülmüştür. Ancak maksimum değerlerin %337 oranında farklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 2.6. Öz ısı – zaman grafiği

Her t anı için hesaplanan öz ısı değeri kullanılarak gerekli işlem adımları tekrarlanmış ve belirlenen beş noktanın sıcaklıkları hesaplanmıştır. EC3-1-2 ve

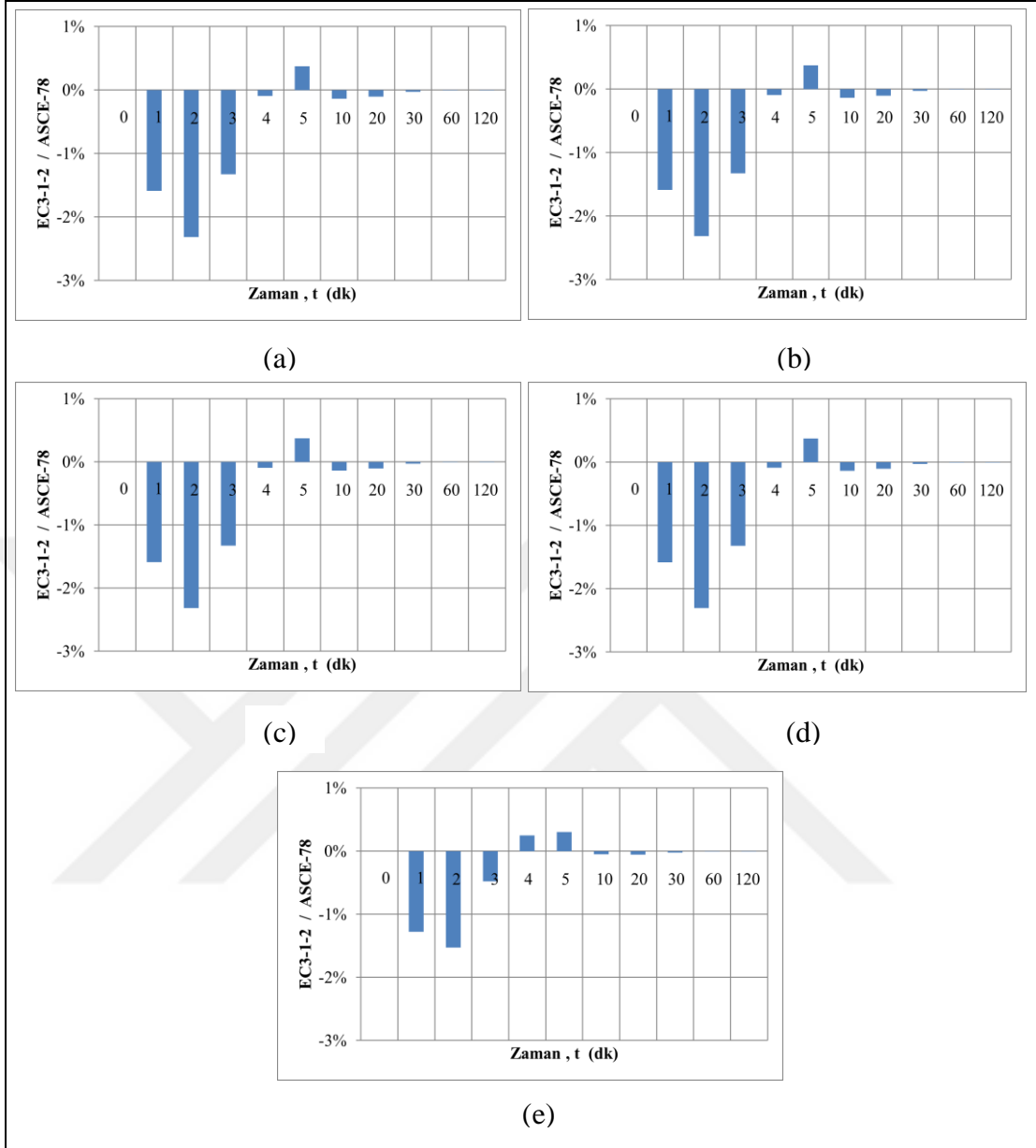
ASCE-78 standartlarına göre hesaplanan bu sıcaklıkların bazıları sırasıyla Tablo 2.3 ve Tablo 2.4'de verilmiştir.

Tablo 2.3. EC3-1-2 standardına göre değişken öz ısı ile eleman boyunca belirlenen noktaların zamana bağlı sıcaklık değerleri

t (dk)	T_∞ (°C)	T (x = 0) (°C)	T (x = L/4) (°C)	T (x = L/2) (°C)	T (x = 3L/4) (°C)	T (x = L) (°C)
0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
1	349	45,9	45,9	45,9	46,1	69,1
2	445	135	135	135	135	184
3	502	255	255	255	255	313
4	544	371	371	371	371	423
5	576	464	464	464	465	503
10	678	662	662	662	662	666
20	781	777	777	777	777	778
30	842	841	841	841	841	841
60	945	945	945	945	945	945
120	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050

Tablo 2.4. ASCE-78 standardına göre değişken öz ısı ile eleman boyunca belirlenen noktaların zamana bağlı sıcaklık değerleri

t (dk)	T_∞ (°C)	T (x = 0) (°C)	T (x = L/4) (°C)	T (x = L/2) (°C)	T (x = 3L/4) (°C)	T (x = L) (°C)
0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
1	349	46,7	46,6	46,6	46,8	69,9
2	445	138	138	138	139	187
3	502	259	258	258	259	315
4	544	372	371	371	372	422
5	576	463	463	463	463	501
10	678	663	663	663	663	667
20	781	778	778	778	778	779
30	842	841	841	841	841	841
60	945	945	945	945	945	945
120	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050



Şekil 2.7. (a) $x=0$, (b) $x=L/4$, (c) $x=L/2$, (d) $x=3L/4$, (e) $x=L$ için değişken öz ısı durumunda sıcaklık değerlerinin standartlar arasındaki oranı

Öz ısının değişken olduğu durumda, EC3-1-2'ye göre elde edilen sıcaklık değerlerinin ASCE-78'e göre elde edilen sıcaklık değerlerine oranı Şekil 2.7'de gösterilmektedir. Burada oranlama yapılırken standartların güvenilirliğinin kıyaslanması değil, elde edilen değerlerin anlaşılabilirliğinin kolaylaştırılması amaçlanmaktadır. Pozitif değerler EC3-1-2 standardının daha yüksek sonuçlar verdiği, negatif değerler ise ASCE-78 standardının daha yüksek sonuçlar verdiği anlamına gelmektedir.

2.2.3. Sabit öz ısı ve değişken ısı iletkenlik durumu

Sıcaklık artışı ile çelik malzemenin değişen termal özelliklerinden biri de ısı iletkenlik katsayısıdır. Bu bölümde, çeliğin ısı iletkenlik katsayısında meydana gelen değişimin eleman sıcaklığına etkisi hesaplara dahil edilmiştir. Bunun için Avrupa ve Amerikan standartlarında yer alan sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik katsayısı değişim bağıntıları kullanılmıştır.

2.2.3.1. Avrupa standardına göre değişim

EC3-1-2’de yer alan, ısı iletkenlik katsayısının sıcaklığa bağlı değişimlerine ilişkin bağıntılar,

$20^{\circ}\text{C} \leq T < 800^{\circ}\text{C}$ için,

$$k = 54 - 3,33 \times 10^{-2} T \quad (2.16a)$$

$800^{\circ}\text{C} \leq T < 1200^{\circ}\text{C}$ için,

$$k = 27,3 \quad (2.16b)$$

olarak verilmektedir [2, 10].

2.2.3.2. Amerikan standardına göre değişim

ASCE-78’de yer alan, ısı iletkenlik katsayısının sıcaklık ile değişimini veren bağıntılar,

$0^{\circ}\text{C} \leq T \leq 900^{\circ}\text{C}$ için

$$k = -0,022T + 48 \quad (2.17a)$$

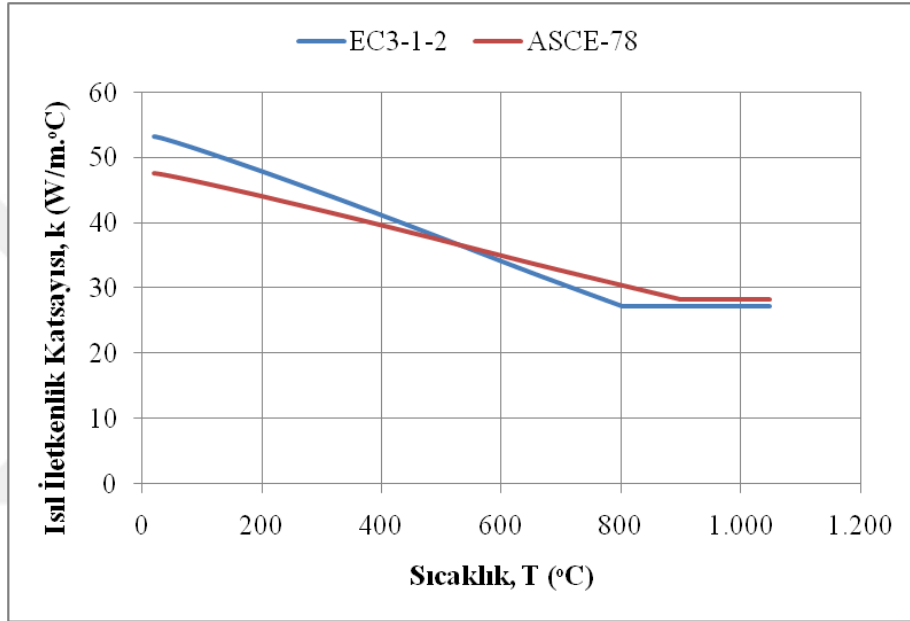
$T > 900^{\circ}\text{C}$ için

$$k = 28,2 \quad (2.17b)$$

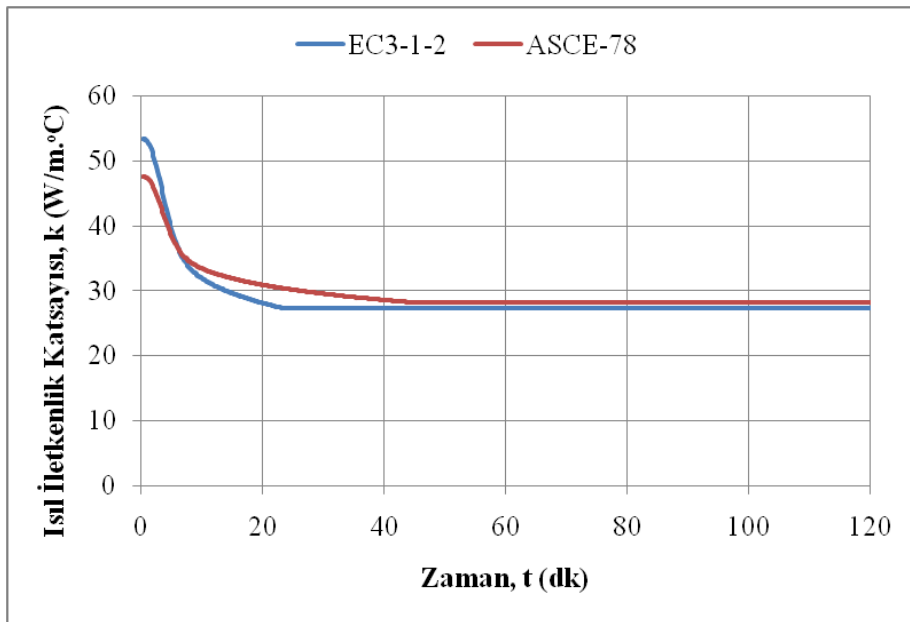
şeklinde yer almaktadır [3, 10].

Isıl iletkenlik katsayısının sıcaklığa bağılı değişimi Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Denklem (2.16) ve Denklem (2.17)’deki sınır değerler doğrultusunda ısı iletkenlik katsayısı, EC3-1-2 için 800 °C itibariyle, ASCE-78 için ise 900 °C itibariyle sabit değere ulaşmıştır. Bu değerlere karşılık gelen zamanlar sırasıyla $t = 23$ dakika ve $t = 45$ dakikadır.

Isıl iletkenlik katsayısının zamana göre değişimini veren grafik Şekil 2.9’de verilmiştir. Değişimler $x = 0$ noktası için olup, diğer noktaların sayısal değerlerine Tablo 2.5’te yer verilmiştir.



Şekil 2.8. Isıl iletkenlik katsayısı – sıcaklık grafiği



Şekil 2.9. Isıl iletkenlik katsayısı – zaman grafiği

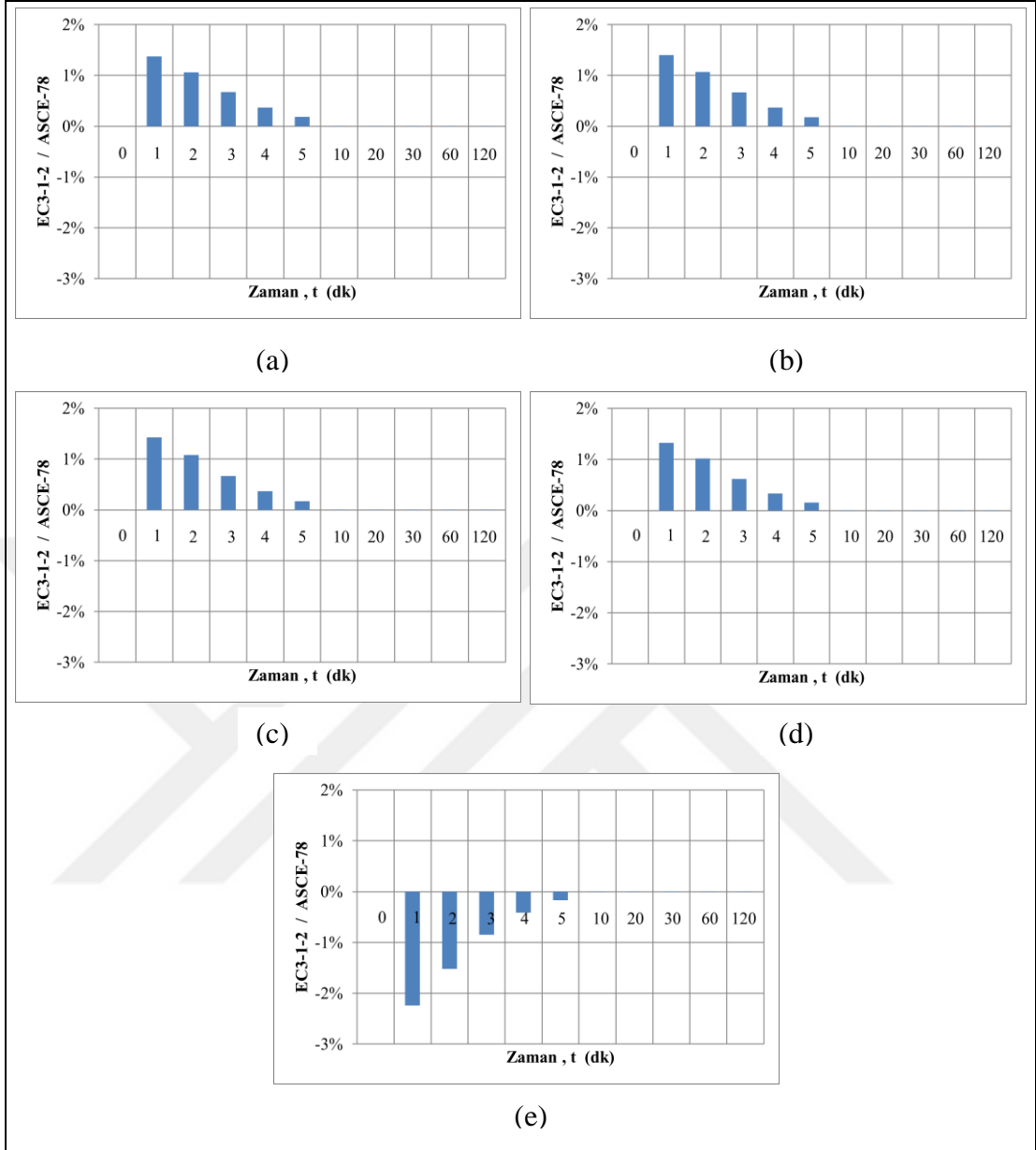
Her t anı için belirlenen ısı iletkenlik katsayısı kullanılarak gerekli işlem adımları tekrarlanmış ve belirlenen beş noktanın sıcaklıkları hesaplanmıştır. EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarına göre hesaplanan bu sıcaklıkların bazıları sırasıyla Tablo 2.5 ve Tablo 2.6’da verilmiştir.

Tablo 2.5. EC3-1-2 standardına göre değişken ısı iletkenlik katsayısı ile eleman boyunca belirlenen noktaların zamana bağlı sıcaklık değerleri

t (dk)	T_{∞} (°C)	T (x = 0) (°C)	T (x = L/4) (°C)	T (x = L/2) (°C)	T (x = 3L/4) (°C)	T (x = L) (°C)
0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
1	349	38,9	38,9	39,0	39,1	59,2
2	445	113	113	113	113	161
3	502	227	227	227	227	291
4	544	350	350	350	350	411
5	576	455	455	455	455	502
10	678	668	668	668	668	670
20	781	779	779	779	779	780
30	842	841	841	841	841	841
60	945	945	945	945	945	945
120	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050

Tablo 2.6. ASCE-78 standardına göre değişken ısı iletkenlik katsayısı ile eleman boyunca belirlenen noktaların zamana bağlı sıcaklık değerleri

t (dk)	T_{∞} (°C)	T (x = 0) (°C)	T (x = L/4) (°C)	T (x = L/2) (°C)	T (x = 3L/4) (°C)	T (x = L) (°C)
0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
1	349	38,4	38,4	38,4	38,6	60,6
2	445	112	112	112	112	163
3	502	226	226	226	226	294
4	544	348	348	348	349	413
5	576	454	454	454	454	502
10	678	668	668	668	668	670
20	781	779	779	779	779	780
30	842	841	841	841	841	841
60	945	945	945	945	945	945
120	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050



Şekil 2.10. (a) $x=0$, (b) $x=L/4$, (c) $x=L/2$, (d) $x=3L/4$, (e) $x=L$ için değişken ısı iletkenlik katsayısı durumunda sıcaklık değerlerinin standartlar arasındaki oranı

Isıl iletkenlik katsayısının değişken olduğu durumda, EC3-1-2'ye göre elde edilen sıcaklık değerlerinin ASCE-78'e göre elde edilen sıcaklık değerlerine oranı Şekil 2.10'da gösterilmektedir. Burada oranlama yapılırken standartların güvenilirliğinin kıyaslanması değil, elde edilen değerlerin anlaşılabilirliğinin kolaylaştırılması amaçlanmaktadır. Pozitif değerler EC3-1-2 standardının daha yüksek sonuçlar verdiği, negatif değerler ise ASCE-78 standardının daha yüksek sonuçlar verdiği anlamına gelmektedir.

