

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TELLÜRİT SİSTEMLERİN CAMLAŞMA DAVRANIŞLARININ, CAM
ÖZELLİKLERİNİN VE TERMOKROMİK DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Miray ÇELİKBİLEK

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı

EYLÜL 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TELLÜRİT SİSTEMLERİN CAMLAŞMA DAVRANIŞLARININ, CAM
ÖZELLİKLERİNİN VE TERMOKROMİK DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Miray ÇELİKBİLEK
(506092418)**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Süheyla AYDIN

EYLÜL 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü’nün 506092418 numaralı Doktora Öğrencisi **Miray ÇELİKBİLEK**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**TELLÜRİT SİSTEMLERİN CAMLAŞMA DAVRANIŞLARININ, CAM ÖZELLİKLERİNİN VE TERMOKROMİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Süheyla AYDIN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Gültekin GÖLLER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Gökhan ORHAN
İstanbul Üniversitesi

Prof. Dr. M. Lütfi ÖVEÇOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Cengiz KAYA
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **30 Temmuz 2013**
Savunma Tarihi : **18 Eylül 2013**

The trouble with the world is that the stupid are cocksure and the intelligent are full of doubt.

Dünyanın sorunu, akıllılar hep kuşku içindeyken aptalların küstahça kendilerinden emin olmalarıdır.

Bertrand Russell

ÖNSÖZ

Yüksek lisans ve doktora çalışmalarım süresince tüm kalbiyle paylaştığı sevgisi, hoşgörüsü ve ilgisi ile her zaman yanımda olarak destek, güven ve umut veren, çok kıymetli bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren, ilkelerini ve duruşunu örnek aldığım, öğrencisi olmaktan gurur duyduğum, emekleri için minnettar olduğum çok sevgili ve değerli hocam Prof. Dr. Süheyla AYDIN'a,

Çalışmalarım süresince sonsuz sabrı ve anlayışı ile beni dinleyen, değerli fikirleri ve tecrübesi ile bana yol gösteren çok sevgili ve değerli hocam Doç. Dr. Esra ZAYİM ÖZKAN'a,

Doktora çalışmalarım sırasında birlikte çalışma fırsatı bulduğum, değerli fikirlerini ve yardımlarını esirgemeyen İstanbul Üniversitesi Fizik Bölümü öğretim üyesi değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Saffettin YILDIRIM'a,

Tez izleme komitemde yer alarak tezime katkı sağlayan değerli hocalarım Prof. Dr. Gültekin GÖLLER ve Prof. Dr. Gökhan ORHAN'a,

Öğrencisi ve mezunu olmaktan dolayı her zaman mutluluk ve gurur duyacağım İstanbul Teknik Üniversitesi'ne,

Lisans öğreniminin başından bu yana üzerimdeki emekleri için minnettar olduğum tüm Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine,

10 yıl boyunca İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği çatısı altında yaşamın önemli bir kısmını paylaştığım, hiçbir zaman samimiyetlerini ve yardımlarını esirgemeyen tüm Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü araştırma görevlileri, personeli ve öğrencilerine,

Doktora tez çalışmalarım süresince birlikte keyifle çalıştığım, yardımına ihtiyaç duyduğum hiçbir zaman ilgi ve desteğini eksik etmeyen çok sevgili ve değerli arkadaşım Yüksek Mühendis Duygu GÜLDİREN'e, sonsuz öğrenme merakı ve parlak fikirleri ile her zaman yardıma hazır olduğunu bildiğim çok sevgili ve değerli arkadaşım Yüksek Mühendis Kutlu Berkay KAVAKLIOĞLU'na ve tez çalışmalarım süresince Termodinamik ve Kinetik Araştırma grubunda yer alan tüm değerli arkadaşlarıma,

Doktora çalışmalarım sırasında 108M077 ve 111M236 no'lu projeler kapsamında sağladığı maddi destekten ötürü TÜBİTAK'a,

Varlıklarının hayattaki en büyük şansım olduğuna inandığım, verdikleri sonsuz sevgi ve emek için minnettar olduğum, her konudaki desteklerini ve bana olan güvenlerini tüm kalbimle hissettiğim, hayattaki duruşlarını hayranlıkla örnek aldığım, gurur duyduğum çok sevgili ve değerli annem, babam, kardeşim ve kocaman ailemin tüm fertlerine.

Son olarak, sanki geleceği bize göstermek istercesine sıradışı bir şekilde henüz lisans eğitiminin ikinci yılında tanıştığım, hiç istemeyerek aynı grupta ve aynı ofiste çalışmaya başladığım, yıllarca anlaşılamamak için elimden geleni yaptığım, zaman içinde birlikte düşünmeye, öğrenmeye ve üretmeye başladığım, önce çalışma arkadaşı sonra dost olmayı birlikte başardığım, doktora tezim süresince hep yanımda olarak bana en büyük desteği veren, rotamı belirlememe yardım eden, bitmek bilmeyen heyecanım ve telaşımla yılmadan savaşılan, yaşadığı hergün öğrenmek ve kendini geliştirmek isteyecek kadar kendine saygılı, kendinin ve başkalarının başına gelen iyi ve kötü herşeyi farkedecek kadar duyarlı ve doğru yorumlayacak kadar akıllı, üzülecek, kızılacak ve hırslanacak herşeyi doğru seçecek kadar olgun ve vicdanlı, hiç vazgeçmeden hep daha iyisi için çalışacak kadar çalışkan ve sabırlı olan, hiçbir zaman kaybetmediğı cesareti ve kararlılığı ile birlikte oldukça aşamayacağımız engel ve başaramayacağımız hedef olmadığına ve inanmamak için inat ettiğim diğer herşeye beni inandıran, iki kişilik kocaman grubumuzun bilge adamı, çok sevdiğim, güvendiğim ve inandığım Dr. Ali Erçin ERSUNDU'ya,

sonsuz teşekkür ederim...

Temmuz 2013

Miray ÇELİKBİLEK
(Metalurji ve Malzeme
Yüksek Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxxi
ÖZET.....	xxxix
SUMMARY.....	xli
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2. TEORİK BİLGİ.....	5
2.1 Işık ve Renk.....	5
2.2 Kromizm.....	11
2.2.1 Fotokromizm.....	11
2.2.2 Elektrokromizm.....	12
2.2.3 Solvatokromizm.....	13
2.2.4 Mekanokromizm.....	14
2.2.5 İyonokromizm.....	14
2.2.6 Termokromizm.....	15
2.3 Camlarda Termokromizm.....	17
2.4 Yarı İletken Özellik Gösteren Camlarda Renklenme.....	20
2.5 Cam.....	24
2.6 Tellürit Camlar.....	27
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	35
3.1 Numunelerin Hazırlanması.....	35
3.2 Cam Numunelerin Isıl İncelenmesi.....	37
3.3 Cam Numunelerin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi.....	38
3.4 Cam Numunelerin Kinetik İncelenmesi.....	41
3.5 Cam Numunelerin Isı Kapasitesi Ölçümleri.....	46
3.6 Cam Numunelerin Faz Karakterizasyonu.....	47
3.7 Cam Numunelerin Yapısal İncelenmesi.....	47
3.8 Cam Numunelerin Optik İncelenmesi.....	48
3.9 Cam Numunelerin Elektriksel İncelenmesi.....	49
3.10 Cam Numunelerin Sıcaklığa Bağlı Spektroskopik İncelenmesi.....	52
4. DENEYSEL SONUÇLAR.....	55
4.1 TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O Sistemi.....	55
4.1.1 0,90TeO ₂ -0,05WO ₃ -0,05Li ₂ O (T90W5L5) numunesi.....	55
4.1.2 0,80TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,10Li ₂ O (T80W10L10) numunesi.....	60
4.1.3 0,70TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,10Li ₂ O (T70W20L10) numunesi.....	67
4.1.4 0,70TeO ₂ -0,15WO ₃ -0,15Li ₂ O (T70W15L15) numunesi.....	69
4.1.5 0,70TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,20Li ₂ O (T70W10L20) numunesi.....	71
4.1.6 0,60TeO ₂ -0,30WO ₃ -0,10Li ₂ O (T60W30L10) numunesi.....	74

4.1.7	0,60TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,20Li ₂ O (T60W20L20)	numunesi	75
4.1.8	0,60TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,30Li ₂ O (T60W10L30)	numunesi	77
4.1.9	0,50TeO ₂ -0,40WO ₃ -0,10Li ₂ O (T50W40L10)	numunesi	78
4.1.10	0,50TeO ₂ -0,25WO ₃ -0,25 Li ₂ O (T50W25L25)	numunesi	78
4.1.11	0,50TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,40Li ₂ O (T50W10L40)	numunesi	85
4.1.12	0,40TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,10Li ₂ O (T40W50L10)	numunesi	85
4.1.13	0,40TeO ₂ -0,40WO ₃ -0,20Li ₂ O (T40W40L20)	numunesi	85
4.1.14	0,40TeO ₂ -0,30WO ₃ -0,30Li ₂ O (T40W30L30)	numunesi	86
4.1.15	0,40TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,40Li ₂ O (T40W20L40)	numunesi	88
4.1.16	0,40TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,50Li ₂ O (T40W10L50)	numunesi	89
4.1.17	0,30TeO ₂ -0,60WO ₃ -0,10Li ₂ O (T30W60L10)	numunesi	89
4.1.18	0,30TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,20Li ₂ O (T30W50L20)	numunesi	90
4.1.19	0,30TeO ₂ -0,35WO ₃ -0,35Li ₂ O (T30W35L35)	numunesi	90
4.1.20	0,30TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,50Li ₂ O (T30W20L50)	numunesi	92
4.1.21	0,20TeO ₂ -0,60WO ₃ -0,20Li ₂ O (T20W60L20)	numunesi	92
4.1.22	0,20TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,30Li ₂ O (T20W50L30)	numunesi	92
4.1.23	0,20TeO ₂ -0,40WO ₃ -0,40Li ₂ O (T20W40L40)	numunesi	93
4.1.24	0,20TeO ₂ -0,30WO ₃ -0,50Li ₂ O (T20W30L50)	numunesi	93
4.1.25	0,10TeO ₂ -0,60WO ₃ -0,30Li ₂ O (T10W60L30)	numunesi	94
4.1.26	0,10TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,40Li ₂ O (T10W50L40)	numunesi	94
4.1.27	0,10TeO ₂ -0,45WO ₃ -0,45Li ₂ O (T10W45L45)	numunesi	94
4.2	TeO ₂ -WO ₃ -N ₂ O Sistemi.....		94
4.2.1	0,90TeO ₂ -0,05WO ₃ -0,05Na ₂ O (T90W5N5)	numunesi.....	94
4.2.2	0,80TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,10Na ₂ O (T80W10N10)	numunesi.....	99
4.2.3	0,70TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,10Na ₂ O (T70W20N10)	numunesi.....	106
4.2.4	0,70TeO ₂ -0,15WO ₃ -0,15Na ₂ O (T70W15N15)	numunesi.....	108
4.2.5	0,70TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,20Na ₂ O (T70W10N20)	numunesi.....	110
4.2.6	0,60TeO ₂ -0,30WO ₃ -0,10Na ₂ O (T60W30N10)	numunesi.....	113
4.2.7	0,60TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,20Na ₂ O (T60W20N20)	numunesi.....	114
4.2.8	0,60TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,30Na ₂ O (T60W10N30)	numunesi.....	116
4.2.9	0,50TeO ₂ -0,40WO ₃ -0,10Na ₂ O (T50W40N10)	numunesi.....	117
4.2.10	0,50TeO ₂ -0,30WO ₃ -0,20Na ₂ O (T50W30N20)	numunesi.....	118
4.2.11	0,50TeO ₂ -0,25WO ₃ -0,25 Na ₂ O (T50W25N25)	numunesi.....	119
4.2.12	0,50TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,30Na ₂ O (T50W20N30)	numunesi.....	126
4.2.13	0,50TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,40Na ₂ O (T50W10N40)	numunesi.....	127
4.2.14	0,40TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,10Na ₂ O (T40W50N10)	numunesi.....	128
4.2.15	0,40TeO ₂ -0,40WO ₃ -0,20Na ₂ O (T40W40N20)	numunesi.....	128
4.2.16	0,40TeO ₂ -0,30WO ₃ -0,30Na ₂ O (T40W30N30)	numunesi.....	129
4.2.17	0,40TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,40Na ₂ O (T40W20N40)	numunesi.....	132
4.2.18	0,40TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,50Na ₂ O (T40W10N50)	numunesi.....	133
4.2.19	0,30TeO ₂ -0,60WO ₃ -0,10Na ₂ O (T30W60N10)	numunesi.....	133
4.2.20	0,30TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,20Na ₂ O (T30W50N20)	numunesi.....	133
4.2.21	0,30TeO ₂ -0,40WO ₃ -0,30Na ₂ O (T30W40N30)	numunesi.....	134
4.2.22	0,30TeO ₂ -0,35WO ₃ -0,35Na ₂ O (T30W35N35)	numunesi.....	135
4.2.23	0,30TeO ₂ -0,30WO ₃ -0,40Na ₂ O (T30W30N40)	numunesi.....	138
4.2.24	0,30TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,50Na ₂ O (T30W20N50)	numunesi.....	139
4.2.25	0,20TeO ₂ -0,60WO ₃ -0,20Na ₂ O (T20W60N20)	numunesi.....	139
4.2.26	0,20TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,30Na ₂ O (T20W50N30)	numunesi.....	139
4.2.27	0,20TeO ₂ -0,40WO ₃ -0,40Na ₂ O (T20W40N40)	numunesi.....	140
4.2.28	0,20TeO ₂ -0,30WO ₃ -0,50Na ₂ O (T20W30N50)	numunesi.....	142

4.2.29 0,10TeO ₂ -0,60WO ₃ -0,30Na ₂ O (T10W60N30) numunesi	143
4.2.30 0,10TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,40Na ₂ O (T10W50N40) numunesi	143
4.2.31 0,10TeO ₂ -0,45WO ₃ -0,45Na ₂ O (T10W45N45) numunesi	144
4.3 TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O Sistemi	144
4.3.1 0,90TeO ₂ -0,05WO ₃ -0,05K ₂ O (T90W5K5) numunesi.....	144
4.3.2 0,80TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,10K ₂ O (T80W10K10) numunesi.....	149
4.3.3 0,70TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,10K ₂ O (T70W20K10) numunesi.....	156
4.3.4 0,70TeO ₂ -0,15WO ₃ -0,15K ₂ O (T70W15K15) numunesi.....	159
4.3.5 0,70TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,20K ₂ O (T70W10K20) numunesi.....	161
4.3.6 0,60TeO ₂ -0,30WO ₃ -0,10K ₂ O (T60W30K10) numunesi.....	163
4.3.7 0,60TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,20K ₂ O (T60W20K20) numunesi.....	164
4.3.8 0,60TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,30K ₂ O (T60W10K30) numunesi.....	166
4.3.9 0,50TeO ₂ -0,40WO ₃ -0,10K ₂ O (T50W40K10) numunesi.....	167
4.3.10 0,50TeO ₂ -0,30WO ₃ -0,20K ₂ O (T50W30K20) numunesi.....	167
4.3.11 0,50TeO ₂ -0,25WO ₃ -0,25 K ₂ O (T50W25K25) numunesi.....	169
4.3.12 0,50TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,30K ₂ O (T50W20K30) numunesi.....	175
4.3.13 0,50TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,40K ₂ O (T50W10L40) numunesi.....	176
4.3.14 0,40TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,10K ₂ O (T40W50K10) numunesi.....	176
4.3.15 0,40TeO ₂ -0,40WO ₃ -0,20K ₂ O (T40W40K20) numunesi.....	176
4.3.16 0,40TeO ₂ -0,30WO ₃ -0,30K ₂ O (T40W30K30) numunesi.....	177
4.3.17 0,40TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,40K ₂ O (T40W20K40) numunesi.....	179
4.3.18 0,40TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,50K ₂ O (T40W10K50) numunesi.....	179
4.3.19 0,30TeO ₂ -0,60WO ₃ -0,10K ₂ O (T30W60K10) numunesi.....	179
4.3.20 0,30TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,20K ₂ O (T30W50K20) numunesi.....	180
4.3.21 0,30TeO ₂ -0,40WO ₃ -0,30K ₂ O (T30W40K30) numunesi.....	181
4.3.22 0,30TeO ₂ -0,35WO ₃ -0,35K ₂ O (T30W35K35) numunesi.....	182
4.3.23 0,20TeO ₂ -0,60WO ₃ -0,20K ₂ O (T20W60K20) numunesi.....	182
4.3.24 0,20TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,30K ₂ O (T20W50K30) numunesi.....	182
4.3.25 0,20TeO ₂ -0,40WO ₃ -0,40K ₂ O (T20W40K40) numunesi.....	183
4.3.26 0,10TeO ₂ -0,60WO ₃ -0,30K ₂ O (T10W60K30) numunesi.....	183
4.3.27 0,10TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,40K ₂ O (T10W50K40) numunesi.....	184
5. DENEYSEL SONUÇLARIN YORUMLANMASI.....	185
5.1 Camlaşma Davranışı ve Cam Özellikleri	185
5.1.1 TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O sisteminin camlaşma davranışı ve cam özellikleri	185
5.1.1.1 TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O sisteminin camlaşma davranışı	185
5.1.1.2 TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O camlarının ısı özelliklerinin incelenmesi	187
5.1.1.3 TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O camlarının fiziksel özelliklerinin incelenmesi.....	190
5.1.1.4 TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O camlarının kinetik incelenmesi	192
5.1.1.5 TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O camlarının ısı kapasitesi ölçümleri	196
5.1.1.6 TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O camlarının yapısal incelenmesi.....	198
5.1.1.7 TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O camlarının optik incelenmesi.....	202
5.1.1.8 TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O camlarının elektriksel özelliklerinin incelenmesi	202
5.1.2 TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O sisteminin camlaşma davranışı ve cam özellikleri	203
5.1.2.1 TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O sisteminin camlaşma davranışı	204
5.1.2.2 TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O camlarının ısı özelliklerinin incelenmesi	206
5.1.2.3 TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O camlarının fiziksel özelliklerinin incelenmesi.....	209
5.1.2.4 TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O camlarının kinetik incelenmesi	211
5.1.2.5 TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O camlarının ısı kapasitesi ölçümleri	215
5.1.2.6 TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O camlarının yapısal incelenmesi.....	217
5.1.2.7 TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O camlarının optik incelenmesi.....	221

5.1.2.8 TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O camlarının elektriksel özelliklerinin incelenmesi	222
5.1.3 TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O sisteminin camlaşma davranışı ve cam özellikleri.....	223
5.1.3.1 TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O sisteminin camlaşma davranışı	223
5.1.3.2 TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O camlarının ısı özelliklerinin incelenmesi.....	225
5.1.3.3 TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O camlarının fiziksel özelliklerinin incelenmesi.....	228
5.1.3.4 TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O camlarının kinetik incelenmesi	230
5.1.3.5 TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O camlarının ısı kapasitesi ölçümleri.....	234
5.1.3.6 TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O camlarının yapısal incelenmesi	236
5.1.3.7 TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O camlarının optik incelenmesi.....	240
5.1.3.8 TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O camlarının elektriksel özelliklerinin incelenmesi .	240
5.2 Termokromik Davranış ve Camların Termokromik Özellikleri.....	241
5.2.1 TeO ₂ -WO ₃ -A ₂ O (A: Li, Na, K) camlarının sıcaklığa bağlı spektroskopik incelenmesi.....	242
5.2.1.1 TeO ₂ -WO ₃ -A ₂ O camlarının görünür bölgede sıcaklığa bağlı spektroskopik incelenmesi	243
5.2.1.2 TeO ₂ -WO ₃ -A ₂ O camlarının kızılötesi bölgede sıcaklığa bağlı spektroskopik incelenmesi	251
5.2.2 TeO ₂ -WO ₃ -A ₂ O camlarının sıcaklığa bağlı elektriksel incelenmesi	253
6. SONUÇLAR	255
KAYNAKLAR.....	263
EKLER	273
ÖZGEÇMİŞ.....	285

KISALTMALAR

C	: C parametresi (kinetik incelemeler)
C_p	: ısı kapasitesi
C_{pg}	: cam ısı kapasitesi
C_{pl}	: aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi
C_{pl}/C_{pg}	: oransal ısı kapasitesi
C.F.O	: Cohen-Fritzsche-Ovshinsky
DTA	: diferansiyel termal analiz
DSC	: diferansiyel taramalı kalorimetre
ΔT	: cam kararlılık değeri
ΔH^*	: cam geçiş aktivasyon entalpisi
ΔH_η	: viskozite aktivasyon enerjisi
ΔT_g	: cam geçiş bölgesi genişliği
ΔC_p	: ısı kapasitesi değişimi
e^C	: viskozite azalma faktörü
E	: foton enerjisi
E_A	: iletkenlik aktivasyon enerjisi
E_c	: iletim bandı
E_v	: valans bandı
E_g	: cam geçiş aktivasyon enerjisi (ısıl incelemeler)
E_g	: bant aralığı enerjisi (elektiriksel incelemeler)
E_{opt}	: optik bant aralığı enerjisi
FTIR	: Fourier kızıl ötesi spektroskopisi
I_A	: soğurulan ışık
I_R	: yansıyan ışık
I_S	: saçılan ışık
I_T	: geçen ışık
I_0	: gelen ışık
M_{cam}	: camın molekül ağırlığı
M_i	: her bir i bileşeninin molekül ağırlığı
n_b	: birim hacimdeki bağ sayısı
n_c	: katyon çapraz bağlanma yoğunluğu
$\bar{n}_c$	: ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu
n_i	: her bir oksitteki oksijen atomu sayısı
n_f	: katyon koordinasyon sayısı
N_c	: cam bileşimindeki katyon sayısı
OPD	: oksijen paketlenme yoğunluğu
r_A	: katyon iyonik yarıçapı
r_O	: anyon iyonik yarıçapı
qH	: ısıtma hızı
qC	: soğutma hızı
T_g	: cam geçiş sıcaklığı
T_g	: cam geçiş sonlanma sıcaklığı
T_c	: ekzotermik pik onset sıcaklığı

T_p	: ekzotermik pik sıcaklığı
T_{mo}	: endotermik pik onset sıcaklığı
T_{mp}	: endotermik pik sıcaklığı
tbp	: Üçgensel çift piramit (trigonal bipyramid)
tp	: Üçgensel piramit (trigonal pyramid)
UV-Vis	: morötesi ve görünür bölge
V_t	: paketlenme yoğunluğu
V_i	: paketleme faktörü
V_O	: işgal edilen spesifik hacim
V_F	: serbest hacim
V_M	: molar hacim
V_O	: oksijen molar hacim
V_{cam}	: camın hacmi
W_{hava}	: camın havadaki ağırlığı
W_{su}	: camın sudaki ağırlığı
XRD	: X-ışınları difraksiyonu
x_i	: i bileşeninin molar oranı

SEMBOL LİSTESİ

A	: alan
α	: soğurma katsayısı
β	: ısıtma hızı
c	: ışık hızı
C	: toplam oksijen atomu sayısı (fiziksel özelliklerin incelenmesi)
C	: kapasitans (elektriksel incelemeler)
d	: kalınlık
ε	: dielektrik sabiti
ε_0	: boşluğun dielektrik sabiti
h	: Planck sabiti
$\hbar\omega$	: foton enerjisi
K_B	: Boltzman sabiti
λ	: dalga boyu
M	: molekül ağırlığı
m	: kırılma parametresi
μ_{cal}	: Poisson oranı
N_A	: Avogadro sayısı
η	: viskozite
p	: soğurmadan sorumlu elektronik geçiş katsayısı
R	: gaz sabiti
ρ	: özdirenç (elektriksel incelemeler)
ρ	: yoğunluk (fiziksel özelliklerin incelenmesi)
ρ_{teorik}	: teorik yoğunluk
σ	: elektriksel iletkenlik
V	: spesifik hacim (fiziksel özelliklerin incelenmesi)
V	: gerilim (elektriksel incelemeler)
ν	: frekans
ω	: açısal frekans

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Nassau yaklaşımına göre renk oluşum mekanizmaları.	8
Çizelge 2.2 : Kromizm türleri.	10
Çizelge 2.3 : α -TeO ₂ ve β -TeO ₂ yapısındaki bileşenlerin birbirlerine olan mesafeleri ve bağlar arası açıları.	28
Çizelge 2.4 : α -TeO ₂ , β -TeO ₂ ve tellürit camların alabilecekleri koordinasyon sayıları.	30
Çizelge 2.5 : Farklı cam sistemlerin optik ve fiziksel özellikler açısından karşılaştırılması	32
Çizelge 3.1 : Deneysel çalışmalarda kullanılan oksit bileşenlerin genel özellikleri.	36
Çizelge 4.1 : T90W5L5 numunesinin DTA verileri.....	56
Çizelge 4.2 : T90W5L5 numunesinin DSC verileri.	57
Çizelge 4.3 : T90W5L5 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	57
Çizelge 4.4 : T90W5L5 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.....	58
Çizelge 4.5 : T90W5L5 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri....	60
Çizelge 4.6 : T80W10L10 numunesinin DSC verileri.	60
Çizelge 4.7 : T80W10L10 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	61
Çizelge 4.8 : T80W10L10 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.....	62
Çizelge 4.9 : T80W10L10 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.	62
Çizelge 4.10 : T80W10L10 camının soğurma sınırı değerleri ve sıcaklığa bağlı ötelenme oranı değerleri.	65
Çizelge 4.11 : T80W10L10 camının sıcaklığa bağlı bant aralığı enerji değerleri.	65
Çizelge 4.12 : T80W10L10 camının öz direnç, ρ , iletkenlik, σ , dielektrik sabiti, ϵ ve iletkenlik aktivasyon enerjisi, E_A değerleri.	67

Çizelge 4.13 :	T70W20L10 numunesinin DSC verileri.....	67
Çizelge 4.14 :	T70W20L10 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	68
Çizelge 4.15 :	T70W20L10 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.	68
Çizelge 4.16 :	T70W20L10 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.....	69
Çizelge 4.17 :	T70W15L15 numunesinin DSC verileri.....	70
Çizelge 4.18 :	T70W15L15 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	70
Çizelge 4.19 :	T70W15L15 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.	71
Çizelge 4.20 :	T70W15L15 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.....	71
Çizelge 4.21 :	T70W10L20 numunesinin DSC verileri.....	72
Çizelge 4.22 :	T70W10L20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	72
Çizelge 4.23 :	T70W10L20 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.	73
Çizelge 4.24 :	T70W10L20 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.....	73
Çizelge 4.25 :	T60W30L10 numunesinin DSC verileri.....	74
Çizelge 4.26 :	T60W30L10 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	75
Çizelge 4.27 :	T60W20L20 numunesinin DSC verileri.....	75
Çizelge 4.28 :	T60W20L20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama	

	çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	76
Çizelge 4.29 :	T60W20L20 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.	76
Çizelge 4.30 :	T60W20L20 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.	77
Çizelge 4.31 :	T60W10L30 numunesinin DSC verileri.	77
Çizelge 4.32 :	T60W10L30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	78
Çizelge 4.33 :	T50W25L25 numunesinin DSC verileri.	78
Çizelge 4.34 :	T50W25L25 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	79
Çizelge 4.35 :	T50W25L25 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.	79
Çizelge 4.36 :	T50W25L25 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.	80
Çizelge 4.37 :	T50W25L25 camının soğurma sınırı değerleri ve sıcaklığa bağlı ötelenme oranı değerleri.	82
Çizelge 4.38 :	T50W25L25 camının sıcaklığa bağlı bant aralığı enerji değerleri.	82
Çizelge 4.39 :	T50W25L25 camının öz direnç, ρ , iletkenlik, σ ve iletkenlik aktivasyon enerjisi, E_A değerleri.	84
Çizelge 4.40 :	T40W40L20 numunesinin DSC verileri.	86
Çizelge 4.41 :	T40W40L20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	86
Çizelge 4.42 :	T40W30L30 numunesinin DSC verileri.	87
Çizelge 4.43 :	T40W30L30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	87
Çizelge 4.44 :	T40W30L30 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.	88

Çizelge 4.45 : T40W30L30 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.....	88
Çizelge 4.46 : T40W20L40 numunesinin DSC verileri.....	88
Çizelge 4.47 : T40W20L40 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	89
Çizelge 4.48 : T30W35L35 numunesinin DSC verileri.....	90
Çizelge 4.49 : T30W35L35 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	91
Çizelge 4.50 : T30W35L35 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.	91
Çizelge 4.51 : T30W35L35 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.....	92
Çizelge 4.52 : T20W50L30 numunesinin DSC verileri.....	92
Çizelge 4.53 : T20W50L30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	93
Çizelge 4.54 : T90W5N5 numunesinin DTA verileri.....	95
Çizelge 4.55 : T90W5N5 numunesinin DSC verileri.	96
Çizelge 4.56 : T90W5N5 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	97
Çizelge 4.57 : T90W5N5 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.	98
Çizelge 4.58 : T90W5N5 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.....	99
Çizelge 4.59 : T80W10N10 numunesinin DSC verileri.	99
Çizelge 4.60 : T80W10N10 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	100