2.2.4. Değişken öz ısı ve değişken ısıl iletkenlik durumu

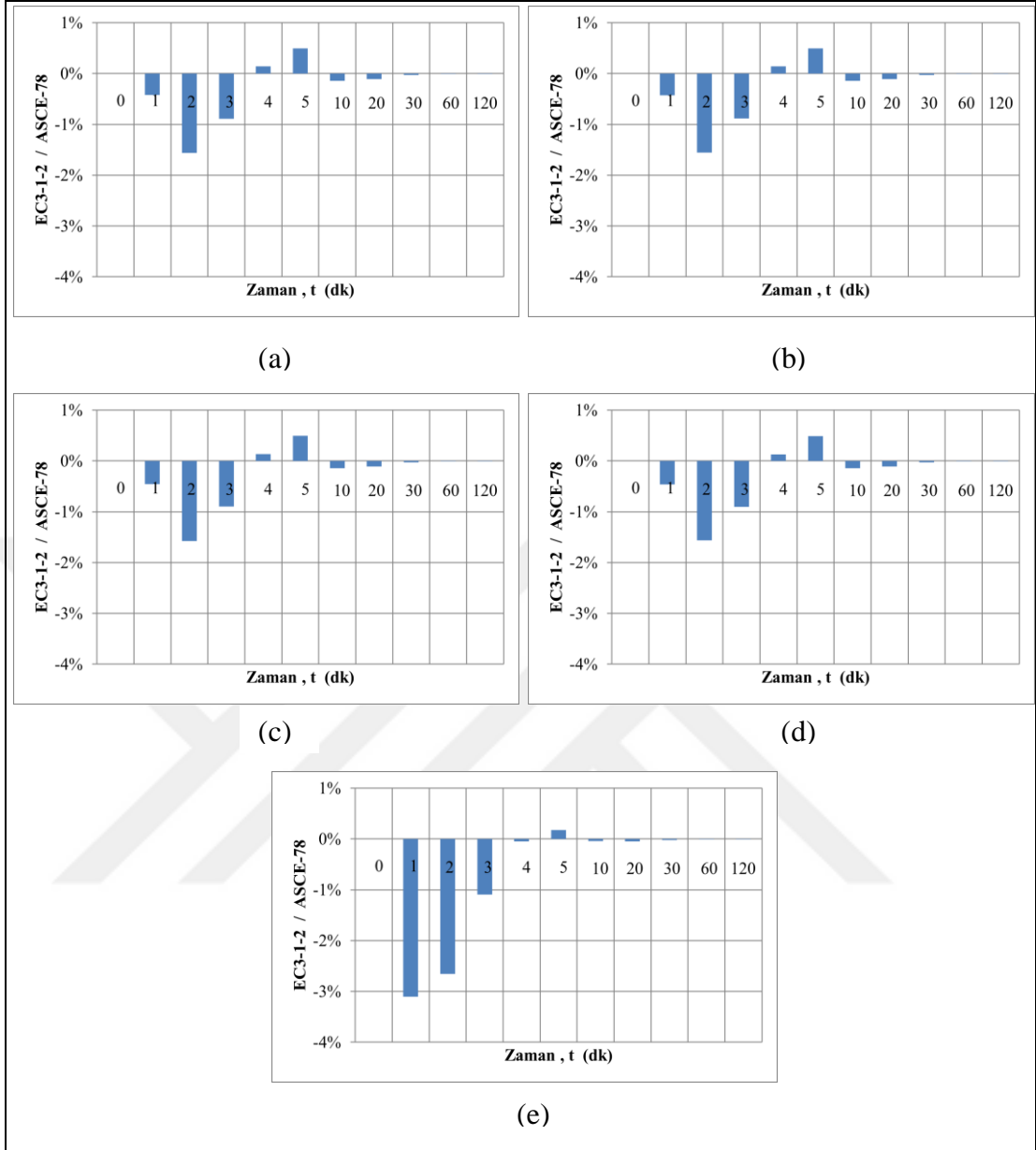
Ortam sıcaklığının artması sonucu termal özelliklerinde değişimler olan çelik malzemenin, hem öz ısı hem de ısıl iletkenlik katsayısı değerlerinin sıcaklığın bir fonksiyonu olarak hesaplara katılması sonucunda, EC3-1-2 ve ASCE-78 için Tablo 2.7 ve Tablo 2.8'deki değerler elde edilmiştir.

Tablo 2.7. EC3-1-2 standardına göre değişken öz ısı ve değişken ısıl iletkenlik katsayısı ile eleman boyunca belirlenen noktaların zamana bağlı sıcaklık değerleri

t (dk)	T_{∞} (°C)	T (x = 0) (°C)	T (x = L/4) (°C)	T (x = L/2) (°C)	T (x = 3L/4) (°C)	T (x = L) (°C)
0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
1	349	46,7	46,7	46,7	46,9	67,2
2	445	137	137	137	137	181
3	502	256	256	256	257	312
4	544	372	372	372	372	423
5	576	464	464	464	465	503
10	678	662	662	662	662	667
20	781	777	777	777	777	778
30	842	841	841	841	841	841
60	945	945	945	945	945	945
120	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050

Tablo 2.8. ASCE-78 standardına göre değişken öz ısı ve değişken ısıl iletkenlik katsayısı ile eleman boyunca belirlenen noktaların zamana bağlı sıcaklık değerleri

t (dk)	T_{∞} (°C)	T (x = 0) (°C)	T (x = L/4) (°C)	T (x = L/2) (°C)	T (x = 3L/4) (°C)	T (x = L) (°C)
0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
1	349	46,9	46,9	46,9	47,1	69,4
2	445	139	139	139	139	186
3	502	259	259	259	259	315
4	544	371	371	371	371	423
5	576	462	462	462	462	502
10	678	663	663	663	663	667
20	781	778	778	778	778	779
30	842	841	841	841	841	841
60	945	945	945	945	945	945
120	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050



Şekil 2.11. (a) $x=0$, (b) $x=L/4$, (c) $x=L/2$, (d) $x=3L/4$, (e) $x=L$ için değişken öz ısı ve değişken ısı iletkenlik katsayısı durumunda sıcaklık değerlerinin standartlar arasındaki oranı

Öz ısı ve ısı iletkenlik katsayısının değişken olduğu durumda, EC3-1-2'ye göre elde edilen sıcaklık değerlerinin ASCE-78'e göre elde edilen sıcaklık değerlerine oranı Şekil 2.11'da gösterilmektedir. Burada oranlama yapılırken standartların güvenilirliğinin kıyaslanması değil, elde edilen değerlerin anlaşılabilirliğinin kolaylaştırılması amaçlanmaktadır. Pozitif değerler EC3-1-2 standardının daha yüksek sonuçlar verdiği, negatif değerler ise ASCE-78 standardının daha yüksek sonuçlar verdiği anlamına gelmektedir.

2.2.5. Sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması

Bu bölümde, çelik termal özelliklerinin, sıcaklıkla olan değişiminin ihmal edildiği ve hesaplara dahil edildiği durumlardaki sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tablo 2.9’da $x = 0$ noktası için EC3-1-2’ye göre, öz ısı ve ısı iletkenlik katsayısının sabit olduğu duruma kıyasla, yalnız öz ısının sıcaklıkla değiştiği, yalnız ısı iletkenlik katsayısının sıcaklıkla değiştiği ve her ikisinin de sıcaklıkla değiştiği durumlar gösterilmektedir. Benzer tablo ASCE-78 standardı için de verilmektedir.

Tablo 2.9. EC3-1-2 standardı için termal parametrelere göre $x = 0$ noktasındaki sıcaklıkların yüzdesel değişimleri

t (dk)	$T_{ss}^{(1)}$ (°C)	$T_{ds}^{(2)}$ (°C)	Değişim	$T_{sd}^{(3)}$ (°C)	Değişim	$T_{dd}^{(4)}$ (°C)	Değişim
0	20,0	20,0	0%	20,0	0%	20,0	0%
1	38,2	45,9	20%	38,9	2%	46,7	22%
2	111	135	21%	113	1%	137	23%
3	225	255	13%	227	1%	256	14%
4	349	371	7%	350	0%	372	7%
5	455	464	2%	455	0%	464	2%
10	668	662	-1%	668	0%	662	-1%
20	779	777	0%	779	0%	777	0%
30	841	841	0%	841	0%	841	0%
60	945	945	0%	945	0%	945	0%
120	1.050	1.050	0%	1.050	0%	1.050	0%

⁽¹⁾Öz ısı ve ısı iletkenlik katsayısı sabit, ⁽²⁾Öz ısı değişken, ısı iletkenlik katsayısı sabit, ⁽³⁾ Öz ısı sabit, ısı iletkenlik katsayısı değişken, ⁽⁴⁾ Öz ısı değişken, ısı iletkenlik katsayısı değişken

Tablo 2.9’da EC3-1-2 standardına göre yangın etkisiyle artan ortam sıcaklığının, çelik elemanın termal özelliklerindeki değişimin giriş sıcaklığına etkisi incelenmiştir. Öz ısının sıcaklığa bağlı değişken olması ile sabit olması durumuna göre en fazla %24 oranında artış olduğu görülmüştür. Bu değişimin genel olarak ilk iki dakikalık sürede olduğu, bu süreden sonra değişim oranının azaldığı ve ilk 5 dakikadan sonra benzer sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Isıl iletkenlik katsayısının sıcaklığa bağlı değişmesi ile sabit olması durumuna göre en fazla %2 oranında artış olduğu ve ilk 4 dakikadan sonra bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Her iki parametrenin değişken olduğu durumda ise en fazla değişim %26 oranındadır.

Tablo 2.10. ASCE-78 standardı için termal parametrelere göre $x = 0$ noktasındaki sıcaklıkların yüzdesel değişimleri

t (dk)	T_{ss}⁽¹⁾ (°C)	T_{ds}⁽²⁾ (°C)	Değişim	T_{sd}⁽³⁾ (°C)	Değişim	T_{ad}⁽⁴⁾ (°C)	Değişim
0	20,0	20,0	0%	20,0	0%	20,0	0%
1	38,2	46,7	22%	38,4	1%	46,9	23%
2	111	138	24%	112	0%	139	25%
3	225	259	15%	226	0%	259	15%
4	349	372	7%	348	0%	371	7%
5	454	463	2%	454	0%	462	2%
10	668	663	-1%	668	0%	663	-1%
20	779	778	0%	779	0%	778	0%
30	841	841	0%	841	0%	841	0%
60	945	945	0%	945	0%	945	0%
120	1.050	1.050	0%	1.050	0%	1.050	0%

Tablo 2.10’da ASCE-78 standardına göre yangın etkisiyle artan ortam sıcaklığının, çelik elemanın termal özelliklerindeki değişimin giriş sıcaklığına etkisi incelenmiştir. Öz ısının sıcaklığa bağlı değişken olması ile sabit olması durumuna göre en fazla %27 oranında artış olduğu görülmüştür. Bu değişimin genel olarak ilk iki dakikalık sürede olduğu, bu süreden sonra değişim oranının azaldığı ve ilk 5 dakikadan sonra benzer sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Isıl iletkenlik katsayısının sıcaklığa bağlı değişken olması ile sabit olması durumuna göre bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir.

EC3-1-2 ve ASCE-78 standartları ile belirlenen sıcaklık değerleri arasındaki yüzdesel farklar Tablo 2.11’de verilmiştir. Görüldüğü gibi farklar %1-2 civarında olup, sıcaklık değerlerinde önemli bir fark tespit edilmemiştir.

Tablo 2.11. Termal parametrelere göre $x = 0$ noktasındaki sıcaklıkların EC3-1-2 ve ASCE-78 standartları arasındaki yüzdesel değişimleri

t (dk)	Değişken öz ısı			Değişken ısı iletkenlik			Değişken öz ısı Değişken ısı iletkenlik		
	EC3	ASCE	Fark	EC3	ASCE	Fark	EC3	ASCE	Fark
0	20,0	20,0	0%	20,0	20,0	0%	20,0	20,0	0%
1	45,9	46,7	2%	38,9	38,4	-1%	46,7	46,9	0%
2	135	138	2%	113	112	-1%	137	139	2%
3	255	259	1%	227	226	-1%	256	259	1%
4	371	372	0%	350	348	0%	372	371	0%
5	464	463	0%	455	454	0%	464	462	0%
10	662	663	0%	668	668	0%	662	663	0%
20	777	778	0%	779	779	0%	777	778	0%
30	841	841	0%	841	841	0%	841	841	0%
60	945	945	0%	945	945	0%	945	945	0%
120	1049	1049	0%	1049	1049	0%	1049	1049	0%

3. YANGIN ETKİSİNDE ÇELİK BİR ELEMANIN ELASTİSİTE MODÜLÜNÜN BELİRLENMESİ

Çalışmada model olarak kullanılan çelik eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklık değerleri elde edildikten sonra, en önemli rijitlik göstergelerinden biri olan elastisite modülü değerleri hesaplanmıştır.

Rijitlik, sistemin ya da elemanın bir birim deformasyon yapabilmesi için gereken kuvvettir. Elastisite modülü ise malzemenin plastik bölüme geçmeden önceki deformasyonunu belirten malzeme özelliğidir.

Elastisite modülü değerleri Avrupa ve Amerikan standartlarında belirtilen koşullar doğrultusunda ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu hesaplar termal özelliklerin sabit ve değişken olduğu durumlara göre yapılarak karşılaştırılmıştır. Bahsedilen hesaplamalar yapılırken, çeliğin oda sıcaklığındaki elastisite modülü değerlerinin EC3-1-2 standardına göre 210 GPa, ASCE-78 standardına göre 200 GPa olarak tanımlandığı göz önüne alındığında, benzer koşulları oluşturabilmek amacıyla elastisite modülünün ASCE-78'deki sıcaklığa karşı değişimini veren denklemler kullanılırken, çeliğin oda sıcaklığındaki elastisite modülü değeri EC3-1-2 standardındaki gibi 210 GPa olarak alınmıştır.

3.1. Sabit Öz Isı ve Sabit Isıl İletkenlik Durumu

Öz ısı ve ısı iletkenlik katsayısının sabit olarak kabul edildiği durumda eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklık değerleri Bölüm 2'de hesaplanmıştır. Bu sıcaklık değerleri kullanılarak EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarında yer alan bağıntılar yardımıyla elastisite modülü değerleri elde edilmiştir.

3.1.1. Avrupa standardına göre değişim

EC3-1-2'de tablo halinde verilen elastisite modülü oranlarından hareketle elde edilen bağıntılar,

$T < 100 \text{ } ^\circ\text{C}$ için,

$$E_T = E_0 \quad (3.1a)$$

100 °C ≤ T < 500 °C için,

$$E_T = E_0(-1.10^{-3} \times T + 1,1) \quad (3.1b)$$

500 °C ≤ T < 600 °C için,

$$E_T = E_0(-2,9.10^{-3} \times T + 2,05) \quad (3.1c)$$

600 °C ≤ T < 700 °C için,

$$E_T = E_0(-1,8.10^{-3} \times T + 1,39) \quad (3.1d)$$

700 °C ≤ T < 800 °C için,

$$E_T = E_0(-4.10^{-4} \times T + 0,41) \quad (3.1e)$$

800 °C ≤ T < 1200 °C için,

$$E_T = E_0(-2,25.10^{-4} \times T + 0,27) \quad (3.1f)$$

1200 °C ≤ T için,

$$E_T = 0 \quad (3.1g)$$

olarak verilmektedir [10, 11]. E_T , T sıcaklığına sahip noktanın elastisite modülü, E_0 ise oda sıcaklığındaki elastisite modülüdür ($E_0 = 210$ GPa). Bu bağıntılar kullanılarak elde edilen elastisite modülü değerleri Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. EC3-1-2 standardına göre sabit öz ısı ve sabit ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı elastisite modülü değerleri

t (dk)	$E_T (x = 0)$ (GPa)	$E_T (x = L/4)$ (GPa)	$E_T (x = L/2)$ (GPa)	$E_T (x=3L/4)$ (GPa)	$E_T (x = L)$ (GPa)
0	210	210	210	210	210
1	210	210	210	210	210
2	210	210	210	210	201
3	188	188	188	188	174
4	162	162	162	162	148
5	139	139	139	139	128
10	40,7	40,7	40,7	40,7	39,7
20	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7
30	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
60	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
120	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14

3.1.2. Amerikan standardına göre değişim

ASCE-78'de sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlanan elastisite modülü bağıntıları,

$0\text{ }^\circ\text{C} < T \leq 600\text{ }^\circ\text{C}$ için,

$$E_T = E_0 \left[1 + \frac{T}{2000 \ln\left(\frac{T}{1100}\right)} \right] \quad (3.2a)$$

$600\text{ }^\circ\text{C} < T < 1000\text{ }^\circ\text{C}$ için,

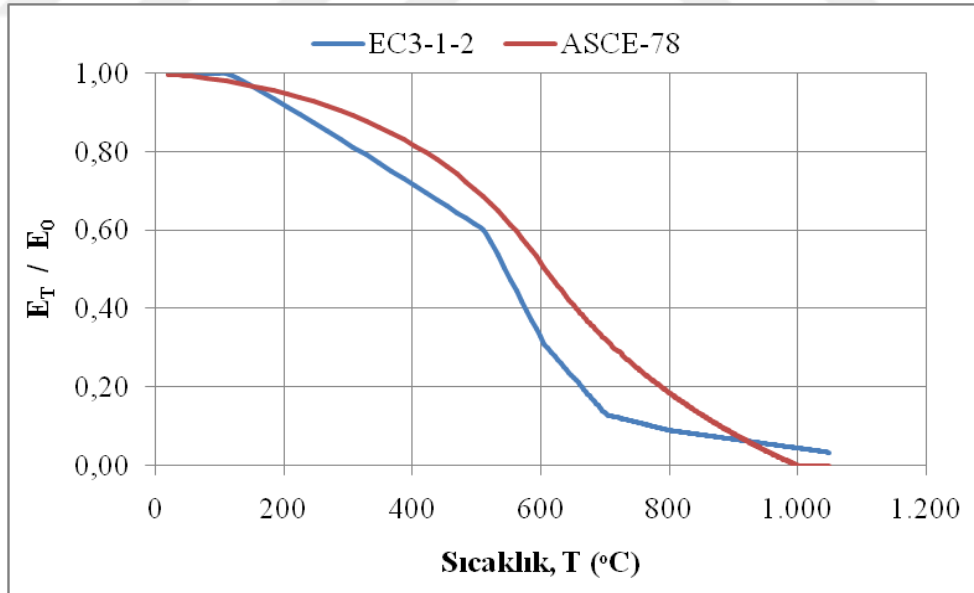
$$E_T = E_0 \left[\frac{690 - 0,69 T}{T - 53,5} \right] \quad (3.2b)$$

şeklinde verilmektedir [3, 10, 11]. Bu bağıntılar kullanılarak elde edilen elastisite modülü değerleri Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. ASCE-78 standardına göre sabit öz ısı ve sabit ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı elastisite modülü değerleri

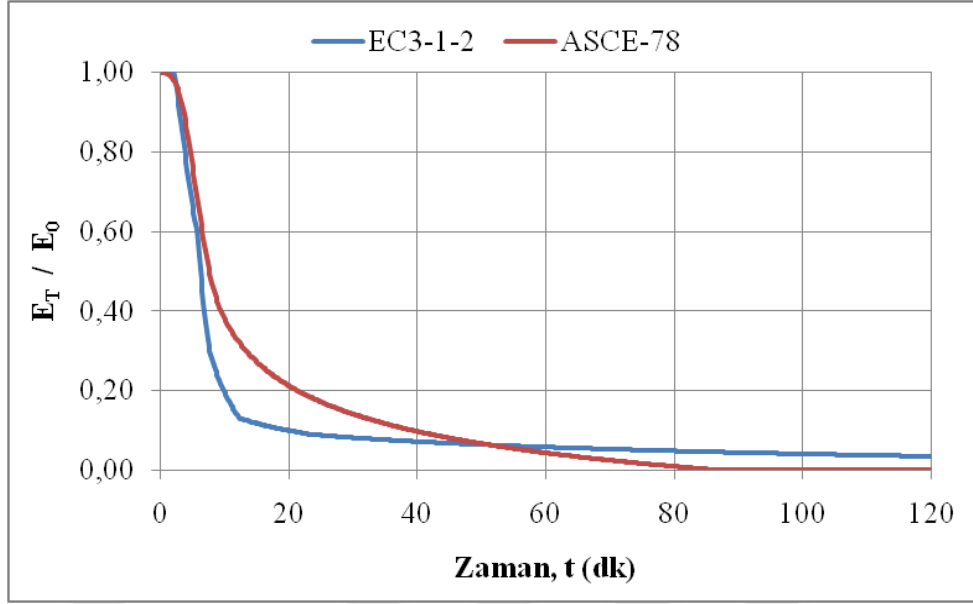
t (dk)	$E_T (x = 0)$ (GPa)	$E_T (x = L/4)$ (GPa)	$E_T (x = L/2)$ (GPa)	$E_T (x=3L/4)$ (GPa)	$E_T (x = L)$ (GPa)
0	210	210	210	210	210
1	209	209	209	209	208
2	206	206	206	206	203
3	197	197	197	197	190
4	181	181	181	181	170
5	160	160	160	160	147
10	79,5	79,5	79,5	79,5	78,5
20	44,4	44,4	44,4	44,4	44,3
30	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4
60	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97
120	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarına göre hesaplanan elastisite modülü değerlerinin (E_T), oda sıcaklığındaki elastisite modülü değerine (E_0) oranlarının sıcaklığa ve zamana bağlı değişimi Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. T sıcaklığindeki elastisite modülünün oda sıcaklığındaki elastisite modülüne oranının sıcaklığa bağlı grafiği

EC3-1-2’de yedi farklı tanım aralęı varken, ASCE-78’de sadece iki farklı tanım aralęı vardır. Bu tanımlamalardan dolayı eğriler oldukça farklıdır.



Şekil 3.2. T sıcaklığındaki elastisite modülünün oda sıcaklığındaki elastisite modülüne oranının zamana bağlı grafiği

EC3-1-2 eğrisi için, elastisite modülünde %87 oranında kayıp ilk 13 dakikada gerçekleşmiştir. İki saat sonunda ise bu değer %97 oranındadır. ASCE-78 eğrisi için, diğer egride önemli azalmanın olduğu zamanda kayıp %69'dur. Görüldüğü gibi Amerikan standardının önerdiği bağıntılara göre daha yüksek değerler elde edilmiştir. Buna rağmen, 50. dakikadan sonra daha düşük değerler verdiği 80. dakika itibariyle de elastisite modülünün sıfır olduğu görülmüştür.

3.2. Değişken Öz Isı ve Sabit Isıl İletkenlik Durumu

Öz ısının zamana bağlı değişken ve ısı iletkenlik katsayısının sabit olarak kabul edildiği durumda eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklık değerleri Bölüm 2'de hesaplanmıştır. Bu sıcaklık değerleri kullanılarak EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarında yer alan bağıntılar yardımıyla elastisite modülü değerleri elde edilmiştir.

3.2.1. Avrupa standardına göre değişim

EC3-1-2'de tablo halinde verilen elastisite modülü oranlarından hareketle elde edilen Denklem (3.1)'deki bağıntılar kullanılarak, sıcaklığa bağlı elastisite modülü değerleri elde edilmiştir.

Tablo 3.3. EC3-1-2 standardına göre değişken öz ısı ve sabit ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı elastisite modülü değerleri

t (dk)	$E_T (x = 0)$ (GPa)	$E_T (x = L/4)$ (GPa)	$E_T (x = L/2)$ (GPa)	$E_T (x=3L/4)$ (GPa)	$E_T (x = L)$ (GPa)
0	210	210	210	210	210
1	210	210	210	210	210
2	206	206	206	206	197
3	182	182	182	182	170
4	157	157	157	157	146
5	136	136	136	136	128
10	42,8	42,8	42,8	42,8	41,1
20	20,9	20,9	20,9	20,9	20,8
30	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
60	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
120	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14

3.2.2. Amerikan standardına göre değişim

ASCE-78'de sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlanan elastisite modülü, Denklem (3.2)'deki bağıntılar kullanılarak değişken öz ısı durumu için hesaplanmıştır.

Tablo 3.4. ASCE-78 standardına göre değişken öz ısı ve sabit ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı elastisite modülü değerleri

t (dk)	$E_T (x = 0)$ (GPa)	$E_T (x = L/4)$ (GPa)	$E_T (x = L/2)$ (GPa)	$E_T (x=3L/4)$ (GPa)	$E_T (x = L)$ (GPa)
0	210	210	210	210	210
1	209	209	209	209	208
2	204	204	204	204	201
3	194	194	194	194	187
4	177	177	177	177	167
5	157	157	157	157	146
10	81,2	81,2	81,2	81,2	79,8
20	44,7	44,7	44,7	44,7	44,6
30	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4
60	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97
120	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

3.3. Sabit Öz Isı ve Değişken Isıl İletkenlik Durumu

Isıl iletkenlik katsayısının zamana bağlı değişken ve öz ısının sabit olarak kabul edildiği durumda eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklık değerleri Bölüm 2’de hesaplanmıştı. Bu sıcaklık değerleri kullanılarak EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarında yer alan bağıntılar yardımıyla elastisite modülü değerleri elde edilmiştir.

3.3.1. Avrupa standardına göre değişim

EC3-1-2’de tablo halinde verilen elastisite modülü oranlarından hareketle elde edilen Denklem (5.1)’deki bağıntılar kullanılarak, sıcaklığa bağlı elastisite modülü değerleri elde edilmiştir.

Tablo 3.5. EC3-1-2 standardına göre sabit öz ısı ve değişken ısıl iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı elastisite modülü değerleri

t (dk)	$E_T (x = 0)$ (GPa)	$E_T (x = L/4)$ (GPa)	$E_T (x = L/2)$ (GPa)	$E_T (x=3L/4)$ (GPa)	$E_T (x = L)$ (GPa)
0	210	210	210	210	210
1	210	210	210	210	210
2	210	210	210	210	201
3	188	188	188	188	174
4	162	162	162	162	148
5	139	139	139	139	128
10	40,7	40,7	40,7	40,7	39,6
20	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7
30	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
60	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
120	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14

3.3.2. Amerikan standardına göre değişim

ASCE-78’de sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlanan elastisite modülü, Denklem (5.2)’deki bağıntılar kullanılarak elastisite modülü değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 3.6. ASCE-78 standardına göre sabit öz ısı ve değişken ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağı elastisite modülü değerleri

t (dk)	$E_T (x = 0)$ (GPa)	$E_T (x = L/4)$ (GPa)	$E_T (x = L/2)$ (GPa)	$E_T (x=3L/4)$ (GPa)	$E_T (x = L)$ (GPa)
0	210	210	210	210	210
1	209	209	209	209	208
2	206	206	206	206	203
3	197	197	197	197	190
4	181	181	181	181	170
5	160	160	160	160	146
10	79,6	79,6	79,6	79,6	78,5
20	44,4	44,4	44,4	44,4	44,3
30	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4
60	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97
120	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

3.4. Değişken Öz Isı ve Değişken Isıl İletkenlik Durumu

Öz ısının ve ısı iletkenlik katsayısının zamana bağı değişken olarak kabul edildiği durumda eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklık değerleri Bölüm 2’de hesaplanmıştı. Bu sıcaklık değerleri kullanılarak EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarında yer alan bağıntılar yardımıyla elastisite modülü değerleri elde edilmiştir.

3.4.1. Avrupa standardına göre değişim

EC3-1-2’de tablo halinde verilen elastisite modülü oranlarından hareketle elde edilen Denklem (5.1)’deki bağıntılar kullanılarak, sıcaklığa bağı elastisite modülü değerleri elde edilmiş ve Tablo 3.7’de verilmiştir.

3.4.2. Amerikan standardına göre değişim

ASCE-78’de sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlanan elastisite modülü, Denklem (5.2)’deki bağıntılar kullanılarak elastisite modülü değerleri hesaplanmış ve Tablo 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.7. EC3-1-2 standardına göre değişken öz ısı ve değişken ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı elastisite modülü değerleri

t (dk)	$E_T (x = 0)$ (GPa)	$E_T (x = L/4)$ (GPa)	$E_T (x = L/2)$ (GPa)	$E_T (x=3L/4)$ (GPa)	$E_T (x = L)$ (GPa)
0	210	210	210	210	210
1	210	210	210	210	210
2	206	206	206	206	197
3	181	181	181	181	170
4	157	157	157	157	146
5	136	136	136	136	128
10	42,9	42,9	42,9	42,9	41,0
20	20,9	20,9	20,9	20,9	20,8
30	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
60	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
120	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14

Tablo 3.8. ASCE-78 standardına göre değişken öz ısı ve değişken ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı elastisite modülü değerleri

t (dk)	$E_T (x = 0)$ (GPa)	$E_T (x = L/4)$ (GPa)	$E_T (x = L/2)$ (GPa)	$E_T (x=3L/4)$ (GPa)	$E_T (x = L)$ (GPa)
0	210	210	210	210	210
1	209	209	209	209	208
2	204	204	204	204	201
3	194	194	194	194	187
4	177	177	177	177	167
5	157	157	157	157	146
10	81,3	81,3	81,3	81,3	79,7
20	44,7	44,7	44,7	44,7	44,5
30	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4
60	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97
120	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

3.5. Elastisite Modülü Değerlerinin Karşılaştırılması

Termal özelliklerin sabit olduğu ve sıcaklığa bağlı değişken olarak kabul edildiği durumlarda elastisite modülü değerleri hesaplanmış ve $x = 0$ noktası için sonuçlar verilmiştir. Sabit özellikler ile elde edilen elastisite modülü değerlerine göre, sadece değişken öz ısı, sadece değişken ısı iletkenlik katsayısı ve hem değişken öz ısı hem

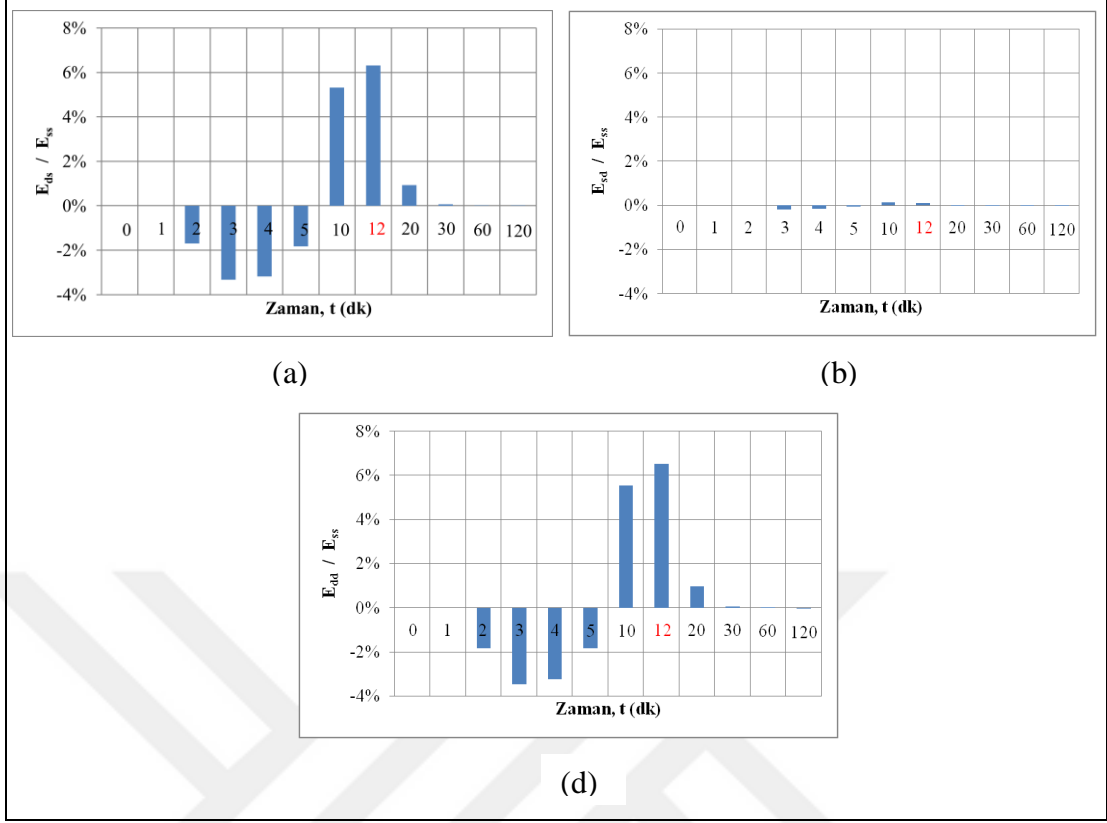
değişken ısı iletkenlik katsayısı durumları için EC3-1-2 ve ASCE-78 standartları için belirlenen elastisite modülü değerlerinin yüzdesel farkları tanımlanmıştır.

Tablo 3.9. EC3-1-2 standardı için termal parametrelere göre $x = 0$ noktasındaki elastisite modülü değerlerinin yüzdesel değişimleri

t (dk)	T_∞ (°C)	E_{ss} (GPa)	E_{ds} (GPa)	Değişim	E_{sd} (GPa)	Değişim	E_{dd} (GPa)	Değişim
0	20,0	210	210	0%	210	0%	210	0%
1	349	210	210	0%	210	0%	210	0%
2	445	210	206	-2%	210	0%	206	-2%
3	502	188	182	-3%	188	0%	181	-3%
4	544	162	157	-3%	162	0%	157	-3%
5	576	139	136	-2%	139	0%	136	-2%
10	678	40,7	42,8	5%	40,7	0%	42,9	6%
20	781	20,7	20,9	1%	20,7	0%	20,9	1%
30	842	17,0	17,0	0%	17,0	0%	17,0	0%
60	945	12,1	12,1	0%	12,1	0%	12,1	0%
120	1.050	7,14	7,14	0%	7,14	0%	7,14	0%

Tablolarda yer alan elastisite modülü değerlerindeki alt indisler 25. sayfadaki dipnotta açıklanmıştır. EC3-1-2 standardına göre yangın etkisiyle artan ortam sıcaklığının, çelik elemanın termal özelliklerindeki değişimin elemanın elastisite modülüne etkisi incelenmiştir. İlk iki dakikalık sürede, elastisite modülünün Denklem (5.1)'deki tanımlamalarından dolayı herhangi bir değişiminin olmadığı görülmüştür. Öz ısının sıcaklığa bağlı değişken olması ile sabit olması durumuna göre en fazla %6 oranında artış vardır. Ancak $t = 6$ dakikaya kadar negatif bir değişim olduğu, 10 dakika sonrasında ise sabit durumla benzer sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Isıl iletkenlik katsayısının sıcaklığa bağlı değişken olmasının elastisite modülü üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Her iki parametrenin değişken olduğu durumda ise öz ısı parametresinin gösterdiği değişimler etkili olmuştur.

Elastisite modülü değerlerinin EC3-1-2 standardı için, termal özelliklerin sabit ya da değişken olması durumlarının ilk duruma bağlı oranlarını gösteren grafik Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. EC3-1-2 standardına göre (a) değişken öz ısı (b) değişken ısıl iletkenlik katsayısı (c) değişken öz ısı ve değişken ısıl iletkenlik katsayısı için hesaplanan elastisite modülü değerlerinin sabit oldukları durumdaki elastisite modülüne oranı

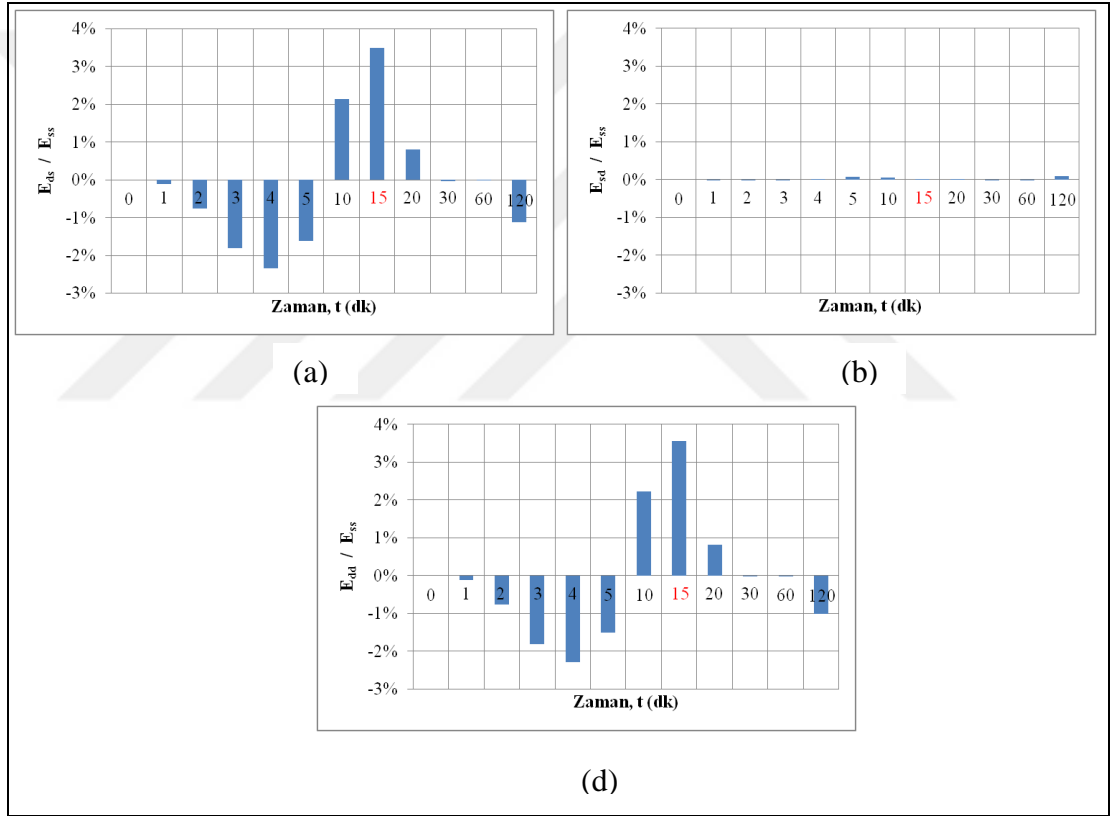
Tablo 3.10. ASCE-78 standardı için termal parametrelere göre $x = 0$ noktasındaki elastisite modülü değerlerinin yüzdesel değişimleri

t (dk)	T_{∞} (°C)	E_{ss} (GPa)	E_{ds} (GPa)	Değişim	E_{sd} (GPa)	Değişim	E_{dd} (Gpa)	Değişim
0	20,0	210	210	0%	210	0%	210	0%
1	349	209	209	0%	209	0%	209	0%
2	445	206	204	-1%	206	0%	204	-1%
3	502	197	194	-2%	197	0%	194	-2%
4	544	181	177	-2%	181	0%	177	-2%
5	576	160	157	-2%	160	0%	157	-2%
10	678	79,5	81,2	2%	79,6	0%	81,3	2%
20	781	44,4	44,7	1%	44,4	0%	44,7	1%
30	842	29,4	29,4	0%	29,4	0%	29,4	0%
60	945	8,97	8,97	0%	8,97	0%	8,97	0%
120	1.050	0,00	0,00	-1%	0,00	0%	0,00	-1%

ASCE-78 standardına göre yangın etkisiyle artan ortam sıcaklığının, çelik elemanın termal özelliklerindeki değişimin elemanın elastisite modülüne etkisi incelenmiştir.

Öz ısının sıcaklığa bağlı değişken olması ile sabit olması durumuna göre en fazla %3 oranında artış olduğu görülmüştür. Ancak $t = 5$ dakikaya kadar negatif bir değişim olduğu, 10 dakika sonrasında ise sabit durumla benzer sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Isıl iletkenlik katsayısının sıcaklığa bağlı değişken olmasının elastisite modülü üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Her iki parametrenin değişken olduğu durumda ise öz ısı parametresinin gösterdiği değişimler etkili olmuştur.

Elastisite modülü değerlerinin ASCE-78 standardı için, termal özelliklerin sabit ya da değişken olması durumlarının ilk duruma bağlı oranlarını gösteren grafik Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. ASCE-78 standardına göre (a) değişken öz ısı (b) değişken ısıl iletkenlik katsayısı (c) değişken öz ısı ve değişken ısıl iletkenlik katsayısı için hesaplanan elastisite modülü değerlerinin sabit oldukları durumdaki elastisite modülüne oranı

EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarındaki elastisite modülü tanımlamaları gereği elde edilen değerlerin oda sıcaklığındaki elastisite modülüne oranları verilmiştir. EC3-1-2'ye göre hesaplanan değerlerin ASCE-78'e göre hesaplanana göre daha hızlı azaldığı görülmüştür. İki saat süren yangın sonunda, sırasıyla, %97 ve %100 oranında rijitlik kaybı mevcuttur.