Çizelge 4.61 : T80W10N10 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.	100
Çizelge 4.62 : T80W10N10 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.	101
Çizelge 4.63 : T80W10N10 camının soğurma sınırı değerleri ve sıcaklığa bağlı ötelenme oranı değerleri.	103
Çizelge 4.64 : T80W10N10 camının sıcaklığa bağlı bant aralığı enerji değerleri.	104
Çizelge 4.65 : T80W10N10 camının öz direnç, ρ , iletkenlik, σ , dielektrik sabiti, ϵ ve iletkenlik aktivasyon enerjisi, E_A değerleri.	105
Çizelge 4.66 : T70W20N10 numunesinin DSC verileri.	107
Çizelge 4.67 : T70W20N10 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	107
Çizelge 4.68 : T70W20N10 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.	107
Çizelge 4.69 : T70W20N10 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.	108
Çizelge 4.70 : T70W15N15 numunesinin DSC verileri.	108
Çizelge 4.71 : T70W15N15 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	109
Çizelge 4.72 : T70W15N15 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.	109
Çizelge 4.73 : T70W15N15 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.	110
Çizelge 4.74 : T70W10N20 numunesinin DSC verileri.	111
Çizelge 4.75 : T70W10N20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	111

Çizelge 4.76 : T70W10N20 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.....	112
Çizelge 4.77 : T70W10N20 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.....	112
Çizelge 4.78 : T60W30N10 numunesinin DSC verileri.	113
Çizelge 4.79 : T60W30N10 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	114
Çizelge 4.80 : T60W20N20 numunesinin DSC verileri.	114
Çizelge 4.81 : T60W20N20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	115
Çizelge 4.82 : T60W20N20 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.....	115
Çizelge 4.83 : T60W20N20 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.....	116
Çizelge 4.84 : T60W10N30 numunesinin DSC verileri.	117
Çizelge 4.85 : T60W10N30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	117
Çizelge 4.86 : T50W40N10 numunesinin DSC verileri.	117
Çizelge 4.87 : T50W40N10 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	118
Çizelge 4.88 : T50W30N20 numunesinin DSC verileri.	119
Çizelge 4.89 : T50W30N20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	119
Çizelge 4.90 : T50W25N25 numunesinin DSC verileri.	120
Çizelge 4.91 : T50W25N25 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	120

Çizelge 4.92 : T50W25N25 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.	121
Çizelge 4.93 : T50W25N25 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.	121
Çizelge 4.94 : T50W25N25 camının soğurma sınırı değerleri ve sıcaklığa bağlı ötelenme oranı değerleri.	123
Çizelge 4.95 : T50W25N25 camının sıcaklığa bağlı bant aralığı enerji değerleri...	123
Çizelge 4.96 : T50W25N25 camının öz direnç, ρ , iletkenlik, σ ve iletkenlik aktivasyon enerjisi, E_A değerleri.	125
Çizelge 4.97 : T50W20N30 numunesinin DSC verileri.	126
Çizelge 4.98 : T50W20N30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	127
Çizelge 4.99 : T50W10N40 numunesinin DSC verileri.	128
Çizelge 4.100 : T50W10N40 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	128
Çizelge 4.101 : T40W40N20 numunesinin DSC verileri.	129
Çizelge 4.102 : T40W40N20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	129
Çizelge 4.103 : T40W30N30 numunesinin DSC verileri.	130
Çizelge 4.104 : T40W30N30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	130
Çizelge 4.105 : T40W30N30 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.	131
Çizelge 4.106 : T40W30N30 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.	131
Çizelge 4.107 : T40W20N40 numunesinin DSC verileri.	132
Çizelge 4.108 : T40W20N40 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	133

Çizelge 4.109 : T30W50N20 numunesinin DSC verileri.	133
Çizelge 4.110 : T30W50N20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	134
Çizelge 4.111 : T30W40N30 numunesinin DSC verileri.	135
Çizelge 4.112 : T30W40N30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	135
Çizelge 4.113 : T30W35N35 numunesinin DSC verileri.	136
Çizelge 4.114 : T30W35N35 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	136
Çizelge 4.115 : T30W35N35 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.....	137
Çizelge 4.116 : T30W35N35 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.....	137
Çizelge 4.117 : T30W30N40 numunesinin DSC verileri.	138
Çizelge 4.118 : T30W30N40 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	139
Çizelge 4.119 : T20W50N30 numunesinin DSC verileri.	139
Çizelge 4.120 : T20W50N30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	140
Çizelge 4.121 : T20W40N40 numunesinin DSC verileri.	141
Çizelge 4.122 : T20W40N40 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	141
Çizelge 4.123 : T20W40N40 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.....	142
Çizelge 4.124 : T20W40N40 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.....	142

Çizelge 4.125 : T10W50N40 numunesinin DSC verileri.	143
Çizelge 4.126 : T10W50N40 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	144
Çizelge 4.127 : T90W5K5 numunesinin DTA verileri.	145
Çizelge 4.128 : T90W5K5 numunesinin DSC verileri.	146
Çizelge 4.129 : T90W5K5 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	147
Çizelge 4.130 : T90W5K5 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.	148
Çizelge 4.131 : T90W5K5 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.	149
Çizelge 4.132 : T80W10K10 numunesinin DSC verileri.	150
Çizelge 4.133 : T80W10K10 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	150
Çizelge 4.134 : T80W10L10 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.	151
Çizelge 4.135 : T80W10K10 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.	151
Çizelge 4.136 : T80W10K10 camının soğurma sınırı değerleri ve sıcaklığa bağlı ötelenme oranı değerleri.	154
Çizelge 4.137 : T80W10K10 camının sıcaklığa bağlı bant aralığı enerji değerleri.	154
Çizelge 4.138 : T80W10K10 camının öz direnç, ρ , iletkenlik, σ , dielektrik sabiti, ϵ ve iletkenlik aktivasyon enerjisi, E_A değerleri.	156
Çizelge 4.139 : T70W20K10 numunesinin DSC verileri.	157
Çizelge 4.140 : T70W20K10 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	157
Çizelge 4.141 : T70W20K10 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C	

	parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.	158
Çizelge 4.142 :	T70W20K10 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.	158
Çizelge 4.143 :	T70W15K15 numunesinin DSC verileri.	159
Çizelge 4.144 :	T70W15K15 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	159
Çizelge 4.145 :	T70W15K15 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.	160
Çizelge 4.146 :	T70W15K15 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.	160
Çizelge 4.147 :	T70W10K20 numunesinin DSC verileri.	161
Çizelge 4.148 :	T70W10K20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	162
Çizelge 4.149 :	T70W10K20 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.	162
Çizelge 4.150 :	T70W10K20 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.	163
Çizelge 4.151 :	T60W30K10 numunesinin DSC verileri.	164
Çizelge 4.152 :	T60W30K10 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	164
Çizelge 4.153 :	T60W20K20 numunesinin DSC verileri.	165
Çizelge 4.154 :	T60W20K20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	165
Çizelge 4.155 :	T60W20K20 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C	

parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.....	166
Çizelge 4.156 : T60W20K20 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.....	166
Çizelge 4.157 : T60W10K30 numunesinin DSC verileri.....	166
Çizelge 4.158 : T60W10K30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	167
Çizelge 4.159 : T50W30K20 numunesinin DSC verileri.....	168
Çizelge 4.160 : T50W30K20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	168
Çizelge 4.161 : T50W25K25 numunesinin DSC verileri.....	169
Çizelge 4.162 : T50W25K25 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	169
Çizelge 4.163 : T50W25K25 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.....	170
Çizelge 4.164 : T50W25K25 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.....	170
Çizelge 4.165 : T50W25K25 camının soğurma sınırı değerleri ve sıcaklığa bağlı ötelenme oranı değerleri.....	172
Çizelge 4.166 : T50W25K25 camının sıcaklığa bağlı bant aralığı enerji değerleri.....	172
Çizelge 4.167 : T50W25K25 camının öz direnç, ρ , iletkenlik, σ ve iletkenlik aktivasyon enerjisi, E_A değerleri.....	174
Çizelge 4.168 : T50W20K30 numunesinin DSC verileri.....	175
Çizelge 4.169 : T50W20K30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	175
Çizelge 4.170 : T40W40K20 numunesinin DSC verileri.....	176
Çizelge 4.171 : T40W40K20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.....	177
Çizelge 4.172 : T40W30K30 numunesinin DSC verileri.....	178
Çizelge 4.173 : T40W30K30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama	

	çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	178
Çizelge 4.174 :	T40W30K30 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.	179
Çizelge 4.175 :	T40W30K30 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onsets, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.	179
Çizelge 4.176 :	T30W50K20 numunesinin DSC verileri.	180
Çizelge 4.177 :	T30W50K20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	180
Çizelge 4.178 :	T30W40K30 numunesinin DSC verileri.	181
Çizelge 4.179 :	T30W40K30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	181
Çizelge 4.180 :	T20W50K30 numunesinin DSC verileri.	182
Çizelge 4.181 :	T20W50K30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	183
Çizelge 4.182 :	T10W60K30 numunesinin DSC verileri.	184
Çizelge 4.183 :	T10W60K30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	184
Çizelge 5.1 :	TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O sisteminden elde edilen cam numunelere ait cam geçiş onsets (T_g), ilk kristalizasyon onsets (T_{c1}) sıcaklık ve cam kararlılık (ΔT) değerleri.	188
Çizelge 5.2 :	TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O sisteminden elde edilen cam numunelere ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	190
Çizelge 5.3 :	TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O camlarının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g), hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.	194
Çizelge 5.4 :	TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O camlarının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onsets, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam ısı kapasitesi, C_{pg} , aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.	197

Çizelge 5.5 : TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O camlarının FTIR analizleri sonucu belirlenen titreşim modları.	201
Çizelge 5.6 : TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O camlarının özdirenç, ρ , iletkenlik, σ , ve dielektrik sabiti, ϵ , değerleri.	203
Çizelge 5.7 : TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O sisteminden elde edilen cam numunelere ait cam geçiş onset (T_g), ilk kristalizasyon onset (T_{c1}) sıcaklık ve cam kararlılık (ΔT) değerleri.	207
Çizelge 5.8 : TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O sisteminden elde edilen cam numunelere ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	209
Çizelge 5.9 : TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O camlarının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g), hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.	214
Çizelge 5.10 : TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O camlarının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam ısı kapasitesi, C_{pg} , aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.	216
Çizelge 5.11 : TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O camlarının FTIR analizleri sonucu belirlenen titreşim modları.	220
Çizelge 5.12 : TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O camlarının özdirenç, ρ , iletkenlik, σ , ve dielektrik sabiti, ϵ , değerleri.	222
Çizelge 5.13 : TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O sisteminden elde edilen cam numunelere ait cam geçiş onset (T_g), ilk kristalizasyon onset (T_{c1}) sıcaklık ve cam kararlılık (ΔT) değerleri.	226
Çizelge 5.14 : TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O sisteminden elde edilen cam numunelere ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu (n_c), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.	229
Çizelge 5.15 : TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O camlarının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g), hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.	232
Çizelge 5.16 : TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O camlarının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam ısı kapasitesi, C_{pg} , aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.	235
Çizelge 5.17 : TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O camlarının FTIR analizleri sonucu belirlenen titreşim modları.	237
Çizelge 5.18 : TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O camlarının özdirenç, ρ , iletkenlik, σ , ve dielektrik sabiti, ϵ , değerleri.	241
Çizelge 5.19 : TeO ₂ -WO ₃ -A ₂ O (A= Li, Na, K) camlarının soğurma sınırı değerleri ve sıcaklığa bağlı ötelenme oranları.	248

Çizelge 5.20 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ ($\text{A} = \text{Li, Na, K}$) camlarının sıcaklığa bağlı bant aralığı enerji değerleri.	250
Çizelge 5.21 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının özdirenç, ρ , iletkenlik, σ ve iletkenlik aktivasyon enerjisi, E_A değerleri.....	253

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Newton'un prizma deneyi.	6
Şekil 2.2 : Yarı saydam bir malzeme üzerine gelen ışık.	6
Şekil 2.3 : Elektromanyetik spektrum.	7
Şekil 2.4 : İnsan gözü duyarlılığının dalga boyuna göre değişimi.	7
Şekil 2.5 : Işık malzeme etkileşimi açısından renklenmenin sınıflandırılması.	9
Şekil 2.6 : Uygulama alanları açısından renklenmenin sınıflandırılması	9
Şekil 2.7 : Fotokromik olay.	11
Şekil 2.8 : Elektrokromik bir cihazın şematik gösterimi.	12
Şekil 2.9 : Solvatokromik değişimin enerji diyagramı.	13
Şekil 2.10 : Mekanokromik olay.	14
Şekil 2.11 : pH değişiminden kaynaklı iyokronokromizmin şematik gösterimi.	15
Şekil 2.12 : Tetragonal ve monoklinik yapıdaki VO_2 'nin Fermi enerjisi seviyesindeki bant yapısı.	17
Şekil 2.13 : a) Tetragonal ve b) monoklinik yapıdaki VO_2 'nin kristal yapısı.	17
Şekil 2.14 : Malzemelerin elektronik bant yapıları.	21
Şekil 2.15 : Yarı iletkenlerin bant yapısı.	21
Şekil 2.16 : Özgün ve katkılı yarı iletken bant yapısı.	22
Şekil 2.17 : Yarı iletkenlerde artan sıcaklıkla bant aralığı enerjisinde meydana gelen azalma.	22
Şekil 2.18 : Yarı iletken malzemelerde bant aralığı enerjisine bağlı olarak renklenme.	23
Şekil 2.19 : a) Kristalin, b) Cam yapının atomal dizilişinin iki boyutlu gösterimi.	24
Şekil 2.20 : Cam ve kristalin katıların spesifik hacim - sıcaklık değişimi.	26
Şekil 2.21 : a) Eşdeğer olmayan iki oksijen atom çiftine sahip $[TeO_4]$ üçgensel çift piramit yapısı, b) α - TeO_2 kristal yapısının şematik gösterimi, c) β - TeO_2 kristal yapısının şematik gösterimi, Te^{4+} yapısına ait bağlanmamış elektron çifti ok ile gösterilmiştir.	28
Şekil 2.22 : Tellürit camlarda gözlemlenen yapısal birimler, a) $[TeO_4]$ üçgensel çift piramit yapısı (tbp), b) $[TeO_{3+1}]$ çokyüzlü, c) $[TeO_3]$ üçgensel piramit (tp).....	30
Şekil 2.23 : TeO_2 - WO_3 camının atomal diziliminin şekilsel gösterimi.	31
Şekil 2.24 : TeO_2 - WO_3 - K_2O sisteminin camlaşma haritası.	33
Şekil 3.1 : Numune üretimi a) ergitme-döküm yöntemi b) kalıba döküm yöntemi.	37
Şekil 3.2 : Örnek DTA termogramı.	38
Şekil 3.3 : Sıcaklık değişimine ve zamana bağlı yapısal gevşeme - entalpi değişimi.	42
Şekil 3.4 : Sert ve kırılğan sıvılar için $\log \eta$ - sıcaklık değişimi.	43
Şekil 3.5 : Cam geçiş bölgesi için örnek ısı kapasitesi-sıcaklık grafiği.	47
Şekil 3.6 : Elektriksel iletkenlik ölçüm düzeneği.	50
Şekil 3.7 : UV-Vis spektrofotometresi için tasarlanmış ısıtma ünitesi.	53

Şekil 4.1 : T90W5L5 numunesinin XRD analiz sonucu.....	55
Şekil 4.2 : T90W5L5 numunesinin DTA sonucu.	56
Şekil 4.3 : T90W5L5 numunesinin DSC sonucu.....	57
Şekil 4.4 : T90W5L5 camının farklı ısıtma hızlarında gerçekleştirilmiş DSC analizi sonucu.	58
Şekil 4.5 : T90W5L5 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi	59
Şekil 4.6 : T90W5L5 camının sıcaklığa bağlı ısı kapasitesi değişimi.	59
Şekil 4.7 : T80W10L10 numunesinin DSC sonucu.....	61
Şekil 4.8 : T80W10L10 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.....	62
Şekil 4.9 : T80W10L10 camının görünür bölgedeki % geçirgenlik değişimi.....	63
Şekil 4.10 : T80W10L10 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.	63
Şekil 4.11 : T80W10L10 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin 25-240 °C sıcaklıklarındaki tekrarlı sonuçları.	64
Şekil 4.12 : T80W10L10 camının soğurma sınırının sıcaklığa bağlı değişimi.	64
Şekil 4.13 : T80W10L10 camının Tauc denkleminde $(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$ - foton enerjisi değişimi.	65
Şekil 4.14 : T80W10L10 camının kızılötesi bölgedeki soğurma değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.	66
Şekil 4.15 : T80W10L10 camının dielektrik ölçüm sonucu.....	66
Şekil 4.16 : T80W10L10 camının iletkenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi ve elektriksel iletkenlik aktivasyon enerjisi değerleri.....	67
Şekil 4.17 : T70W20L10 numunesinin DSC sonucu.....	68
Şekil 4.18 : T70W20L10 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi	69
Şekil 4.19 : T70W15L15 numunesinin DSC sonucu.....	70
Şekil 4.20 : T70W15L15 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi	71
Şekil 4.21 : T70W10L20 numunesinin DSC sonucu.....	72
Şekil 4.22 : T70W10L20 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi	73
Şekil 4.23 : T60W30L10 numunesinin DSC sonucu.....	74
Şekil 4.24 : T60W20L20 numunesinin DSC sonucu.....	75
Şekil 4.25 : T60W20L20 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi	76
Şekil 4.26 : T60W10L30 numunesinin DSC sonucu.....	77
Şekil 4.27 : T50W25L25 numunesinin DSC sonucu.....	79
Şekil 4.28 : T50W25L25 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi	80
Şekil 4.29 : T50W25L25 camının görünür bölgedeki % geçirgenlik değişimi.....	81
Şekil 4.30 : T50W25L25 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.	81
Şekil 4.31 : T50W25L25 camının soğurma sınırının sıcaklığa bağlı değişimi.	82
Şekil 4.32 : T50W25L25 camının Tauc denkleminde $(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$ - foton enerjisi değişimi.	83
Şekil 4.33 : T50W25L25 camının kızılötesi bölgedeki soğurma değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.	83
Şekil 4.34 : T50W25L25 camının dielektrik ölçüm sonucu.....	84
Şekil 4.35 : T50W25L25 camının iletkenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi ve elektriksel iletkenlik aktivasyon enerjisi değerleri.....	84
Şekil 4.36 : T40W40L20 numunesinin DSC sonucu.....	85
Şekil 4.37 : T40W30L30 numunesinin DSC sonucu.....	86
Şekil 4.38 : T40W30L30 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi	87
Şekil 4.39 : T40W20L40 numunesinin DSC sonucu.....	89

Şekil 4.40 : T30W35L35 numunesinin DSC sonucu.	90
Şekil 4.41 : T30W35L35 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.	91
Şekil 4.42 : T20W50L30 numunesinin DSC sonucu.	93
Şekil 4.43 : T90W5N5 numunesinin XRD analiz sonucu.	95
Şekil 4.44 : T90W5N5 numunesinin DTA sonucu.	95
Şekil 4.45 : T90W5N5 numunesinin DSC sonucu.	96
Şekil 4.46 : T90W5N5 camının farklı ısıtma hızlarında gerçekleştirilmiş DSC analizi sonucu.	97
Şekil 4.47 : T90W5N5 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.	98
Şekil 4.48 : T90W5N5 camının sıcaklığa bağlı ısı kapasitesi değişimi.	99
Şekil 4.49 : T80W10N10 numunesinin DSC sonucu.	100
Şekil 4.50 : T80W10N10 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.	101
Şekil 4.51 : T80W10N10 camının görünür bölgedeki % geçirgenlik değişimi.	102
Şekil 4.52 : T80W10N10 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.	102
Şekil 4.53 : T80W10N10 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin 25-240 °C sıcaklıklarındaki tekrarlı sonuçları.	103
Şekil 4.54 : T80W10N10 camının soğurma sınırının sıcaklığa bağlı değişimi.	103
Şekil 4.55 : T80W10N10 camının Tauc denkleminde göre $(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$ - foton enerjisi değişimi.	104
Şekil 4.56 : T80W10N10 camının kızılötesi bölgedeki soğurma değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.	105
Şekil 4.57 : T80W10N10 camının dielektrik ölçüm sonucu.	105
Şekil 4.58 : T80W10N10 camının iletkenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi ve elektriksel iletkenlik aktivasyon enerjisi değerleri.	106
Şekil 4.59 : T70W20N10 numunesinin DSC sonucu.	106
Şekil 4.60 : T70W20N10 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.	108
Şekil 4.61 : T70W15N15 numunesinin DSC sonucu.	109
Şekil 4.62 : T70W15N15 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.	110
Şekil 4.63 : T70W10N20 numunesinin DSC sonucu.	111
Şekil 4.64 : T70W10N20 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.	112
Şekil 4.65 : T60W30N10 numunesinin DSC sonucu.	113
Şekil 4.66 : T60W20N20 numunesinin DSC sonucu.	114
Şekil 4.67 : T60W20N20 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.	115
Şekil 4.68 : T60W10N30 numunesinin DSC sonucu.	116
Şekil 4.69 : T50W40N10 numunesinin DSC sonucu.	118
Şekil 4.70 : T50W30N20 numunesinin DSC sonucu.	119
Şekil 4.71 : T50W25N25 numunesinin DSC sonucu.	120
Şekil 4.72 : T50W25N25 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.	121
Şekil 4.73 : T50W25N25 camının görünür bölgedeki % geçirgenlik değişimi.	122
Şekil 4.74 : T50W25N25 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.	122
Şekil 4.75 : T50W25N25 camının soğurma sınırının sıcaklığa bağlı değişimi.	123
Şekil 4.76 : T50W25N25 camının Tauc denkleminde göre $(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$ - foton enerjisi değişimi.	124
Şekil 4.77 : T50W25N25 camının kızılötesi bölgedeki soğurma değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.	124
Şekil 4.78 : T50W25N25 dielektrik ölçüm sonucu.	125
Şekil 4.79 : T50W25LN5 camının iletkenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi ve elektriksel iletkenlik aktivasyon enerjisi değerleri.	125

Şekil 4.80 : T50W20N30 numunesinin DSC sonucu.	126
Şekil 4.81 : T50W10N40 numunesinin DSC sonucu.	127
Şekil 4.82 : T40W40N20 numunesinin DSC sonucu.	129
Şekil 4.83 : T40W30N30 numunesinin DSC sonucu.	130
Şekil 4.84 : T40W30N30 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.	131
Şekil 4.85 : T40W20N40 numunesinin DSC sonucu.	132
Şekil 4.86 : T30W50N20 numunesinin DSC sonucu.	134
Şekil 4.87 : T30W40N30 numunesinin DSC sonucu.	135
Şekil 4.88 : T30W35N35 numunesinin DSC sonucu.	136
Şekil 4.89 : T30W35N35 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.	137
Şekil 4.90 : T30W30N40 numunesinin DSC sonucu.	138
Şekil 4.91 : T20W50N30 numunesinin DSC sonucu.	140
Şekil 4.92 : T20W40N40 numunesinin DSC sonucu.	141
Şekil 4.93 : T20W40N40 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.	142
Şekil 4.94 : T10W50N40 numunesinin DSC sonucu.	143
Şekil 4.95 : T90W5K5 numunesinin XRD analiz sonucu.	145
Şekil 4.96 : T90W5K5 numunesinin DTA sonucu.	145
Şekil 4.97 : T90W5K5 numunesinin DSC sonucu.	146
Şekil 4.98 : T90W5K5 camının farklı ısıtma hızlarında gerçekleştirilmiş DSC analizi sonucu.	147
Şekil 4.99 : T90W5K5 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.	148
Şekil 4.100 : T90W5K5 camının sıcaklığa bağlı ısı kapasitesi değişimi.	149
Şekil 4.101 : T80W10K10 numunesinin DSC sonucu.	150
Şekil 4.102 : T80W10K10 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.	151
Şekil 4.103 : T80W10K10 camının görünür bölgedeki % geçirgenlik değişimi. ...	152
Şekil 4.104 : T80W10K10 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.	152
Şekil 4.105 : T80W10K10 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin 25-240 °C sıcaklıklarındaki tekrarlı sonuçları.	153
Şekil 4.106 : T80W10K10 camının soğurma sınırının sıcaklığa bağlı değişimi.	153
Şekil 4.107 : T80W10K10 camının Tauc denkleminde göre $(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$ - foton enerjisi değişimi.	154
Şekil 4.108 : T80W10K10 camının kızılötesi bölgedeki soğurma değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.	155
Şekil 4.109 : T80W10K10 camının dielektrik ölçüm sonucu.	155
Şekil 4.110 : T80W10K10 camının iletkenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi ve elektriksel iletkenlik aktivasyon enerjisi değerleri.	156
Şekil 4.111 : T70W20K10 numunesinin DSC sonucu.	157
Şekil 4.112 : T70W20K10 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.	158
Şekil 4.113 : T70W15K15 numunesinin DSC sonucu.	159
Şekil 4.114 : T70W15K15 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.	160
Şekil 4.115 : T70W10K20 numunesinin DSC sonucu.	161
Şekil 4.116 : T70W10K20 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.	162
Şekil 4.117 : T60W30K10 numunesinin DSC sonucu.	163
Şekil 4.118 : T60W20K20 numunesinin DSC sonucu.	164
Şekil 4.119 : T60W20K20 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.	165
Şekil 4.120 : T60W10K30 numunesinin DSC sonucu.	167
Şekil 4.121 : T50W30K20 numunesinin DSC sonucu.	168
Şekil 4.122 : T50W25K25 numunesinin DSC sonucu.	169
Şekil 4.123 : T50W25K25 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.	170

Şekil 4.124 :	T50W25K25 camının görünür bölgedeki % geçirgenlik değişimi.	171
Şekil 4.125 :	T50W25K25 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.	171
Şekil 4.126 :	T50W25K25 camının soğurma sınırının sıcaklığa bağlı değişimi.	172
Şekil 4.127 :	T50W25K25 camının Tauc denklemine göre $(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$ - foton enerjisi değişimi.	173
Şekil 4.128 :	T50W25K25 camının kızılötesi bölgedeki soğurma değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.	173
Şekil 4.129 :	T50W25N25 camının dielektrik ölçüm sonucu.	174
Şekil 4.130 :	T50W25K25 camının iletkenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi ve elektriksel iletkenlik aktivasyon enerjisi değerleri.	174
Şekil 4.131 :	T50W20K30 numunesinin DSC sonucu.	175
Şekil 4.132 :	T40W40K20 numunesinin DSC sonucu.	176
Şekil 4.133 :	T40W30K30 numunesinin DSC sonucu.	177
Şekil 4.134 :	T40W30K30 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.	178
Şekil 4.135 :	T30W50K20 numunesinin DSC sonucu.	180
Şekil 4.136 :	T30W40K30 numunesinin DSC sonucu.	181
Şekil 4.137 :	T20W50K30 numunesinin DSC sonucu.	182
Şekil 4.138 :	T10W60K30 numunesinin DSC sonucu.	183
Şekil 5.1 :	TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O sistemine ait seçilmiş cam numunelerin XRD analiz sonucu.	186
Şekil 5.2 :	TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O sisteminin cam haritası, (○) cam, (◐) kısmi cam, (●) kristalin.	187
Şekil 5.3 :	TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O camlarının DSC termogramları a) azalan TeO ₂ ve eşit oranda artan WO ₃ ile Li ₂ O'nun oranına göre, b) sabit TeO ₂ oranında artan Li ₂ O ve azalan WO ₃ oranına göre.	189
Şekil 5.4 :	T90W5L5 camının farklı ısıtma hızlarında gerçekleştirilmiş DSC analizi sonucu.	193
Şekil 5.5 :	TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O camlarının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.	193
Şekil 5.6 :	TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O camlarının $\log \eta - 1/T$ değişimi.	195
Şekil 5.7 :	T90W5L5 camının ısı kapasitesi analizi.	196
Şekil 5.8 :	Sabit TeO ₂ oranında (%70 mol) TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O camlarının değişen Li ₂ O oranına göre a) C _{pg} ve C _{pl} ve b) C _{pl} /C _{pg} değişimi.	197
Şekil 5.9 :	TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O camlarının azalan TeO ₂ /WO ₃ +Li ₂ O oranına göre a) FTIR spektrumları, b) ayrılmış (deconvoluted) FTIR spektrumları.	199
Şekil 5.10 :	TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O camlarının artan Li ₂ O ve azalan WO ₃ oranına göre a) FTIR spektrumları, b) ayrılmış (deconvoluted) FTIR spektrumları.	200
Şekil 5.11 :	TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O camlarının optik analiz sonuçları.	202
Şekil 5.12 :	TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O camlarının dielektrik sabiti değerleri.	203
Şekil 5.13 :	TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O sistemine ait seçilmiş cam numunelerin XRD analiz sonucu.	205
Şekil 5.14 :	TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O sisteminin cam haritası, (○) cam, (●) kristalin.	206
Şekil 5.15 :	TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O camlarının DSC termogramları a) azalan TeO ₂ ve eşit oranda artan WO ₃ ile Na ₂ O'nun oranına göre, b) sabit TeO ₂ oranında artan Na ₂ O ve azalan WO ₃ oranına göre.	208
Şekil 5.16 :	T90W5N5 camının farklı ısıtma hızlarında gerçekleştirilmiş DSC analizi sonucu.	212
Şekil 5.17 :	TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O camlarının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.	213
Şekil 5.18 :	TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O camlarının $\log \eta - 1/T$ değişimi.	215
Şekil 5.19 :	T90W5N5 camının ısı kapasitesi analizi.	216