Tablo 3.11. Termal parametrelere göre $x = 0$ noktasındaki elastisite modülü değerlerinin EC3-1-2 ve ASCE-78 standartları için oda sıcaklığına göre değişimleri

		Sabit öz ısı Sabit ısı iletkenlik				Değişken öz ısı Sabit ısı iletkenlik			
		EC3-1-2		ASCE-78		EC3-1-2		ASCE-78	
t (dk)	T_{∞} (°C)	E_T (GPa)	Oran	E_T (GPa)	Oran	E_T (GPa)	Oran	E_T (GPa)	Oran
0	20,0	210		210		210		210	
1	349	210	100%	209	100%	210	100%	209	99%
2	445	210	100%	206	98%	206	98%	204	97%
3	502	188	90%	197	94%	182	87%	194	92%
4	544	162	77%	181	86%	157	75%	177	84%
5	576	139	66%	160	76%	136	65%	157	75%
10	678	40,7	19%	79,5	38%	42,8	20%	81,2	39%
20	781	20,7	10%	44,4	21%	20,9	10%	44,7	21%
30	842	17,0	8%	29,4	14%	17,0	8%	29,4	14%
60	945	12,1	6%	8,97	4%	12,1	6%	8,97	4%
120	1.050	7,14	3%	0,00	0%	7,14	3%	0,00	0%
		Sabit öz ısı Değişken ısı iletkenlik				Değişken öz ısı Değişken ısı iletkenlik			
		EC3-1-2		ASCE-78		EC3-1-2		ASCE-78	
t (dk)	T_{∞} (°C)	E_T (GPa)	Oran	E_T (GPa)	Oran	E_T (GPa)	Oran	E_T (GPa)	Oran
0	20,0	210		210		210		210	
1	349	210	100%	209	100%	210	100%	209	99%
2	445	210	100%	206	98%	206	98%	204	97%
3	502	188	89%	197	94%	181	86%	194	92%
4	544	162	77%	181	86%	157	75%	177	84%
5	576	139	66%	160	76%	136	65%	157	75%
10	678	40,7	19%	79,6	38%	42,9	20%	81,3	39%
20	781	20,7	10%	44,4	21%	20,9	10%	44,7	21%
30	842	17,0	8%	29,4	14%	17,0	8%	29,4	14%
60	945	12,1	6%	8,97	4%	12,1	6%	8,97	4%
120	1.050	7,14	3%	0,00	0%	7,14	3%	0,00	0%

4. YANGIN ETKİSİNDE ÇELİK BİR ELEMANIN AKMA MUKAVEMETİNİN BELİRLENMESİ

Çalışmada model olarak kullanılan çelik eleman boyunca belirlenen noktaların akma mukavemeti hesaplanmıştır.

Akma mukavemeti, gerilmenin yaklaşık olarak sabit kalmasına karşın, plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde artmaya başladığı ana karşılık gelen mukavemet değeridir.

Yangın etkisiyle artan ortam sıcaklığının çelik eleman üzerindeki etkisi nedeniyle akma mukavemetinde değişimler olacağı açıktır. Bu değişimleri incelemek amacıyla EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarında yer alan sıcaklığa bağlı akma mukavemeti bağıntıları kullanılmış ve sonuçlar verilmiştir. Bu hesaplar termal özelliklerin sabit ve değişken olduğu durumlara göre yapılarak karşılaştırılmıştır.

4.1. Sabit Öz Isı ve Sabit Isıl İletkenlik Durumu

Öz ısı ve ısı iletkenlik katsayısının sabit olarak kabul edildiği durumda eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklık değerlerine bağlı olarak, EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarında yer alan bağıntılar yardımıyla akma mukavemeti değerleri elde edilmiştir.

4.1.1. Avrupa standardına göre değişim

EC3-1-2’de tablo halinde verilen akma mukavemeti oranlarından hareketle elde edilen bağıntılar,

$T < 400 \text{ } ^\circ\text{C}$ için,

$$F_{y,T} = F_{y,0} \quad (4.1a)$$

$400 \text{ } ^\circ\text{C} \leq T < 500 \text{ } ^\circ\text{C}$ için,

$$F_{y,T}=F_{y,0}(-2,2.10^{-3}\times T+1,88) \quad (4.1b)$$

500°C≤T<600 °C için,

$$F_{y,T}=F_{y,0}(-3,1.10^{-3}\times T+2,33) \quad (4.1c)$$

600°C≤T<700 °C için,

$$F_{y,T}=F_{y,0}(-2,4.10^{-3}\times T+1,91) \quad (4.1d)$$

700°C≤T<800 °C için,

$$F_{y,T}=F_{y,0}(-1,2.10^{-3}\times T+1,07) \quad (4.1e)$$

800°C≤T<900 °C için,

$$F_{y,T}=F_{y,0}(-5.10^{-4}\times T+0,51) \quad (4.1f)$$

900°C≤T<1200 °C için,

$$F_{y,T}=F_{y,0}(-2.10^{-4}\times T+0,24) \quad (4.1g)$$

1200°C≤T için,

$$F_{y,T}=0,0 \quad (4.1h)$$

şeklinde verilmektedir [10, 11]. Burada $F_{y,T}$, T sıcaklığına sahip noktanın akma mukavemeti, $F_{y,0}$ ise oda sıcaklığındaki akma mukavemetidir. $40 < t \leq 80$ mm koşulunu sağlayan S420 standardındaki çelik malzeme için akma mukavemeti, $F_{y,0}$, 390 MPa olarak verilmektedir [12, 13]. Bu bağıntılar kullanılarak elde edilen akma mukavemeti değerleri Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

4.1.2. Amerikan standardına göre değişim

ASCE-78’de sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlanan akma mukavemeti bağıntıları,

0<T≤600 °C için,

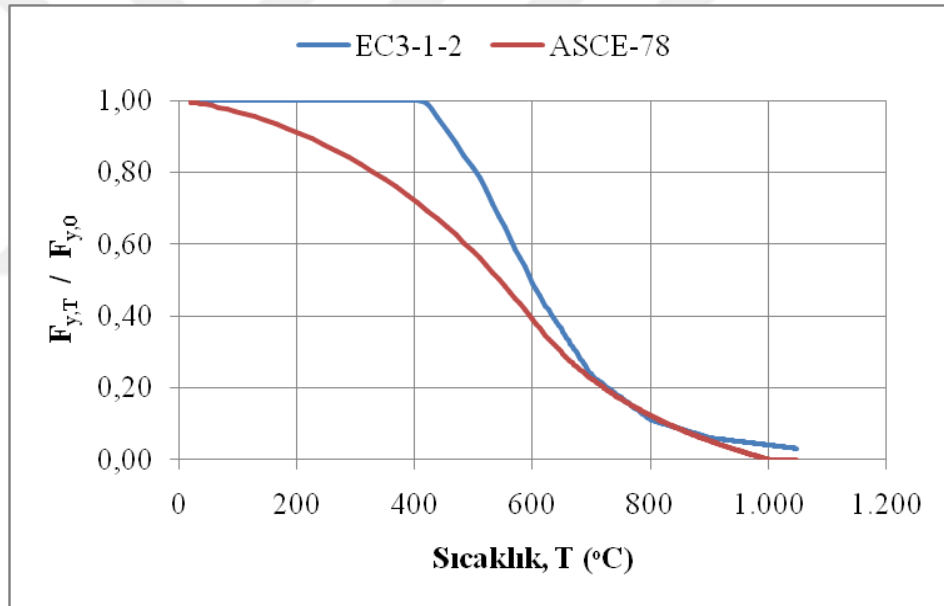
$$F_{y,T} = F_{y,0} \left[1 + \frac{T}{900 \ln \frac{T}{1750}} \right] \quad (4.2a)$$

600 °C < T < 1000 °C için,

$$F_{y,T} = F_{y,0} \left[\frac{340 - 0,34 T}{T - 240} \right] \quad (4.2b)$$

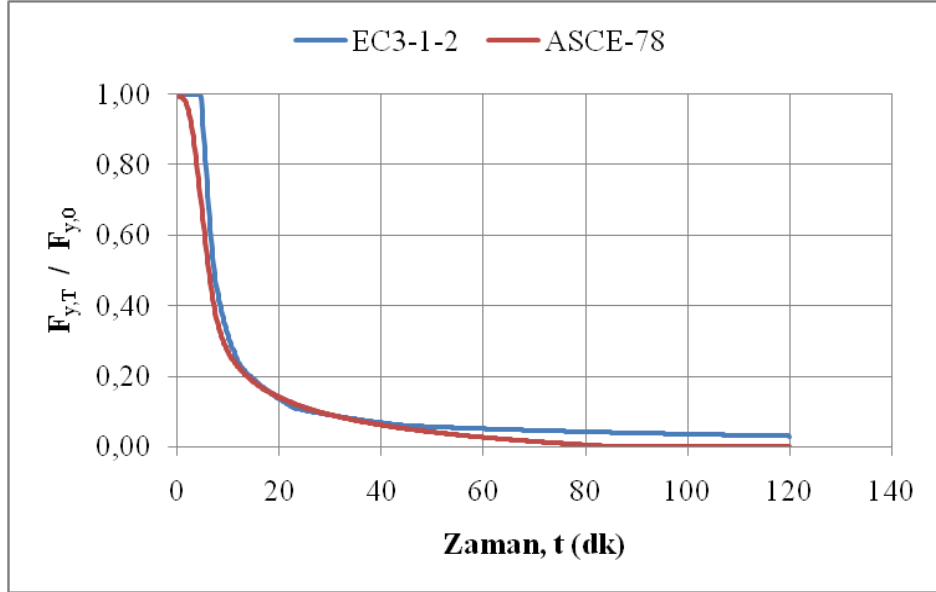
olarak verilmektedir [3, 10, 11]. Bu bağıntılar kullanılarak elde edilen akma mukavemeti değerleri Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarına göre hesaplanan akma mukavemeti değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi ve zamana bağlı değişimi Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. T sıcaklığındaki akma mukavemetinin oda sıcaklığındaki akma mukavemetine oranının sıcaklığa bağlı grafiği

Avrupa standardı, Amerikan standardına göre daha yüksek sonuçlar vermiştir. EC3-1-2’de 400 °C’ye kadar sıcaklığın mukavemete etkisi yok sayılmıştır. ASCE-78’de ise sıcaklık artışının olduğu ilk andan itibaren, Denklem (4.2)’deki tanımlamalar gereği, mukavemet değerinde düşüş gerçekleşmektedir.



Şekil 4.2. T sıcaklığındaki akma mukavemetinin oda sıcaklığındaki akma mukavemetine oranının zamana bağlı grafiği

Sıcaklık 750 °C civarlarında iken, mukavemet değerleri benzer sonuçlar vermeye başlamıştır. Bu da yangın başladıktan yaklaşık 17 dakika sonradır ve bu anda, oda sıcaklığındaki akma mukavemetine göre %83 azaldığı görülmüştür.

Eleman boyunca belirlenen noktalar için akma mukavemeti değerleri Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.1. EC3-1-2 standardına göre sabit öz ısı ve sabit ısıl iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı akma mukavemeti değerleri

t (dk)	F _{y,T} (x = 0) (MPa)	F _{y,T} (x = L/4) (MPa)	F _{y,T} (x = L/2) (MPa)	F _{y,T} (x=3L/4) (MPa)	F _{y,T} (x = L) (MPa)
0	390	390	390	390	390
1	390	390	390	390	390
2	390	390	390	390	390
3	390	390	390	390	390
4	390	390	390	390	390
5	357	357	357	357	314
10	123	123	123	123	120
20	53,2	53,2	53,2	53,2	53,0
30	35,1	35,1	35,1	35,1	35,0
60	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9
120	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8

$x = L$ noktasındaki akma mukavemeti değerlerinin daha hızlı azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni, bu noktadaki sıcaklık artışının daha hızlı gerçekleşmesidir. 10. dakikadan sonra diğer noktalarla benzer sonuçlar vermiştir.

EC3-1-2 standardına göre akma mukavemeti, iki saat süren yangın sonunda, oda sıcaklığına göre %97 oranında azalmıştır. ASCE-78 standardına göre ise bu oran %100'dür.

Tablo 4.2. ASCE-78 standardına göre sabit öz ısı ve sabit ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı akma mukavemeti değerleri

t (dk)	$F_{y,T} (x = 0)$ (MPa)	$F_{y,T} (x = L/4)$ (MPa)	$F_{y,T} (x = L/2)$ (MPa)	$F_{y,T} (x=3L/4)$ (MPa)	$F_{y,T} (x = L)$ (MPa)
0	390	390	390	390	390
1	387	387	387	387	384
2	376	376	376	376	365
3	349	349	349	349	327
4	305	305	305	305	276
5	253	253	253	253	224
10	105	105	105	105	103
20	54,7	54,7	54,7	54,7	54,6
30	35,3	35,3	35,3	35,3	35,3
60	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
120	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

4.2. Değişken Öz Isı ve Sabit Isıl İletkenlik Durumu

Artan ortam sıcaklığı ile öz ısının değişken ve ısı iletkenlik katsayısının sabit olarak kabul edildiği durumda, eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklık değerlerine bağlı olarak, EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarında yer alan bağıntılar yardımıyla akma mukavemeti değerleri elde edilmiştir.

4.2.1. Avrupa standardına göre değişim

EC3-1-2'de tablo halinde verilen akma mukavemeti oranlarından hareketle elde edilen bağıntılar ile sıcaklığa bağlı mukavemet değerleri elde edilmiştir.

4.2.2. Amerikan standardına göre değişim

ASCE-78 standardına göre sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlanan bağıntılar ile akma mukavemeti değerleri hesaplanmıştır.

EC3-1-2 ve ASCE-78 standardı bağıntılarına göre hesaplanan mukavemet değerleri sırasıyla Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.3. EC3-1-2 standardına göre değişken öz ısısı ve sabit ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı akma mukavemeti değerleri

t (dk)	$F_{y,T}(x=0)$ (MPa)	$F_{y,T}(x=L/4)$ (MPa)	$F_{y,T}(x=L/2)$ (MPa)	$F_{y,T}(x=3L/4)$ (MPa)	$F_{y,T}(x=L)$ (MPa)
0	390	390	390	390	390
1	390	390	390	390	390
2	390	390	390	390	390
3	390	390	390	390	390
4	390	390	390	390	384
5	346	346	346	346	312
10	128	128	128	128	124
20	54,2	54,2	54,2	54,2	53,7
30	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1
60	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9
120	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8

Tablo 4.4. ASCE-78 standardına göre değişken öz ısısı ve sabit ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı akma mukavemeti değerleri

t (dk)	$F_{y,T}(x=0)$ (MPa)	$F_{y,T}(x=L/4)$ (MPa)	$F_{y,T}(x=L/2)$ (MPa)	$F_{y,T}(x=3L/4)$ (MPa)	$F_{y,T}(x=L)$ (MPa)
0	390	390	390	390	390
1	386	386	386	386	383
2	371	371	371	371	360
3	338	338	338	338	318
4	294	294	294	294	270
5	247	247	247	247	223
10	107	107	107	107	105
20	55,2	55,2	55,2	55,2	54,9
30	35,3	35,3	35,3	35,3	35,3
60	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
120	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

4.3. Sabit Öz Isı ve Değişken Isıl İletkenlik Durumu

Artan ortam sıcaklığı ile ısı iletkenlik katsayısının değişken ve öz ısının sabit olarak kabul edildiği durumda, eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklık değerlerine bağlı olarak, EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarında yer alan bağıntılar yardımıyla akma mukavemeti değerleri elde edilmiştir.

4.3.1. Avrupa standardına göre değişim

EC3-1-2’de tablo halinde verilen akma mukavemeti oranlarından hareketle elde edilen bağıntılar ile sıcaklığa bağlı mukavemet değerleri elde edilmiştir.

4.3.2. Amerikan standardına göre değişim

ASCE-78 standardına göre sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlanan bağıntılar ile akma mukavemeti değerleri hesaplanmıştır.

EC3-1-2 ve ASCE-78 standardı bağıntılarına göre hesaplanan mukavemet değerleri sırasıyla Tablo 4.5 ve Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.5. EC3-1-2 standardına göre sabit öz ısı ve değişken ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı akma mukavemeti değerleri

t (dk)	$F_{y,T} (x = 0)$ (MPa)	$F_{y,T} (x = L/4)$ (MPa)	$F_{y,T} (x = L/2)$ (MPa)	$F_{y,T} (x=3L/4)$ (MPa)	$F_{y,T} (x = L)$ (MPa)
0	390	390	390	390	390
1	390	390	390	390	390
2	390	390	390	390	390
3	390	390	390	390	390
4	390	390	390	390	390
5	357	357	357	356	314
10	123	123	123	123	120
20	53,2	53,2	53,2	53,2	53,0
30	35,1	35,1	35,1	35,1	35,0
60	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9
120	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8

Tablo 4.6. ASCE-78 standardına göre sabit öz ısı ve değişken ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı akma mukavemeti değerleri

t (dk)	$F_{y,T} (x = 0)$ (MPa)	$F_{y,T} (x = L/4)$ (MPa)	$F_{y,T} (x = L/2)$ (MPa)	$F_{y,T} (x=3L/4)$ (MPa)	$F_{y,T} (x = L)$ (MPa)
0	390	390	390	390	390
1	387	387	387	387	384
2	376	376	376	376	365
3	349	349	349	348	327
4	305	305	305	305	275
5	253	253	253	253	223
10	105	105	105	105	103
20	54,7	54,7	54,7	54,7	54,6
30	35,3	35,3	35,3	35,3	35,3
60	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
120	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

4.4. Değişken Öz Isı ve Değişken Isıl İletkenlik Durumu

Artan ortam sıcaklığı ile öz ısının ve ısı iletkenlik katsayısının değişken olarak kabul edildiği durumda, eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklık değerlerine bağlı olarak, EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarında yer alan bağıntılar yardımıyla akma mukavemeti değerleri elde edilmiştir.

4.4.1. Avrupa standardına göre değişim

EC3-1-2’de tablo halinde verilen akma mukavemeti oranlarından hareketle elde edilen bağıntılar ile sıcaklığa bağlı mukavemet değerleri elde edilmiştir.

4.4.2. Amerikan standardına göre değişim

ASCE-78 standardına göre sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlanan bağıntılar ile akma mukavemeti değerleri hesaplanmıştır.

EC3-1-2 ve ASCE-78 standardı bağıntılarına göre hesaplanan mukavemet değerleri sırasıyla Tablo 4.7 ve Tablo 4.8’da verilmiştir.

Tablo 4.7. EC3-1-2 standardına göre değişken öz ısı ve değişken ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı akma mukavemeti değerleri

t (dk)	$F_{y,T} (x = 0)$ (MPa)	$F_{y,T} (x = L/4)$ (MPa)	$F_{y,T} (x = L/2)$ (MPa)	$F_{y,T} (x=3L/4)$ (MPa)	$F_{y,T} (x = L)$ (MPa)
0	390	390	390	390	390
1	390	390	390	390	390
2	390	390	390	390	390
3	390	390	390	390	390
4	390	390	390	390	385
5	346	346	346	346	311
10	128	128	128	128	124
20	54,3	54,3	54,3	54,3	53,6
30	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1
60	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9
120	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8

Tablo 4.8. ASCE-78 standardına göre değişken öz ısı ve değişken ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı akma mukavemeti değerleri

t (dk)	$F_{y,T} (x = 0)$ (MPa)	$F_{y,T} (x = L/4)$ (MPa)	$F_{y,T} (x = L/2)$ (MPa)	$F_{y,T} (x=3L/4)$ (MPa)	$F_{y,T} (x = L)$ (MPa)
0	390	390	390	390	390
1	386	386	386	386	383
2	371	371	371	370	360
3	338	338	338	338	318
4	294	294	294	294	269
5	247	247	247	247	223
10	107	107	107	107	105
20	55,2	55,2	55,2	55,2	54,9
30	35,3	35,3	35,3	35,3	35,3
60	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
120	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

4.5. Akma Mukavemeti Değerlerinin Karşılaştırılması

Termal özelliklerin sabit olduğu ve sıcaklığa bağlı değişken olarak kabul edildiği durumlarda akma mukavemeti hesaplanmış ve $x = 0$ noktası için sonuçlar verilmiştir. Sabit özellikler ile elde edilen akma mukavemeti değerlerine göre, sadece değişken öz ısı, sadece değişken ısı iletkenlik katsayısı ve hem değişken öz ısı hem değişken ısı iletkenlik katsayısı durumları için EC3-1-2 ve ASCE-78 standartları için

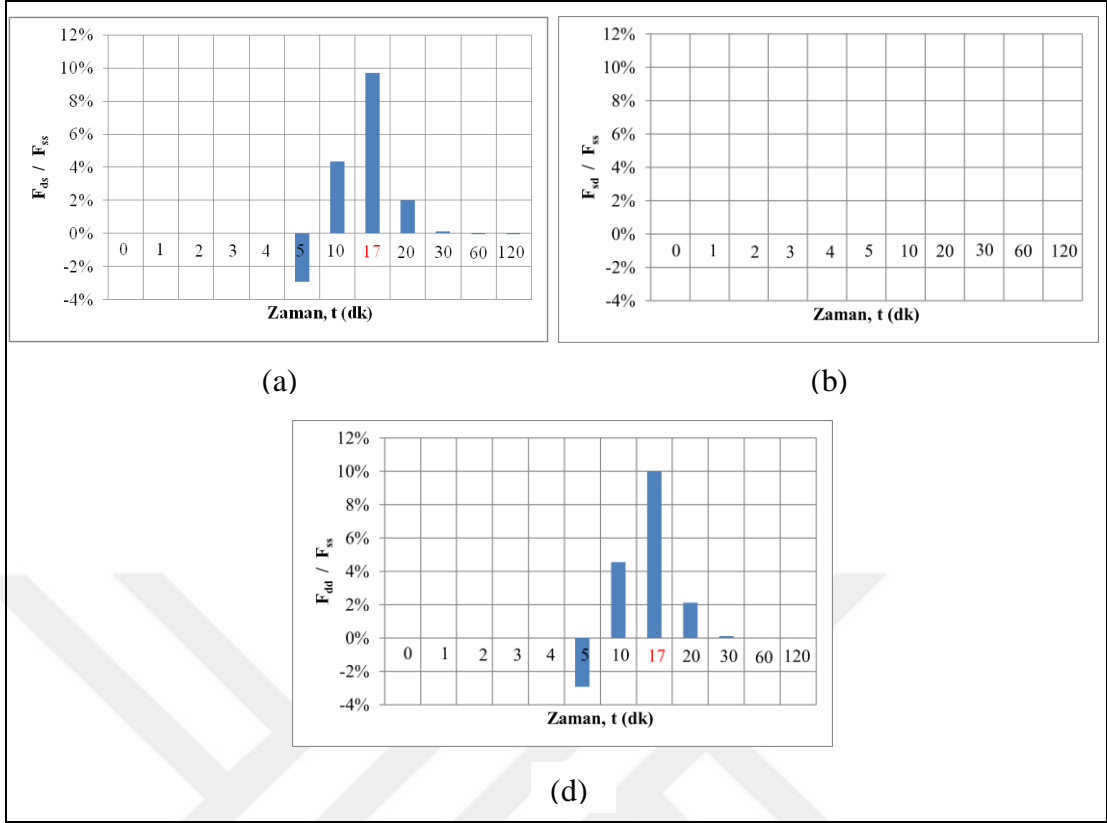
belirlenen akma mukavemeti değerlerinin yüzdesel farkları, sırasıyla, Tablo 4.9 ve Tablo 4.10'da tanımlanmıştır.

Tablo 4.9. EC3-1-2 standardı için termal parametrelere göre $x = 0$ noktasındaki akma mukavemeti değerlerinin yüzdesel değişimleri

t (dk)	T_∞ (°C)	F_{ss} (MPa)	F_{ds} (MPa)	Değişim	F_{sd} (MPa)	Değişim	F_{dd} (MPa)	Değişim
0	20,0	390	390	0%	390	0%	390	0%
1	349	390	390	0%	390	0%	390	0%
2	445	390	390	0%	390	0%	390	0%
3	502	390	390	0%	390	0%	390	0%
4	544	390	390	0%	390	0%	390	0%
5	576	357	346	-3%	357	0%	346	-3%
10	678	123	128	4%	123	0%	128	5%
20	781	53,2	54,2	2%	53,2	0%	54,3	2%
30	842	35,1	35,1	0%	35,1	0%	35,1	0%
60	945	19,9	19,9	0%	19,9	0%	19,9	0%
120	1.050	11,8	11,8	0%	11,8	0%	11,8	0%

Tablolarda yer alan akma mukavemeti değerlerindeki alt indisler 25. sayfadaki dipnotta açıklanmıştır. EC3-1-2 standardına göre yangın etkisiyle artan ortam sıcaklığının, çelik elemanın termal özelliklerindeki değişimin elemanın akma mukavemetine etkisi incelenmiştir. İlk dört dakikalık sürede, akma mukavemetinin Denklem (5.1)'deki tanımlamalarından dolayı herhangi bir değişiminin olmadığı görülmüştür. Öz ısının sıcaklığa bağlı değişken olması ile sabit olması durumuna göre en fazla %10 oranında artış olduğu görülmüştür. Ancak $t = 6$ dakikaya kadar negatif bir değişim olduğu, 23 dakika sonrasında ise sabit durumla benzer sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Isıl iletkenlik katsayısının sıcaklığa bağlı değişken olmasının akma mukavemeti üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Her iki parametrenin değişken olduğu durumda ise öz ısı parametresinin gösterdiği değişimler etkili olmuştur.

Akma mukavemeti değerlerinin EC3-1-2 standardı için, termal özelliklerin sabit ya da değişken olması durumlarının ilk duruma bağlı oranlarını gösteren grafik Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. EC3-1-2 standardına göre (a) değişken öz ısı (b) değişken ısıl iletkenlik katsayısı (c) değişken öz ısı ve değişken ısıl iletkenlik katsayısı için hesaplanan akma mukavemeti değerlerinin sabit oldukları durumdaki akma mukavemetine oranı

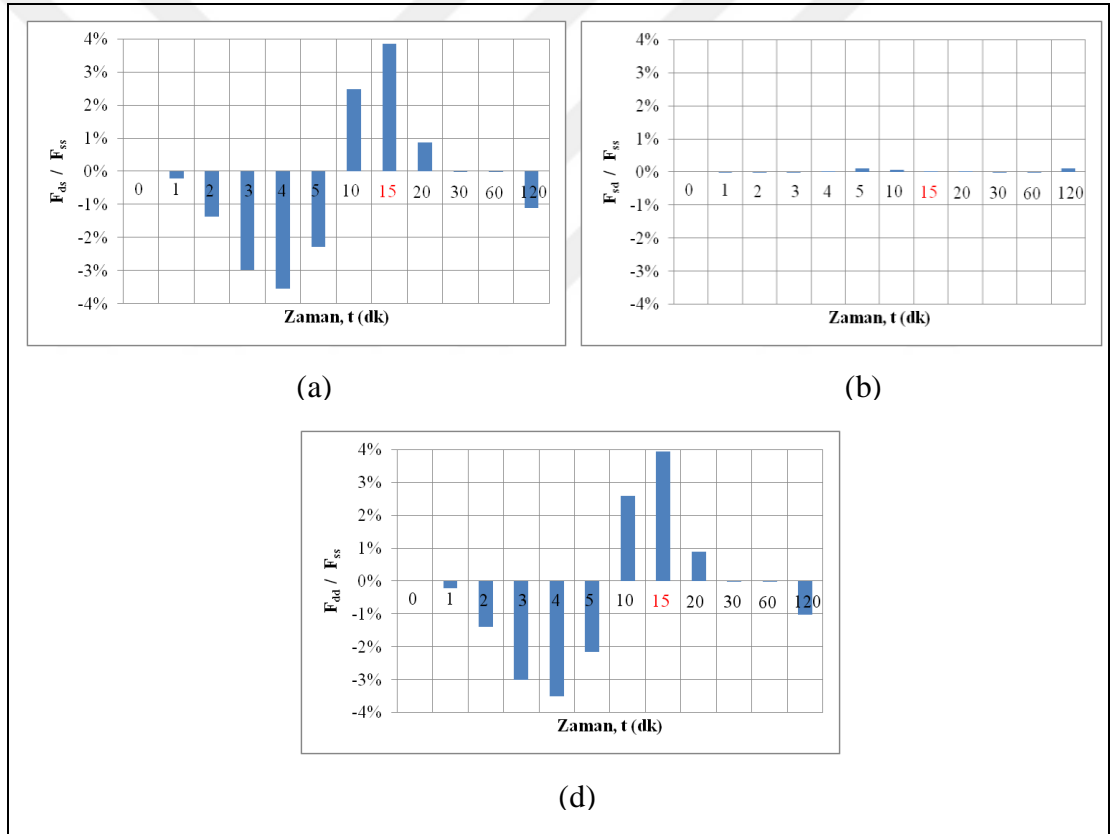
Tablo 4.10. ASCE-78 standardı için termal parametrelere göre $x = 0$ noktasındaki akma mukavemeti değerlerinin yüzdesel değişimleri

t (dk)	T_{∞} (°C)	F_{ss} (MPa)	F_{ds} (MPa)	Değişim	F_{sd} (MPa)	Değişim	F_{dd} (MPa)	Değişim
0	20,0	390	390	0%	390	0%	390	0%
1	349	387	386	0%	387	0%	386	0%
2	445	376	371	-1%	376	0%	371	-1%
3	502	349	338	-3%	349	0%	338	-3%
4	544	305	294	-4%	305	0%	294	-4%
5	576	253	247	-2%	253	0%	247	-2%
10	678	105	107	2%	105	0%	107	3%
20	781	54,7	55,2	1%	54,7	0%	55,2	1%
30	842	35,3	35,3	0%	35,3	0%	35,3	0%
60	945	10,4	10,4	0%	10,4	0%	10,4	0%
120	1.050	0,00	0,00	-1%	0,00	0%	0,00	-1%

ASCE-78 standardına göre yangın etkisiyle artan ortam sıcaklığının, çelik elemanın termal özelliklerindeki değişimin elemanın akma mukavemetine etkisi incelenmiştir.

Öz ısının sıcaklığa bağlı değişken olması ile sabit olması durumuna göre en fazla %4 oranında değişim olduğu görülmüştür. Ancak $t = 6$ dakikaya kadar negatif bir değişim olduğu, 10 dakika sonrasında ise sabit duruma benzer sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Isıl iletkenlik katsayısının sıcaklığa bağlı değişken olmasının akma mukavemeti üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Her iki parametrenin değişken olduğu durumda ise öz ısı parametresinin gösterdiği değişimler etkili olmuştur.

Akma mukavemeti değerlerinin ASCE-78 standardı için, termal özelliklerin sabit ya da değişken olması durumlarının ilk duruma bağlı oranlarını gösteren grafik Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. ASCE-78 standardına göre (a) değişken öz ısı (b) değişken ısıl iletkenlik katsayısı (c) değişken öz ısı ve değişken ısıl iletkenlik katsayısı için hesaplanan akma mukavemeti değerlerinin sabit oldukları durumdaki akma mukavemetine oranı

EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarındaki akma mukavemeti tanımlamaları gereği elde edilen değerlerin, oda sıcaklığındaki akma mukavemeti oranları Tablo 4.11'de verilmiştir. ASCE-78'e göre hesaplanan değerlerin EC3-1-2'ye göre hesaplanana

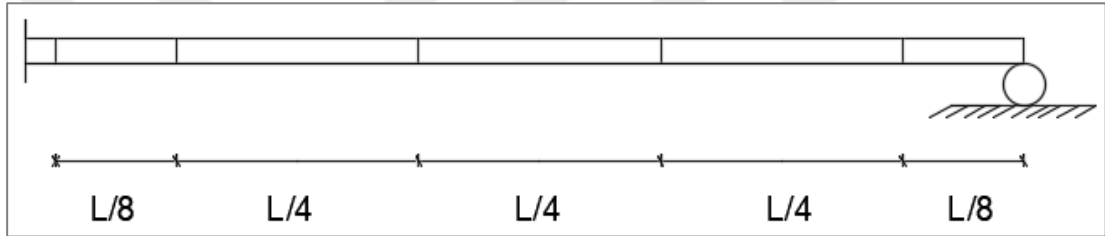
göre daha hızlı azaldığı görülmüştür. İki saat süren yangın sonunda, sırasıyla, %97 ve %100 oranında mukavemet kaybı mevcuttur.

Tablo 4.11. Termal parametrelere göre $x = 0$ noktasındaki akma mukavemeti değerlerinin EC3-1-2 ve ASCE-78 standartları için oda sıcaklığına göre değişimleri

		Sabit öz ısı Sabit ısıl iletkenlik				Değişken öz ısı Sabit ısıl iletkenlik			
		EC3-1-2		ASCE-78		EC3-1-2		ASCE-78	
t (dk)	T _∞ (°C)	F _{y,T} (MPa)	Oran	F _{y,T} (MPa)	Oran	F _{y,T} (MPa)	Oran	F _{y,T} (MPa)	Oran
0	20,0	390		390		390		390	
1	349	390	100%	387	99%	390	100%	386	99%
2	445	390	100%	376	96%	390	100%	371	95%
3	502	390	100%	349	89%	390	100%	338	87%
4	544	390	100%	305	78%	390	100%	294	75%
5	576	357	91%	253	65%	346	89%	247	63%
10	678	123	31%	105	27%	128	33%	107	28%
20	781	53,2	14%	54,7	14%	54,2	14%	55,2	14%
30	842	35,1	9%	35,3	9%	35,1	9%	35,3	9%
60	945	19,9	5%	10,4	3%	19,9	5%	10,4	3%
120	1.050	11,8	3%	0,00	0%	11,8	3%	0,00	0%
		Sabit öz ısı Değişken ısıl iletkenlik				Değişken öz ısı Değişken ısıl iletkenlik			
		EC3-1-2		ASCE-78		EC3-1-2		ASCE-78	
t (dk)	T _∞ (°C)	F _{y,T} (MPa)	Oran	F _{y,T} (MPa)	Oran	F _{y,T} (MPa)	Oran	F _{y,T} (MPa)	Oran
0	20,0	390		390		390		390	
1	349	390	100%	387	99%	390	100%	386	99%
2	445	390	100%	376	96%	390	100%	371	95%
3	502	390	100%	349	89%	390	100%	338	87%
4	544	390	100%	305	78%	390	100%	294	75%
5	576	357	91%	253	65%	346	89%	247	63%
10	678	123	32%	105	27%	128	33%	107	28%
20	781	53,2	14%	54,7	14%	54,3	14%	55,2	14%
30	842	35,1	9%	35,3	9%	35,1	9%	35,3	9%
60	945	19,9	5%	10,4	3%	19,9	5%	10,4	3%
120	1.050	11,8	3%	0,00	0%	11,8	3%	0,00	0%

5. YANGIN ETKİSİNDE ÇELİK BİR ELEMANIN UZAMA MİKTARININ BELİRLENMESİ

Çalışmada model olarak kullanılan çelik eleman boyunca belirlenen noktalar için eşit $L/8$ birim uzaklıktaki bölgeler belirlenmiştir. Böylelikle iki adet $L/8$ birim ve üç adet $L/4$ birim uzunluktaki 5 bölge elde edilmiştir (Şekil 5.1). Bu bölgelerin birim şekil değiştirmeleri hesaplanmış ve uzama miktarları belirlenmiştir. Bu uzama değerleri toplanarak çelik elemanın toplam uzama miktarı hesaplanmıştır.



Şekil 5.1. Uzama miktarının hesabı için belirlenen bölgeler

Yangın etkisiyle artan ortam sıcaklığının çelik eleman üzerindeki etkisi nedeniyle, elemanda uzama meydana gelecektir. Bu uzama miktarlarını incelemek amacıyla EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarında yer alan sıcaklığa bağlı birim şekil değiştirme bağıntıları kullanılmış ve sonuçlar verilmiştir. Bu hesaplar termal özelliklerin sabit ve değişken olduğu durumlara göre yapılarak karşılaştırılmıştır.

5.1. Sabit Öz Isı ve Sabit Isıl İletkenlik Durumu

Öz ısı ve ısı iletkenlik katsayısının sabit olarak kabul edildiği durumda eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklık değerlerine bağlı olarak, EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarında yer alan bağıntılar yardımıyla birim şekil değiştirme ve uzama miktarları elde edilmiştir.

5.1.1. Avrupa standardına göre değişim

EC3-1-2'de sıcaklığa bağlı birim Şekil değiştirme bağıntıları,

20 °C ≤ T < 750 °C için,

$$\Delta l/l = 1,2 \times 10^{-5} \times T + 0,4 \times 10^{-8} \times T^2 - 2,416 \times 10^{-4} \quad (5.1a)$$

750 °C ≤ T ≤ 860 °C için,

$$\Delta l/l = 1,1 \times 10^{-2} \quad (5.1b)$$

860 °C < T ≤ 1200 °C için,

$$\Delta l/l = 2 \times 10^{-5} \times T - 6,2 \times 10^{-3} \quad (5.1c)$$

olarak verilmiştir [2]. Burada, Δl sıcaklık etkisiyle meydana gelen uzama miktarı (m), l elemanın oda sıcaklığındaki uzunluğu (m), T ise noktanın bir önceki andaki sıcaklığıdır. Bu bağıntılar kullanılarak elde edilen birim Şekil değiştirme ve uzama miktarları Tablo 5.1'de verilmiştir.

5.1.2. Amerikan standardına göre değişim

ASCE-78'de sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlanan birim Şekil değiştirme bağıntıları,

T < 1000 °C için,

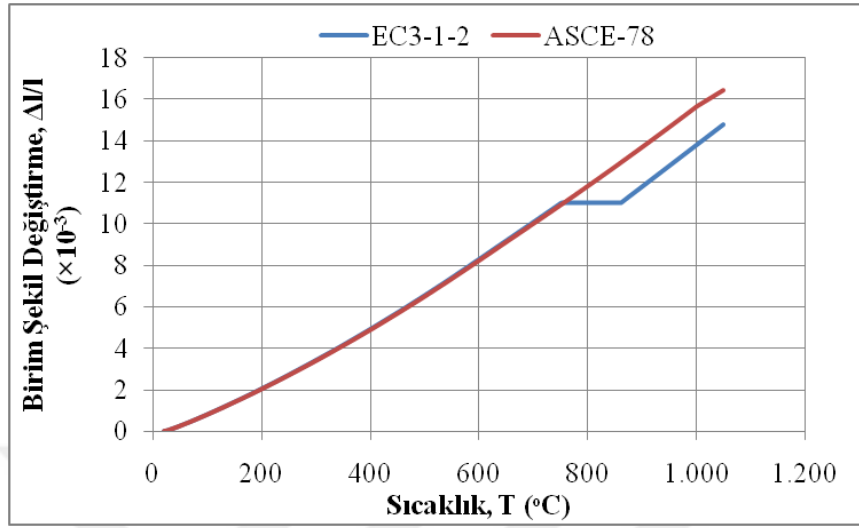
$$\Delta l/l = [(0,004 \times T + 12) \times 10^{-6}] \Delta T \quad (5.2a)$$

T ≥ 1000 °C için,

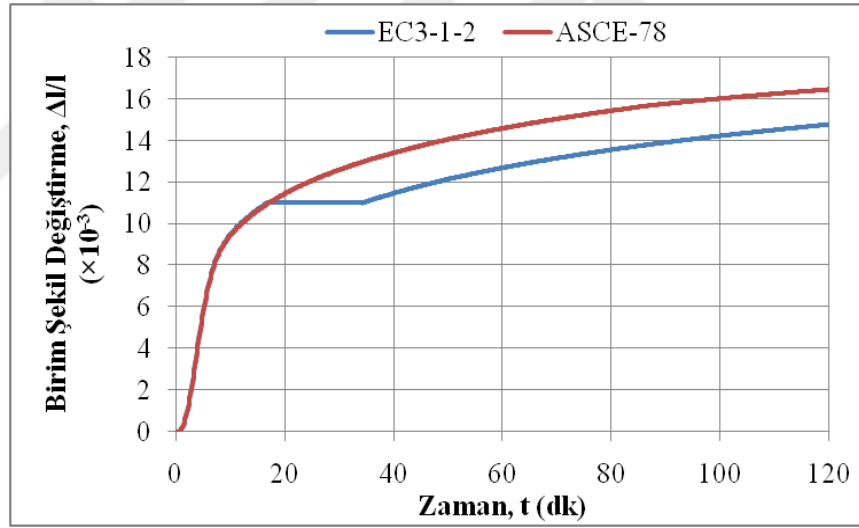
$$\Delta l/l = [16 \times 10^{-6}] \Delta T \quad (5.2b)$$

Şeklinde verilmiştir [3]. Bu bağıntılar kullanılarak elde edilen birim Şekil değiştirme ve uzama miktarları Tablo 5.2'de verilmiştir.

Birim şekil değiştirmenin sıcaklığa bağlı ve zamana bağlı değişim grafikleri sırasıyla Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Birim şekil değiştirme-sıcaklık grafiği



Şekil 5.3. Birim şekil değiştirme-zaman grafiği

EC3-1-2 standardına göre birim şekil değiştirme için üç tanım aralığı, ASCE-78 standardına göre ise iki tanım aralığı vardır. Bu tanımlamalar uygulanarak eleman üzerinde belirlenen noktaların sıcaklık değerlerine bağlı birim şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir. Denklem (5.1b) gereği, sıcaklık 750 °C'yi aştığında birim şekil değiştirme sabit kalmış, 860 °C'den sonra ise yine sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermiştir. Birim şekil değiştirmenin sabit kaldığı zaman 17. ve 34. dakika aralığıdır. 17. dakikaya yani 750 °C'ye kadar iki standart da benzer sonuçlar

vermiştir. Sonrasında ASCE-78 standardı için daha yüksek birim şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir.