Şekil 5.20 : Sabit TeO ₂ oranında (%70 mol) TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O camlarının değişen Na ₂ O oranına göre a) C _{pg} ve C _{pl} ve b) C _{pl} /C _{pg} değişimi.	217
Şekil 5.21 : TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O camlarının azalan TeO ₂ /WO ₃ +Na ₂ O oranına göre a) FTIR spektrumları, b) ayrılmış (deconvoluted) FTIR spektrumları.	218
Şekil 5.22 : TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O camlarının artan Na ₂ O ve azalan WO ₃ oranına göre a) FTIR spektrumları, b) ayrılmış (deconvoluted) FTIR spektrumları.	219
Şekil 5.23 : TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O camlarının optik analiz sonuçları.	221
Şekil 5.24 : TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O camlarının dielektrik sabiti değerleri.	223
Şekil 5.25 : TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O sistemine ait seçilmiş cam numunelerin XRD analiz sonucu.	224
Şekil 5.26 : TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O sisteminin cam haritası, (○) cam, (◐) kısmi cam, (●) kristalin.	225
Şekil 5.27 : TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O camlarının DSC termogramları a) azalan TeO ₂ ve eşit oranda artan WO ₃ ile K ₂ O'nun oranına göre, b) sabit TeO ₂ oranında artan K ₂ O ve azalan WO ₃ oranına göre.	227
Şekil 5.28 : T90W5K5 camının farklı ısıtma hızlarında gerçekleştirilmiş DSC analizi sonucu.	231
Şekil 5.29 : TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O camlarının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.	231
Şekil 5.30 : TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O camlarının $\log \eta - 1/T$ değişimi.	234
Şekil 5.31 : T90W5K5 camının ısı kapasitesi analizi.	235
Şekil 5.32 : Sabit TeO ₂ oranında (%70 mol) TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O camlarının değişen K ₂ O oranına göre a) C _{pg} ve C _{pl} ve b) C _{pl} /C _{pg} değişimi.	236
Şekil 5.33 : TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O camlarının azalan TeO ₂ /WO ₃ +K ₂ O oranına göre a) FTIR spektrumları, b) ayrılmış (deconvoluted) FTIR spektrumları.	238
Şekil 5.34 : TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O camlarının artan K ₂ O ve azalan WO ₃ oranına göre a) FTIR spektrumları, b) ayrılmış (deconvoluted) FTIR spektrumları.	239
Şekil 5.35 : TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O camlarının optik analiz sonuçları.	240
Şekil 5.36 : TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O camlarının dielektrik sabiti değerleri.	241
Şekil 5.37 : TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O camlarının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.	243
Şekil 5.38 : TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O camlarının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.	244
Şekil 5.39 : TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O camlarının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.	245
Şekil 5.40 : TeO ₂ -WO ₃ -A ₂ O (A= a) Li, b) Na, c) K) camlarının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin 25-240 °C sıcaklıklarındaki tekrarlı sonuçları.	246
Şekil 5.41 : TeO ₂ -WO ₃ -A ₂ O (A= a) Li, b) Na, c) K) camlarının soğurma sınırının sıcaklığa bağlı değişimi.	247
Şekil 5.42 : TeO ₂ -WO ₃ -Li ₂ O camlarının Tauc denkleminde göre $(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$ - foton enerjisi değişimi.	248
Şekil 5.43 : TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O camlarının Tauc denkleminde göre $(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$ - foton enerjisi değişimi.	249
Şekil 5.44 : TeO ₂ -WO ₃ -K ₂ O camlarının Tauc denkleminde göre $(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$ - foton enerjisi değişimi.	249
Şekil 5.45 : TeO ₂ -WO ₃ -A ₂ O camlarının kızılötesi bölgedeki soğurma değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.	252

Şekil 5.46 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ (A= a) Li, b) Na, c) K) camlarının iletkenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi ve elektriksel iletkenlik aktivasyon enerjisi değerleri.....254

TELLÜRİT SİSTEMLERİN CAMLAŞMA DAVRANIŞLARININ, CAM ÖZELLİKLERİNİN VE TERMOKROMİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Akıllı malzemeler, pek çok alanda sundukları teknik ve estetik avantajlar sayesinde günümüz araştırmalarının odağı haline gelmiş durumdadır. Gelişen teknoloji ve değişen ekonomik ve çevresel faktörler ile gerek mimari alanda gerekse farklı teknolojik uygulamalarda yoğun şekilde kullanılan cam malzemelerden beklenen özellikler de değişmiştir. Çevre koşullarına otomatik tepkiler verebilen akıllı camların üretilmesi günümüz cam sektörünün öncelikli araştırma konularından biri haline gelmiş ve yüksek katma değere sahip camlarla ilgili araştırmalar hız kazanmıştır. Kromik camlar olarak adlandırılan ve farklı dış uyaranlar etkisiyle optik özelliklerini değiştiren camlar üzerine yapılan çalışmalar, elektrik, ışık ve sıcaklık etkisiyle optik özelliklerini tersinir şekilde değiştirebilen elektrokromik, fotokromik ve termokromik camlar üzerine yoğunlaşmıştır. Termokromik özellik gösteren camlarla ilgili olarak literatürde mevcut çalışmalar cam yüzeyine yapılan ince film kaplamalar ile ilgili olup; bulk camlar üzerine çok kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Tellürit camlar, sahip oldukları yüksek kırılma indisi, yüksek bant genişliği, düşük bant aralığı enerjisi, düşük fonon enerjisi, görünür ve kızılötesi bölgede yüksek geçirgenlik, nadir toprak elementleriyle yüksek konsantrasyonlarda katkılandırılabilirlik, yüksek korozyon direnci, yüksek ısı ve kimyasal kararlılık, düşük cam geçiş ve ergime sıcaklığı gibi üstün özelliklerle, silika, borat, fosfat, germanat camlara kıyasla avantajlı özelliklere sahiptir. Bu avantajlı özellikleri sayesinde opto-elektronik uygulamalar için uygun sistemler olan tellürit camlar, bağ yapılarına katılmayan TeO_4 gruplarının eşleşmemiş elektron çiftleri sayesinde gösterdikleri iyi elektriksel özellikler ve katkılandırıldıkları geçiş metal oksitlerin cam yapıdaki çok değerlikli durumundan dolayı sahip oldukları yarı iletken özellik sayesinde termokromik uygulamalar için de ideal cam matrisler olmaya adaydır. Tellürit camların iletkenlik özellikleri, cam yapısındaki modifiye edicilerin türüne, miktarına ve alan mukavemetine bağlı olarak değişmekte olup; geçiş metal oksit içeren tellürit camlar, geçiş metal oksitlerin cam yapıdaki çok değerlikli durumundan dolayı gösterdikleri yarı iletken özellik sayesinde, başta kromik uygulamalar olmak üzere, ince film anahtarlar, ince film hafıza elemanları, termistörler, kanal tipi fotoyükselticiler, vb. uygulamalar için ideal cam matrislerdir. Bu tez çalışmasında, tek başına cam yapma kabiliyetine sahip olmayan TeO_2 , iyi bir şebeke yapısı modifiye edici olan ve bir geçiş metal oksit olması nedeniyle bulunduğu farklı oksidasyon seviyeleri sayesinde yapı içerisinde elektronik geçişleri mümkün kılan WO_3 ve cam şebeke yapısında bağlanmamış oksijen bölgeleri oluşturarak cam yapının yük taşıma ve iletkenlik özelliklerini geliştiren alkali oksitler (Li_2O , Na_2O , K_2O) ile katkılandırılmıştır.

Opto-elektronik uygulamalar başta olmak üzere, pek çok ileri teknoloji uygulama alanı için ideal matrisler olan TeO_2 - WO_3 - Li_2O , TeO_2 - WO_3 - Na_2O ve TeO_2 - WO_3 - K_2O

camları hakkında literatürde yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu tez çalışması kapsamında, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ üçlü oksit sistemlerinin geniş bileşim aralığında sistematik olarak ısı, fiziksel, termodinamik, kinetik, yapısal, optik ve elektriksel incelemeleri gerçekleştirilerek camlaşma davranışları ve cam özellikleri incelenmiş, cam haritaları oluşturulmuş ve sıcaklığa bağlı olarak gerçekleştirilen spektroskopik ve elektriksel incelemeler ile termokromizmin bu sistemlerdeki varlığı ve mekanizması tespit edilmiştir.

Deneysel çalışmalarda, geleneksel ergitme döküm yöntemi kullanılarak $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ sistemine ait 27, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ sistemine ait 31, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ sistemine ait 27 farklı bileşimde numune ve üçlü sistemlerin alt ikili sistemlerine ($\text{TeO}_2\text{-WO}_3$, $\text{TeO}_2\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-Na}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-K}_2\text{O}$, $\text{WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ ve $\text{WO}_3\text{-K}_2\text{O}$) ait numuneler üretilmiştir. Sistemlerin camlaşma davranışının ve cam özelliklerinin incelenmesi amacıyla, cam yapma bileşim aralıkları tespit edilerek cam haritaları oluşturulmuş, cam numunelerin ısı, fiziksel, termodinamik, kinetik, yapısal, optik ve elektriksel incelemeleri yapılarak camların cam kararlılık, yoğunluk, molar hacim, oksijen molar hacim, oksijen paketlenme yoğunluğu, ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu, birim hacimdeki bağ sayısı, Poisson oranı, cam geçiş aktivasyon enerjisi, kırılma, C parametresi, viskozite, viskozite azalma faktörü, cam geçiş bölgesi genişliği, cam ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, ısı kapasitesi değişimi, oransal ısı kapasitesi, bağ yapısı, geçirgenlik, öz direnç, iletkenlik, dielektrik sabiti değerleri belirlenmiş ve bileşime bağlı olarak camların bu özelliklerinde meydana gelen değişimler irdelenmiştir. Sistemlerin termokromik davranışlarının incelenmesi amacıyla, cam numunelerin sıcaklığa bağlı optik ve elektriksel incelemeleri gerçekleştirilerek, camların görünür ve kızılötesi bölgede geçirgenlik, soğurma sınırı, soğurma sınırı ötelenme oranı, bant aralığı enerjisi, foton enerjisi değişimi, öz direnç, iletkenlik ve iletkenlik aktivasyon enerjisi değerleri belirlenlenmiş, sıcaklığa bağlı geçirgenlik değişiminin tersinirliği incelenmiş ve sistemlerin tersinir termokromik özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Termokromizmin tellürit sistemlerdeki oluşum mekanizması araştırılmış ve tellürit camların termokromik davranışlarının gösterdikleri yarı iletken özellikten kaynaklandığı belirlenmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ sistemlerinin literatürde yer almayan camlaşma haritaları oluşturulmuş, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ sisteminin camlaşma haritası güncellenmiş ve gerçekleştirilen ısı, fiziksel, termodinamik, kinetik, yapısal, optik ve elektriksel incelemeler ile ileri teknoloji uygulamalarda yüksek kullanım potansiyeline sahip bu sistemlere ait camların cam özellikleri literatürde ilk kez tespit edilmiştir. Yapılan sıcaklığa bağlı spektroskopik ve elektriksel incelemeler ile alkali-tungsten-tellürit camların tersinir termokromik davranış gösterdikleri ve termokromizmin bu sistemlerdeki oluşum mekanizması literatürde ilk kez saptanmıştır.

INVESTIGATION OF GLASS FORMATION BEHAVIOR, GLASS PROPERTIES AND THERMOCHROMIC BEHAVIOR OF TELLURITE SYSTEMS

SUMMARY

Smart glasses have become a cutting-edge research topic in materials science due to their contribution to the scientific and technological innovations. As a consequence of developments in technology and changes in economic and environmental conditions, the desired properties from glasses have showed a dramatic change especially in architecture and various high-tech applications. Therefore, considerable attention has been focused on the investigation of different glass types which can be used in many technological applications. Chromic glasses have recently attracted great attention both scientifically and industrially as a result of an interest to discover new glass systems which can give automatic responses to the changes in environmental conditions. Studies on chromic glasses are mainly focused on electrochromic, photochromic and thermochromic glasses which have the ability to change their optical properties reversibly with the change in electrical current, light and temperature, respectively. Until today, most of the developments on chromic systems have been realized with electrochromic and photochromic glasses, whereas there exist limited number of works on thermochromic glasses. Although studies on glasses having thermochromic property are mostly focused on thin-film coated glasses, there has been a search for bulk glass systems showing thermochromic property. In this regard, until today phosphate glasses, Bi_2O_3 containing glasses, PbO and TeO_2 -based glasses and WO_3 containing alkali oxide glasses have been investigated.

Comparing with silicate, borate and phosphate glasses, tellurite glasses have advantageous properties, such as high refractive index, relatively low-phonon energy, good visible and infrared transmissivity, suitability for doping with rare earth elements in a wide range, high dielectric constant, thermal and chemical stability, high devitrification resistance, low glass transition and melting temperature. These outstanding features make tellurite glasses promising materials for opto-electronic applications, such as fiber optics, lasers, sensors, spectroscopic devices, host materials for some infrared and infrared to visible up-conversion applications in optical data storage and non-linear optical materials. TeO_2 does not have glass forming ability under normal quenching conditions without addition of a secondary component. Therefore, addition of secondary components such as alkalis, heavy metal oxides and halogens are required to obtain tellurite glasses. Combination of TeO_2 with two or more secondary components yields stable glasses and provides control of the desired properties.

Tellurite glasses are also promising candidates for thermochromic applications due to their good electrical properties owing to the unshared pair of electrons of the TeO_4 groups that do not take part in bonding and due to their potential semiconductor behavior. It is known that the nature, concentration and field strength of the modifier

oxides in multi-component tellurite systems substantially determine the electrical properties of glasses. Due to their semiconductive properties, transition metal oxide containing tellurite glasses are convenient materials for chromic applications, thin-film switches, thin-film memory elements, thermistors and channel-type photo amplifiers.

Addition of WO_3 to the tellurite glass network enhances chemical stability and devitrification resistance, gives possibility to modify the composition by a third, fourth, and even fifth component and as being a transition metal oxide it makes the electronic transitions possible in the glass network. Addition of alkali oxides (A_2O , $\text{A} = \text{Li, Na, K}$) to the tellurite glass network improve thermal stability, generates non-bridging oxygen sites in the glass network and makes the ion-exchange process suitable. Due to this favorable properties in this dissertation work, WO_3 and alkali oxides were selected as secondary components to obtain tellurite glasses.

In this dissertation work, the glass formation behavior and glass properties of the $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ and $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ ternary systems about which limited number of studies exist in literature were investigated through systematical thermal, physical, thermodynamic, kinetic, structural, optical and electrical analyses in a wide compositional range. Also the potential thermochromic behavior and formation mechanism of thermochromism in these glasses were investigated by spectroscopic and electrical analyses via temperature.

In the experimental studies, 27 samples of the $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ system, 31 samples of the $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ system and 27 samples of the $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ system were prepared together with the selected samples from their binary systems ($\text{TeO}_2\text{-WO}_3$, $\text{TeO}_2\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-Na}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-K}_2\text{O}$, $\text{WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ ve $\text{WO}_3\text{-K}_2\text{O}$) with a conventional melt-quenching technique. To obtain the samples, powder batches of 3 g size were thoroughly mixed in an agate mortar and melted in a platinum crucible at 750°C with a closed lid for 30 minutes in an electrical furnace and quenched in water bath. Selected samples for optical and electrical analyses were synthesized with greater batch size and after the melting process they were poured into a stainless steel mold to obtain samples with parallel surfaces. To investigate the glass formation behavior of the ternary $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ and $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ systems, the glass forming compositions were determined out of the prepared samples and the glass formation maps of the systems were constructed. Thermal, physical, thermodynamic, kinetic, structural, optical and electrical characterization of the glasses were realized and the glass stability, density, molar volume, oxygen molar volume, oxygen packing density, average cross-link density, number of bonds per unit volume, Poisson's ratio, glass transition activation energy, fragility, C parameter, viscosity, reduction in viscosity, glass transition width, heat capacity in glassy state, heat capacity in liquid state, heat capacity change, heat capacity ratio, structural vibrations, transmittance, resistivity, conductivity, dielectric constant of the glasses were determined according to the changing composition. To investigate the thermochromic behavior of glasses, spectroscopic and electrical investigations via temperature were realized and transmittance in visible and infrared region, absorption edge, shift rate of the absorption, band gap energy, change in photon energy, resistivity, conductivity and the activation energy of conductivity were determined and the reversibility of the change in transmittance was tested. As a result of the experiments depending on temperature, it was determined that $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ and $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ glasses show thermochromic behavior and it was found that the thermochromic change is reversible. The formation

mechanism of thermochromism in tellurite glasses was studied in detail and it was found that semiconducting property of tellurite glasses is the cause of the thermochromic behavior in these systems.

Comparing $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ and $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ systems in terms of the glass formation behavior and thermal, physical, thermodynamic, kinetic, structural, optical and electrical properties of the glasses, it was determined that all ternary systems have similar glass formation regions and because of the similar physical and chemical properties of alkali oxides, they showed similar glass features.

This dissertation work which is the first detailed and systematical study on the investigation of thermochromism in bulk glasses has two major outcomes. Firstly, within the scope of this work construction of glass formation maps and determination of glass properties of $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ and $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ ternary systems were realized. Secondly, investigation of thermochromic behavior and formation mechanism of thermochromism in tellurite glasses were realized. In this work, the glass formation maps of $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ and $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ systems were constructed for the first time in the literature and the existing glass formation map of $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ system in literature was modified. Thermal, physical, thermodynamic, kinetic, structural, optical and electrical characterization of the glasses were realized for the first time for $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ and $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ systems and improved for $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ system. Furthermore, the first scientific results were obtained on the thermochromic behavior of alkali-tungsten-tellurite glasses and formation mechanism of thermochromism in tellurite glasses. Therefore, this work makes a great contribution to the literature not only by determining the glass formation range and glass properties of $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ and $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ systems which have great potential in many high-tech applications but also by investigating the thermochromic behavior and formation mechanism of thermochromism in tellurite glasses. In this regard, this dissertation work contribute to the material science community and also generate basic information for industrial applications.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

1990'ların başından beri yaşamımızda yer almaya başlayan ve çevre koşullarına verdikleri otomatik tepkiler ile tıptan mühendisliğe, mimariden sanata yaşamın ve üretimin hemen her alanında teknik ve estetik avantajlar sunan akıllı malzemeler ileri teknoloji araştırmaların odak noktası haline gelmiştir. Dünya'da 6 milyon metre karelik yüksek tüketim oranına sahip olan düz cam pazarı, gelişen teknoloji ve değişen ekonomik ve çevresel faktörler sonucu beklentilerini hızla değiştirmiş ve geleneksel düz camlar pazardaki yerlerini enerji ve çevre konularında çözümler sunabilen, estetik ve kullanıcı konforu sağlayan, yüksek katma değere sahip camlara bırakmaya başlamıştır. Teknik ve estetik açıdan üstün özelliklere sahip, gerek mimari alanda gerekse farklı teknolojik uygulamalarda etkin biçimde kullanılabilecek cam malzemelerin geliştirilmesi ve çevre koşullarına otomatik tepkiler verebilen akıllı camların üretilmesi, günümüz cam sektörünün öncelikli araştırma konuları arasındadır. Akıllı camların üretilmesinin hem bilimsel hem ticari açıdan önem kazanması ile, farklı dış uyaranlar etkisiyle optik özelliklerini değiştiren kromik camlar akıllı cam pazarında popüler hale gelmiş ve kromik camlar üzerine yapılan çalışmalar elektrik, ışık ve sıcaklık etkisiyle optik özelliklerini tersinir şekilde değiştiren elektrokromik, fotokromik ve termokromik camlar üzerine yoğunlaşmıştır.

Termokromik malzemeler, sıcaklık etkisiyle optik özelliklerini dolayısıyla renklerini değiştirebilen malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Termokromizm üzerine yapılan çalışmalar 50 yılı aşkın süredir devam etmekte olup; çalışmalar genellikle termokromik özellik gösteren organik malzemeler üzerine yoğunlaşmıştır. Günümüzde kullanılan en popüler termokromik malzemeler olan sıvı kristaller, genel olarak termometreler, güvenlik amaçlı olarak kullanılan sıcaklık sensörleri, lazer göstergeler ve uyarı işaretleri gibi teknolojik uygulamalarda kullanılmaktadır. Bugüne kadar incelenen katı hal termokromik malzemeler ise, kritik bir sıcaklıkta gösterdikleri yarı iletken-metal faz dönüşümü sonucu optik özelliklerinde değişim meydana gelen geçiş metal oksitleridir. Ancak, geçiş metal oksitleri yüksek faz dönüşüm sıcaklıkları nedeniyle kısıtlı kullanım alanı bulmaktadır. Düşük

sıcaklıklardaki (yaklaşık 68 °C) tersinir yarı iletken-metal faz dönüşüm özelliği sayesinde üzerine en çok çalışma yapılan inorganik termokromik malzeme olan VO₂, ince film olarak sentezlenerek yakın kızılötesi optik anahtarlar, sıcaklığa duyarlı cihazlar ve veri depolama araçları gibi uygulamalarda kullanım bulmakta, mimari uygulamalardaki kullanımı ile ilgili çalışmalar ise devam etmektedir. Termokromik özellik gösteren camlarla ilgili, ince film kaplamalı camlar dışında, literatürde kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bugüne kadar bulk camlarda termokromizm üzerine yapılan çalışmalarda fosfat camlar, Bi₂O₃ katkılı camlar, PbO ve TeO₂ içeren camlar ve WO₃ katkılı alkali oksit içeren camlar incelenmiştir. Termokromik özellik gösteren bulk camlar; mimari uygulamalar, optik ve spektroskopik analiz cihazları ve renk ölçüm cihazlarında kullanılan geçirgen filtreler ve kalibrasyon aparatları, mikroelektronik uygulamalar ve data depolama gibi pek çok ileri teknolojik ve katma değeri yüksek alanda kullanım potansiyeline sahiptir.

Tellürit camlar, silika, borat, fosfat, germanat camlara kıyasla sahip oldukları yüksek kırılma indisi, yüksek bant genişliği, düşük bant aralığı enerjisi, düşük fonon enerjisi, görünür ve kızılötesi bölgede yüksek geçirgenlik, nadir toprak elementleriyle yüksek konsantrasyonlarda katkılandırılabilirlik, yüksek korozyon direnci, yüksek ısı ve kimyasal kararlılık, düşük cam geçiş ve ergime sıcaklığı gibi üstün özelliklerini sayesinde opto-elektronik uygulamalar için uygun sistemlerdir. Ayrıca tellürit camlar, bağ yapılarına katılmayan TeO₄ gruplarının eşleşmemiş elektron çiftleri sayesinde gösterdikleri iyi elektriksel özellikler ve katkılандırıldıkları geçiş metal oksitlerin cam yapıdaki çok değerlikli durumundan dolayı sahip oldukları yarı iletken özellik sayesinde termokromik uygulamalar için de ideal cam matrisler olmaya adaydır. Bu tez çalışmasında, tek başına cam yapma kabiliyetine sahip olmayan TeO₂, iyi bir şebeke yapısı modifiye edici olan ve bir geçiş metal oksit olması nedeniyle bulunduğu farklı oksidasyon seviyeleri ile yapı içerisinde elektronik geçişleri mümkün kılan WO₃ ve cam şebeke yapısında bağlanmamış oksijen bölgeleri oluşturarak cam yapının yük taşıma ve iletkenlik özelliklerini arttıran alkali oksitler (Li₂O, Na₂O, K₂O) ile katkılандırılmıştır.

Bu tez çalışmasında, pek çok ileri teknoloji uygulama alanı için ideal matrisler olan tellürit camların termokromik davranışlarının araştırılması amacıyla; literatürde haklarında yeterli çalışma bulunmayan TeO₂-WO₃-Li₂O, TeO₂-WO₃-Na₂O ve TeO₂-WO₃-K₂O üçlü oksit sistemlerinin ısı, fiziksel, termodinamik, kinetik, yapısal, optik

ve elektriksel incelemeler ile camlaşma davranışlarının ve cam özelliklerinin belirlenmesi ve sıcaklığa bağlı spektroskopik ve elektriksel incelemeler ile termokromizmin bu sistemlerdeki varlığının ve mekanizmasının tespit edilmesi hedeflenmiştir.

Camlaşma davranışlarının ve cam özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmalar ile üçlü tellür oksit sistemlerin camlaşma davranışları incelenerek $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ sistemlerinin literatürde yer almayan camlaşma haritaları oluşturulmuş, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ sisteminin literatürde mevcut camlaşma haritası güncellenmiş ve gerçekleştirilen ısı, fiziksel, termodinamik, kinetik, yapısal, optik ve elektriksel incelemeler ile sistemlere ait camların cam özellikleri literatürde ilk kez tespit edilmiştir. Pek çok ileri teknolojik alanda kullanım potansiyeline sahip ve literatürde haklarında yeterli bilgi bulunmayan alkali-tungsten-tellürit camlar hakkında elde edilen özgün çıktılar ile bu camların uygulamaya dönüştürülmesi konusunda temel bilgi birikimi oluşturulmuştur.

Alkali-tungsten-tellürit camlar ile yapılan sıcaklığa bağlı spektroskopik ve elektriksel incelemeler ile bu camların tersinir termokromik davranış gösterdikleri ve termokromizmin bu sistemlerdeki oluşum mekanizması literatürde ilk kez saptanmıştır. Termokromizmin tellürit camlardaki varlığı ve mekanizması konusunda gerçekleştirilen literatürdeki ilk sistematik ve kapsamlı çalışma olan bu tez çalışması sonucunda, sıcaklığa bağlı olarak optik özelliklerini değiştirebildiği tespit edilen tellürit camların termokromik özellikte olduğu ve termokromik davranışın tellürit camların gösterdiği yarı iletken özellikten kaynaklandığı tespit edilmiştir. Termokromizm konusunda yapılan çalışmalar sonucu elde edilen bilgi birikimi ile, alkali oksit katkılı tungsten-tellürit camların başta termokromik uygulamalar olmak üzere, spektroskopik analiz cihazları ve renk ölçüm cihazlarında kullanılan filtreler ve kalibrasyon elemanları, anahtarlar, elemanları, sensörler, termistörler, vb. gibi yüksek katma değere sahip uygulamalar için uygun matrisler olduğu tespit edilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında yapılan çalışmalar ile, bugüne kadar cam yüzeyine yapılan ince film kaplamalar ile camlarda elde edilen termokromik özellik, bulk camlar için ilk defa kapsamlı olarak araştırılmış ve bu konuda literatüre evrensel katkı sağlanmıştır.

2. TEORİK BİLGİ

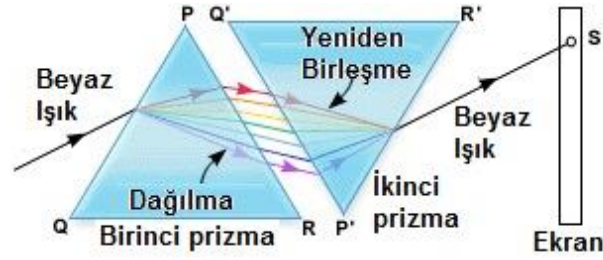
2.1 Işık ve Renk

Elektromanyetik bir dalga olan ışık, dalganın boyuna göre, radyo dalgalarından gama ışınlarına kadar uzanabilir. Elektromanyetik enerjinin insan gözü tarafından algılanabilen kısmı 380-780 nm dalga boyları arasında olup; bu dalga boyu aralığı görünür ışık olarak adlandırılır. Biri elektriksel diğeri manyetik olan ve birbirine dik olarak titreşen iki dalga hareketinden oluşan ışık, foton adı verilen enerji parçacıklarından oluşmaktadır. Sinüs dalgası şeklinde hareket eden ışığın temel üç özelliği: frekansı, şiddeti ve polaritesidir. Frekans, dalga boyu ile ters orantılıdır ve insan gözü bu özelliği renk olarak algılar. Şiddet, ışığın genliğidir ve insan gözü tarafından parlaklık olarak algılanır. Polarite ise ışığın titreşim açısıdır ve normal şartlarda insan gözü tarafından algılanmaz. Frekansı ν olan bir fotonun enerjisi, E , Planck sabiti ($4,14 \times 10^{-15}$ eVs), h , dalga boyu, λ , ve ışık hızı ($2,99 \times 10^8$ ms⁻¹), c , olmak üzere şu şekilde ifade edilir (Denklem 2.1) (Easton, 2004; Sabra, 1981).

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.1)$$

Görünür bölge içinde yer alan farklı frekanstaki enerjiler gözde farklı etkiler yaratır ve bu farklılıklar renk olarak algılanır (Nassau, 1998, 2001). Renk, İngiliz matematikçi ve gök bilimci Sir Isaac Newton tarafından ışığın çevremizdeki nesnelerden yansiyarak gözümüze ulaşması sonrasında beynimiz tarafından yorumlanan fiziksel bir algı olarak tanımlanmıştır. Bu algı, ışığın nesneler üzerine çarparak kısmen soğurulması veya yansımaları sonucu çeşitlilik göstermekte ve böylece farklı renkler ve tonları meydana gelmektedir. Renk oluşumunda, nesneler üzerine çarpan ışığın karakteri, soğurulan veya yansıyan ışığın farklı dalga boylarına göre dağılımı ve gözün görünür bölgedeki duyarlılığı etkilidir. Renk tayfındaki tüm renkleri içeren ve fiziksel bir olgu olan ışık, bütün renkleri bünyesinde topladığı için nesnelere renk veren unsurdur (Zollinger, 1999; Nassau, 1998).

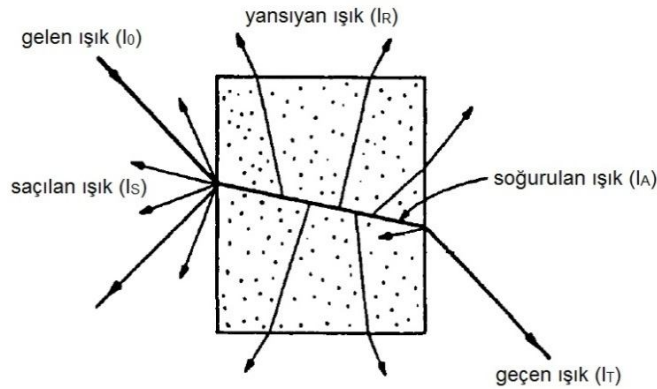
Isaac Newton, 1666 yılında karanlık bir odaya küçük bir delikten tek bir güneş ışığına eşdeğer ince bir ışık demeti sızmasını sağlayarak ve bu ışığı bir üçgen prizmadan geçirerek beyaz ışığı güneş tayfı renklerine ayırmış ve daha sonra yaptığı deneyin tersini gerçekleştirerek tayfın yedi renginin birer ışınını bir perdede birbiri üzerine düşürerek beyaz ışığı yeniden oluşturmuştur (Şekil 2.1) (Zollinger, 1999; Nassau, 1998).



Şekil 2.1 : Newton'un prizma deneyi, Nassau (1998)'den uyarlanmıştır.

Işık malzemeyle pek çok farklı yolla etkileşime girebilir. Malzeme yüzeyine gelen ışık demeti (I_0); soğurulan ışık (I_A), geçen ışık (I_T), saçılan ışık (I_S) ve yansıyan ışık (I_R) şeklinde ayrılmaktadır (Denklem 2.2 ve Şekil 2.2).

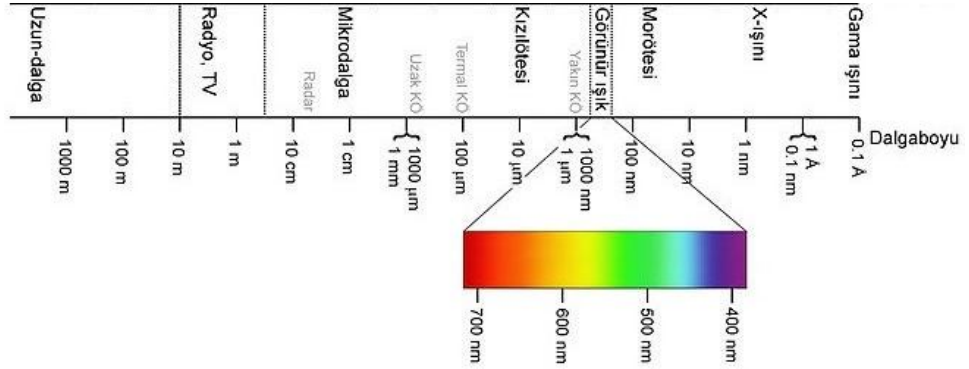
$$I_0 = I_A + I_T + I_S + I_R \quad (2.2)$$



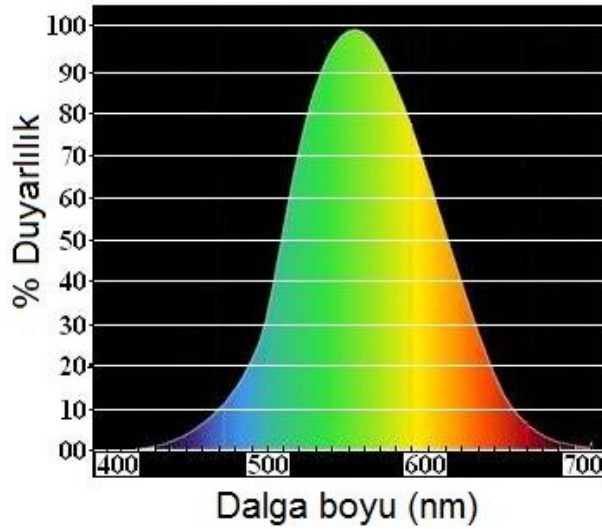
Şekil 2.2 : Yarı saydam bir malzeme üzerine gelen ışık, Nassau (1998)'den uyarlanmıştır.

Çevremizdeki nesnelerin renkleri, üzerlerine çarpan ışığın soğurulmasına veya yansımaya bağlı olarak değişmektedir. Aldıkları ışığın tamamını yansıtan nesneler tüm renklerin toplamı olan beyaz, ışığın tamamını soğuran nesneler siyah, ışığın bir bölümünü yansıtan nesneler ise renkli olarak algılanır (Sabra, 1981; Zollinger, 1999; Nassau, 1998).

Işık ile birlikte var olan renk olgusu, elektromanyetik spektrumun (Şekil 2.3) 380-780 nm dalga boyu aralığındaki görünür bölgesi içinde yer alan farklı dalga boyundaki ışınların göz tarafından algılanan ve beyinde oluşan birleşik etkisi olarak da tanımlanabilir. İnsan gözünün görünür bölge içinde en duyarlı olduğu dalga boyu aralığı yeşil ışığa karşılık gelen 550 nm olup; duyarlılık bölgenin iki ucuna doğru gittikçe azalır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : Elektromanyetik spektrum, Zollinger (1999)'den uyarlanmıştır.



Şekil 2.4 : İnsan gözü duyarlılığının dalga boyuna göre değişimi (Url-1).

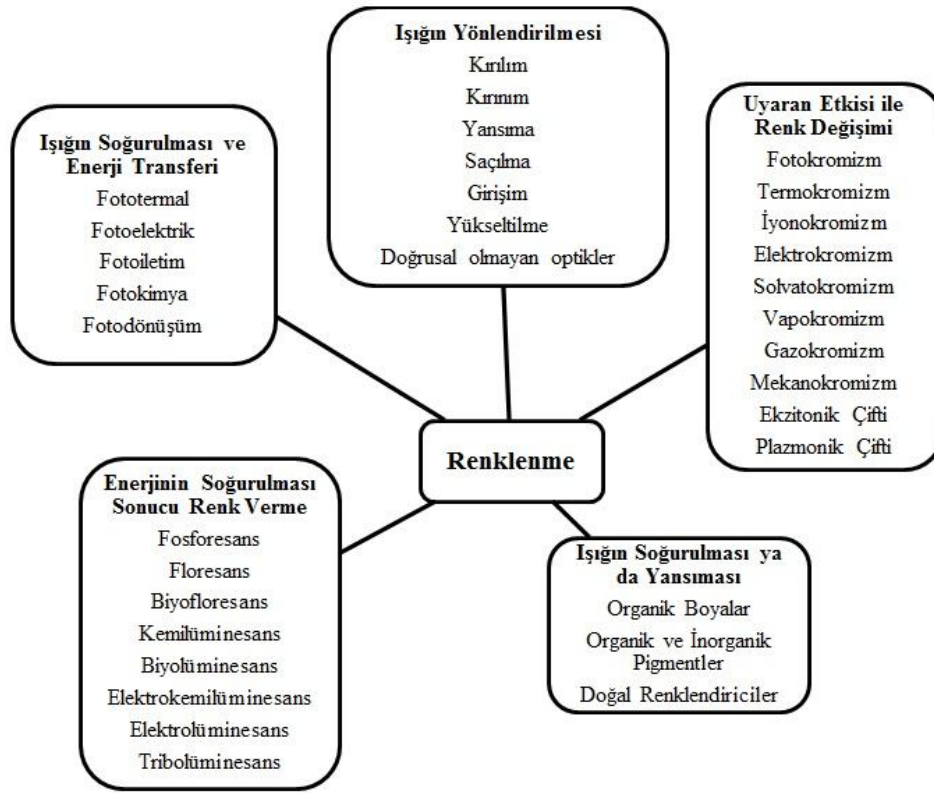
Renklenme, farklı kimyasal ya da fiziksel mekanizmalarla meydana gelmekte ve Nassau'nun yaklaşımına göre renk oluşumuna sebep olan 15 farklı mekanizma 5 ana grupta toplanmaktadır (Çizelge 2.1). Ana renklenme mekanizmalarından olan “basit titreşimler ve uyarılmalar” ve “geometrik ve fiziksel optikler” fiziksel, “ligand alan etkisi ile geçişler” ve “enerji bantları arası geçiş” hem fiziksel hem kimyasal, “moleküler orbitaller arası geçiş” ise kimyasal esaslı olaylardır (Nassau, 1998, 2001).

Çizelge 2.1 : Nassau yaklaşımına göre renk oluşum mekanizmaları.

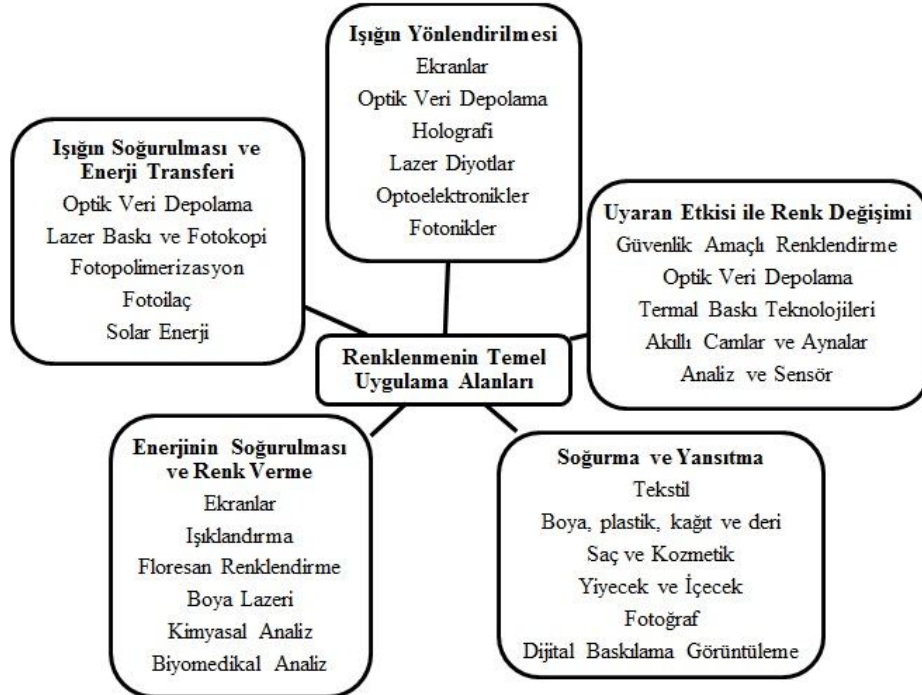
Grup	Renklenme Mekanizmaları	Örnekler
I	Basit Titreşimler ve Uyarılmalar	
1	Parlaklık	Güneş, sıcak cisimler, alev, filamanlar, karbon arki, vb.
2	Gaz	Neon işaretler, buhar lambaları, elektrik boşalması, vb.
3	Titreşimler ve Dönme	Su, buz, iyodür, bromür, klorür, mavi gaz alevi, vb.
II	Ligand Alan Etkisi ile Geçişler	
4	Geçiş Metal Bileşikler	Turkuaz, malahit, krom yeşili, vb.
5	Geçiş Metal Safsızlıkları	Yakut, zümrüt yeşili, aleksandrit, cam göbeği, vb.
III	Moleküler Orbitaler Arası Geçiş	
6	Organik Bileşikler	Boyalar, biyolojik renklenmeler, floresans, fosforesans, lazerler, vb.
7	Yük Transferi	Mavi safir, manyetit, prusya mavisi, vb.
IV	Enerji Bantları Arası Geçiş	
8	Metaller ve Alaşımlar	Bakır, gümüş, altın, demir, pirinç, vb.
9	Saf Yarı İletkenler	Silisyum, galenit, kadmiyum sarısı ve turuncusu, renksiz elmas, vb.
10	Katkılı Yarı İletkenler	Mavi ve sarı elmas, LED'ler, vb.
11	Renk Merkezi	Ametist, buğulu kuvars, vb.
V	Geometrik ve fiziksel optikler	
12	Dispersiyon, Polarizasyon	Gökkuşağı, hare, yalancı güneş, vb.
13	Saçılma	Mavi gözyüzü, kırmızı gün batımı, mavi ay, aytaşı, vb.
14	Girişim	Sabun köpüğü, su üzerindeki yağ tabakası, kamera lens kaplamaları, vb.
15	Saçılma	Işık halkası, parıltı, opal, sıvı kristaller, kırınım spektrumu, vb.

Nassau'nun yaklaşımına göre, renklenme mekanizmaları aşağıda belirtilen ışık ve malzeme etkileşimleri sonucu gerçekleşen renk değişimleri (Şekil 2.5) ya da renklenmenin kullanım bulduğu uygulama alanları (Şekil 2.6) açısından sınıflandırılabilir (Nassau, 1998, 2001).

- Uyarıcı etkisi ile renk değişimi
- Işığın soğurulması ya da yansıtılması
- Enerjinin soğurulması sonucu renk verme
- Işığın soğurulması ve enerji transferi
- Işığın yönlendirilmesi



Şekil 2.5 : Işık malzeme etkileşimi açısından renklenmenin sınıflandırılması (Bamfield ve Hutchings, 2010).



Şekil 2.6 : Uygulama alanları açısından renklenmenin sınıflandırılması (Bamfield ve Hutchings, 2010).

Çizelge 2.2 : Kromizm türleri (Bamfield ve Hutchings, 2010).

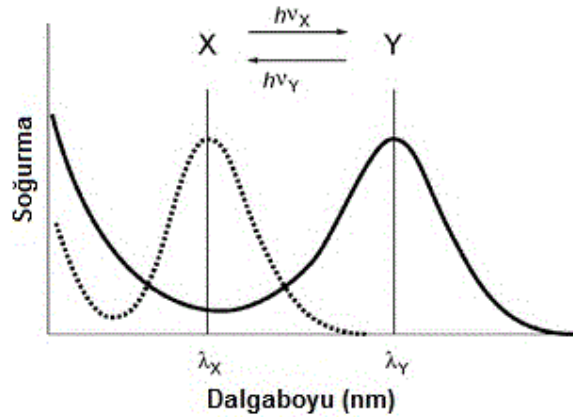
Elektrokromizm	Fotokromizm	Termokromizm	İyonokromizm	Solvatokromizm	Mekanokromizm	Hibrit	Diğerleri
							Grup A
Gazokromizm	Diastereofotokromizm	Diastereotermokromizm	Asidokromizm	Akuakromizm	Piezokromizm	Fotoelektrokromizm	(biyolojik / kimyasal etki)
				Hidrookromizm			Afinokromizm
				Higrokromizm			Afinitekromizm
							Biyokromizm
							Grup B
			Halokromizm	Rijidokromizm	Tribokromizm	Termosolvatokromizm Halosolvatokromizm	(şekilde değişiklik)
Heliokromizm	Agregakromizm						
	Amorfookromizm						
	Kristalokromizm						
							Konsantrokromizm
							Grup C
			Metalokromizm	Sorpsiyokromizm	Barokromizm	Elektromekanokromizm Elektropizokromizm	(dış alan/radyant etkisi)
Kirokromizm	Katadokromizm						
	Magnetokromizm						
	Radyokromizm						
							Gonyokromizm
			Alkalikromizm	Aromakromizm	Kronokromizm		
				Vapokromizm			

2.2 Kromizm

Kromizm, bir dış uyarı ile malzemenin renginde meydana gelen ve genellikle tersinir özellikte olan değişimdir. Kromik olaylar, farklı dış uyarıcılara bağlı olarak çeşitli sınıflara ayrılmaktadır. Başlıca kromizm türleri: elektrik alan etkisi ile gerçekleşen elektrokromizm, ışık etkisiyle meydana gelen fotokromizm, sıcaklık etkisi ile oluşan termokromizm, iyon eklentisi ile meydana gelen iyonokromizm, çözücü etkisi ile gerçekleşen solvatokromizm ve mekanik etki ile oluşan mekanokromizmdir. Başlıca kromizm türleri haricinde, iki etkinin birlikte neden olduğu indirekt kromizm olarak da adlandırılan hibrit kromojenik olaylar ve çeşitli etkilere bağlı olarak meydana gelen diğer kromik olaylar mevcuttur. Çizelge 2.2’de, bilinen kromizm türleri ve alt sınıfları literatürde bugüne kadar kullanılan isimlendirmeleri ile birlikte özetlenmektedir (Bamfield ve Hutchings, 2010; Bouas-Laurent ve Dürr, 2003).

2.2.1 Fotokromizm

Fotokromizm, ışık etkisiyle malzemenin renginde meydana gelen tersinir değişiktir. İlk olarak 1876’da E. ter Meer tarafından dinitrometanin potasyum tuzunun radyasyon altında tersinir renk değişikliği göstermesi ile tespit edilmiştir. Fotokromizm, elektromanyetik radyasyon (genellikle mor ötesi ya da görünür ışık) etkisiyle malzemenin termodinamik olarak daha kararlı olan X durumundan daha az kararlı Y duruma tersinir dönüşümü sonucu soğurma spektrumunda meydana gelen değişim (genellikle görünür ve yakın kızılötesi bölgede) ile ifade edilmekte olup; Şekil 2.7’de gösterilmektedir (Bamfield ve Hutchings, 2010; Heller, 1999; Irie, 1999; Yokoyama, 2009).



Şekil 2.7 : Fotokromik olay (Yokoyama, 2009).

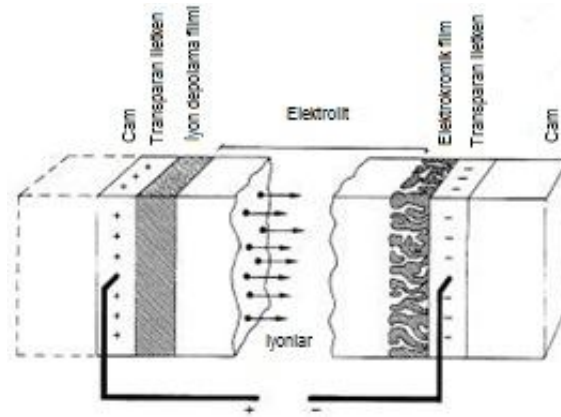
Fotokromik malzemeler, güneş gözlüklerinde kullanılan polimer lenslerde, akıllı cam uygulamalarında, aktinometri ve sıcaklık ölçümlerinde, optik veri depolama sistemlerinde, filtrelerde, ekranlarda, optik anahtarlarda, fotoğrafçılıkta, güvenli baskı, tekstil ve kozmetik alanlarında kullanım bulmaktadır (Bamfield ve Hutchings, 2010; Heller, 1999; Irie, 1999).

2.2.2 Elektrokromizm

Elektrokromizm, elektrik alan etkisi ile gerçekleşen elektron değişimi (oksidasyon/redüksiyon) sonucu malzemenin renginde meydana gelen değişimdir. 1968’de, S. K. Deb tarafından elektrokromik olarak tanımlanan ilk malzemeler molibden oksit ve tungsten oksittir. Elektrokromik malzemeler, genel olarak metal oksit filmler, moleküler boyalar ve iletken polimerlerden oluşur. Geçiş metal oksit filmler bugüne kadar üzerinde en çok çalışılan elektrokromik malzemelerdir (Bamfield ve Hutchings, 2010; Türhan, 2008).

En yaygın ticari kullanıma sahip kromik malzemeler olan elektrokromik malzemeler, otomobil aynalarında, optik ekranlarda, akıllı yansıtıcılarda ve pencerelerde, aktif optik filtrelerde ve veri depolama aygıtlarında kullanım bulmaktadır (Bamfield ve Hutchings, 2010; Türhan, 2008, Url-2).

Elektrokromik bir cihaz (Şekil 2.8), saydam iletken tabakalar arasına yerleştirilen iyon iletken ve iyon depolayıcı tabakalardan oluşur. Uygulanan gerilim sonucu oluşan elektrik alan etkisi ile iyon depolayıcı tabakada bulunan iyonlar elektrokromik tabakaya geçerek renklenmeye neden olmaktadır (Türhan, 2008).

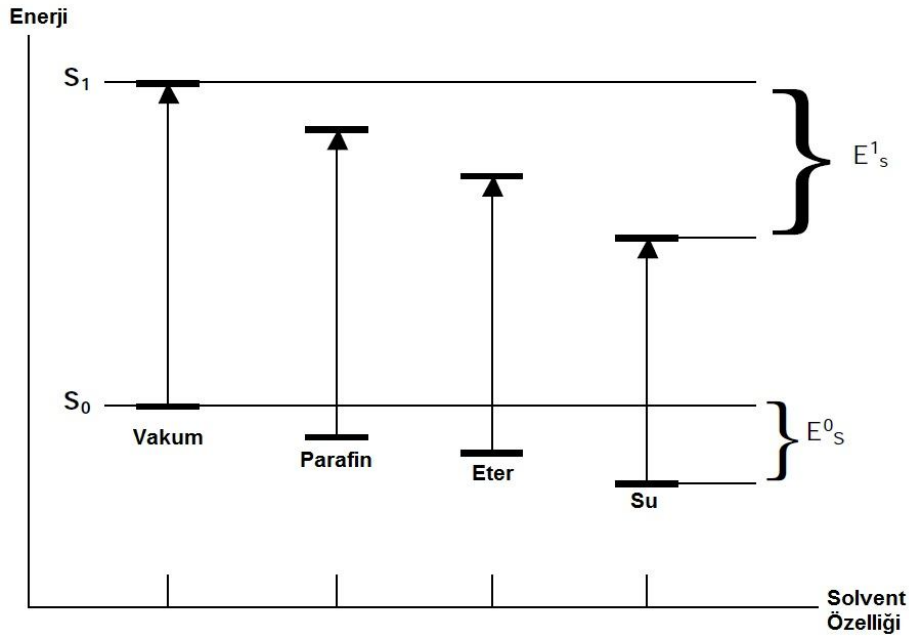


Şekil 2.8 : Elektrokromik bir cihazın şematik gösterimi (Türhan, 2008).

2.2.3 Solvatokromizm

Solvatokromizm çözücülerden kaynaklı olarak renkte meydana gelen tersinir değişimdir. Genellikle farklı çözücülerin polaritelerindeki değişimden kaynaklanır. Bu durum solvatokromik bileşiklerin şarj iletim mekanizmalarını etkileyerek renk değişimine neden olur (Url-2). En eski kromizm türlerinden biri olan solvatokromizm 1878'lerden beri bilinmektedir. Çözücü esaslı olan solvatokromizm, günümüzde jelleri, polimerleri, filmleri ve çeşitli yüzeyleri kapsamaktadır. Uzun yıllar boyunca solvatokromizm önemli bir ticari uygulaması olmadan çözücülerini karakterize etmek veya kromik çözücülerin uyarılma davranışını incelemek amacıyla kullanılmıştır. 1990'lu yıllardan sonra ise optik problemlerde ve sensörlerde kullanılmaya başlanması ile birlikte solvatokromizm üzerine yapılan araştırmalar yoğunluk kazanmıştır (Bamfield ve Hutchings, 2010).

Solvatokromizmde, çözelti içindeki moleküllerin soğurma veya salınım spektrumlarında meydana gelen kaymalar çözücünün bileşimindeki değişime bağlı olarak taban durumu (E_s^0) ile uyarılmış durumları (E_s^1) arasındaki çözünme enerjileri farkından kaynaklanmaktadır. Şekil 2.9'da solvatokromik değişimi gösterilen çözücünün özelliği genellikle çözücünün polaritesinin bir ölçüsüdür (Bamfield ve Hutchings, 2010).

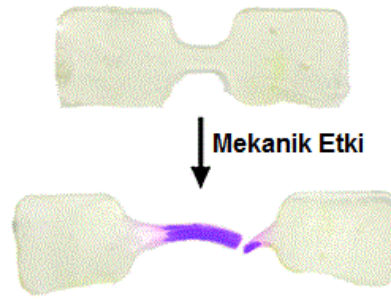


Şekil 2.9 : Solvatokromik değişimin enerji diyagramı (Bamfield ve Hutchings, 2010).

2.2.4 Mekanokromizm

Katı haldeki bazı kimyasallar mekanik öğütme, kırma, sürtünme ya da yüksek basınç etkisiyle renk değiştirebilir (Şekil 2.10). Bu özelliği gösteren malzemelere mekanokromik malzemeler adı verilir. En yaygın rastlanan türleri basınç etkisiyle gerçekleşen piezokromizm ve öğütme etkisiyle oluşan tribokromizmdir (Bamfield ve Hutchings, 2010).

Mekanokromik malzemelerin çok az sayıda ticarileşmiş uygulaması bulunmakta olup; mevcut uygulamalar mürekkepler, emniyet kilitleri ve kozmetik alanındadır (Bamfield ve Hutchings, 2010).

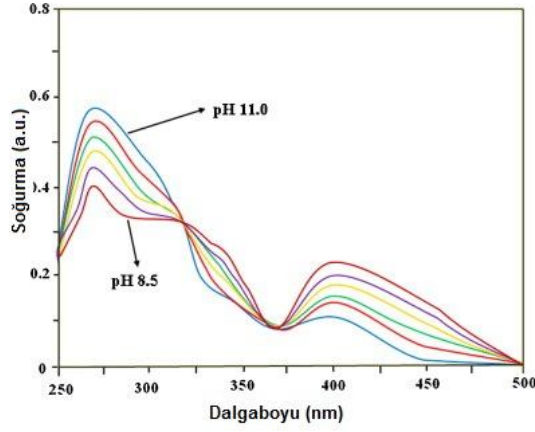


Şekil 2.10 : Mekanokromik olay (Ciardelli, 2013).

2.2.5 İyonokromizm

İyonokromizm, bir bileşik veya malzemenin iyonlarla etkileşimi sonucu meydana gelen renk değişimidir. Renk değişimi renksizden renkliye veya renkliden renksize doğru olabilir ve genellikle tersinirdir. İyonokromizm renk değişimine yol açan iyonların türüne bağlı olarak, halokromizm, asidokromizm, metalokromizm gibi farklı sınıflara ayrılmaktadır. Halokromizm pH değişiminin, asidokromizm asitlerin, metalokromizm ise metal iyonlarının neden olduğu iyonokromizm türleridir. Şekil 2.11’de pH değişiminden kaynaklanan iyonokromizmin bir örneği görülmektedir.

İyonokromizm ve alt türleri çeşitli teknolojik uygulama alanlarına sahiptir. Bunların başında analitik kimyada kullanılan pH’a duyarlı boyalar, metal iyonu konsantrasyonu tespit sistemleri, nem indikatörleri, basınç ve sıcaklığa duyarlı kopya kağıtları gelmektedir (Bamfield ve Hutchings, 2010).