Tablo 5.1. EC3-1-2 standardına göre sabit öz ısı ve sabit ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağılı birim şekil değiştirme ve uzama miktarları

t (dk)	$\Delta l/l$ (x=0) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=L/4) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=L/2) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=3L/4) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=L) ($\times 10^{-3}$)	Δl (mm)
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,141	0,141	0,141	0,143	0,362	0,338
2	0,940	0,939	0,940	0,944	1,57	2,04
3	2,38	2,38	2,38	2,39	3,32	5,00
4	4,13	4,13	4,13	4,14	5,11	8,51
5	5,79	5,79	5,79	5,80	6,57	11,8
10	9,50	9,50	9,50	9,50	9,55	19,0
20	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	22,0
30	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	22,0
60	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	25,4
120	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	29,6

Tablo 5.2. ASCE-78 standardına göre sabit öz ısı ve sabit ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağılı birim şekil değiştirme ve uzama miktarları

t (dk)	$\Delta l/l$ (x=0) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=L/4) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=L/2) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=3L/4) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=L) ($\times 10^{-3}$)	Δl (mm)
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,140	0,140	0,140	0,142	0,359	0,335
2	0,934	0,933	0,934	0,938	1,56	2,03
3	2,37	2,37	2,37	2,37	3,30	4,97
4	4,11	4,11	4,11	4,11	5,08	8,46
5	5,76	5,76	5,76	5,76	6,54	11,7
10	9,45	9,45	9,45	9,45	9,50	18,9
20	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	22,9
30	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	25,2
60	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	29,2
120	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	32,9

5.2. Değişken Öz Isı ve Sabit Isıl İletkenlik Durumu

Artan ortam sıcaklığı ile öz ısının değişken ve ısı iletkenlik katsayısının sabit olarak kabul edildiği durumda, eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklık değerlerine

bağlı olarak, EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarında yer alan bağıntılar yardımıyla birim şekil değiştirme değerleri ve uzama miktarları elde edilmiştir.

5.2.1. Avrupa standardına göre değişim

EC3-1-2’de verilen sıcaklığa bağlı birim şekil değiştirme bağıntıları ile birim şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir.

5.2.2. Amerikan standardına göre değişim

ASCE-78 standardına göre sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlanan bağıntılar ile birim şekil değiştirme değerleri hesaplanmıştır.

EC3-1-2 ve ASCE-78 standardı bağıntılarına göre hesaplanan birim şekil değiştirme değerleri ve uzama miktarları sırasıyla Tablo 5.3 ve Tablo 5.4’te verilmiştir.

Tablo 5.3. EC3-1-2 standardına göre değişken öz ısı ve sabit ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı birim şekil değiştirme ve uzama miktarları

t (dk)	$\Delta l/l$ (x=0) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=L/4) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=L/2) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=3L/4) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=L) ($\times 10^{-3}$)	Δl (mm)
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,206	0,206	0,206	0,208	0,431	0,469
2	1,22	1,22	1,22	1,22	1,81	2,58
3	2,79	2,79	2,79	2,80	3,61	5,79
4	4,49	4,49	4,49	4,50	5,30	9,19
5	5,98	5,98	5,98	5,98	6,62	12,1
10	9,40	9,40	9,40	9,40	9,48	18,8
20	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	22,0
30	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	22,0
60	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	25,4
120	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	29,6

Tablo 5.4. ASCE-78 standardına göre değişken öz ısı ve sabit ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı birim Şekil değiştirme ve uzama miktarları

t (dk)	$\Delta l/l (x=0)$ ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l (x=L/4)$ ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l (x=L/2)$ ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l (x=3L/4)$ ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l (x=L)$ ($\times 10^{-3}$)	Δl (mm)
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,211	0,211	0,211	0,212	0,436	0,479
2	1,25	1,24	1,25	1,25	1,84	2,64
3	2,83	2,83	2,83	2,83	3,61	5,85
4	4,48	4,48	4,48	4,48	5,26	9,16
5	5,92	5,92	5,92	5,92	6,55	12,0
10	9,37	9,37	9,37	9,37	9,44	18,8
20	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	22,9
30	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	25,2
60	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	29,2
120	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	32,9

5.3. Sabit Öz Isı ve Değişken Isıl İletkenlik Durumu

Artan ortam sıcaklığı ile öz ısının sabit ve ısı iletkenlik katsayısının değişken olarak kabul edildiği durumda, eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklık değerlerine bağlı olarak, EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarında yer alan bağıntılar yardımıyla birim Şekil değiştirme değerleri ve uzama miktarları elde edilmiştir.

5.3.1. Avrupa standardına göre değişim

EC3-1-2’de verilen sıcaklığa bağlı birim Şekil değiştirme bağıntıları ile birim Şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir.

5.3.2. Amerikan standardına göre değişim

ASCE-78 standardına göre sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlanan bağıntılar ile birim Şekil değiştirme değerleri hesaplanmıştır.

EC3-1-2 ve ASCE-78 standardı bağıntlarına göre hesaplanan birim Şekil değiştirme değerleri ve uzama miktarları sırasıyla Tablo 5.5 ve Tablo 5.6’da verilmiştir.

Tablo 5.5. EC3-1-2 standardına göre sabit öz ısı ve değişken ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı birim Şekil değiştirme ve uzama miktarları

t (dk)	$\Delta l/l$ (x=0) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=L/4) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=L/2) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=3L/4) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=L) ($\times 10^{-3}$)	Δl (mm)
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,148	0,148	0,149	0,150	0,341	0,346
2	0,959	0,959	0,960	0,963	1,53	2,06
3	2,41	2,41	2,41	2,41	3,28	5,04
4	4,15	4,15	4,15	4,16	5,09	8,54
5	5,80	5,80	5,80	5,80	6,58	11,8
10	9,50	9,50	9,50	9,50	9,55	19,0
20	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	22,0
30	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	22,0
60	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	25,4
120	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	29,6

Tablo 5.6. ASCE-78 standardına göre sabit öz ısı ve değişken ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı birim Şekil değiştirme ve uzama miktarları

t (dk)	$\Delta l/l$ (x=0) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=L/4) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=L/2) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=3L/4) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=L) ($\times 10^{-3}$)	Δl (mm)
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,142	0,142	0,142	0,144	0,352	0,338
2	0,939	0,939	0,940	0,944	1,55	2,03
3	2,37	2,37	2,37	2,38	3,30	4,98
4	4,11	4,11	4,11	4,11	5,09	8,46
5	5,75	5,75	5,75	5,75	6,56	11,7
10	9,45	9,45	9,45	9,45	9,50	18,9
20	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	22,9
30	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	25,2
60	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	29,2
120	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	32,9

5.4. Değişken Öz ısı ve Değişken ısı iletkenlik Durumu

Artan ortam sıcaklığı ile öz ısının ve ısı iletkenlik katsayısının değişken olarak kabul edildiği durumda, eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklık değerlerine bağlı olarak, EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarında yer alan bağıntılar yardımıyla birim Şekil değiştirme değerleri ve uzama miktarları elde edilmiştir.

5.4.1. Avrupa standardına göre değişim

EC3-1-2’de verilen sıcaklığa bağlı birim Şekil değiştirme bağıntıları ile birim Şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir.

5.4.2. Amerikan standardına göre değişim

ASCE-78 standardına göre sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlanan bağıntılar ile birim Şekil değiştirme değerleri hesaplanmıştır.

EC3-1-2 ve ASCE-78 standardı bağıntlarına göre hesaplanan birim Şekil değiştirme değerleri ve uzama miktarları sırasıyla Tablo 5.7 ve Tablo 5.8’te verilmiştir.

Tablo 5.7. EC3-1-2 standardına göre değişken 6z ısı ve değişken ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı birim Şekil değiştirme ve uzama miktarları

t (dk)	$\Delta l/l$ (x=0) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=L/4) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=L/2) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=3L/4) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=L) ($\times 10^{-3}$)	Δl (mm)
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,214	0,214	0,214	0,216	0,412	0,478
2	1,23	1,23	1,23	1,24	1,78	2,61
3	2,81	2,81	2,81	2,82	3,58	5,82
4	4,50	4,50	4,50	4,51	5,29	9,21
5	5,98	5,98	5,98	5,98	6,63	12,1
10	9,40	9,40	9,40	9,40	9,49	18,8
20	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	22,0
30	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	22,0
60	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	25,4
120	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	29,6

Tablo 5.8. ASCE-78 standardına göre değişken öz ısı ve değişken ısı iletkenlik ile eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklığa bağlı birim şekil değiştirme ve uzama miktarları

t (dk)	$\Delta l/l$ (x=0) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=L/4) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=L/2) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=3L/4) ($\times 10^{-3}$)	$\Delta l/l$ (x=L) ($\times 10^{-3}$)	Δl (mm)
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,213	0,213	0,214	0,215	0,429	0,482
2	1,25	1,25	1,25	1,25	1,83	2,65
3	2,83	2,83	2,83	2,83	3,62	5,86
4	4,48	4,48	4,48	4,48	5,27	9,16
5	5,91	5,91	5,91	5,92	6,58	12,0
10	9,37	9,37	9,37	9,37	9,44	18,8
20	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	22,9
30	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	25,2
60	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	29,2
120	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	32,9

5.5. Uzama Miktarlarının Karşılaştırılması

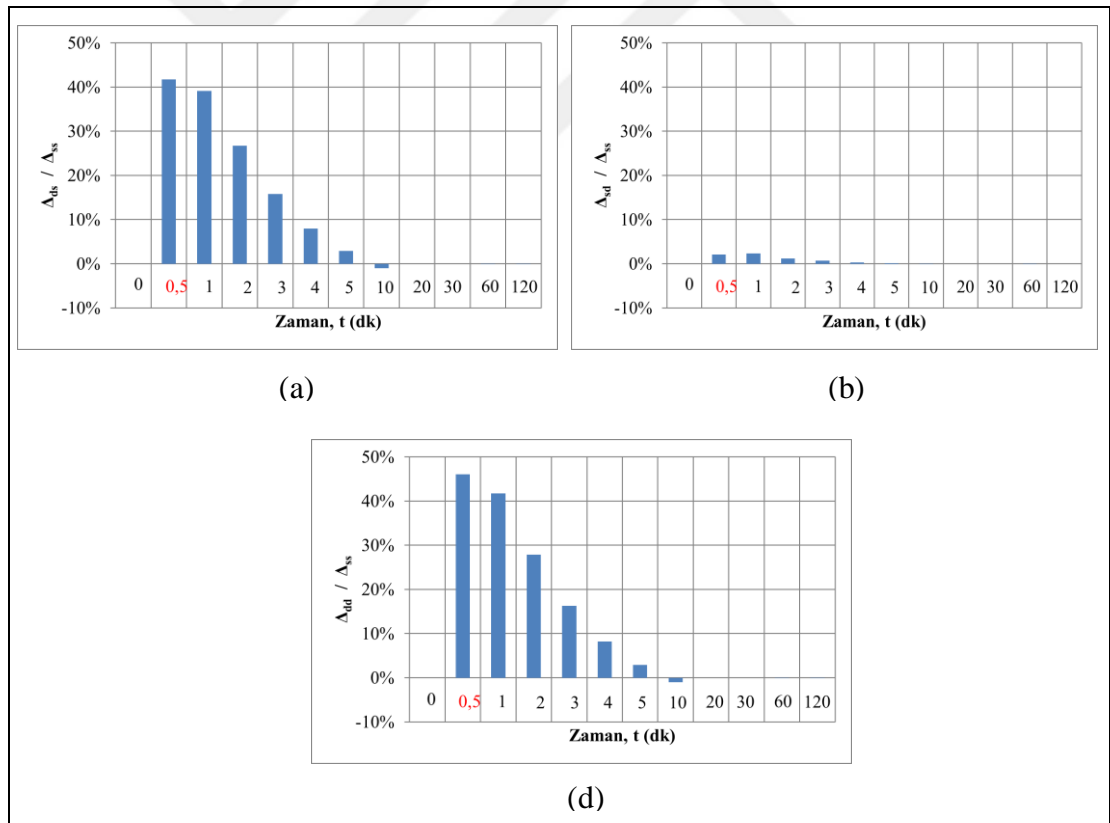
Termal özelliklerin sabit olduğu ve sıcaklığa bağlı değişken olarak kabul edildiği durumlarda uzama miktarları hesaplanmış ve sonuçlar verilmiştir. Sabit özellikler ile elde edilen uzama miktarlarına göre, sadece değişken öz ısı, sadece değişken ısı iletkenlik katsayısı ve hem değişken öz ısı hem değişken ısı iletkenlik katsayısı durumları için EC3-1-2 ve ASCE-78 standartları için belirlenen uzama miktarlarının yüzdesel değişimleri tanımlanmış ve Tablo 5.9 ve Tablo 5.10'da verilmiştir.

Tablo 5.9. EC3-1-2 standardı için termal parametrelere göre elemanın uzama miktarlarının yüzdesel değişimleri

t (dk)	T_{∞} (°C)	Δl_{ss} (mm)	Δl_{ds} (mm)	Değişim	Δl_{sd} (mm)	Değişim	Δl_{ad} (mm)	Değişim
0	20,0	0,000	0,000	0%	0,000	0%	0,000	0%
1	349	0,338	0,469	39%	0,346	2%	0,478	42%
2	445	2,04	2,58	27%	2,06	1%	2,61	28%
3	502	5,00	5,79	16%	5,04	1%	5,82	16%
4	544	8,51	9,19	8%	8,54	0%	9,21	8%
5	576	11,8	12,1	3%	11,8	0%	12,1	3%
10	678	19,0	18,8	-1%	19,0	0%	18,8	-1%
20	781	22,0	22,0	0%	22,0	0%	22,0	0%
30	842	22,0	22,0	0%	22,0	0%	22,0	0%
60	945	25,4	25,4	0%	25,4	0%	25,4	0%
120	1.050	29,6	29,6	0%	29,6	0%	29,6	0%

Tablolarda yer alan uzama miktarlarındaki alt indisler 25. sayfadaki dipnotta açıklanmıştır. EC3-1-2 standardına göre yangın etkisiyle artan ortam sıcaklığının, çelik elemanın termal özelliklerindeki değişimin eleman uzama miktarına etkisi incelenmiştir. Öz ısının sıcaklığa bağlı değişken olması ile sabit olması durumuna göre en fazla artışın 30. saniyede ve %42 oranında olduğu saptanmıştır. Bu andan itibaren farkın azaldığı ve 6. dakika itibariyle benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Isıl iletkenlik katsayısının sıcaklığa bağlı değişken olmasının uzama miktarları üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Her iki parametrenin değişken olduğu durumda ise öz ısı parametresinin gösterdiği değişimler etkili olup en büyük değişim %46 oranındadır.

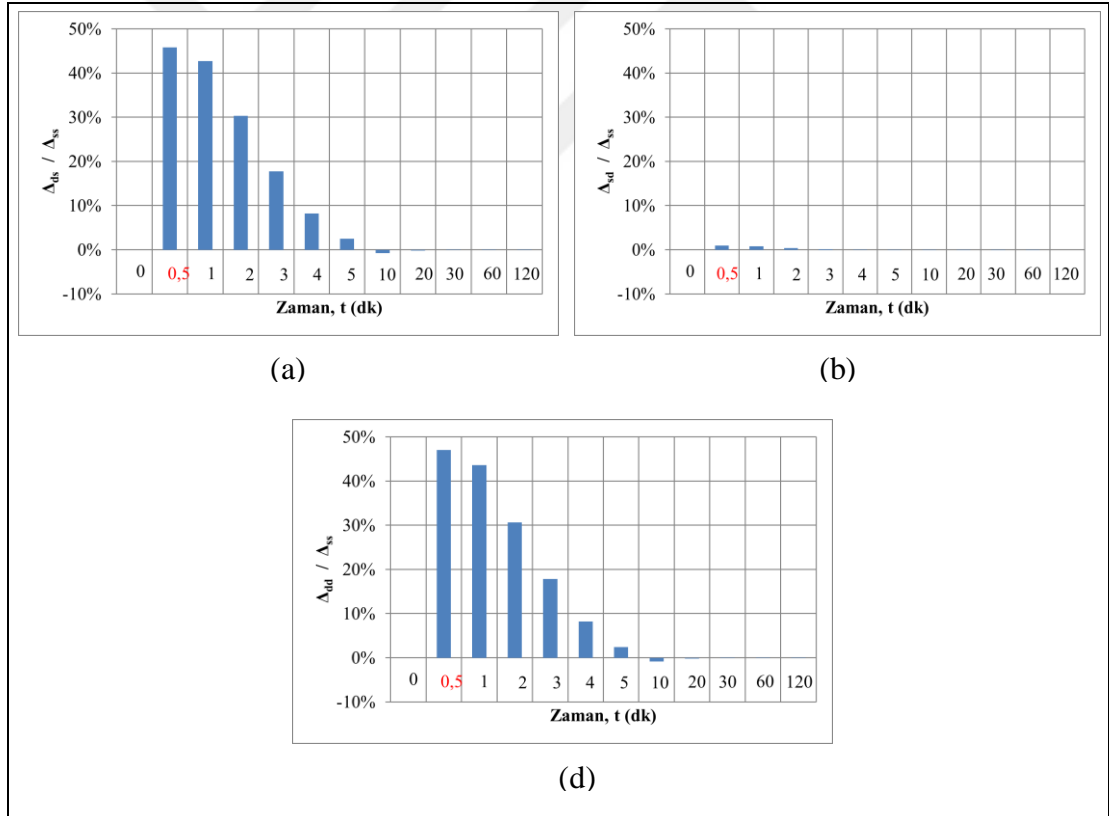
Uzama miktarlarının EC3-1-2 ve ASCE-78 standardı için, termal özelliklerin sabit ya da değişken olması durumlarının ilk duruma bağlı oranlarını gösteren grafikler, sırasıyla, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. EC3-1-2 standardına göre (a) değişken öz ısı (b) değişken ısıl iletkenlik katsayısı (c) değişken öz ısı ve değişken ısıl iletkenlik katsayısı için hesaplanan uzama miktarlarının sabit oldukları durumdaki uzama miktarına oranı

Tablo 5.10. ASCE-78 standardı için termal parametrelere göre elemanın uzama miktarlarının yüzdesel değişimleri

t (dk)	T _∞ (°C)	Δ _{lss} (mm)	Δ _{lds} (mm)	Değişim	Δ _{l_{sd}} (mm)	Değişim	Δ _{l_{dd}} (mm)	Değişim
0	20,0	0,000	0,000	0%	0,000	0%	0,000	0%
1	349	0,335	0,479	43%	0,338	1%	0,482	44%
2	445	2,03	2,64	30%	2,03	0%	2,65	31%
3	502	4,97	5,85	18%	4,98	0%	5,86	18%
4	544	8,46	9,16	8%	8,46	0%	9,16	8%
5	576	11,7	12,0	2%	11,7	0%	12,0	2%
10	678	18,9	18,8	-1%	18,9	0%	18,8	-1%
20	781	22,9	22,9	0%	22,9	0%	22,9	0%
30	842	25,2	25,2	0%	25,2	0%	25,2	0%
60	945	29,2	29,2	0%	29,2	0%	29,2	0%
120	1.050	32,9	32,9	0%	32,9	0%	32,9	0%



Şekil 5.5. ASCE-78 standardına göre (a) değişken öz ısı (b) değişken ısıl iletkenlik katsayısı (c) değişken öz ısı ve değişken ısıl iletkenlik katsayısı için hesaplanan uzama miktarlarının sabit oldukları durumdaki uzama miktarına oranı

ASCE-78 standardına göre yangın etkisiyle artan ortam sıcaklığının, çelik elemanın termal özelliklerindeki değişimin eleman uzama miktarına etkisi incelenmiştir. Öz ısının değişken olması durumunda en fazla %46 oranında değişimin olduğu ve 6.dakika itibariyle benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Isıl iletkenlik katsayısının uzama miktarı üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığı saptanmıştır.