Şekil 2.11 : pH değişiminden kaynaklı iyokronokromizmin şematik gösterimi (Jayabharathi, 2011).

2.2.6 Termokromizm

Termokromizm, sıcaklık etkisiyle malzemenin optik özelliklerinde meydana gelen tersinir ya da tersinir olmayan değişim olup; termokromik malzemeler, karakteristik bir dönüşüm sıcaklığına ulaşıldığında renginde değişiklik meydana gelen malzemeler olarak tanımlanabilir. Değişen sıcaklığa bağlı olarak malzemede gözlemlenen renk değişimi sürekli termokromizm olarak adlandırılırken; süreksiz termokromizm ise, gerçekleşen yapısal bir dönüşüm sonucu belirli bir dönüşüm sıcaklığında malzemede meydana gelen renk değişimidir (Day, 1963).

Termokromizm üzerine yapılan ilk sistematik çalışma 1871 yılında Houston tarafından gerçekleştirilmiş olup; bu çalışmada katılar, çözeltiler ve organik malzemelerdeki termokromizm incelenmiştir (Day, 1968). Bugüne kadar termokromik özellik gösterdiği tespit edilen başlıca malzemeler: spiropran, etilen, anil, pridin gibi pek çok organik bileşik, Cu(II) ve Ni(II) gibi metal iyonlarının az sayıdaki organik kompleksleri ve Ag_2HgI_4 ve Cu_2HgI_4 gibi inorganik bileşiklerdir. Ayrıca, baryum, kalsiyum ve stronsiyum sülfür ve titanatlarına, mangan, demir, vanadyum iyonlarının az miktarda ilavesi ile de termokromik özellik gözlemlendiği tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra, Nb_2O_5 , Al_2O_3 ve SnO_2 gibi oksitlerin ve FeCl_3 , CuCl_2 , CoCl_2 sulu çözeltilerinin sıcaklık değişimi etkisi ile renk değiştirdiği belirlenmiştir (Inoue, 1995; Sen, 1983).

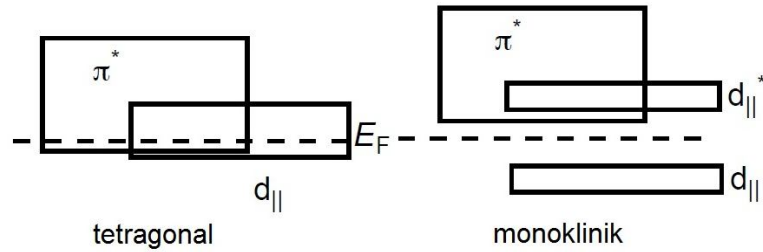
Günümüze kadar kullanılan en popüler termokromik malzemeler sıvı kristaller olup; oligomerler ve beyaz boyalar gibi organikler ve bileşikler de sıcaklık değişimi ile gösterdikleri tersinir renklenme özellikleri sayesinde pek çok uygulama alanı için

tercih edilmektedir. Bu malzemeler genel olarak termometreler, güvenlik amaçlı olarak kullanılan sıcaklık sensörleri, lazer göstergeler ve uyarı işaretleri gibi teknolojik uygulamalarda kullanılmaktadır (Kiria, 2010; Türhan, 2008).

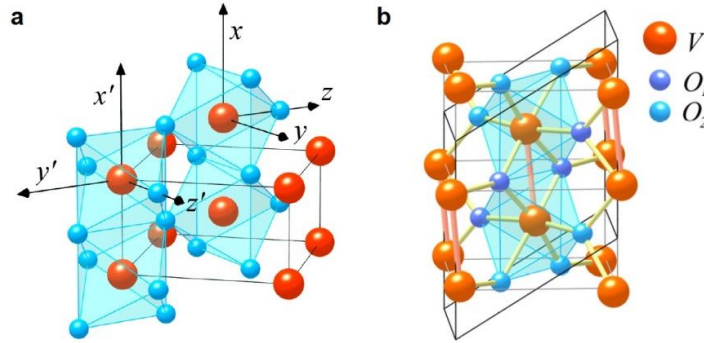
Katı hal termokromik malzemeler üzerine gerçekleştirilen çalışmalarda ise, bugüne kadar genellikle geçiş metal oksitleri incelenmiştir. Geçiş metal oksitlerinin (VO_2 , WO_3 , TiO_2 , vb.) kritik bir sıcaklıkta gösterdiği yarı iletken-metal faz dönüşümü sonucu malzemenin optik özelliklerinde değişim meydana geldiği belirlenmiştir. Düşük sıcaklıklarda yarı iletken özellik gösteren geçiş metal oksitleri, kritik bir sıcaklığın üzerinde metalik hale dönüşmektedir. Ancak, bu faz dönüşümünü gerçekleştiren geçiş metal oksitlerinin pek çoğu yüksek dönüşüm sıcaklıkları nedeniyle kısıtlı kullanım alanı bulmaktadır (Granqvist, 2010; Karlessi, 2009; Kiria, 2010).

Vanadyum, V^{5+} ’ten V^{2+} ’ye kadar tüm oksidasyon durumlarında bileşik yapabilme kabiliyeti (VO , VO_2 , V_2O_3 , V_2O_5 , V_6O_{13}) ve oksitlerinin termokromik, fotokromik ve elektrokromik özelliklerin her birini gösterebilme potansiyeli nedeniyle üzerine en çok çalışma yapılan geçiş metalidir (Granqvist, 2010; Türhan 2008; Feinleib, 1967). VO_2 ise vanadyum oksit bileşikleri içerisinde sahip olduğu düşük sıcaklıklardaki (68°C) tersinir yarı iletken-metal faz dönüşüm özelliği sayesinde, ince film kaplama olarak kullanım alanı bulmaktadır (Kiria, 2010; Zhang, 2010; Zhang, 2011; Parkin, 2006; Batista, 2011; Kanu, 2010; Arutjunjan, 2003). Şekil 2.12 ve Şekil 2.13’te görüldüğü gibi kritik dönüşüm sıcaklığı olan yaklaşık 68°C ’nin altında yarı iletken özellik gösteren ve monoklinik yapıda olan VO_2 , bu sıcaklığın üzerinde metalik özellik gösteren tetragonal rutil yapısına dönüşmektedir (Kiria, 2010; Türhan 2008; Feinleib, 1967; Zhang, 2010; Zhang, 2011; Parkin, 2006; Batista, 2011; Kanu, 2010; Arutjunjan, 2003; Qi, 2010; Leroux, 1998; Ye, 2010; Msomi, 2010). VO_2 ’nin diğer vanadyum oksitlerine göre sahip olduğu düşük dönüşüm sıcaklığı, yakın kızılötesi optik anahtarlar, sıcaklığa duyarlı cihazlar ve veri depolama araçları gibi uygulamalarda kullanımını sağlasa da, mimari uygulamalarda kullanımı için oldukça yüksek değerlerde olup; yapılan katkılar ile bu kritik dönüşüm sıcaklığı düşürülebilmektedir (Kiria, 2010; Feinleib, 1967; Zhang, 2010; Zhang, 2011; Parkin, 2006; Batista, 2011; Kanu, 2010; Arutjunjan, 2003; Qi, 2010; Leroux, 1998; Ye, 2010; Msomi, 2010; Saeli, 2010). Bu katkılar arasında tungsten, kritik dönüşüm sıcaklığını oda sıcaklığı mertebelerine ($\sim 25^\circ\text{C}$) düşürebilme kabiliyeti nedeniyle en

çok tercih edilen katkı malzemesi olup; VO_2 'nin akıllı cam kaplama olarak ticari açıdan uygulanabilir hale gelmesini sağlamaktadır. Ayrıca, altın, molibden, niobyum, alüminyum, titanyum gibi farklı metal iyonu katkıları da VO_2 'nin dönüşüm sıcaklığını düşürmek amacıyla kullanılmaktadır (Kiria, 2010; Zhang, 2010; Parkin, 2006; Batista, 2011; Kanu, 2010; Ye 2010; Saeli, 2010). Katkılandırılan iyonun miktarı, yükü ve elektron yük yoğunluğu kritik dönüşüm sıcaklığını etkileyen parametrelerdir. V^{4+} iyonundan daha büyük atomik yarıçapa sahip katkılar (tungsten (VI), niobyum (V), titanyum (IV), vb.) kafeste V^{5+} kusuru yaratarak dönüşüm sıcaklığının düşmesine sebep olurken; daha küçük atomik yarıçapa sahip katkılar ise (alüminyum (III), krom (III), vb.) dönüşüm sıcaklığını yükseltirler. Genel olarak, kritik dönüşüm sıcaklığını düşürmek için yüksek konsantrasyonlarda katkı gerekirken; %2 at. gibi düşük oranda tungsten ilavesi dönüşüm sıcaklığını yaklaşık 25°C 'ye düşürebilmektedir (Kiria, 2010).



Şekil 2.12 : Tetragonal ve monoklinik yapıdaki VO_2 'nin Fermi enerji seviyesindeki bant yapısı (Kiria, 2010).



Şekil 2.13 : a) Tetragonal ve b) monoklinik yapıdaki VO_2 'nin kristal yapısı (Kiria, 2010).

2.3 Camlarda Termokromizm

Termokromik özellik gösteren camlarla ilgili, ince film kaplamalı camlar dışında, literatürde kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bugüne kadar bulk camlarda

termokromizm üzerine yapılan çalışmalarda, fosfat camlar, Bi_2O_3 katkılı camlar, PbO ve TeO_2 içeren camlar ve tungsten oksit katkılı alkali oksit içeren camlar incelenmiştir (Abe, 1981; Bahgat, 1999; Chen, 1996; Chen, 2001; Fernandes, 2010; Inoue, 1995; Kawashima, 1989; Li, 1994; Ruf, 1985; Sen, 1983; Tawarayama, 2006; Wollenhaupt, 1996). Söz edilen sistemlerin incelendiği çalışmalar dışında, termokromik bulk cam sistemler ve bu sistemlerdeki termokromizm mekanizması konusunda yapılmış herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

Bulk camlardaki termokromizm konulu ilk çalışma, Abe ve diğ. (1981) tarafından fosfat camlar üzerine gerçekleştirilmiş olup; cam yapı içerisinde kolloidal taneler şeklinde bulunan fosforun değişen sıcaklıkla birlikte gösterdiği faz dönüşümü sonucunda cam yapının renk değiştirdiği ve bu değişimin tersinir özellik gösterdiği belirlenmiştir. 1989 yılında aynı grup tarafından yapılan başka bir çalışmada, amorf fosforun faz dönüşümü sonucu gösterdiği termokromik davranış dönüşüm sıcaklıkları açısından detaylı olarak incelenmiştir (Kawashima, 1989).

Bi_2O_3 katkılı termokromik camlar hakkında yapılan ilk çalışma, Sen ve diğ. (1983) tarafından gerçekleştirilmiş olup; bu çalışmada Bi_2O_3 katkısının borat camların tersinir karakterdeki termokromik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Uygulanan ısı işlem sonucu gözlemlenen renklenmenin, artan sıcaklık ve Bi_2O_3 oranı ile iyonların yüksek oranda polarize olmalarından kaynaklandığı belirtilmiştir. Yüksek oranda polarize olan iyonlarda şarj transfer enerjisi küçülmekte ve atomlar arası elektron transferi kolaylaşmaktadır. Chen tarafından 1996 yılında yapılan çalışmada ise, $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-CdO-Al}_2\text{O}_3$ camlarının içerdikleri Bi_2O_3 oranına bağlı olarak tersinir termokromik özellik gösterdiği belirtilmiştir. Artan Bi_2O_3 oranı ile bağların polarize olduğu ve zayıfladığı, optik bant aralığının daralarak soğurma sınırının yüksek dalga boylarına kaydığı tespit edilmiştir (Chen, 1996). Chen tarafından 2001 yılında gerçekleştirilen başka bir çalışmada ise, $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarının termokromik özellik gösterdiği ve camların optik soğurma sınırının sıcaklık katsayısının artan Bi_2O_3 oranı ile büyüdüğü belirlenmiştir (Chen, 2001). Chen tarafından gerçekleştirilen her iki çalışmada da, Bi_2O_3 içeren camlarda artan sıcaklıkla birlikte elektron fonon etkileşiminin artması ve bu yolla optik bant aralığının daralması sonucu termokromik özellik gözlemlendiği tespit edilmiştir (Chen, 1996, 2001).

Alkali oksit içeren camlara WO_3 katkısı sonucu oluşan termokromik etkinin incelendiği ilk çalışma Ruf ve diğ. (1985) tarafından gerçekleştirilmiş ve değişen

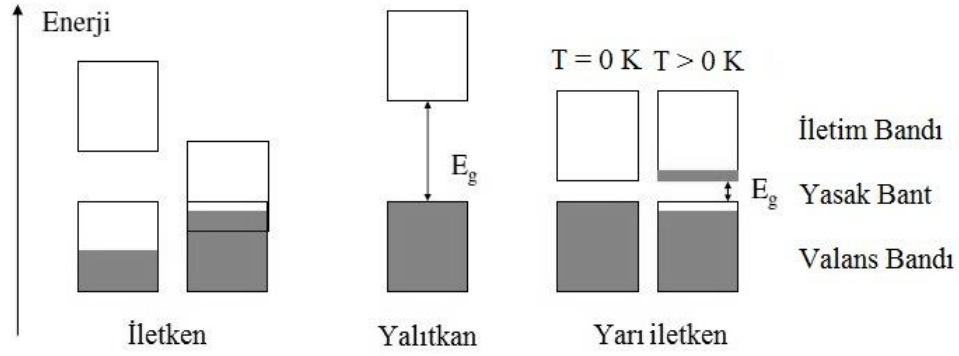
WO₃ içeriğinin lityum-borat camlarının renklenme mekanizmasına etkisi incelenmiştir. Artan WO₃ oranına bağlı olarak, distorse olmuş WO₆ oktahedral yapısının Li₂B₄O₇ içerisinde bozunması sonucu cam yapı içerisinde lityum-tungsten bronzlarının oluşumu ile camda kalıcı mavi renk gözlemlenmiştir. Wollenhaupt ve diğ. (1996) yaptıkları çalışmada tungsten oksit içeren lityum borat camların hidrojen varlığında ısıtıldıklarında kalıcı mavi renklenme gösterdiklerini belirlemiştir. Ayrıca bu çalışmada aynı camlara Fe⁺³ ilavesinin tersinir renklenmeye sebep olduğu kanıtlanmıştır. Tawarayama ve diğ. (2006) tarafından yapılan çalışmada, yüksek oranda WO₃ içeren fosfat camların hava ortamında cam geçiş sıcaklığının altına kadar ısıtılıp soğutulması ile tersinir mavi renklenme gözlemlenmiş ve bu renklenmenin nedeninin yapıda oluşan hidrojen tungsten bronzundan kaynaklandığı belirlenmiştir. Renklenmenin nedeninin W⁶⁺ iyonlarının hidrojen atomuyla redüksiyonu sonucu cam yapı içinde çözünmüş halde bulunan W⁵⁺ iyonları olduğu belirtilmiştir. Fernandes ve diğ. (2010) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise, tungsten-antimonfosfat camlarının değişen sodyum oksit oranına bağlı olarak termokromik özelliği incelenmiştir. Çalışmada, termokromik özellik göstermeyen WO₃-SbPO₄ camlarına alkali metal ilave edilmesi ile sıcaklığa bağlı olarak camlarda kalıcı renk değişimi meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada da renklenme mekanizmasının tungsten bronz (A_xWO₃, A=Li, Na veya K) benzeri yapıların cam matrisi içerisinde oluşumundan kaynaklandığı saptanmıştır. Tungsten bronz yapısı, iletim bandı boş olduğu için yalıtkan davranış gösteren saf WO₃'in iletim bandına iyonize olan hidrojen atomu ya da alkali atomlarının “s” seviyesindeki elektronlarının geçişi sonucu W⁶⁺'nın W⁵⁺'e indirgenmesi yoluyla oluşmaktadır. Cam yapısı içerisinde var olan W⁵⁺ iyonları, d-d elektronik geçişlerini mümkün kılarak; görünür bölgede soğurma bandının gözlemlenmesini yani renklenmeyi sağlamaktadır. Söz konusu renklenme oluşan renk merkezinin türüne göre kalıcı ya da tersinir karakterde olabilir (Fernandes, 2010; Ruf, 1985; Tawarayama, 2006; Wollenhaupt, 1996).

PbO ve TeO₂ içeren camlardaki termokromik davranışla ilgili yapılan çalışmalarda ise, Li ve diğ. (1994) PbO ve TeO₂ içeren silikat, borosilikat ve fosfosilikat camların değişen sıcaklıkla birlikte soğurma bantlarında tersinir bir ötelenme olduğunu tespit etmiştir. Termokromik özelliğin artan sıcaklık ve PbO ve TeO₂ oranı ile birlikte Pb²⁺ ve Te⁴⁺ bağ polarizasyonunun artışıyla kaynaklandığı belirtilmiştir. Inoue ve diğ. (1995) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise, geçiş metal oksit içeren tellurit

camların termokromik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada, tellürit camlar ve tellürit camlar gibi yüksek kırılma indisine sahip B_2O_3 -PbO ve PbO-SiO₂ camları geçiş metal oksitleri ile katkılandırılmış ve sıcaklığa bağlı optik geçirgenlik ölçümleri sonucu, artan sıcaklıkla birlikte optik spektrumun soğurma sınırının kırmızı dalga boyuna doğru ötelendiği, dolayısıyla çalışılan camların görünür bölgede termokromik özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Camların bant aralığı enerjisi artan sıcaklıkla azalmış ve bu durum bantlar arası soğurmanın yüksek dalga boyu bölgesine ötelenmesine neden olmuştur. Bahgat ve diğ. (1999) tarafından yapılan çalışmada ise, WO₃ içeren kurşunoksit camlarının sıcaklığa bağlı optik ve elektriksel incelenmesi gerçekleştirilmiş ve camların termokromik davranış gösterdiği tespit edilmiştir. Optik ve elektriksel ölçümler sonucunda bant aralığının sıcaklığa bağlı değişiminin termokromik davranışın nedeni olduğu belirtilmiştir.

2.4 Yarı İletken Özellik Gösteren Camlarda Renklenme

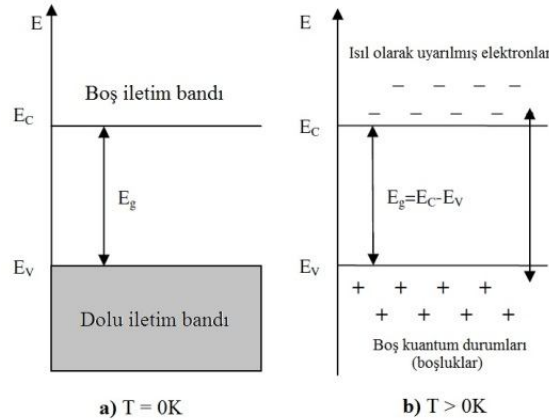
Enerji bant teorisine göre katılar, elektriksel ve optik özellikleri açısından yalıtkanlar, yarı iletkenler ve iletkenler olmak üzere üç grupta toplanabilir. Enerji bant teoremine uyan katılarda, iletim bandının (E_c) en alt noktası ile valans bandının (E_v) en üst noktası arasındaki fark bant aralığı olarak tanımlanmakta ve E_g ile gösterilmektedir. Valans bandı tamamen dolu ve iletim bandı tamamen boş olan katılara yalıtkanlar adı verilirken; iletkenler ise, valans bantları ve iletim bantları üst üste binen katılar olarak tanımlanabilir. Valans bantları ve iletim bantları arasındaki yasak enerji bant aralığı yalıtkanlardan daha az olan katılar ise yarı iletkenlerdir (Şekil 2.14). Yalıtkan katılarda enerji bant aralığının geniş olması nedeniyle oda sıcaklığında elektronların valans bandından iletim bandına geçişleri imkansızken; yarı iletken katıların, ısı uyarılmalar sonucu en az yasak enerji aralığı kadar enerji kazanan elektronların valans bandından iletim bandına geçişi ile iletken özellik göstermesi mümkündür. Oda sıcaklığında, iletkenlerin öz dirençleri $10^{-6} \Omega.cm$, yarı iletkenlerin öz dirençleri 10^{-3} - $10^9 \Omega.cm$, yalıtkanların öz dirençleri ise 10^{14} - $10^{22} \Omega.cm$ 'dir (Kittel, 2005).



Şekil 2.14 : Malzemelerin elektronik bant yapıları, Kittel (2005)'den uyarlanmıştır.

Valans bandından iletim bandına geçen elektronlar valans bandında boş kuantum durumları olan boşluklar oluşturur ve bu boş kuantum durumları valans bandındaki başka elektronlar tarafından doldurularak yeni boşluk oluşumları meydana gelir. Valans bandında meydana gelen bu boşluklar ve iletim bandındaki elektronlar serbest taşıyıcılar gibi davranarak iletkenliği sağlarlar (Kittel, 2005).

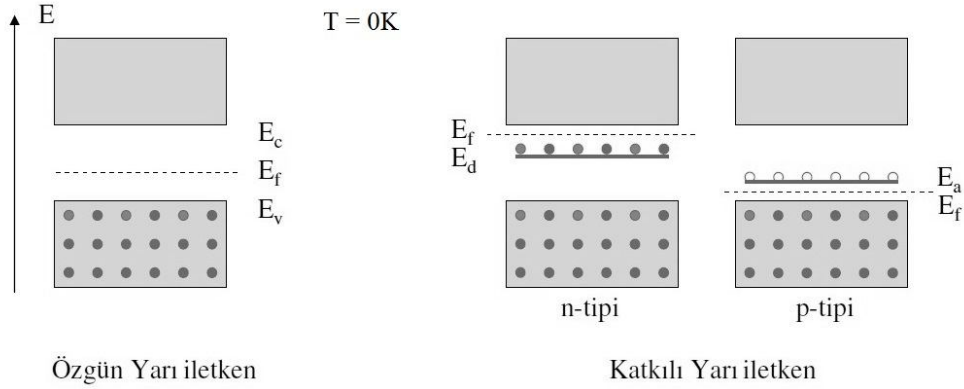
Yarı iletken malzemelerde, mutlak sıcaklık olan 0 K'de tamamen dolu bir valans bandı ve valans bandından yasak enerji aralığı kadar yukarıda tamamen boş bir iletim bandı bulunmakta olup (Şekil 2.15); yarı iletkenler bu sıcaklıkta yalıtkan gibi davranmaktadır. Sıcaklık 0 K'den itibaren arttırıldığında ise, en az yasak enerji aralığı kadar enerji kazanan elektronlar valans bandından iletim bandına geçerek valans bandında boş kuantum durumları olan boşluklar bırakırlar (Kittel, 2005).



Şekil 2.15 : Yarı iletkenlerin bant yapısı, Kittel (2005)'den uyarlanmıştır.

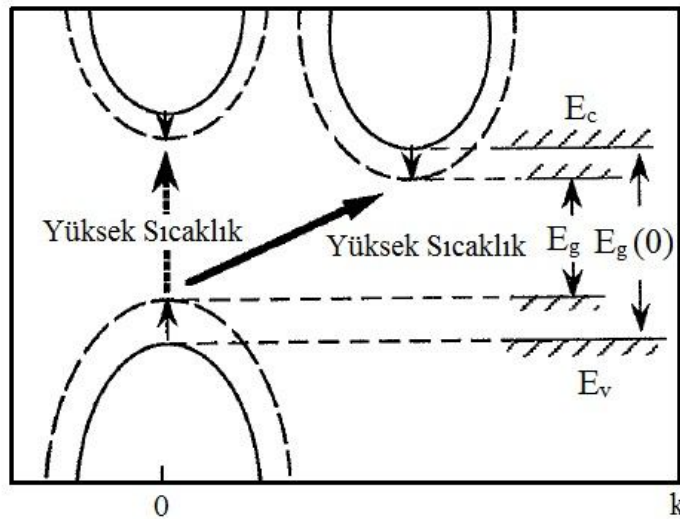
Yarı iletkenler, özgün (intrinsic) ve katkılı (extrinsic) olarak iki kategoride incelenebilir (Şekil 2.16). Yarı iletkenlerin pratik amaçlarla kullanılabilmesi ancak

katkılandırılmaları ile mümkün olup; yapılan katkının türü ve miktarı yarı iletkenin elektriksel ve optik özelliklerini büyük ölçüde değiştirir (Kittel, 2005).



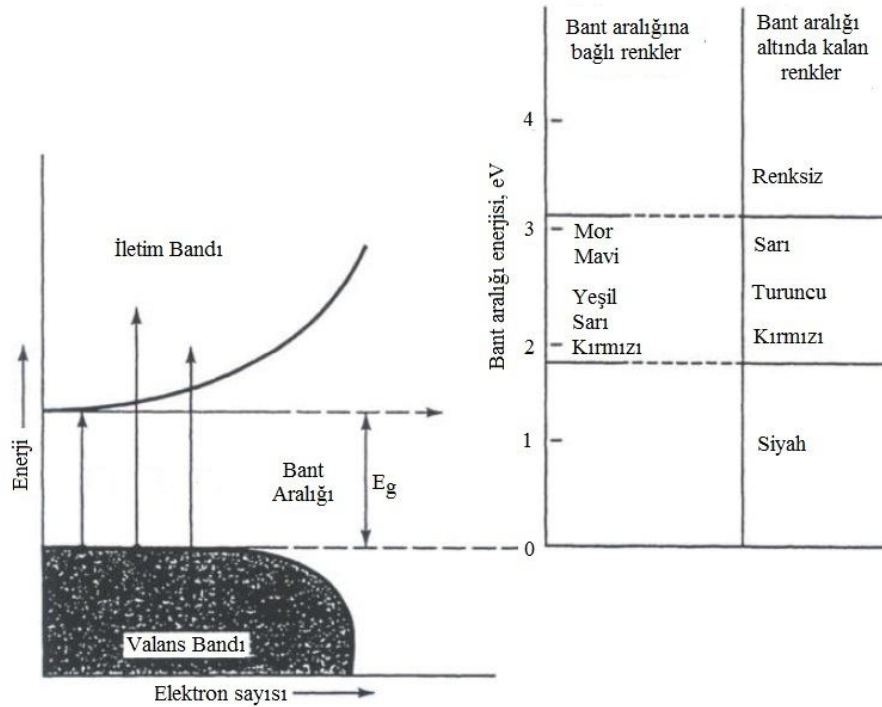
Şekil 2.16 : Özgün ve katkılı yarı iletken bant yapısı, Kittel (2005)'den uyarlanmıştır.

Yarı iletken malzemelerde bant aralığı enerjisi E_g sıcaklıkla değişmekte olup; Şekil 2.17'de görüldüğü gibi E_g yüksek sıcaklıklarda azalmakta ve buna bağlı olarak optik soğurma sınırı değerleri daha düşük enerji değerlerine ötelenmektedir. E_g 'nin sıcaklığa bağımlılığı latiste meydana gelen ısı genleşmeler ve titreşimlerden kaynaklanmaktadır. Genişlemiş bir latis daha düşük ortalama elektronik potansiyele sahip olduğu için bantlar arası enerji aralığı artan sıcaklıkla birlikte azalmaktadır (Chen, 1996).



Şekil 2.17 : Yarı iletkenlerde artan sıcaklıkla bant aralığı enerjisinde meydana gelen azalma (çizgili ok: direkt geçiş, düz ok: indirekt geçiş), Kittel (2005)'den uyarlanmıştır.

Yarı iletkenlerde, bant aralığının renk oluşumunun da nedeni olabileceği bilinmektedir. Geniş bant aralığına sahip bir malzeme geniş bir optik enerjiye de sahiptir. Bu tür malzemeler görünür bölgede hiç bir enerjiyi soğurmaz ve renksizdir. Orta genişlikte bant aralığına sahip bir yarı iletken malzemenin ise bant aralığı enerjisi görünür bölgenin foton enerjisi civarındadır. Örnek olarak CdS 2,6 eV bant aralığı enerjisi ile görünür bölgede mor ve mavi renkleri soğurarak sarı renk verir ve sarı pigment olarak bilinir. Küçük bant aralığına sahip (~2,3 eV) malzemeler ise elektromanyetik spektrumda mor, mavi ve yeşil renkleri soğurarak turuncu renkte görünür. 2,0 eV bant aralığı enerjisine sahip HgS ise kırmızı hariç tüm renkleri soğurarak kırmızı renk verir. Bant aralığı enerjisi 1,77 eV olan bir yarı iletken ise görünür bölgedeki tüm enerjileri soğurarak siyah renkte görünür. Şekil 2.18’de bant enerji aralığına bağlı olarak, yarı iletken malzemelerin renklenme davranışı açıklanmaktadır. Yarı iletken malzemelere yapılan katkılar, bant aralığında ekstra bir enerji seviyesi oluşturarak renk değişimine sebep olabilir (Nassau, 1998).