6. YANGIN ETKİSİNDE ÇELİK BİR ELEMANIN KENDİ AĞIRLIĞI ALTINDA YAPTIĞI SEHİM MİKTARININ BELİRLENMESİ

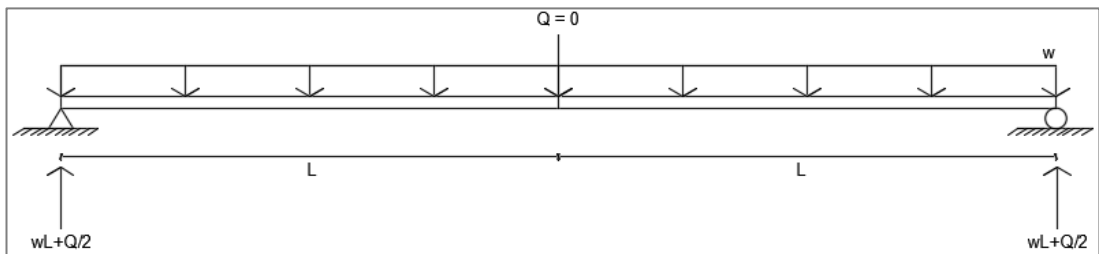
Çalışmada model olarak kullanılan çelik eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklık ve elastisite modülü değerleri elde edilmesi ile bu bilgiler kullanılarak, düzgün yayılı yük olarak tanımlanmış olan kendi ağırlığı altında, açıklık ortasındaki sehım miktarları hesaplanmıştır.

Yangın etkisiyle artan ortam sıcaklığının çelik eleman üzerindeki etkisi nedeniyle sehım miktarında, oda sıcaklığındaki duruma göre değişimler olacağı açıktır. Bu değişimleri incelemek amacıyla EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarına göre elde edilen elastisite modülü değerleri kullanılarak, iki farklı yöntem ile sehım miktarları belirlenmiştir. Bu hesaplar termal özelliklerin sabit ve değişken olduğu durumlara göre yapılarak karşılaştırılmıştır.

6.1. Ortalama Elastisite Modülü Yöntemi

Çelik eleman boyunca elastisite modülü değerleri hesaplanan beş noktanın sınırladığı her $L/4$ uzunluğundaki dört bölge için, ardışık iki nokta ile ortalama elastisite modülü değerleri belirlenmiştir.

Öncelikle basit mesnetli düzgün yayılı yük ile yüklenmiş $2L$ uzunluktaki bir elemanın sabit elastisite modülü durumundaki sehım miktarını veren bağıntı elde edilmiştir.



Şekil 6.1. Kendi ağırlığı altında düzgün yayılı yük ile yüklenmiş basit mesnetli çelik eleman

Castigliano Denklemi gereği orta nokta sehimi miktarını,

$$y_j = \int \frac{M}{EI} \frac{\partial M}{\partial P_j} ds \quad (6.1)$$

bağıntısı vermektedir. Burada y_j herhangi j noktasının sehimi miktarı (m), M moment (Nm), E elastisite modülü (Pa), I atalet momenti (m^4), P_j sehimi aranan noktadaki tekil yük (N) olarak tanımlanmaktadır.

Çalışmada, sehimi aranan noktada bir tekil yük yoktur. Bu nedenle orta noktaya $Q = 0$ olan bir fiktif yük koyulmuştur. Q yükü, elemanın dengesini bozmayıp, Castigliano Denklemi kullanılarak sağlanmaktadır.

Elemanın sağ ucundan x kadar mesafedeki moment denklemi,

$$M(x) = \left(wL + \frac{Q}{2} \right) x - wx \frac{x}{2} \quad (6.2)$$

şeklinde elde edilir. Burada w düzgün yayılı yük (N/m), L eleman yarı uzunluğu (m), Q fiktif yük (N), x eleman üzerinde momenti hesaplanan noktanın konumu (m) olarak ifade edilmektedir. Moment denkleminin Q fiktif yüküne göre türevi alınır,

$$\frac{\partial M}{\partial Q} = \frac{x}{2} \quad (6.3)$$

elde edilir. Denklem (6.2) ve Denklem (6.3), Denklem (6.1)'de yerine yazılır ve 0'dan L 'ye kadar integrali alınıp elemanın eşit diğer parçası için 2 ile çarpılırsa orta nokta sehimi miktarını veren bağıntı,

$$y_0 = \frac{5}{24} \frac{wL^4}{EI} \quad (6.4)$$

şeklinde elde edilir. Bu ifade başta söylendiği gibi sabit elastisite modülüne sahip bir elemanın orta nokta sehimi miktarını vermektedir.

Farklı elastisite modülü değerlerine sahip $L/4$ uzunluğundaki dört bölge için Denklem (6.1) kullanılarak,

$$y_{01} = 2 \left[\int_0^{L/4} \frac{M}{E_1 I} \frac{\partial M}{\partial Q} dx + \int_{L/4}^{L/2} \frac{M}{E_2 I} \frac{\partial M}{\partial Q} dx + \int_{L/2}^{3L/4} \frac{M}{E_3 I} \frac{\partial M}{\partial Q} dx + \int_{3L/4}^L \frac{M}{E_4 I} \frac{\partial M}{\partial Q} dx \right] \quad (6.5)$$

ifadesi elde edilmiştir. Moment denklemleri yazılıp integre edilmiş ve gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Sonuç olarak,

$$Y_{01} = \frac{wL^4}{6144I} \left(\frac{29}{E_1} + \frac{179}{E_2} + \frac{413}{E_3} + \frac{659}{E_4} \right) \quad (6.6)$$

bağıntısına ulaşılmıştır. Burada E_1 , E_2 , E_3 ve E_4 belirlenen dört bölgenin ortalama elastisite modülü değerleridir.

Çalışmada kullanılan çelik elemanın özelliklerine bağlı olarak, düzgün yayılı yük $w = 193 \text{ N/m}$, atalet momenti $I = 0,521 \times 10^{-6} \text{ m}^4$ ve yarı uzunluk $L = 2,00 \text{ metredir}$.

6.2. Lineer Değişen Elastisite Modülü Yöntemi

Çelik elemanın $x = 0$ ve $x = L$ noktaları arasında elastisite modülü değerlerinin lineer değiştiği varsayılmıştır. Bunun için,

$$E_x = E'(1 + \beta X) \quad (6.7)$$

$$X = \frac{x}{L} \quad (6.8)$$

şeklinde bir tanımlama yapılmıştır. Burada E_x elemanın X konumundaki elastisite modülü, E' elemanın uç noktasındaki elastisite modülü, β orta nokta ile uç nokta arasındaki elastisite modülü oranına bağlı bir katsayı, X ise boyutsuz uzunluktur.

Denklem (6.1)'de yer alan E ve x değerleri yerine Denklem (6.7) ve Denklem (6.8)'deki karşılıkları yazılıp, 0'dan L 'ye kadar integrali alınmış ve elemanın diğer parçası için 2 ile çarpılmıştır. İntegral alınırken değişken değiştirme yöntemi kullanılmıştır. Bu durumda, elemanın orta nokta sehim miktarını veren,

$$Y_{02} = \frac{wL^4}{E'I} \frac{1}{2\beta^4} \left(\frac{2}{3}\beta^3 - \frac{3}{2}\beta^2 - \beta + (2\beta+1) \ln(1+\beta) \right) \quad (6.9)$$

bağıntısı elde edilmiştir.

6.3. Sabit Öz Isı ve Sabit Isıl İletkenlik Durumu

Öz ısı ve ısı iletkenlik katsayısının sabit olarak kabul edildiği durumda, eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklık ve elastisite modülü değerlerine bağı olarak, eleman orta nokta sehım miktarları iki farklı yöntemle göre elde edilmiştir.

6.3.1. Avrupa standardına göre değişim

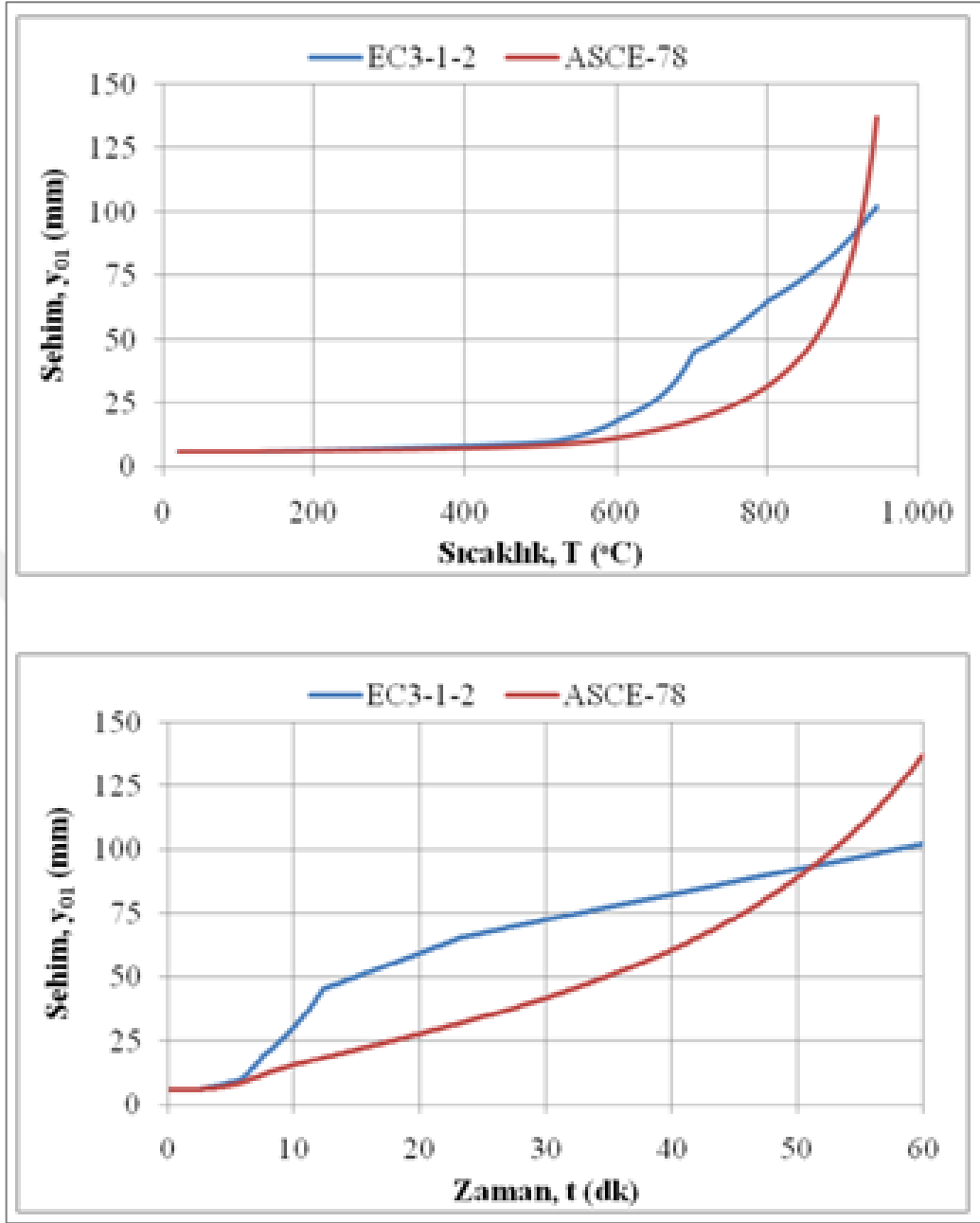
EC3-1-2 standardında yer alan bağıntılara göre hesaplanan elastisite modülü değerleri kullanılarak ortalama ve lineer yaklaşımlar için sehım miktarları hesaplanmıştır.

6.3.2. Amerikan standardına göre değişim

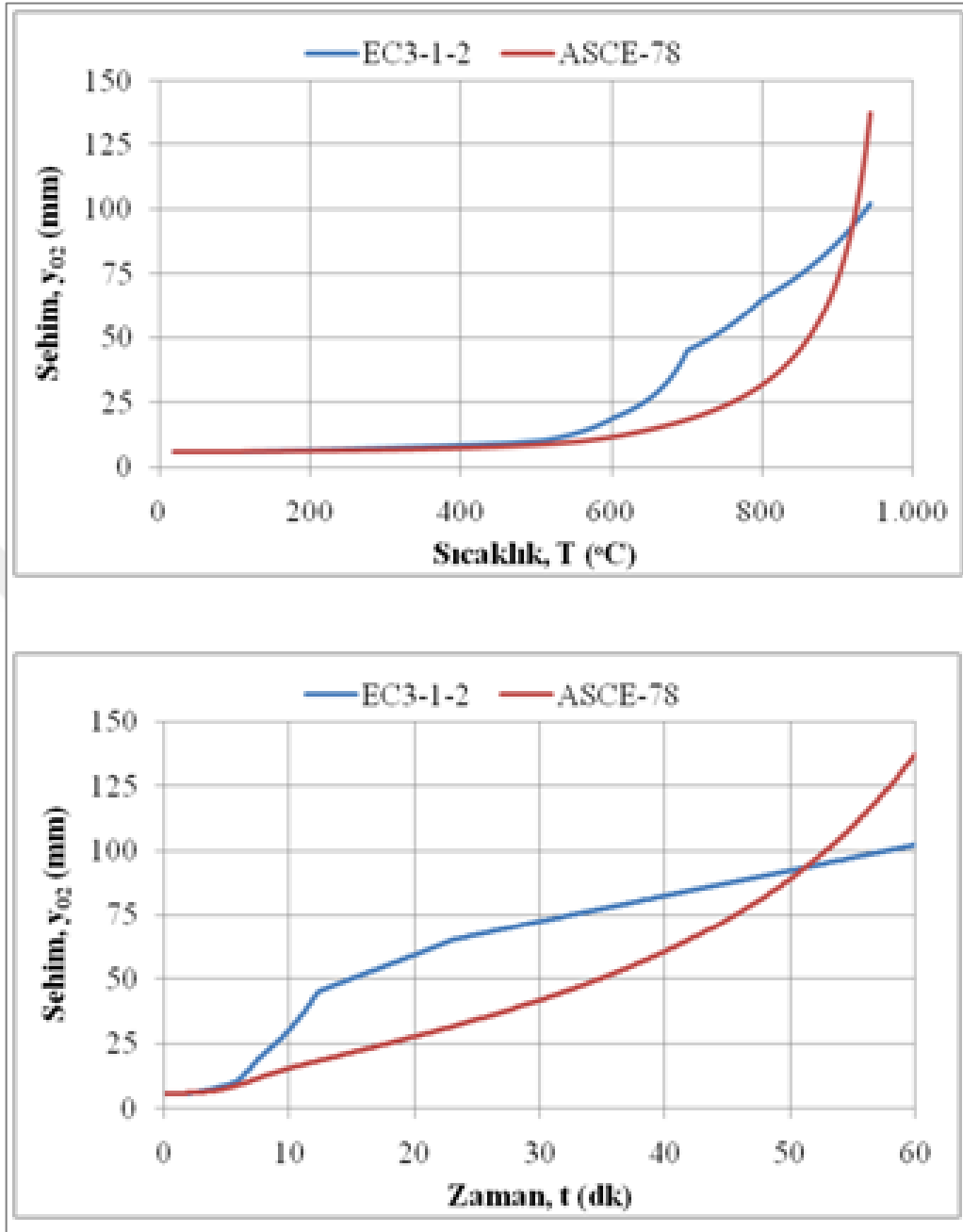
ASCE-78 standardında yer alan bağıntılara göre hesaplanan elastisite modülü değerleri kullanılarak ortalama ve lineer yaklaşımlar için sehım miktarları hesaplanmıştır.

ASCE-78 standardında yer alan elastisite modülü tanımlamaları 1000 °C ile sınırlandırıldığı için bu sıcaklık değerinden sonra elde edilen sehım değerleri gerçeğe çok uzak olduğu düşünölen sonuçlar vermektedir. Bu nedenle sonuçlar 60 dakika ile sınırlandırılmıştır.

İki farklı yöntem ile belirlenen sehım miktarları ve oda sıcaklığında, herhangi bir dış etki olmadan, meydana gelen sehım miktarına göre değişimleri Tablo 6.1'de verilmiştir. İki yöntemin birbiri ile tutarlı sonuçlar verdiği açıktır. ASCE-78 standardı, EC3-1-2'ye göre daha düşük sonuçlar vermesine karşın 50 dakikadan sonra yüksek değerlere ulaşmıştır.



Şekil 6.2. Ortalama Elastisite Modülü Yöntemi ile elde edilen açıklık ortası sehim miktarlarının sıcaklığa ve zamana bağlı değişimleri



Şekil 6.3. Lineer Değişen Elastisite Modülü Yöntemi ile elde edilen açıklık ortası sehim miktarlarının sıcaklığa ve zamana bağlı değişimleri

Tablo 6.1. Sabit öz ısı ve sabit ısıl iletkenlik durumu için elemanın sehım miktarları ve oda sıcaklığına göre oranları

t (dk)	EC3-1-2				ASCE-78			
	y ₀₁ (mm)	Oran	y ₀₂ (mm)	Oran	y ₀₁ (mm)	Oran	y ₀₂ (mm)	Oran
0	5,87		5,87		5,87		5,87	
1	5,87	1,00	5,87	1,00	5,89	1,00	5,90	1,01
2	5,87	1,00	5,94	1,01	5,99	1,02	6,01	1,02
3	6,56	1,12	6,70	1,14	6,25	1,07	6,32	1,08
4	7,61	1,30	7,79	1,33	6,80	1,16	6,92	1,18
5	8,88	1,51	9,06	1,54	7,71	1,31	7,89	1,34
10	30,3	5,16	30,5	5,20	15,5	2,64	15,5	2,65
20	59,4	10,16	59,4	10,13	27,8	4,73	27,8	4,73
30	72,5	12,35	72,5	12,35	41,9	7,14	41,9	7,14
60	102	17,42	102	17,42	137	23,40	137	23,41

6.4. Değişken Öz Isı ve Sabit Isıl İletkenlik Durumu

Öz ısının sıcaklığa bağılı değişim gösterdiği ve ısıl iletkenlik katsayısının sabit olduğu durumda, eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklık ve elastisite modülü değerlerine bağılı olarak, eleman orta nokta sehım miktarları iki farklı yöntemle göre elde edilmiştir.

6.4.1. Avrupa standardına göre değişim

EC3-1-2 standardında yer alan bağıntılara göre hesaplanan elastisite modülü değerleri kullanılarak ortalama ve lineer yaklaşımlar için sehım miktarları hesaplanmıştır.

6.4.2. Amerikan standardına göre değişim

ASCE-78 standardında yer alan bağıntılara göre hesaplanan elastisite modülü değerleri kullanılarak ortalama ve lineer yaklaşımlar için sehım miktarları hesaplanmıştır.

Tablo 6.2. Değişken öz ısı ve sabit ısı iletkenlik durumu için elemanın sehım miktarları ve oda sıcaklığına göre oranları

t (dk)	EC3-1-2				ASCE-78			
	y ₀₁ (mm)	Oran	y ₀₂ (mm)	Oran	y ₀₁ (mm)	Oran	y ₀₂ (mm)	Oran
0	5,87		5,87		5,87		5,87	
1	5,87	1,00	5,87	1,00	5,90	1,01	5,91	1,01
2	5,97	1,02	6,05	1,03	6,03	1,03	6,06	1,03
3	6,79	1,16	6,91	1,18	6,37	1,08	6,43	1,10
4	7,86	1,34	8,02	1,37	6,96	1,19	7,06	1,20
5	9,04	1,54	9,20	1,57	7,84	1,34	7,99	1,36
10	28,8	4,90	29,1	4,96	15,2	2,59	15,2	2,60
20	58,9	10,03	58,9	10,05	27,5	4,70	27,6	4,70
30	72,4	12,35	72,4	12,35	41,9	7,14	41,9	7,14
60	102	17,41	102	17,39	137	23,41	137	23,41

6.5. Sabit Öz Isı ve Değişken Isıl İletkenlik Durumu

Isıl iletkenliğin sıcaklığa bağılı değişim gösterdiği ve öz ısının sabit olduğu durumda, eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklık ve elastisite modülü değerlerine bağılı olarak, eleman orta nokta sehım miktarları iki farklı yöntemle elde edilmiştir.