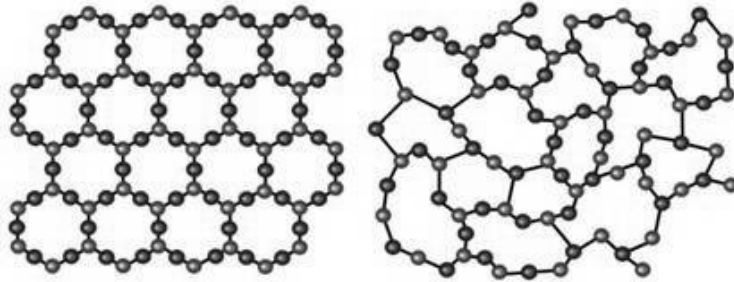
Şekil 2.18 : Yarı iletken malzemelerde bant aralığı enerjisine bağlı olarak renklenme (Nassau, 1998).

Yapıları içindeki hareketli iyonların (elektronların ya da pozitif boşlukların) hacimleri boyunca taşınımıyla iletken özellik gösteren cam ve cam-seramik malzemeler, yarı iletken davranış gösteren malzemeler olarak tanımlanabilir. 1-3 eV

bant aralığı enerjisine sahip kalkojenit ve ~ 3 eV bant aralığı enerjisine sahip tellürit camlar amorf yarı iletkenler olarak adlandırılabilir. Tellürit camlar, Şekil 2.18'den de görülebileceği gibi görünür bölgede mor ve mavi renkleri soğurarak sarı renkte görülür. Tellürit camların yarı iletkenlik özellikleri sıcaklık, frekans, basınç, modifiye edici türü ve oranına bağlı olarak değişmektedir (Davis ve Mott, 1970; El-Mallawany, 2002). Tellürit camlar, gösterdikleri yarı iletken davranış nedeniyle değişen sıcaklığa bağlı olarak bant aralığı enerjilerini ve buna bağlı olarak renklenme özelliklerini değiştirmektedir.

2.5 Cam

Camlar; termodinamik olarak kararsız, yüksek viskoziteli, saydam, kırılkan, sert yapılı amorf malzemelerdir (Doremus, 1973; Vogel, 1994). Periyodik olarak tekrarlanan düzenli bir yapıları olmayan camlar, kristalin malzemelerin aksine kısa mesafeli düzene sahiptir (Şekil 2.19) (Carter ve Norton, 2007; Çelikkalek ve diğ., 2012; Shelby ve Stryland, 2005; Vogel, 1994).



Şekil 2.19 : a) Kristalin, b) Cam yapının atomal dizilişinin iki boyutlu gösterimi.

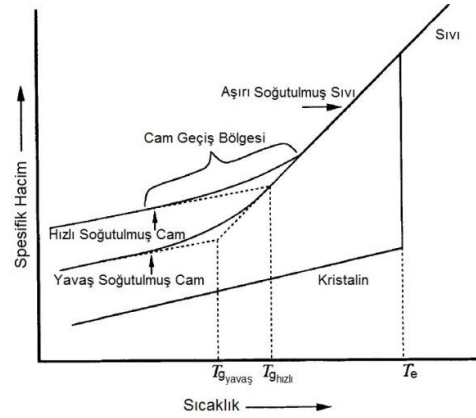
Birçok inorganik element ve bileşik, ergime noktalarının üzerinde uygun bir sıcaklığa ısıtıldıklarında viskoziteleri suya yakın (yaklaşık $10^{-4} - 10^{-3}$ Pa.s) sıvılar oluşturur. Bu sıvılar, donma noktalarına kadar soğutulduklarında ise, daha düşük enerjili olan kararlı duruma geçmek üzere hızla kristallenerek katılaşır. Teorik olarak yeterince hızlı soğutulduğunda her sıvının cam oluşturduğu düşünülse, suya yakın viskoziteli sıvılar hızlı soğutulduklarında genel yapıda kristalizasyon önlenemez ve ancak sıvının küçük bir kısmı donma noktasının altına kadar kristallenmeden aşırı soğutulabilir (Rawson, 1967; Shelby ve Stryland, 2005). İyi cam yapıcılar olarak bilinen ve ergime noktalarının üzerine ısıtıldıklarında yaklaşık $10^4 - 10^6$ Pa.s viskoziteli sıvılar oluşturan SiO_2 , BeF_2 , B_2O_3 , As_2O_3 , P_2O_5 , GeO_2 , vb. gibi

malzemeler, soğutma hızına bağlı olarak, donma noktasının altına kadar kristallenmeden soğutulabilir (Rawson, 1967; Vogel, 1994). Soğutma hızı yavaş ise, sıvı yavaşça kristallenerek termodinamik olarak sıvı halden daha kararlı bir hale gelir. Yeterince hızlı soğutulduğunda ise, kristalizasyon engellenebilir. Soğutma işlemi boyunca, sıvının viskozitesi atomların geri dizilimine izin vermeyecek şekilde artar ve malzeme uzun mesafeli diziliş yapısına sahip olmayan amorf bir katıya dönüşerek cam adını alır. Camın mekanik özellikleri elastik bir katıya benzerken; yapısal özellikleri viskoz bir sıvınıninki gibidir (Allen ve Thomas, 1998; Pye, 2005; Schmelzer ve Gutzow, 2011; Vogel, 1994).

Cam yapıcıların Şekil 2.20’de görülen spesifik hacim - sıcaklık ilişkisi grafiğinde, sıvı eriyiğin soğuma hızına bağlı olarak oluşturduğu cam ve kristalin yapılar gösterilmektedir. Şekil 2.20’de görüldüğü gibi, soğuma süresince sıvının hacminde düzenli bir azalış meydana gelmektedir. Soğutma hızının az olduğu durumlarda, T_e olarak gösterilen donma noktasında sıvı kristallenir ve hacminde hızlı bir azalış meydana gelir. Yavaş soğutularak kristalin hale gelen malzemenin hacmi azalan sıcaklıkla azalmaya devam eder. Soğutma hızının yeterince yüksek olduğu durumda ise, donma sıcaklığında (T_e) kristalizasyon gerçekleşmez ve cam geçiş sıcaklığına (T_g) ulaşıldığında aşırı soğumuş sıvının spesifik hacim - sıcaklık eğrisinin eğiminde bir değişim meydana gelerek eğim kristalin malzemenin eğimine paralel hale gelir. Cam geçiş ve donma sıcaklıkları arasındaki bölgede aşırı soğutulmuş sıvı olarak adlandırılan malzeme, cam geçiş sıcaklığının altında yaklaşık 10^{12} Pa.s viskozite değerlerine ulaşır ve cam olarak tanımlanır. Kristalin olmayan malzemelerin toplam spesifik hacmi, V , ile işgal ettikleri spesifik hacim, V_O , arasındaki fark olan serbest hacim, V_F , camın düzenli paket yapısına geçebilmesi için gerekli olan boşluğu ifade eder ve soğutma hızına bağlı olarak değişiklik gösterir. (Carter ve Norton, 2007; Çelikkalek ve diğ., 2012; Jackson, 2004).

Cam geçiş sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta bekletilen bir camın hacminde azalma meydana gelmektedir. Camdaki serbest molekül hareketinin durduğu ve camın stabilizasyonunun gerçekleştiği bu bölge cam geçiş bölgesi olarak adlandırılır. Camın daha kararlı hale geçmeye çalıştığı cam geçiş bölgesi boyunca, camların özellikleri belli bir oranda soğutma hızına bağlıdır. Cam geçiş sıcaklığı da soğutma hızı ile orantılı olup; düşük soğutma hızlarında düşüktür. Cam geçiş sıcaklığının üzerinde ise, aşırı soğutulmuş sıvı kristallenerek daha kararlı bir hale geçtiği için

zamana bağılı olarak herhangi bir değişim gözlemlenmez (Rawson, 1967; Schmelzer ve Gutzow, 2011).



Şekil 2.20 : Cam ve kristalin katıların spesifik hacim - sıcaklık değişimi, Shelby ve Stryland (2005)’den uyarlanmıştır.

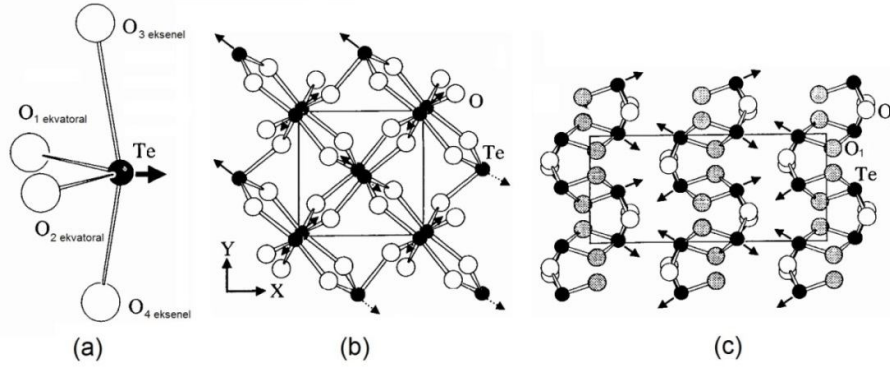
Uzun mesafeli düzene sahip olmayan, kararsız yapılar olan camların serbest enerji değerleri düzenli kristalin yapılarınkine göre daha yüksektir. Düzenli ve düzensiz yapı arasındaki serbest enerji farkı camların kristalizasyon reaksiyonlarının itici gücünü oluşturmaktadır. Kristalizasyon hızı cam oluşumunu kontrol eden en önemli faktördür. Bir malzemenin cam geçiş sıcaklığından ilk kristalizasyon sıcaklığına kadar olan bölgeyi kapsayan aralık, cam kararlılık bölgesi olarak adlandırılır ve ΔT ile gösterilir ve soğutma koşullarına bağlı olarak değişim gösterir. Cam malzemenin kullanım alanlarının belirlenmesinde, cam geçiş sıcaklığı ve cam kararlılık bölgesi genişliği önem taşımaktadır (Jackson, 2004; Shelby ve Stryland, 2005).

Cam oluşumu, kinetik olarak, spesifik hacmin sıcaklığa bağlı değişimi ile belirlenmekte olup; hızlı soğutma koşullarında, atomların geri dizilişine izin vermeyecek şekilde göreceli olarak hızlı artış gösteren viskoziteden dolayı cam yapı elde edilebilmektedir (Vogel, 1994). Cam oluşumu, yapısal açıdan irdelendiğinde ise, yüksek köşe paylaşımli dörtyüzlüye sahip çözeltilerin viskozitelerinin kenar ve yüzey paylaşımli dörtyüzlülere sahip çözeltilerinkilere göre daha yüksek olduğu dolayısıyla cam yapıcı oksitlerin genellikle iyonik dörtyüzlü yapıya sahip olduğu görülmektedir (Zachariasen, 1932; Warren, 1934). Zachariasen-Warren tarafından ortaya atılan cam şebeke teorisine göre ayrıca, cam oluşumu için oksijen atomunun ikiden fazla katyonla birleşmemesi ve katyonun koordinasyon sayısının 3 ya da 4 olması gerekmektedir (Warren, 1934; Zachariasen, 1932). Cam şebeke teorisine göre, cam yapı içerisinde yer alan oksit bileşenler cam yapıcılar (glass formers), şebeke yapısını

modifiye ediciler (modifiers) ve ara oksitler (intermediate oxides) olmak üzere üç grupta incelenmektedir. Cam yapıcılar ve ara oksitler cam şebeke yapısını oluştururken, modifiye ediciler şebeke yapısını bozan elemanlardır (Warren, 1934; Zachariasen, 1932). Stanworth (1952), bir cam yapıcı oksidin elektronegativite değerinin Pauling skalasına göre 1,7 ile 2,1 arasında olması gerektiği ve cam yapma eğiliminin katyon valansının küçülmesiyle arttığını belirtmiştir. Stanworth yaklaşımına göre, B_2O_3 , SiO_2 , GeO_2 , P_2O_5 ve As_2O_5 iyi cam yapıcılar, Sb_2O_3 , V_2O_5 , WO_3 , MoO_3 ve TeO_2 orta derecede cam yapıcılar, Al_2O_3 , Ga_2O_3 , TiO_2 , Ta_2O_5 , NbO , Bi_2O_3 , ZrO_2 ve CdO ara oksitler ve Na_2O , K_2O , CaO , BaO , vb. ise modifiye ediciler olarak tanımlanmıştır (Vogel, 1994). Oksitleri alan mukavemetleri açısından karşılaştıran Dietzel ise, cam yapıcı oksitlerin alan mukavemetlerinin ara oksitlerinkinden daha yüksek olduğunu ve modifiye edici oksitlerin en düşük alan mukavemeti değerine sahip olduğunu belirtmiştir (Vogel, 1994).

2.6 Tellürit Camlar

1950'lerde opto-elektronik uygulamalar alanında yoğunlaşan çalışmalar, amorf malzemeler konusunda yapılan araştırmalara hız kazandırmış ve günümüze kadarki süreçte tellür elementinin en kararlı oksit hali olan ve gerek kristalin katı gerekse tellürit cam olarak kararlılığı ile araştırmacıların dikkatini çeken TeO_2 üzerine çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. Beyaz renkte olan kristalin TeO_2 'nin mol ağırlığı 159,6 g, ergime sıcaklığı ise 733 °C'dir (Dutton ve Cooper, 1966; El-Mallawany, 2002). Detaylı araştırmalara konu olan TeO_2 , beyaz sentetik tetragonal paratellürit (α - TeO_2 - uzay grubu $P4_32_12$) ve sarı ortorombik mineral tellürit (β - TeO_2 - uzay grubu $Pbca$) olmak üzere iki farklı kararlı formda bulunmaktadır. 1946 yılında Stehlik ve Balak tarafından yapılan çalışmada, α - TeO_2 'nin tetragonal kristal yapıda olduğu ilk defa saptanmış ve 1968 yılında Lanqvist tarafından yapılan araştırmalarda, tetragonal paratellüritin TeO_4 alt birimlerinden oluşan üç boyutlu yapıda olduğu belirlenmiştir (Şekil 2.21a). Tetragonal α - TeO_2 yapısında, her oksijen atomu iki farklı birim tarafından paylaşılmakta olup; ekvatorial pozisyonda bir tellür atomuna, eksenel pozisyonda ise diğer bir tellür atomuna bağlıdır (Şekil 2.21b). Ortorombik kristal yapıdaki β - TeO_2 (tellürit) hakkındaki ilk çalışma ise, 1967 yılında Beyer tarafından gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.21c). TeO_2 yapısını oluşturan atomlar arası mesafeler ve bağlar arası açılar, Çizelge 2.3'te verilmektedir (El-Mallawany, 2002).



Şekil 2.21 : a) Eşdeğer olmayan iki oksijen atom çiftine sahip $[\text{TeO}_4]$ üçgensel çift piramit yapısı, b) $\alpha\text{-TeO}_2$ kristal yapısının şematik gösterimi, c) $\beta\text{-TeO}_2$ kristal yapısının şematik gösterimi, Te^{4+} yapısına ait bağlanmamış elektron çifti ok ile gösterilmiştir, El-Mallawany (2002)'den uyarlanmıştır.

Çizelge 2.3 : $\alpha\text{-TeO}_2$ ve $\beta\text{-TeO}_2$ yapısındaki bileşenlerin birbirlerine olan mesafeleri ve bağlar arası açıları, El-Mallawany (2002) ve Mirgorodsky (2000)'den uyarlanmıştır.

Bileşenler	Mesafe (Å)		Açı (°)	
	$\alpha\text{-TeO}_2$	$\beta\text{-TeO}_2$	$\alpha\text{-TeO}_2$	$\beta\text{-TeO}_2$
Te – $\text{O}_{\text{ekvatorial}}$	1,88	1,88:1,93	103	101
Te – $\text{O}_{\text{eksenel}}$	2,12	2,07:2,19	169	168

Blanchandin ve diğ. (1999) tarafından yapılan çalışmada, TeO_2 'nin kararlı formlarının yanı sıra ortorombik $\gamma\text{-TeO}_2$ (uzay grubu $\text{P2}_1\text{2}_1\text{2}_1$) ve kübik $\delta\text{-TeO}_2$ (uzay grubu F) olmak üzere iki yarı kararlı polimorfunun bulunduğu ve bu yarı kararlı polimorfların TeO_2 yapısına ilave edilen modifiye edici oranına bağlı olarak oluştuğu belirtilmiştir. Gerçekleştirilen yapısal incelemelerde, $\gamma\text{-TeO}_2$ 'nin $\alpha\text{-TeO}_2$ 'ye benzer yapıda olduğu ve her tellür atomunun 4 oksijen atomuna bağlı ve bir ekvatorial köşesinde serbest elektron çifti bulunan bozunmuş TeO_4 üçgensel çift piramit görüntüsünde olduğu tespit edilmiştir (Champarnaud-Mesjard ve diğ., 2000). Daha sonra yapılan çalışmalarda, TeO_2 'nin yarı kararlı polimorflarının farklı modifiye edicilerle katılandırılmış tellürit camların cam geçiş sıcaklığı üzerindeki sıcaklıklarda ısıtılma tabi tutulması ile elde edildiği tespit edilmiştir (Blanchandin ve diğ., 1999, Ersundu ve diğ., 2010a, 2010b, 2011, 2012; Karaduman ve diğ., 2012; Mirgorodsky ve diğ., 2000; Noguera ve diğ., 2003; Tatar ve diğ., 2009).

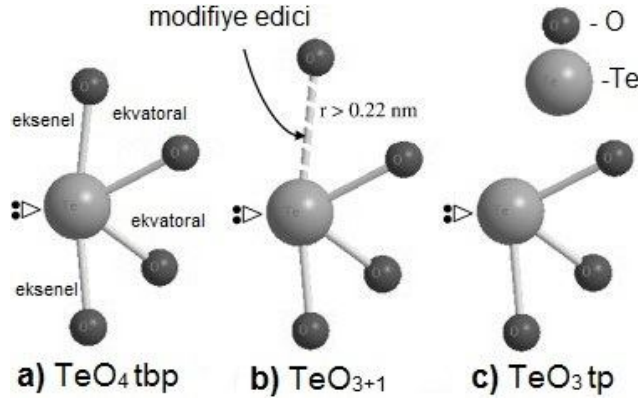
Tellür oksit, yapısal açıdan cam oluşumunu inceleyen teoriler göz önünde bulundurulduğunda, Zachariasen-Warren şebeke teorisine göre katyonlarının

koordinasyon sayısı 3 ya da 4 olduğu, oksijen atomu ikiden fazla katyonla birleşmediği, çokyüzlüleri birbirleriyle köşelerinden birleştiği ve bir çokyüzlünün en az üç köşesi diğer çokyüzlüler tarafından paylaşıldığı için, Stanworth teorisine göre ise elektronegativite değeri Pauling skalasında 2,1 olduğu için orta derecede cam yapıcı olarak tanımlanmaktadır (Stanworth, 1952; Warren, 1934; Zachariasen, 1932).

Saf TeO_2 ile cam eldesi, ilk olarak 1962 yılında Cheremisinov ve Zalomanov tarafından yapılan çalışmada gerçekleştirilmiştir. Ancak yapılan kimyasal analizler sonucu cam bileşiminin üretim yapılan potadan gelen %6 oranında Al_2O_3 içerdiği ve bu nedenle camın yeşil renkte olduğu tespit edilmiştir (El-Mallawany, 2002’de atıfta bulunulduğu gibi). Literatürde saf tellür oksit camı eldesi için yapılan diğer çalışmalarda da, genel olarak kullanılan potadan gelen kirliliklerin modifiye edici etkisi yaratarak cam oluşumunu sağladığı saptanmıştır (Vogel, 1994). Daha sonra 1984 yılında Lambson ve diğ. tarafından yapılan çalışmada, saf TeO_2 ’nin farklı sıcaklıklarda ergitilmesi ile cam eldesi amaçlanmış, ancak bu yöntemle de saf tellürit camı elde edilememiştir (El-Mallawany, 2002’de atıfta bulunulduğu gibi). Sonuç olarak, TeO_2 ’nin tek başına cam yapma kabiliyetine sahip olmayan koşullu bir cam yapıcı olduğu ve ancak şebeke yapısını modifiye edecek ağır metal oksit, alkali oksit veya halojenür gibi ikinci bir bileşenin ilavesi ile cam yapabildiği belirlenmiştir (El-Mallawany, 2002).

Tellürit camlardan literatürde ilk kez 1834 yılında Berzelius tarafından bahsedilmiş ve bu çalışmada alkali ve baryum tetratellürit camlar konu edilmiştir (El-Mallawany, 2002’de atıfta bulunulduğu gibi). Tellürit camlar hakkındaki ilk sistematik çalışma ise Stanworth (1952) tarafından yapılmış ve cam yapan oksit katyonların elektronegativite değerleri dikkate alınarak TeO_2 ’nin camlaşma özellikleri incelenmiştir. Tellürit cam yapısının ilk kez incelendiği Barady (1956) tarafından yapılan çalışmada ise, cam yapısının brukit benzeri $\beta\text{-TeO}_2$ yapısına benzediği tespit edilmiştir. Çok sayıda TeO_2 esaslı ikili sistemin cam yapma kabiliyetlerinin ve üçlü tellürit camların ilk kez incelendiği çalışma ise Imaoka ve Yamazaki (1968) tarafından gerçekleştirilmiş ve bu çalışmada 16 farklı A grubu (K, Na, Li, Ba, Sr, Ca, Mg, Be, La, Al, Th, Zr, Ti, Ta, Nb, W) ve 5 farklı B grubu elementinin (Tl, Cd, Zn, Pb, Bi) camlaşmaya olan etkileri irdelenmiştir. Vogel (1974) ise, tellür oksit esaslı sistemlerin cam yapma kabiliyetlerini ve optik davranışlarını kapsamlı olarak inceleyerek; literatürde daha önce tespit edilen cam yapma aralıklarını doğrulamıştır.

Tellürit cam yapısının incelendiği ilk dönem çalışmalarda, tellürit camların büyük oranda deforme olmuş $[\text{TeO}_6]$ birimlerinden oluştuğu belirtilmiş; ancak daha sonra Zemann tarafından yapılan çalışmada tellürit camların $[\text{TeO}_6]$ birimlerinden oluşmadığı ve Te^{4+} iyonunun tellürit cam ve minerallerinde 3, 3+1 ve 4 koordinasyon sayısına sahip olduğu ispatlamıştır. Tellürit camlarda gözlemlenen yapısal birimler Şekil 2.22’de gösterilmekte olup; $\alpha\text{-TeO}_2$, $\beta\text{-TeO}_2$ ve tellürit camların alabilecekleri koordinasyon sayıları Çizelge 2.4’te özetlemektedir (El-Mallawany, 2002’de atıfta bulunulduğu gibi).



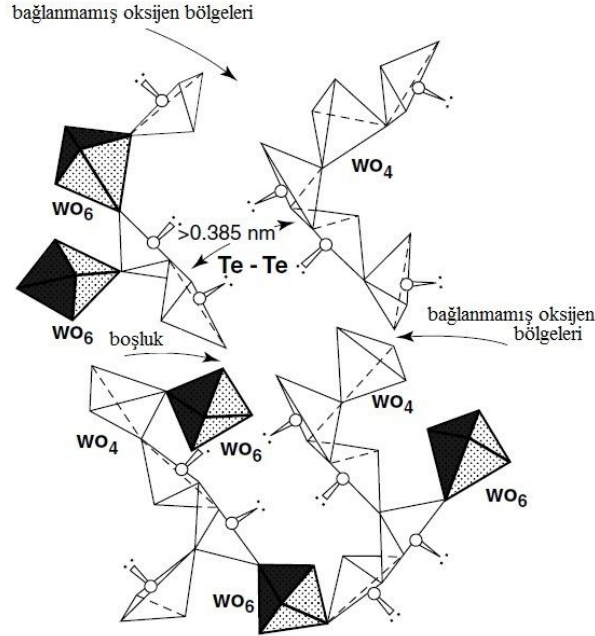
Şekil 2.22 : Tellürit camlarda gözlemlenen yapısal birimler, a) $[\text{TeO}_4]$ üçgensel çift piramit yapısı (tbp), b) $[\text{TeO}_{3+1}]$ çokyüzlü, c) $[\text{TeO}_3]$ üçgensel piramit (tp), Rao ve diğ. (2012)’den uyarlanmıştır.

Çizelge 2.4 : $\alpha\text{-TeO}_2$, $\beta\text{-TeO}_2$ ve tellürit camların alabilecekleri koordinasyon sayıları.

		Koordinasyon Sayısı	Yapısal Birimler
Kristal	$\beta\text{-TeO}_2$	3	Üçgensel piramit
	$\alpha\text{-TeO}_2$	4	Üçgensel çift piramit
		3	Üçgensel piramit
Cam		3+1	Çokyüzlü
		4	Üçgensel çift piramit

TeO_4 üçgensel çift piramit (trigonal bipyramid - tbp) ve TeO_3 üçgensel piramit (trigonal pyramid - tp) olmak üzere iki temel yapı birimine sahip olan tellürit cam yapısı üzerine gerçekleştirilen araştırmalarda, yapıdaki $[\text{TeO}_4]$ birimlerinin birbirlerine köşelerden bağlı ve $\alpha\text{-TeO}_2$ yapısına benzer olduğu bulunmuştur (Komatsu ve Mohri, 1999; Kosuge ve diğ., 1998). Tellürit cam yapısının, birbirlerine

köşelerden bağlı $[\text{TeO}_4]$ üçgensel çift piramit birimlerinin oluşturduğu zincir şeklindeki şebeke yapısının yapıya katkılanırılan modifiye ediciler ile bozularak bağlanmamış oksijen bölgelerinin (non-bridging oxygen sites) oluşması sonucu oluşumu Şekil 2.23'te gösterilmektedir (Kozhukharov ve diğ., 1986).



Şekil 2.23 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3$ camının atomal diziliminin şekilsel gösterimi.

Tellürit camlar; silika, borat, fosfat, germanat gibi oksit camlara kıyasla, yüksek kırılma indisine, yüksek yalıtkanlık sabitine, yüksek elektriksel iletkenliğe, yüksek bant genişliğine, düşük bant aralığı enerjisine, düşük fonon enerjisine, görünür ve kızılötesi bölgede geniş geçirgenlik aralığına, nadir toprak elementleriyle yüksek konsantrasyonlarda katkılandırılabilirliğe, yüksek korozyon direncine, yüksek ısı ve kimyasal kararlılığa, düşük cam geçiş ve ergime sıcaklığına sahiptir (Çizelge 2.5).

Bu özellikleri sayesinde optik fiberler, mikrolensler, veri depolama, lazerler, sensörler, optik ekranlar, optik modülatörler, doğrusal olmayan optik cihazlar ve spektroskopik uygulamalar gibi opto-elektronik uygulamalar için uygun malzemeler oldukları saptanan tellürit camlar üzerine günümüze kadar pek çok çalışma yapılmıştır. Bağ yapısına katılmayan TeO_4 gruplarının eşleşmemiş elektron çiftleri sayesinde diğer cam sistemlere kıyasla daha iyi elektriksel özelliklere sahip olan tellürit camların yalıtkanlık özellikleri, cam yapısındaki modifiye edicilerin türüne, miktarına ve alan mukavemetine bağlı olarak değişmektedir. Buna göre, geçiş metal oksit içeren tellürit camlar, geçiş metal oksitlerin cam yapıdaki çok değerlikli

durumundan dolayı gösterdikleri yarı iletken özellik sayesinde, başta kromik uygulamalar olmak üzere, ince film anahtarlar, ince film hafıza elemanları, termistörler, kanal tipi fotoyükselticiler, vb. için de ideal cam matrisler olmaya adaydır. Alkali oksit içeren tellürit camlar ise, sahip oldukları iyi iletkenlik özellikleri sayesinde sıvı elektrolitler olarak gelecek nesil lityum iyon pillerde kullanım potansiyeline sahiptir (El-Mallawany, 2002; Thomas, 2012).

Çizelge 2.5 : Farklı cam sistemlerin optik ve fiziksel özellikler açısından karşılaştırılması, Wang ve diğ. (1994)’ten uyarlanmıştır.