6.5.1. Avrupa standardına göre değişim

EC3-1-2 standardında yer alan bağıntılara göre hesaplanan elastisite modülü değerleri kullanılarak ortalama ve lineer yaklaşımlar için sehım miktarları hesaplanmıştır.

6.5.2. Amerikan standardına göre değişim

ASCE-78 standardında yer alan bağıntılara göre hesaplanan elastisite modülü değerleri kullanılarak ortalama ve lineer yaklaşımlar için sehım miktarları hesaplanmıştır.

Tablo 6.3. Sabit öz ısı ve değişken ısı iletkenlik durumu için elemanın sehım miktarları ve oda sıcaklığına göre oranları

t (dk)	EC3-1-2				ASCE-78			
	y ₀₁ (mm)	Oran	y ₀₂ (mm)	Oran	y ₀₁ (mm)	Oran	y ₀₂ (mm)	Oran
0	5,87		5,87		5,87		5,87	
1	5,87	1,00	5,87	1,00	5,89	1,00	5,90	1,01
2	5,87	1,00	5,94	1,01	5,99	1,02	6,01	1,03
3	6,57	1,12	6,70	1,14	6,25	1,07	6,32	1,08
4	7,63	1,30	7,80	1,33	6,80	1,16	6,92	1,18
5	8,88	1,51	9,07	1,55	7,71	1,31	7,89	1,35
10	30,3	5,16	30,5	5,20	15,5	2,64	15,5	2,65
20	59,4	10,12	59,4	10,14	27,8	4,73	27,8	4,74
30	72,5	12,35	72,5	12,37	41,9	7,14	41,9	7,14
60	102	17,42	102	17,43	137	23,40	137	23,43

6.6. Değişken Öz ısı ve Değişken Isıl İletkenlik Durumu

Öz ısı ve ısı iletkenlik katsayısının sıcaklığa bağlı değişim gösterdiği durumda, eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklık ve elastisite modülü değerlerine bağlı olarak, eleman orta nokta sehım miktarları iki farklı yöntemle elde edilmiştir.

6.6.1. Avrupa standardına göre değişim

EC3-1-2 standardında yer alan bağıntılara göre hesaplanan elastisite modülü değerleri kullanılarak ortalama ve lineer yaklaşımlar için sehım miktarları hesaplanmıştır.

6.6.2. Amerikan standardına göre değişim

ASCE-78 standardında yer alan bağıntılara göre hesaplanan elastisite modülü değerleri kullanılarak ortalama ve lineer yaklaşımlar için sehım miktarları hesaplanmıştır.

Tablo 6.4. Değişken öz ısı ve değişken ısı iletkenlik durumu için elemanın sehım miktarları ve oda sıcaklığına göre oranları

t (dk)	EC3-1-2				ASCE-78			
	y ₀₁ (mm)	Değişim	y ₀₂ (mm)	Değişim	y ₀₁ (mm)	Değişim	y ₀₂ (mm)	Değişim
0	5,87		5,87		5,87		5,87	
1	5,87	1,00	5,87	1,00	5,90	1,01	5,91	1,01
2	5,98	1,02	6,05	1,03	6,03	1,03	6,06	1,03
3	6,80	1,16	6,91	1,18	6,37	1,09	6,43	1,10
4	7,87	1,34	8,02	1,37	6,96	1,19	7,07	1,20
5	9,04	1,54	9,20	1,57	7,83	1,33	7,99	1,36
10	28,7	4,89	29,1	4,95	15,2	2,58	15,2	2,60
20	58,8	10,03	58,9	10,04	27,5	4,69	27,6	4,70
30	72,4	12,35	72,4	12,35	41,9	7,14	41,9	7,14
60	102	17,41	102	17,42	137	23,41	137	23,41

6.7. Sehım Miktarlarının Karşılaştırılması

Termal özelliklerin sabit olduğu ve sıcaklığa bağlı değişken olarak kabul edildiği durumlarda sehım miktarları hesaplanmış ve sonuçlar verilmiştir. Sabit özellikler ile elde edilen sehım miktarlarına göre, sadece değişken öz ısı, sadece değişken ısı iletkenlik katsayısı ve hem değişken öz ısı hem değişken ısı iletkenlik katsayısı durumlarına göre iki farklı yöntem ve EC3-1-2 ve ASCE-78 standartları için belirlenen sehım miktarlarının yüzdesel değişimleri tanımlanmış ve Tablo 6.5, Tablo 6.6, Tablo 6.7 ve Tablo 6.8’de verilmiştir.

Tablo 6.5. EC3-1-2 standardı için termal parametrelere göre Ortalama Elastisite Modülü Yöntemi ile hesaplanan sehım miktarlarının yüzdesel değişimleri

t (dk)	y _{01ss}	y _{01ds}	Değişim	y _{01sd}	Değişim	y _{01da}	Değişim
0	5,87	5,87	0%	5,87	0%	5,87	0%
1	5,87	5,87	0%	5,87	0%	5,87	0%
2	5,87	5,97	2%	5,87	0%	5,98	2%
3	6,56	6,79	3%	6,57	0%	6,80	4%
4	7,61	7,86	3%	7,63	0%	7,87	3%
5	8,88	9,04	2%	8,88	0%	9,04	2%
10	30,3	28,8	-5%	30,3	0%	28,7	-5%
20	59,4	58,9	-1%	59,4	0%	58,8	-1%
30	72,5	72,4	0%	72,5	0%	72,4	0%
60	102	102	0%	102	0%	102	0%

Tablo 6.6. EC3-1-2 standardı için termal parametrelere göre Lineer Değişen Elastisite Modülü Yöntemi ile hesaplanan sehim miktarlarının yüzdesel değişimleri

t (dk)	y _{02ss}	y _{02ds}	Değişim	y _{02sd}	Değişim	y _{02dd}	Değişim
0	5,87	5,87	0%	5,87	0%	5,87	0%
1	5,87	5,87	0%	5,87	0%	5,87	0%
2	5,94	6,05	2%	5,94	0%	6,05	2%
3	6,70	6,91	3%	6,70	0%	6,91	3%
4	7,79	8,02	3%	7,80	0%	8,02	3%
5	9,06	9,20	1%	9,07	0%	9,20	2%
10	30,5	29,1	-5%	30,5	0%	29,1	-5%
20	59,4	58,9	-1%	59,4	0%	58,9	-1%
30	72,5	72,4	0%	72,5	0%	72,4	0%
60	102	102	0%	102	0%	102	0%

Tablolarda yer alan sehim miktarlarındaki alt indisler 25. sayfadaki dipnotta açıklanmıştır. EC3-1-2 standardına göre yangın etkisiyle artan ortam sıcaklığının, çelik elemanın termal özelliklerindeki değişimin eleman sehim miktarına etkisi incelenmiştir. Bu durum iki farklı yöntem için de irdelenmiştir. Öz ısının sıcaklığa bağlı değişken olması ile sabit olması durumuna göre en fazla değişimin %6 oranında olduğu saptanmıştır. Isıl iletkenlik katsayısının sıcaklığa bağlı değişken olmasının sehim miktarları üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Her iki parametrenin değişken olduğu durumda ise öz ısı parametresinin gösterdiği değişimler etkili olmuştur.

Tablo 6.7. ASCE-78 standardı için termal parametrelere göre Ortalama Elastisite Modülü Yöntemi ile hesaplanan sehim miktarlarının yüzdesel değişimleri

t (dk)	y _{01ss}	y _{01ds}	Değişim	y _{01sd}	Değişim	y _{01dd}	Değişim
0	5,87	5,87	0%	5,87	0%	5,87	0%
1	5,89	5,90	0%	5,89	0%	5,90	0%
2	5,99	6,03	1%	5,99	0%	6,03	1%
3	6,25	6,37	2%	6,25	0%	6,37	2%
4	6,80	6,96	2%	6,80	0%	6,96	2%
5	7,71	7,84	2%	7,71	0%	7,83	2%
10	15,5	15,2	-2%	15,5	0%	15,2	-2%
20	27,8	27,5	-1%	27,8	0%	27,5	-1%
30	41,9	41,9	0%	41,9	0%	41,9	0%
60	137	137	0%	137	0%	137	0%

Tablo 6.8. ASCE-78 standardı için termal parametrelere göre Lineer Değişen Elastisite Modülü Yöntemi ile hesaplanan sehim miktarlarının yüzdesel değişimleri

t (dk)	y_{02ss}	y_{02ds}	Değişim	y_{02sd}	Değişim	y_{02da}	Değişim
0	5,87	5,87	0%	5,87	0%	5,87	0%
1	5,90	5,91	0%	5,90	0%	5,91	0%
2	6,01	6,06	1%	6,01	0%	6,06	1%
3	6,32	6,43	2%	6,32	0%	6,43	2%
4	6,92	7,06	2%	6,92	0%	7,07	2%
5	7,89	7,99	1%	7,89	0%	7,99	1%
10	15,5	15,2	-2%	15,5	0%	15,2	-2%
20	27,8	27,6	-1%	27,8	0%	27,6	-1%
30	41,9	41,9	0%	41,9	0%	41,9	0%
60	137	137	0%	137	0%	137	0%

ASCE-78 standardına göre yangın etkisiyle artan ortam sıcaklığının, çelik elemanın termal özelliklerindeki değişimin eleman sehim miktarına etkisi incelenmiştir. Öz ısının ve ısı iletkenlik katsayısının sehim miktarı üzerinde her iki yöntem için de kayda değer bir etkisinin olmadığı saptanmıştır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada yangın nedeniyle artan ortam sıcaklığının etkisi sonucu, bir ucu basit diğer ucu hareketli mesnet ile mesnetlenmiş bir elemanın, üç boyutlu ve zamana bağlı olarak iletim ve taşınım mekanizmaları ile, kesit merkezinde olmak üzere, eleman boyunca belirlenen noktaların sıcaklık değerleri ve buna bağlı olarak termal ve mekanik özelliklerindeki değişimleri irdelenmiştir. Çalışmada, Avrupa Çelik Yönetmeliği Bölüm 3 Kısım 1-2 (EC3-1-2) ve Amerikan İnşaat Mühendisleri Topluluğu Kılavuzu No.78'de (ASCE-78) yer alan bağıntılar kullanılmıştır.

Öz ısı ve ısı iletkenlik katsayısının sıcaklığın bir fonksiyonu olarak değişmesi ile sabit olması durumları için ayrı sonuçlar elde edilmiştir. Öz ısı değişiminin, eleman sıcaklığı üzerinde etkisinin önemli olduğu görülmüştür. EC3-1-2 standardında yer alan tanımlamalar kullanılarak elde edilen öz ısı değerlerine bağlı olarak, açıklık ortasında ve kesit merkezinde yer alan nokta için ilk 5 dakika içinde sıcaklık değerlerinde %24 oranına kadar artış olmuştur. ASCE-78 standardına göre ise bu artış %27'ye kadar çıkmıştır ancak, yine değişimin etkili olduğu zaman aralığı ilk 5 dakikadır. Isıl iletkenlik katsayısı değişiminin, sabit olduğu duruma oranla her iki standart için de kayda değer bir değişim göstermediği sonucuna varılmıştır.

Elastisite modülünün eleman sıcaklığının artışına bağlı olarak değişimi, Avrupa ve Amerikan standartlarında yer alan bağıntılar kapsamında incelenmiş ve termal özelliklerin sabit ve değişken olması durumuna göre karşılaştırılmıştır. EC3-1-2 standardına göre elde edilen sıcaklık değişimi ile elde edilen elastisite modülü değerlerinde çok kısa bir süre içinde, oda sıcaklığındaki duruma göre, önemli azalmaların olduğu görülmüştür. Yangın başladıktan 5 dakika sonra %34 oranında, 10 dakika sonra %81 oranında ve 20 dakika sonra ise %90 oranında rijitlik kaybı söz konusudur. ASCE-78 standardında yer alan tanımlamalar gereği azalma daha yavaş gerçekleşse de, 5.dakikada %24, 10.dakikada %62 ve 20.dakikada %79 oranında kayıp vardır. Öz ısının değişken olarak hesaplara katılması ile elastisite modülü değerinde ilk 10 dakikalık sürede, EC3-1-2 için -%3 ile %6; ASCE-78 için -%2 ile

%3 arasında değişiklikler gerçekleşmiştir. Isıl iletkenlik katsayısının değişken olması kayda değer bir etki oluşturmamıştır.

Akma mukavemeti sıcaklığa bağlı bir fonksiyon olarak tanımlanmış ve oda sıcaklığındaki değerine göre değişimleri elde edilmiştir. Termal parametrelerin göz önüne alınması durumunda, EC3-1-2 ve ASCE-78 standartları kapsamında kullanılan bağıntılar ile elde edilen yüzdesel değişimler verilmiştir. EC3-1-2 standardına göre akma mukavemeti değerlerinde meydana gelen azalma ilk 5 dakikada %9, 10 dakikada %69 ve 20 dakikada %86 olarak belirlenmiştir. ASCE-78 standardında yer alan tanımlamalara göre ise 5.dakikada %35, 10.dakikada %73 ve 20.dakikada %86'dır. ASCE-78 standardına göre akma mukavemeti değerleri daha hızlı düşüş gösterse de sıcaklığın daha da artması ile benzer sonuçlara ulaşmıştır. EC3-1-2 standardı için öz ısının değişken olarak tanımlanması ile maksimum değişim %10 oranında olup 20 dakikadan sonra etkisini kaybetmiştir. ASCE-78 standardında ise bu oran %4'tür. Isıl iletkenlik katsayısının sıcaklığa bağlı değişken olması, akma mukavemeti için de bir değişime neden olmamıştır.

elik eleman, basit mesnet tipi ile mesnetlendiği için ilave gerilmelere neden olmadan serbest bir şekilde uzama deformasyonu gerçekleşmiştir. EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarında verilen zamana bağlı birim şekil değiştirme bağıntıları ile elde edilen birim şekil değiştirmeleri ve buna bağlı olarak uzama miktarları incelenmiştir. EC3-1-2 standardına göre yapılan tanımlamalar kapsamında 5.dakikada elemanda oluşan uzama miktarı 11,8 mm, 10.dakikada 19,0 mm ve 20.dakikada ise 22,0 mm'dir. ASCE-78 standardı için ise sonuçlar 5.dakikada 11,7 mm, 10.dakikada 18,9 mm ve 20.dakikada ise 22,9 mm olarak belirlenmiştir. İki standart için benzer sonuçlar elde edilmesine karşın 20.dakikadan sonra ASCE-78 standardına göre belirlenen miktarlar artmıştır. z ısının sıcaklığa bağlı değişken olması sabit olmasına göre, ilk 1 dakika içinde EC3-1-2 standardı için %42, ASCE-78 standardı için ise %46 daha fazla değer vermiştir. Buna rağmen 5 dakikadan sonra aynı değerler elde edilmiştir. Isıl iletkenlik katsayısının değişken olarak hesaplara katılması uzama miktarlarında kayda değer bir değişime neden olmamıştır.

elik elemanın, düzgün yayılı olarak tanımlanmış kendi ağırlığı altında orta nokta sehim miktarının hesaplanması için iki farklı yaklaşımlar kullanılmıştır. Uzamaların

sehime olan etkisi ihmal edilmiştir. EC3-1-2 ve ASCE-78 standartlarına göre belirlenen elastisite modülü değerleri kullanılmış ve termal parametrelerin sabit ve değişken olarak değerlendirilmesi ile sonuçlar karşılaştırılmıştır. Herhangi bir dış etki olmadan elde edilen sehim miktarı 5,87 mm'dir. EC3-1-2 standardı için, Ortalama Elastisite Modülü Yöntemi baz alındığında, 5 dakika sonra %51 oranında artış göstererek 8,88 mm, 10 dakika sonra %416 oranında artış göstererek 30,3 mm, 20 dakika sonra %913 oranında artış göstererek 59,4 mm değerlerine çıkmıştır. Lineer Elastisite Modülü Yönteminde ise bu değerler sırasıyla 9,06 mm, 30,5 mm ve 59,4 mm'dir. ASCE-78 standardı için birinci yönteme göre 5.dakikada %31 artış göstererek 7,71 mm, 10.dakikada %164 artış göstererek 15,5 mm, 20.dakikada %373 artış göstererek 27,8 mm olarak belirlenmiştir. İkinci yönteme göre ise bu değerler sırasıyla 7,89 mm, 15,5 mm ve 27,8 mm'dir. Öz ısının sıcaklığa bağlı değişim gösterdiği durumda, EC3-1-2 standardı için her iki yöntemde de sehim miktarındaki maksimum değişim %6 oranındadır. ASCE-78 standardı için ise yine her iki yöntemdeki maksimum değişim %3'tür. Isıl iletkenlik katsayısının sıcaklığa bağlı değişim göstermesi sehim miktarlarında bir değişime neden olmamıştır.

Özet olarak, yangın nedeniyle artan ortam sıcaklığının çelik elemanın malzeme özelliklerinde önemli değişimlerin olduğu belirlenmiştir. Elastisite modülü ve akma mukavemeti değerlerinin çok kısa bir sürede hızla azaldığı görülmüştür. Elemanda meydana gelen deformasyonların oda sıcaklığındaki miktarlarına oranla önemli ölçüde arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Öz ısının sıcaklığın bir fonksiyonu olarak değerlendirilmesi elde edilen değerler üzerinde etkili olurken, ısıl iletkenlik katsayısının sabit alınmasında bir sakınca görülmemiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Tama Y. S., Çelik Yapıların Yangına Karşı Korunması, *Türk Yapısal Çelik Derneği Yayını*, 2012.
- [2] European Committee for Standardization, *Design of Steel Structures - Part 1-2: General Rules - Structural Fire Design*, Brussels, 2005.
- [3] ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 78, Structural Fire Protection, *American Society of Civil Engineers*, New York.
- [4] Çengel Y. A., *Isı ve Kütle Transfer-Pratik Bir Yaklaşım*, 3. Baskı, İzmir Güven Kitabevi, İzmir, 2011.
- [5] Drysdale D., *An Introduction to Fire Dynamics*, 3. Baskı, John Wiley and Sons, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, 2011.
- [6] European Committee for Standardization, *Actions on Structures - Part 1-2: General Actions-Actions on Structures Exposed to Fire*, Brussels, 2002.
- [7] Franssen J. M., Vila Real P., *Fire Design of Steel Structures*, 2. Baskı, Ernst and Sohn, Multicomp Lda, Mem Martins, Portugal, 2015.
- [8] Kılıç A., Balık G., Çelik Yapı Elemanlarının Yangın Dayanım Sürelerinin Hesaplanması, *Yangın ve Güvenlik Sempozyumu ve Sergisi*, TÜYAK, 2011.
- [9] Li G., Wang P., *Advanced Analysis and Design for Fire Safety of Steel Structures*, Springer, 2013.
- [10] Kodur V., Dwaikat M., Fike R., High-Temperature Properties of Steel for Fire Resistance Modeling of Structures, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2010, **22**(5), 423-434.
- [11] Poh K. W., Stress-Strain-Temperature Relationship for Structural Steel, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2001, **13**(5), 371-379.
- [12] TÇY 2016, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara, Ağustos, 2016.
- [13] European Committee for Standardization, *Design of Steel Structures - Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings*, Brussels, 2005.
- [14] Choi I., Chung K., Kim D., Thermal and Mechanical Properties of High-Strength Structural Steel HSA800 at Elevated Temperatures, *Materials and Design*, 2014, **63**, 544-551.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Kalemci B., Okay F., Akpınar E., Çelik Yapı Elemanlarının Yangın Karşısındaki Mekanik Davranışı, *4. Uluslararası Mimarlık Mühendislik ve Tasarım Kongresi*, 23-24 Nisan, İstanbul, 2019.



ÖZGEÇMİŞ

2 Şubat 1994 tarihinde İstanbul'da doğdu. 2008 yılında Kartal Anadolu Lisesi'ni kazanıp, 2012 yılında mezun oldu. Aynı yıl Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. Not ortalamasının yeterliliği ile çift anadal programına katılmaya hak kazandı ve 2013 yılında Harita Mühendisliği Bölümü'ne girdi. Lisans eğitimini 2016 yılında tamamladı ve aynı yıl Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Fuad OKAY yönetiminde yüksek lisans çalışmasına başladı. Ayrıca, yine aynı yıl İstanbul'da özel bir inşaat firmasında teklif, ihale ve teknik ofis mühendisi olarak başladığı görevini halen sürdürmektedir.