Özellik	Tellürit	Silika	Florür	Kalkojen
Optik özellikler (tipik değerler)				
Fonon enerjisi (cm^{-1})	600-850	1000-1100	500-600	200-300
Kırılma indisi	1,8-2,3	1,46	1,5	2,8-3
Abbe numarası	10-20	80	60-110	
Doğrusal olmayan kırılma indisi (m^2/W)	$2,5 \cdot 10^{-19}$	10^{-20}	10^{-21}	daha yüksek
Geçirgenlik aralığı (μm)	0,4-5,0	0,2-2,5	0,2-7,0	0,8-16
En uzun floresan dalgaboyu (μm)	2,8	2,2	4,4	7,4
Bant aralığı enerjisi (eV)	~ 3	~ 10		1-3
Fiziksel özellikler (tipik değerler)				
Cam geçiş ($^{\circ}\text{C}$)	300	1000	300	300
Isıl genleşme ($10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}$)	120-170	5	150	140
Yoğunluk (g/cm^3)	5,5	2,2	5,0	4,51
Yalıtkanlık sabiti	13-35	4,0		
Bağ tipi	kovalent-iyonik	iyonik- kovalent	iyonik	kovalent
Çözünürlük	$\sim 10^{-2}$	$\sim 10^{-3}$	çözünür	$\sim 10^{-4}$

Bu tez çalışmasında, tek başına cam yapma kabiliyetine sahip olmayan TeO_2 , iyi bir şebeke yapısı modifiye edici olan ve bir geçiş metal oksit olması nedeniyle bulunduğu farklı oksidasyon seviyeleri sayesinde yapı içerisinde elektronik geçişleri mümkün kılan WO_3 ve cam şebeke yapısında bağlanmamış oksijen bölgeleri oluşturarak cam yapının yük taşıma ve iletkenlik özelliklerini arttıran alkali oksitler (Li_2O , Na_2O , K_2O) ile katkılandırılmıştır.

Alkali oksit içeren tungsten tellürit cam sistemlerin camlaşma davranışları ve cam özellikleri hakkında oldukça kısıtlı literatür bilgisi bulunmaktadır. TeO_2 - WO_3 - Li_2O

33

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ üçlü oksit sistemlerinin camlaşma davranışlarının tespiti ve cam özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, belirlenen bileşimler doğrultusunda hazırlanan numunelerin ısı, fiziksel, termodinamik, kinetik, yapısal, optik ve elektriksel incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Cam sistemlerin termokromik davranışlarının araştırılması amacıyla ise, seçilen bileşimlerdeki camların sıcaklığa bağlı spektroskopik ve elektriksel incelemeleri yapılmıştır.

3.1 Numunelerin Hazırlanması

Deneysel çalışmalarda, başlangıç malzemesi olarak yüksek saflıkta TeO_2 (%99,99 saflıkta, Alfa Aesar Company), WO_3 (%99,8 saflıkta, Alfa Aesar Company), Li_2CO_3 (%99,5 saflıkta, Alfa Aesar Company), Na_2CO_3 (%99,0 saflıkta, Alfa Aesar Company), K_2CO_3 (%99,0 saflıkta, Alfa Aesar Company) tozları kullanılmıştır. Alkali oksit (A_2O , $\text{A}=\text{Li}$, Na , K) elde etmek amacıyla kullanılan alkali karbonatlar (A_2CO_3), eritme sırasında parçalanarak A_2O 'ya dönüşmektedir. Çizelge 3.1'de deneysel çalışmalarda kullanılan oksit bileşenlerin genel özellikleri özetlenmiştir.

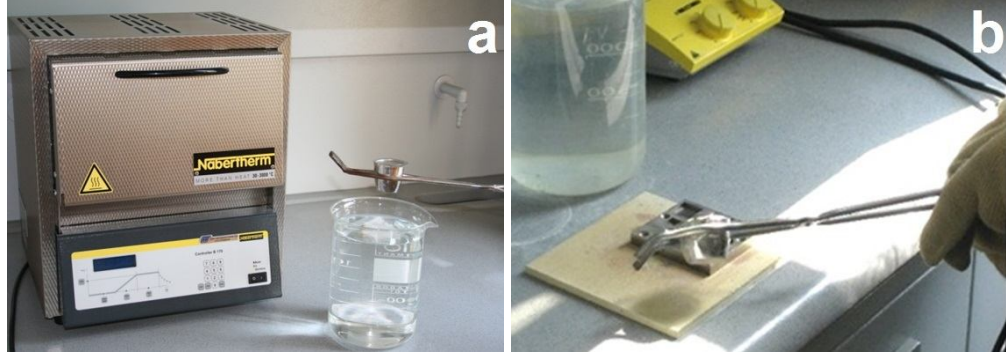
$\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ üçlü sistemlerinin cam haritalarının oluşturulması amacıyla deneysel çalışmalarda, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ sistemine ait 27, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ sistemine ait 31, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ sistemine ait 27 farklı bileşimde numune ve üçlü sistemlerin alt ikili sistemlerine ($\text{TeO}_2\text{-WO}_3$, $\text{TeO}_2\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-Na}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-K}_2\text{O}$, $\text{WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ ve $\text{WO}_3\text{-K}_2\text{O}$) ait farklı bileşimlerde numuneler incelenmiş olup; numuneler, TeO_2 (159,6 g/mol), WO_3 (231,8 g/mol), Li_2O (29,9 g/mol), Li_2CO_3 (73,9 g/mol), Na_2O (61,99 g/mol), Na_2CO_3 (105,99 g/mol), K_2O (94,2 g/mol), K_2CO_3 (138,2 g/mol) molar ağırlıkları esas alınarak hazırlanmıştır. Numunelerin isimlendirilmesi, teorik olarak hesaplanan TeO_2 , WO_3 , Li_2O , Na_2O ve K_2O bileşenlerinin mol yüzdeleri esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre numuneler, bileşenlerinin ilk harfi ve mol yüzdeleri

yanyana yazılarak isimlendirilmiştir. Hazırlanan 3g'lık numunelere ait bileşimler ve kullanılan toz miktarları Ek A'da verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Deneysel çalışmalarda kullanılan oksit bileşenlerin genel özellikleri.

	Molekül Ağırlığı (g)	Kristal Yapısı	Yoğunluk (g/cm ³)	Ergime Sıcaklığı (°C)	Suda Çözünürlük (g/L)
TeO₂	159,6	α tetragonal	5,67	733	Yok
		β ortorombik	6,04		
WO₃	231,8	triklinik (-50 °C <T<17 °C)	7,16	1473	Yok
		monoklinik (17 °C <T<330 °C)			
		ortorombik (330 °C <T<740 °C)			
		tetragonal (T>740 °C)			
Na₂O	61,9	kübik	2,27	1132	Var (NaOH oluşumu)
Li₂O	29,88	kübik	2,01	1570	Var (66,7 g/L 0 °C) (100,2 g/L 100°C)
K₂O	94,20	kübik	2,35	T > 350°C bozunma	Var (KOH oluşumu)

Hazırlanan 3 gramlık numuneler, hassas terazide (10^{-4} g hassasiyette) tartılarak, agat havan içerisinde homojen olarak karıştırıldıktan sonra, kapaklı platin pota içerisinde 750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletilmiştir. Fırından alınan platin pota, su dolu bir kap içerisine daldırılarak, su verme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1a). WO₃-A₂O (A=Li, Na, K) sistemlerine ait numunelerin üretimi ise, bileşenlerinin yüksek ergime sıcaklıkları nedeniyle 750 °C sıcaklıkta gerçekleştirilememiş olup; numuneler 1000 °C'deki fırında 30 dakika bekletildikten sonra buzlu su içerisine daldırılarak üretilmiştir.



Şekil 3.1 : Numune üretimi a) ergitme-döküm yöntemi b) kalıba döküm yöntemi.

Sıcaklığa bağlı spektroskopik ve elektriksel ölçümlerde kullanılmak üzere seçilen bileşimler için düzgün paralel yüzeylere sahip ve yeterli büyüklükte numuneler hazırlanmıştır. Bu amaçla, belirlenen bileşimlerde hassas olarak tartılıp homojen olarak karıştırılan 7 gramlık numuneler 750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika süreyle kapaklı platin potada bekletilmiş ve önceden ısıtılmış paslanmaz çelik kalıba dökülerek üretilmiştir (Şekil 3.1b). Numunelerin çatlamasına neden olabilecek iç gerilmelerin giderilmesi amacıyla paslanmaz çelik kalıba dökülen bulk cam malzemeler, önceden ısıtılmış etüvde belirli süre bekletildikten sonra etüv içerisinde kontrollü olarak oda sıcaklığına soğutulmuştur.

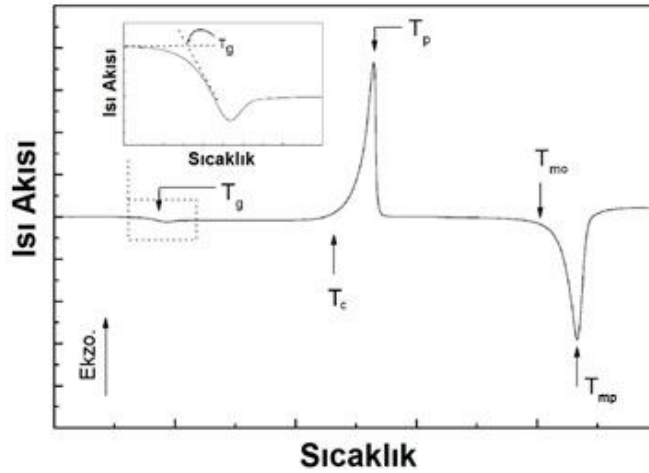
3.2 Cam Numunelerin Isıl İncelenmesi

Elde edilen döküm sonrası numunelerin cam geçiş, kristalizasyon ve faz dönüşüm sıcaklıklarının saptanması amacıyla gerçekleştirilen ısı analizlerinde diferansiyel termal analiz (DTA) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) teknikleri kullanılmıştır. Numunelerin ısı analiz termogramlarında gözlemlenen reaksiyonlara ait sıcaklıkların hassas olarak tespit edilebilmesi için, her iki ısı analiz yöntemi (DTA ve DSC) ile de analizler gerçekleştirilmiş; ısı analiz sonuçlarından yola çıkılarak yapılan hesaplamalar için ölçüm hassasiyeti daha yüksek olan DSC cihazının verileri dikkate alınmıştır.

DTA incelemelerinde, PerkinElmerTM Diamond TG/DTA cihazı kullanılarak; 25±1 mg'lık toz numuneler, platin krezeller içerisinde, 100 ml/dakika argon atmosferi altında 10 °C/dakika ısıtma hızı ile analize tabi tutulmuştur. DSC incelemelerinde ise, Netzsch 204 F1 cihazı kullanılarak; 25±1 mg'lık toz numuneler, alüminyum

krozeler içerisinde, 25 ml/dakika argon atmosferi altında 10 °C/dakika ısıtma hızı ile analize tabi tutulmuştur.

Isıl analiz işlemleri sonucunda, Şekil 3.2’de yer alan örnek termogramda görülen, cam geçiş (T_g), ekzotermik pik onset (T_c), ekzotermik pik (T_p), endotermik pik onset (T_{mo}) ve endotermik pik (T_{mp}) sıcaklıkları tespit edilmiştir. Örnek termogramdan da görülebileceği gibi, cam geçiş reaksiyonu DTA veya DSC sinyalindeki hafif endotermik değişiminin başlangıç noktasından belirlenmiş olup; ekzotermik ve endotermik reaksiyonlara ait onset sıcaklığı reaksiyonun başladığı, pik sıcaklığı ise reaksiyonun maksimum noktasına ulaştığı andaki sıcaklık değerlerine karşılık gelmektedir.



Şekil 3.2 : Örnek DTA termogramı.

Cam numunelerin kristalizasyona karşı dirençlerinin bir ölçütü olan cam kararlılık değeri (ΔT), cam geçiş sıcaklığı ile ilk kristalizasyon onset sıcaklığı arasındaki fark alınarak, $\Delta T = T_{c1} - T_g$, hesaplanmıştır. Cam kararlılık değerinin büyüklüğü, camın optik uygulamalar için uygunluğunun bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir (El-Mallawany ve Ahmed, 2008).

3.3 Cam Numunelerin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

Cam şebeke yapısında bileşime bağlı olarak meydana gelen değişimlerin incelenmesi amacıyla; yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD: oxygen packing density) değerleri hesaplanmıştır.

Camların yoğunlukları, ρ , daldırma sıvısı olarak saf su ve saf suda çözünen numuneler için etanol kullanılarak, 10^{-4} g hassasiyetteki hassas terazi ile, oda sıcaklığında, Arşimet yöntemi ile Denklem 3.1 gereğince ölçülmüş ve elde edilen değerler camların teorik yoğunlukları, ρ_{teorik} , ile karşılaştırılmıştır. Tekrarlı deneyler sonucu tespit edilen yoğunluk değerleri $\pm \% 0,2$ hata payı ile ölçülmüştür.

$$\rho = \frac{M_{\text{cam}}}{V_{\text{cam}}} = \frac{W_{\text{hava}}}{(W_{\text{hava}} - W_{\text{su}})} \quad (3.1)$$

Denklem gereğince M_{cam} camın molekül ağırlığı, ρ camın ölçülen yoğunluğu, M_{cam} camın molekül ağırlığı, V_{cam} camın hacmi, W_{hava} ve W_{su} camın havadaki ve sudaki ağırlığı şeklinde tanımlanır.

Camların molar hacim değeri, V_M , aşağıdaki Denklem 3.2 gereğince hesaplanmış olup; camın molekül ağırlığı ise her üç oksit bileşenin molar oranı kullanılarak belirlenmiştir (Denklem 3.3).

$$V_M = \frac{M_{\text{cam}}}{\rho} \quad (3.2)$$

$$M_{\text{cam}} = (1 - x - y)M_{i1} + xM_{i2} + yM_{i3} \quad (3.3)$$

Denklemler gereğince M_{cam} camın molekül ağırlığı, ρ camın ölçülen yoğunluğu, M_i her bir i bileşenin molekül ağırlığı şeklinde tanımlanır.

Oksijen molar hacim değeri, V_O , ise Denklem 3.4 kullanılarak hesaplanmıştır (Muñoz-Martín ve diğ., 2009).

$$V_O = \left(\sum \frac{x_i M_i}{\rho} \right) \left(\frac{1}{\sum x_i n_i} \right) \quad (3.4)$$

Denklem gereğince x_i her bir i bileşenin molar oranı, M_i molekül ağırlığı; ρ yoğunluk ve n_i her bir oksitteki oksijen atomu sayısı şeklinde tanımlanır.

Oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), yoğunluk ve bileşimden yararlanılarak Denklem 3.5 ile hesaplanmıştır (Ersundu ve diğ., 2011; Upender ve diğ., 2010a).

$$OPD = 1000C \left(\frac{\rho}{M} \right) \quad (3.5)$$

Denklem gereğince C her bileşim için toplam oksijen atomu sayısı, ρ yoğunluk, M ise molekül ağırlığı şeklinde tanımlanır.

Bileşime bağlı olarak camların değişen ısı ve yapısal özelliklerinin ilişkilendirilmesinde kullanılan ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$: average

cross-link density) ve birim hacimdeki bağ sayısı (n_b : number of bonds per unit volume) değerleri hesaplanmıştır.

Ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu, $\bar{n}_c$, Denklem 3.6'ya göre hesaplanmıştır (El-Mallawany ve Ahmed, 2008).

$$\bar{n}_c = \frac{\sum_i x_i (n_c)_i (N_c)_i}{\sum_i x_i (N_c)_i} \quad (3.6)$$

Denklem gereğince, x_i her bir i bileşenin molar oranı, n_c katyon çapraz bağlanma yoğunluğu (bağ sayısı - 2) ve N_c cam bileşimindeki katyon sayısı olarak tanımlanır.

Birim hacimdeki bağ sayısı, n_b ise, Avogadro sayısı, N_A , molar hacim, V_M , katyon koordinasyon sayısı, n_f ve her bir i bileşenin molar oranı x_i kullanılarak Denklem 3.7 gereğince hesaplanmıştır (El-Mallawany ve Ahmed, 2008).

$$n_b = \frac{N_A}{V_M} \sum_i (n_f x)_i \quad (3.7)$$

Birim hacimdeki bağ sayısındaki artış, camların sert karakter gösterme eğiliminin de bir göstegesidir (El-Mallawany ve diğ., 2010; El-Mallawany ve Ahmed, 2008; Hager ve El-Mallawany, 2010).

Malzemeye uygulanan gerilme yönündeki deformasyonun, gerilmeye dik eksenindeki deformasyona oranı olan Poisson oranı (μ_{cal}) Denklem 3.8, Denklem 3.9 ve Denklem 3.10 kullanılarak hesaplanmıştır (Hager ve El-Mallawany, 2010).

$$\mu_{cal} = 0,5 - \frac{1}{7,2V_t} \quad (3.8)$$

$$V_t = \frac{\rho}{M} \sum_i x_i V_i \quad (3.9)$$

$$V_i = \frac{4\pi N_A}{3} (nr_A^3 + mr_O^3) \quad (3.10)$$

Denklemler uyarınca V_t camın paketlenme yoğunluğu, ρ yoğunluk, M molekül ağırlığı, V_i A_nO_m oksit bileşiğinin paketleme faktörü, r_A ve r_O ise anyon ve katyonun iyonik yarıçapları olarak tanımlanır.

Yüksek çapraz bağlanma yoğunluğuna sahip camların Poisson oranı 0,1-0,2 aralığında olup; Poisson oranı 0,3-0,5 aralığında olan camların çapraz bağlanma yoğunluğu daha düşüktür. Poisson oranında meydana gelen azalış, cam yapısının bağlanabilirliğinin ve sertliğinin artışı ifade etmektedir (El-Mallawany ve diğ., 2010).

3.4 Cam Numunelerin Kinetik İncelenmesi

Cam numunelerin kinetik incelenmesi non-izotermal teknik kullanılarak gerçekleştirilmiş olup; numuneler farklı ısıtma hızlarında (10, 20, 30, 40 °C/dk) ısı analizlere tabi tutulmuştur. Kinetik incelemeler, Netzsch 204 F1 diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) cihazı ile oda sıcaklığından 550 °C'ye kadar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ısı analiz verilerinden yararlanılarak; cam geçiş reaksiyonunun aktivasyon enerjisi (E_g) belirlenmiştir. DSC termogramlarındaki ana hat üzerinde meydana gelen endotermik değişimin onset değeri: cam geçiş sıcaklığı, T_g , olarak tanımlanmakta olup; cam geçiş sıcaklığının ısıtma/soğutma hızına bağlı olarak değişimi cam halden sıvı hale geçişin aktivasyon enerjisini hesaplamakta kullanılabilmektedir.

Cam geçiş reaksiyonunun kinetik incelenmesi, asıl olarak kimyasal reaksiyonların kinetik incelemeleri için ileri sürülmüş olan Kissinger denklemi kullanılarak gerçekleştirilebilir (Elabbar, 2009; Kissinger, 1956).

Cam geçiş aktivasyon enerjisi, cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger denklemi (Denklem 3.11) yardımıyla, $\ln(T_g^2/\beta)$ - $1/T_g$ değişiminin eğiminden hesaplanmaktadır.

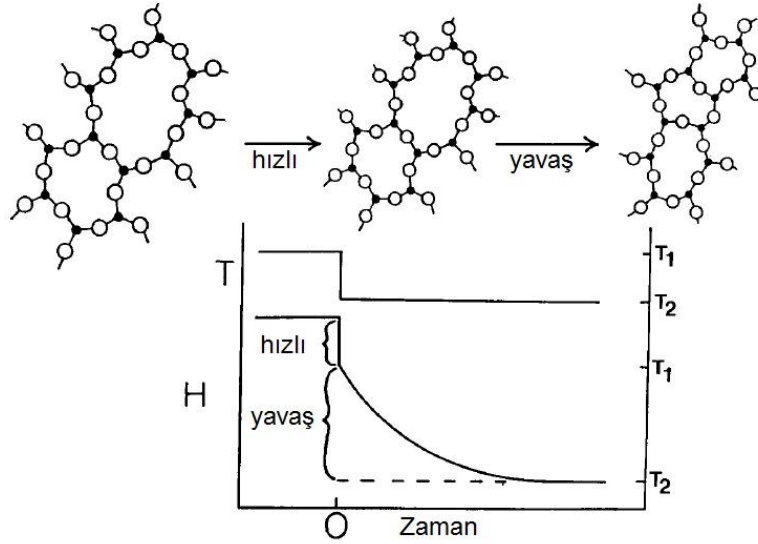
$$\ln\left(\frac{T_g^2}{\beta}\right) = \frac{E_g}{RT_g} + \text{sabit} \quad (3.11)$$

Bağıntı gereğince, β ısıtma hızı, T_g cam geçiş onset sıcaklığı, R gaz sabiti ve E_g cam geçiş aktivasyon enerjisi şeklinde tanımlanır.

Cam oluşturan sıvıların, değişen sıcaklığa bağlı olarak, cam geçiş bölgesinde gösterdikleri yapısal gevşemelerin ölçütü sıvıların kırılmalık değerleridir. Kırılmalık değerleri, termodinamik ve kinetik açıdan farklı yaklaşımlarla belirlenebilir. Kinetik açıdan kırılmalık değeri, cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g) ya da cam geçiş aktivasyon entalpisi (ΔH^*) değeri dikkate alınarak hesaplanır (Şekil 3.3). Termodinamik açıdan kırılmalık değeri ise, değişen sıcaklıkla cam geçiş bölgesi boyunca sıvının ısı kapasitesinde meydana gelen değişim ile belirlenen oransal ısı kapasitesi değerleri üzerinden hesaplanabilir (Komatsu ve diğ., 1997; Zhu ve diğ., 2003).

Cam yapıcı bir sıvıdaki yapısal gevşeme; sıcaklık, basınç ya da elektrik alan gibi bir dış etki sonucu, sıvı yapının yeniden düzenlenmesinin (rearrangement) kinetik olarak

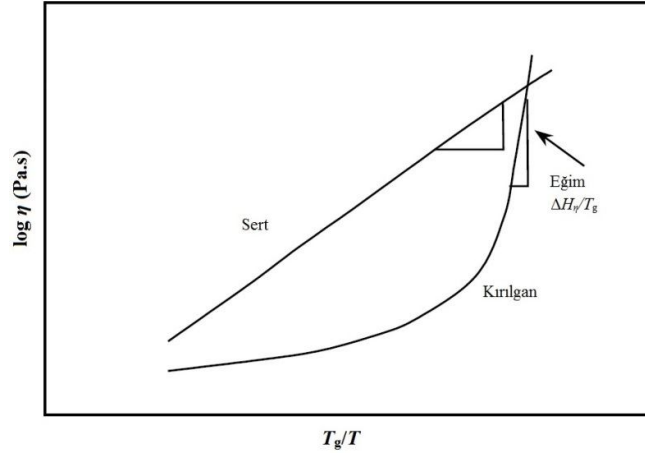
engellenmesi sonucu meydana gelir (Moynihan ve diğ., 1996). Boşluk teorisine göre, sıvılar içerisinde boşluklar bulunmaktadır ve sıvı içerisindeki moleküller bu boşluklara doğru hareket ederek akışı oluşturur. Moleküllerin boşluğa taşınması için bir aktivasyon enerjisine ihtiyaç vardır. Genel olarak sıvıların viskozitesi artan sıcaklıkla azalır. Bunun nedeni, sıcaklık yükseldikçe gerekli aktivasyon enerjisinin daha kolay sağlanması ile akışın kolaylaşmasıdır. Yapısal gevşeme sırasında gerçekleşen atomik ya da moleküler yer değiştirmelerin, akışkan bir sıvının bir kayma gerilmesi karşısında gösterdiği yer değiştirmelere benzer olduğu düşünülmektedir (Moynihan ve diğ., 1996). Dolayısıyla deneysel hata payları göz ardı edildiğinde, cam oluşturan sıvıların cam geçiş aktivasyon entalpilerinin, ΔH^* ve viskozite aktivasyon enerjisi değerlerinin, ΔH_η , aynı olduğu kabul edilir (Moynihan ve diğ., 1996).



Şekil 3.3 : Sıcaklık değişimine ve zamana bağlı yapısal gevşeme - entalpi değişimi (Moynihan ve diğ., 1996).

Angell (1991) sıvıların kırılğan-sert karakterlerinin belirlenmesinde viskozitenin (η) sıcaklığa bağlı değişimini dikkate almış ve pek çok inorganik cam sistem için $\log \eta - T_g/T$ değişiminden camların kırılğanlık özelliklerini yorumlamıştır. Şekil 3.4'te görülen örnek $\log \eta -$ sıcaklık değişimi grafiğinden de anlaşılacağı gibi, lineer $\log \eta -$ sıcaklık değişimine sahip olan sıvıların sert, lineer olmayan değişim gösterenlerin ise kırılğan oldukları belirlenmiştir. Cam geçiş bölgesinde, $\log \eta -$ sıcaklık grafiğinin eğimindeki değişim viskozite aktivasyon enerjisi değerinin (ΔH_η) sıcaklığa bağlı değişimini belirtmektedir. Sert sıvıların viskoziteleri cam geçiş bölgesi boyunca

neredeyse sabit kalırken; kırılğan sıvılarda bu değ er azalan sıcaklık ile artmaktadır (Angell, 1991; Tatsumisago ve diğ., 1994; Zhu ve diğ., 2003).



Şekil 3.4 : Sert ve kırılğan sıvılar için $\log \eta$ – sıcaklık değışimi (Zhu ve diğ., 2003).

Camların sert-kırılğan karakterinin tespit edilmesinde kullanılan kırılğanlık, m , değ erleri kinetik açıdan Denklem 3.12 yardımı ile hesaplanmıştır (Br uning ve Sutton, 1996; Zhu ve diğ., 2003).

$$m = \left(\frac{E_g}{RT_g} \right) \quad (3.12)$$

Denklem gereğince m kırılğanlık değ eri, E_g cam geçiş aktivasyon enerjisi, R gaz sabiti ve T_g cam geçiş onset sıcaklığı şeklinde tanımlanır.

Literatürde Zhu ve diğ. (2003) kırılğanlık değ erine bağlı olarak sıvıların sert-kırılğan karakterini belirlemek için kesin bir sınır bulunmadığını, ancak 90'dan daha düşük kırılğanlık değ erlerinin sert sıvılar, 135'ten büyük kırılğanlık değ erlerinin ise kırılğan sıvılar için tipik değ erler olduğunu belirtmiştir. Kırılğan sıvılar, cam geçiş sıcaklığına yaklaşıldıkça viskozitelerinde meydana gelen hızlı bir artış ve ısı kapasitelerinde meydana gelen büyük bir değışim ile karakterize edilirken; sert özellik gösteren sıvıların viskozite ve ısı kapasitesi değ erleri cam geçiş bölgesinde küçük değışiklikler göstermektedir (Br uning ve Sutton, 1996; Voivod ve diğ., 2001; Zhu ve diğ., 2003).

Termodinamik açıdan kırılğanlık davranışı, camların oransal ısı kapasitesi değ erleri üzerinden belirlenmekte olup; oransal ısı kapasitesi (C_{pl}/C_{pg}) ilk olarak Angell (1991) tarafından sert ve kırılğan sıvıları tanımlamak için hesaplanmıştır. Angell'in (1991) yaklaşımına göre, sert sıvıların C_{pl}/C_{pg} değ eri yaklaşık 1,1 olup; bu değ erin üzerinde

oransal ısı kapasitesine sahip sıvılar kırılğan karakterdedir. Sert sıvıların kovalent bağlı şebeke yapılarından ötürü sıcaklık değışikliklerinden çok az etkilendiğı, bu nedenle cam geçiş bölgesinde ısı kapasitesi değışim değerlerinin düşük olduğı belirtilirken; genellikle iyonik bağlı olan kırılğan sıvıların cam geçiş bölgesindeki sıcaklık değışimlerinden çok etkilendiğı ve ısı kapasitelerinin büyük oranda (%60-80) değıştiğı belirtilmiştir (Angell, 1991; Upender, 2010b; Yang ve diğ., 2012).

Cam geçiş onset, T_g , ve cam geçiş sonlanma, T_g' , sıcaklıkları arasında kalan ve cam geçiş bölgesinin genişliğı (glass transition width), $\Delta T_g = T_g' - T_g$, olarak tanımlanan bölge camların kırılğanlık ve viskozite özellikleri ile ilgili bilgi vermektedir. Buna göre, cam geçiş genişlikleri 30 °C'den büyük olan sıvılar kırılğan sıvılar olarak tanımlanırken; 30 °C'den küçük ΔT_g değerine sahip olan sıvılar sert olarak sınıflandırılmaktadır (Zhu ve diğ., 2003). Cam geçiş bölgesinin genişliğı, sıvının viskozitesinin en yüksek olduğı T_g ve viskozitesinin en düşük olduğı T_g' sıcaklıkları arasında camın yapısal olarak gevşemesinin gerçekleştiğı bölgedir (Moynihan, 1993).

Yüksek cam geçiş sıcaklığına sahip camlarda, cam geçiş bölgesinin genişliğı boyunca viskozite yok denecek kadar az değışir. Yüksek cam geçiş sıcaklığına sahip bu camların artan sıcaklıkla cam geçiş bölgelerinin genişliğinde meydana gelen değışiklik ile viskozitenin aktivasyon enerjisi arasında bir oran bulunmaktadır. Bu oran birimsiz bir parametre olan C parametresi ile gösterilir ve Denklem 3.13 uyarınca hesaplanır (Moynihan, 1993; Moynihan ve diğ. 1996; Zhu ve diğ., 2003).

$$C = \left(\frac{\Delta H^*}{R} \right) \left[\left(\frac{1}{T_g} \right) - \left(\frac{1}{T_g'} \right) \right] \approx \left(\frac{\Delta H_\eta}{R} \right) \left[\left(\frac{1}{T_g} \right) - \left(\frac{1}{T_g'} \right) \right] \equiv \left(\frac{\Delta H_\eta}{R} \right) \Delta \left(\frac{1}{T_g} \right) \quad (3.13)$$

Denklem gereğince ΔH^* cam geçiş aktivasyon entalpisi, ΔH_η viskozite aktivasyon enerjisi, R gaz sabiti, T_g cam geçiş onset sıcaklığı, T_g' cam geçiş sonlanma sıcaklığı şeklinde tanımlanır.

Yüksek cam geçiş sıcaklığına sahip pek çok inorganik cam için hesaplanan C parametresi değerleri ortalama $4,8 \pm 0,4$ düzeyinde tespit edilmiştir (Moynihan, 1993; Zhu ve diğ., 2003).

Cam oluşturan sıvıların camlaşma eğilimlerinin bir göstergesi olan viskozite değerleri, cam geçiş sıcaklığının altında oldukça yüksek değerlere (10^{12} Pa.s) ulaşır, böylece eriyik malzeme bu sıcaklıktan itibaren cam adını alır (Carter ve Norton,

2007; Ravson, 1967, 1980). Camların viskozite değerleri Denklem 3.14 yardımı ile teorik olarak hesaplanabilir (Moynihan, 1993).

$$\log \eta = \log n_0 + \frac{\log \eta(T_g') - \log \eta_0}{\left[\frac{(T - T_g')C}{2.3T_g'^2} \Delta \left(\frac{1}{T_g} \right) (\log \eta(T_g') - \log \eta_0) \right] + 1} \quad (3.14)$$

Denklem gereğince, η viskozite, $\log \eta_0$ sabit, T_g cam geçiş onset ve T_g' cam geçiş sonlanma sıcaklığı, C ise C parametresi şeklinde tanımlanır.

İnorganik cam sistemler için literatürde hesaplanmış $\log \eta$ değerleri 8-13 Pa.s değerleri arasında değişmekte olup; ortalama değer $11,3 \pm 0,4$ Pa.s olarak tespit edilmiştir (Moynihan, 1993; Zhu ve diğ., 2003). Bu değer dikkate alınarak, camların cam geçiş sıcaklığı civarındaki herhangi bir T sıcaklığındaki viskozite değerlerinin, $\eta(T)$, tespiti için Denklem 3.15 aşağıdaki şekilde uyarlanmıştır (Moynihan, 1993; Zhu ve diğ., 2003).

$$\log \eta(T) = 11,3 + \left(\frac{\Delta H^*}{2,3R} \right) \left[\left(\frac{1}{T} \right) - \left(\frac{1}{T_g} \right) \right] \quad (3.15)$$

Denklem 3.15 gereğince, $\eta(T)$ herhangi bir T sıcaklığındaki viskozite, ΔH^* cam geçiş aktivasyon entalpisi, R gaz sabiti ve T_g cam geçiş onset sıcaklığı şeklinde tanımlanır.

Viskozite değerleri, cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , boyunca sıcaklık arttıkça düşüş gösterir. Viskozite değerlerindeki bu düşüş literatürde viskozite azalma faktörü, e^C , ile hesaplanır. Viskozite azalma faktörü, e^C , literatürde inorganik cam sistemler için hesaplanmış ve 80-120 değerlerinde bulunmuştur (Moynihan, 1993). Buna göre, cam geçiş bölgesi genişliği boyunca değişen sıcaklık ile birlikte, viskozite değerleri T_g' 'de T_g 'ye göre 80-120 kat azalış göstermiştir.

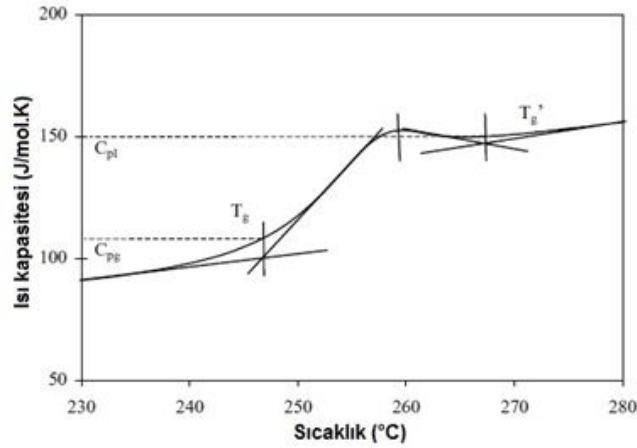
Cam geçiş bölgesi genişliği değerleri kullanılarak gerçekleştirilen C parametresi, viskozite ve viskozite azalma faktörü hesaplarında ısı kapasitesi ölçümleri sonucu elde edilen T_g ve T_g' değerleri kullanılmış olup; hesaplamalar iç gerilmeleri gidermek amacıyla ısı işlem uygulanarak ısıl geçmişleri silinmiş numuneler ile yapılmıştır. Isı kapasitesi ölçümlerinin deneysel çalışmaları ile ilgili detaylı açıklama bölüm 3.5'te verilmiştir.

3.5 Cam Numunelerin Isı Kapasitesi Ölçümleri

Cam numunelerin ısı kapasitesi, C_p , ölçümleri, Netzsch 204 F1 DSC cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Isı kapasitesi ölçümleri için, cam numuneler öncelikle 10 °C/dakika ısıtma hızı ile cam geçiş sıcaklıklarının 20 °C üzerindeki bir sıcaklığa ısıtılıp yaklaşık 20 dakika bekletildikten sonra 10 °C/dakika soğutma hızı ile oda sıcaklığına soğutularak ısı geçişleri silinmiştir. Uygulanan bu ısı işlemi ile numunelerin üretimi sırasında yapı içerisinde meydana gelen iç gerilmeler giderilmiştir. Camların ısı geçişlerinin silinmesi amacıyla yapılan ısıtma ve soğutma işlemleri için seçilen ısıtma ve soğutma hızı değerleri (q_H ve q_C), literatürde daha önce belirlenen ve bu işlemin numunenin yapısını etkilememesini ve deneysel hata payının en aza indirilmesini sağlayacak şekilde $0,2 \leq q_C/q_H \leq 5$ olarak seçilmiştir (Angell, 1991; Moynihan, 1993; Moynihan ve diğ., 1974, 1996; Zhu ve diğ., 2003).

Isı kapasitesi ölçümlerinde bir baz çizgisi (baseline) oluşturmak için, öncelikle delikli boş alüminyum potalar 25 ml/dakika argon atmosferi altında, 10 °C/dakika ısıtma hızı ile, 550 °C'ye kadar ısıtılarak elde edilen veriler kaydedilmiştir. Daha sonra, referans olarak kaydedilmek üzere, ısı kapasitesi bilinen bir malzeme olan safir (Al_2O_3 - 37,8 mg) ile aynı sıcaklık aralığında ölçüm alınmıştır. Son olarak numunelerin ısı kapasitesi ölçümleri amacıyla, referans safir ile aynı ağırlıktaki numuneler 550 °C'ye kadar ısıtılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Isı kapasitesi ölçümleri sonucu elde edilen veriler, Netzsch Proteus Thermal Analysis versiyon 4.8.4 analiz programı aracılığıyla ASTM E-1269 normuna göre C_p Ratio Method standardına uygun olarak hesaplanmıştır. Isı kapasitesi ölçümleri kapsamında, cam geçişe ait olan endotermik reaksiyonun başlangıç sıcaklığı (T_g) ve cam geçiş reaksiyonunun tamamlandığı bitiş sıcaklığı (T_g') esas alınarak, cam (C_{pg}) ve aşırı soğutulmuş sıvı (C_{pl}) için ısı kapasiteleri, ısı kapasitesi değişimi ΔC_p ($\Delta C_p = C_{pl} - C_{pg}$) ve oransal ısı kapasitesi (C_{pl}/C_{pg}) değerleri hesaplanmıştır. Şekil 3.5'teki örnek ısı kapasitesi-sıcaklık grafiğinde, cam geçiş bölgesindeki ısı kapasitesi değişimi görülmektedir.



Şekil 3.5 : Cam geçiş bölgesi için örnek ısı kapasitesi-sıcaklık grafiği (Zhu ve diğ., 2003).

Oransal ısı kapasitesi (C_{pl}/C_{pg}) ilk olarak Angell (1991) tarafından sert ve kırılğan sıvıları tanımlamak için hesaplanmış ve C_{pl}/C_{pg} oranının sıvıların termodinamik açıdan kırılğanlık değerini temsil ettiği belirtilmiştir. Angell'in (1991) yaklaşımına göre, sert sıvıların C_{pl}/C_{pg} değeri yaklaşık 1,1 olup; bu değerin üzerinde oransal ısı kapasitesine sahip sıvılar kırılğan karakterdedir. Sert sıvıların kovalent bağlı şebeke yapılarından ötürü sıcaklık değişikliklerinden çok az etkilendiği, bu nedenle cam geçiş bölgesinde ısı kapasitesi değişim değerlerinin düşük olduğu belirtilirken; genellikle iyonik bağlı olan kırılğan sıvıların cam geçiş bölgesindeki sıcaklık değişimlerinden çok etkilendiği ve ısı kapasitelerinin büyük oranda (%60-80) değiştiği belirtilmiştir (Angell, 1991; Upender, 2010b; Yang ve diğ., 2012).

3.6 Cam Numunelerin Faz Karakterizasyonu

Döküm sonrası saydam olarak elde edilen numunelerin amorf karakterlerinin saptanması amacıyla X-ışınları difraksiyonu (XRD) yöntemi uygulanmıştır. X-ışınları difraksiyon çalışmaları, PANanalytical/Philips X'pert MRD XRD cihazı ile Cu-K α radyasyonu kullanılarak, 45kV ve 40mA ayarlarında, $2\theta = 10^\circ - 90^\circ$ aralılığında gerçekleştirilmiştir.

3.7 Cam Numunelerin Yapısal İncelenmesi

Tüm moleküllerin soğurdukları enerji miktarı çeşitli titreşimler sonucu değişiklik gösterir. Dolayısıyla elektromanyetik radyasyonun kızılötesi bölgedeki soğurulması sonucu ortaya çıkan titreşim spektrumu, moleküllerin titreşim enerjilerinde meydana

gelen değişiklikler hakkında bilgi verir. Camlarda da, şebeke yapısındaki moleküllerin, atomların ve iyonların yaptıkları çeşitli titreşimler, camların optik soğurma davranışlarını belirlemektedir. Bu nedenle, Raman ve IR spektroskopisi teknikleri yardımıyla camların optik, titreşimsel, kimyasal ve yapısal özellikleri hakkında detaylı araştırmalar gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada, cam yapısında değişen bileşim oranına bağlı olarak meydana gelen yapısal dönüşümler, gelen ışığın cam numuneden geçtikten sonraki soğurma spektrumunu esas alan Fourier kızıl ötesi spektroskopisi (FTIR) tekniği kullanılarak incelenmiştir.

FTIR analizleri oda sıcaklığında CsI pelet tekniği kullanılarak, Perkin Elmer Frontier FTIR spektrometresi ile gerçekleştirilmiştir. FTIR analizleri için toz haldeki 0,005 g cam numune, 0,5 g CsI tozu ile karıştırılarak 1 dakika süre ile 15 tonluk pres altında preslenmiş ve spektroskopik analizler için uygun geçirgen yapıdaki peletler hazırlanmıştır.

3.8 Cam Numunelerin Optik İncelenmesi

UV-Vis spektroskopisi, moleküllerin elektronik kuantum düzeyleri arasındaki geçişleri inceler. Bu inceleme bir ışın demetinin numune yüzeyinden geçtikten ya da yansdıktan sonraki azalma oranını temel alır. Bu çalışmada, 190-1100 nm dalga boyu aralığında ölçüm yapabilen, ayarlanabilir spektral bant genişliğine sahip PG T 80+ Model UV-Vis spektrofotometresi kullanılmıştır.

Optik soğurma spektrumu; optik olarak uyarılmış geçişler, kristalin ve amorf malzemelerin bant yapıları ve enerji aralıkları hakkında bilgi vermektedir. Amorf katıların bant yapısı Cohen ve diğ. (1969) tarafından ortaya konmuş ve Davis ve Mott (1970) tarafından geliştirilmiş C.F.O modeli (Cohen-Fritzsche-Ovshinsky) ile belirlenmekte olup; bu model amorf yarı iletkenlerin bant aralıklarına ait durum yoğunluğu dağılımlarını açıklamaktadır.

Optik soğurma katsayısı ölçümleri foton enerjisine bağlı olarak değişiklik gösterir. Kristalin katılar, amorf katılardan farklı olarak belirgin bir latis soğurma bandına sahip olup; bant aralığı enerjisi (E_g) Denklem 3.16 gereğince hesaplanmaktadır.

$$E_g = \frac{hc}{\lambda} \quad (3.16)$$

Denklem gereğince, h Plank sabiti, c ışık hızı ve λ dalga boyu şeklinde tanımlanır.

Amorf malzemelerin soğurma sınırı ise daha az keskindir ve tam olarak belirgin değildir. Dolayısıyla optik soğurmanın foton enerjisine ya da dalgaboyuna bağlı değişiminin deneysel verilerinin bir denklik yardımıyla uyarlanması gerekir. Tauc tarafından tanımlanan ve soğurma sınırının yüksek soğurma bölgesindeki şekli ve pozisyonunu tanımlayan Denklem 3.17 aşağıda verilmektedir (Nadeem, 2004).

$$\alpha(\omega) = \frac{A(\hbar\omega - E_{opt})^p}{\hbar\omega} \quad (3.17)$$

Denklem gereğince, A bir sabit, α soğurma katsayısı, ω açısal frekans, $\hbar\omega$ foton enerjisi, E_{opt} optik bant aralığı enerjisi ve p soğurmadan sorumlu elektronik geçiş katsayısı şeklinde tanımlanır. p katsayısı, elektronik geçişlerin karakterine bağlı olarak 1/2, 3/2, 2 ve 3 değerlerini alabilmekte olup; amorf malzemelerdeki geçişler Tauc ilişkisine göre izinli indirekt karakterde kabul edilerek $p = 2$ olarak kullanılır.

Buna göre, amorf malzemelerin bant aralığı enerjisi Tauc bağıntısı gereğince $(\alpha\hbar\omega)^{(1/2)}$ - $\hbar\omega$ değişiminin foton enerjisi eksenini kestiği değer olarak kabul edilmektedir (Cohen, 1969; Davis ve Mott, 1970; Nadeem, 2004).

Optik soğurma katsayısı $\alpha(\omega)$, farklı foton enerjileri için $(\hbar\omega)$ Denklem 3.18 ve Denklem 3.19 aracılığı ile hesaplanmaktadır (Nadeem, 2004).

$$I_T = I_0 e^{-\alpha d} \quad (3.18)$$

$$\alpha(\omega) = (1/d) \ln(I_0 / I_T) \quad (3.19)$$

Denklemler gereğince, I_0 gelen ışık şiddeti, I_T geçen ışık şiddeti, d kalınlık şeklinde tanımlanır.

3.9 Cam Numunelerin Elektriksel İncelenmesi

Elektriksel iletkenlik (σ), elektrik alan etkisi altında bir malzemenin yük geçişlerini sağlama kabiliyetidir. Birim uzunluk ve kesit alana sahip bir malzemenin elektrik akımına karşı gösterdiği direncin ölçüsü olan öz direnç (ρ) ise iletkenliğin tersidir ve birimi ohm.cm'dir (Denklem 3.20) (El-Mallawany, 2002).

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (3.20)$$

Bir malzemenin iletkenliği Ohm kanunu esas alınarak Denklem 3.21 uyarınca hesaplanır.

$$\sigma = \frac{1d}{VA} \quad (3.21)$$

Denklem 3.21 gereğince σ iletkenlik, d kalınlık, A alan, V gerilim olarak tanımlanır. Düşük iletkenliğe sahip malzemelerin elektriksel iletkenlik ölçümlerinin doğru şekilde gerçekleştirilebilmesi için, ölçümlerde kullanılacak numunelerin geniş yüzey alanına sahip ve ince karakterde olması ve ölçümlerin yüksek elektriksel alan etkisinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Chikh-Bled, 2012; El-Mallawany, 2002).

Elektriksel iletkenlik ölçümleri Şekil 3.6’da görülen ölçüm düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiş olup; ölçüm öncesi paralel yüzeylere sahip bulk cam numunelerin her iki yüzeyi de SPI Supplies marka iletken gümüş boya ile kaplanmıştır. Ölçüm öncesi, numunenin alt ve üst yüzeylerinden kontak alınarak hacim boyunca akım geçmesi sağlanmış ve numunenin üst yüzeyine yerleştirilmiş termoçift yardımı ile sıcaklık kontrolü gerçekleştirilmiştir. Ölçüm için bir cam fanus içerisine yerleştirilen numunenin nem ve ışık gibi çevresel faktörlerden yalıtılması amacıyla, sistem vakum altına alınmış ve fanus dış yüzeyine koyu renkli bir giydirme yapılmıştır. Numuneden geçen akımın sabit hale gelmesi beklendikten sonra uygulanan gerilim artırılmış ve iletkenlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde Keithley 6514 System Electrometer cihazı ile 400V gerilim uygulanmış ve numuneden geçen akım değerleri pA (10^{-12} A) cinsinden Keithley 2410-C 1100V Sourcemeter cihazı ile kaydedilmiştir.



Şekil 3.6 : Elektriksel iletkenlik ölçüm düzeneği.

Yarı iletken camların polaronlar aracılığı ile yük transfer prosesinin ve kutuplaşabilirliğinin en önemli parametreleri sıcaklığa bağlı iletkenlik ölçümü ile saptanmaktadır (El-Mallawany, 1994, 2002). Bu tez çalışmasında, tellürit camların yarı iletken özelliklerinin tespiti amacıyla sıcaklığa bağlı iletkenlik ölçümleri gerçekleştirilmiş ve cam numunelere GW GPR-3030 DC güç kaynağı ile 25V'luk gerilim uygulanarak oda sıcaklığından 100 °C'ye kadar olan iletkenlik değerleri kaydedilmiştir.

Malzemelerin elektriksel iletkenliklerinin sıcaklığa bağlı değişimi Arrhenius eşitliğine uymakta olup (Denklem 3.22); aktivasyon enerjisi $\ln \sigma - 1/T$ değişiminin eğiminden hesaplanmaktadır.

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{E_A}{K_B T}\right) \quad (3.22)$$

Denklem 3.22 gereğince σ iletkenlik, σ_0 bir sabit, E_A aktivasyon enerjisi, K_B Boltzman sabiti ve T sıcaklık olarak tanımlanır (Chikh-Bled, 2012).

Dışardan bir elektrik alan uygulandığı zaman enerji depolama yeteneğine sahip malzemelere dielektrik malzemeler denir. Dielektrik malzemeler elektriği iletmezler, ancak uygulanan elektrik alandan etkilenirler. Elektrik alan etkisinde, elektron ve atomlar yer değiştirir ve bu şekilde elektrik yük merkezleri kayarak elektriksel kutuplaşma meydana gelir. Oluşan elektriksel dipoller ise, dielektrik malzeme yüzeyinde elektriksel yük birikimi sağlar. Dielektrik malzemelerin elektriksel özellikleri genellikle dielektrik sabiti (ϵ) cinsinden ifade edilir ve bu değer elektrik alan şiddetinden bağımsız ancak değişken elektrik alan etkisinde frekansa bağlıdır. Ayrıca sıcaklık, nem ve radyasyon gibi çevresel etkenler de malzemenin dielektrik özelliklerini etkilemektedir. Dielektrik sabiti frekansla ters, sıcaklıkla doğru orantılı olarak değişmektedir. Dielektrik sabiti Denklem 3.23'e göre hesaplanmaktadır (El-Mallawany, 2002).

$$\epsilon = \frac{Cd}{\epsilon_0 A} \quad (3.23)$$

Denklem 3.23 gereğince, ϵ dielektrik sabiti, ϵ_0 boşluğun dielektrik sabiti ($8,85 \cdot 10^{-12}$ Fm⁻¹), C kapasitans, d kalınlık, A elektrot alanı şeklinde tanımlanır.

Cam ve seramik malzemelerin dielektrik özellikleri elektronik yalıtım uygulamalarında kapasitör görevinde plastik malzemelere alternatif olarak kullanımları açısından önem taşımaktadır. Dielektrik sabitinin sıcaklık ve frekansa

bağlı olarak değişimi cam yapı içerisindeki bileşenlerin türü ve oranı ile ilgilidir (El-Mallawany, 2002).

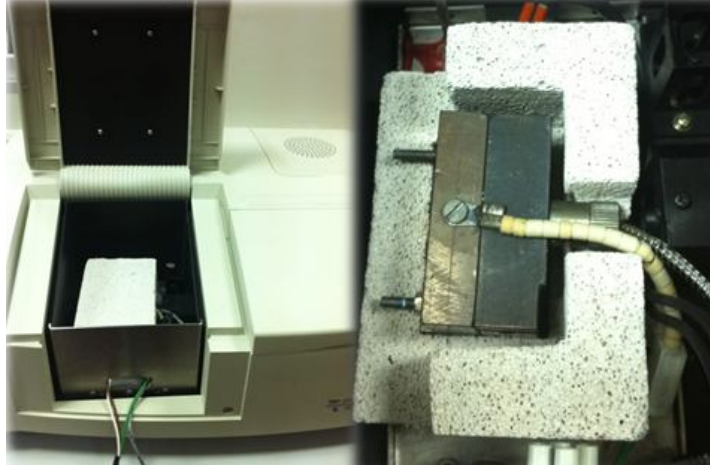
Dielektrik sabiti ölçümleri Novocontrol BroadBand Dielectric Spectroscopy Alfa A cihazı ile 10^{-1} - 10^6 Hz aralığında gerçekleştirilmiş olup; ölçüm öncesi paralel yüzeylere sahip bulk cam numunelerin her iki yüzeyi de SPI Supplies marka iletken gümüş boya ile kaplanmıştır.

3.10 Cam Numunelerin Sıcaklığa Bağlı Spektroskopik İncelenmesi

Camlarda termokromizm incelemelerinin yapılabilmesi için, değişen sıcaklığa bağlı olarak optik soğurma bandında meydana gelen değişimler dahili yüksek sıcaklık ünitesine sahip spektroskopi cihazları ile gerçekleştirilmelidir. Termokromik etkinin doğru ve hassas karakterizasyonu için ısıtmanın dahili bir sistem ile gerçekleştirilmesi çok önemlidir. Bu nedenle, bu çalışmada söz konusu sıcaklığa bağlı termokromik etkinin tespit edilebilmesi için Fourier kızıl ötesi spektrometresi (FTIR) ve UV-Vis spektrofotometresi teknikleri dahili yüksek sıcaklık üniteleri ile kullanılmıştır.

Kızılötesi bölgede camların sıcaklığa bağlı spektroskopik ölçümleri, dahili yüksek sıcaklık ünitesine (Pike Diffuse IR Model Diffuse Reflectance) sahip Perkin Elmer Frontier FTIR spektrometresi ile 25-240°C sıcaklık ve $450-4000\text{ cm}^{-1}$ dalga numarası aralığında gerçekleştirilmiştir.

Sıcaklığa bağlı termokromik etkinin tespit edilebilmesi için, UV-Vis spektrofotometresi modifiye edilerek tez çalışması kapsamında tasarlanan 25-500°C sıcaklık aralığında çalışabilen bir ısıtma ünitesi spektrofotometre cihazına dahil edilmiştir. Söz konusu ısıtma ünitesine ait SolidWorks programında çizilmiş teknik resimler Ek B’de verilmiştir. Şekil 3.7’de görülen seramik malzemeden mamül fırın ünitesi, NiCr alaşımı fişek tipi ısıtıcı elemanlara sahip olup; sıcaklık kontrolü PtRh-Pt termočiftlerle yapılmaktadır. Isıtma esnasında, UV-Vis spektrofotometre ortam sıcaklığının cihazın silikon fotodedektörünün maksimum çalışma sıcaklığı olan 35 °C’nin üzerine çıkmaması için, aynı zamanda ortama soğuk hava üflenmiş ve bir vakum pompası yardımıyla içerideki ısınan hava tahliye edilmiştir.



Şekil 3.7 : UV-Vis spektrofotometresi için tasarlanmış ısıtma ünitesi.

4. DENEYSEL SONUÇLAR

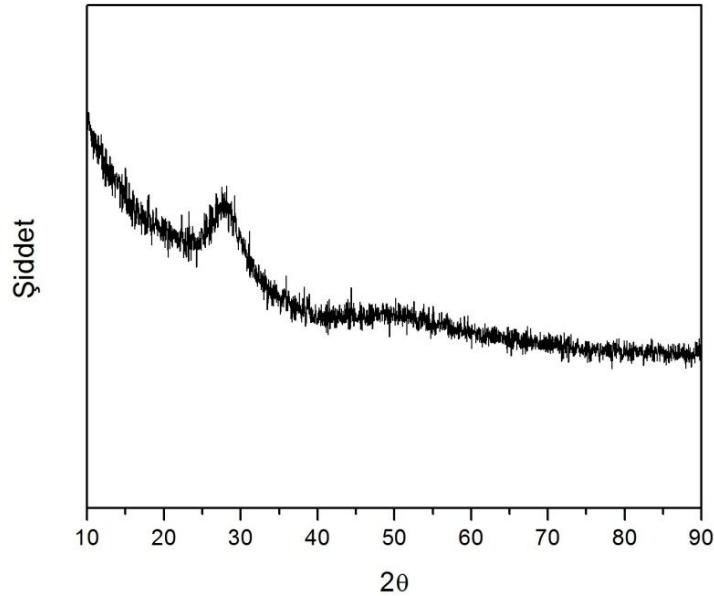
4.1 TeO₂-WO₃-Li₂O Sistemi

4.1.1 0,90TeO₂-0,05WO₃-0,05Li₂O (T90W5L5) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T90W5L5 numunesi, uygulanan döküm koşullarında turuncu renkte saydam görünümde elde edilmiştir.

Döküm sonrası saydam görünümde elde edilen T90W5L5 numunesinin X-ışınları difraksiyonu incelemesi gerçekleştirilmiş ve bu numunenin amorf yapıda olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen XRD analiz sonucu Şekil 4.1’de verilmiştir.

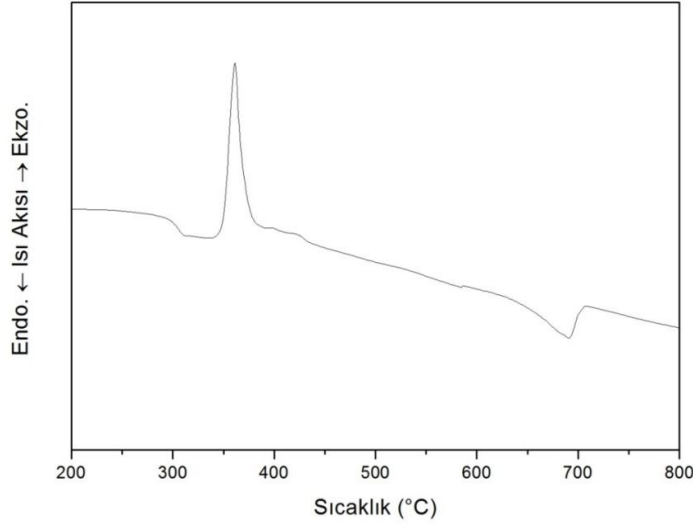
T90W5L5 numunesinin amorf XRD paterni tüm cam numuneler için temsilen verilmiştir. Bu bölümde cam olarak elde edilen numunelere ait amorf paternlere bundan sonraki numuneler için yer verilmeyecektir.



Şekil 4.1 : T90W5L5 numunesinin XRD analiz sonucu.

T90W5L5 numunesinin ısı karakterizasyonu için uygulanan DTA analizi sonucunda elde edilen termogram Şekil 4.2’de verilmiş olup; numunede cam geçiş

reaksiyonunun yanı sıra üç ekzotermik ve bir endotermik reaksiyon tespit edilmiştir. Gözlemlenen reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.2 : T90W5L5 numunesinin DTA sonucu.

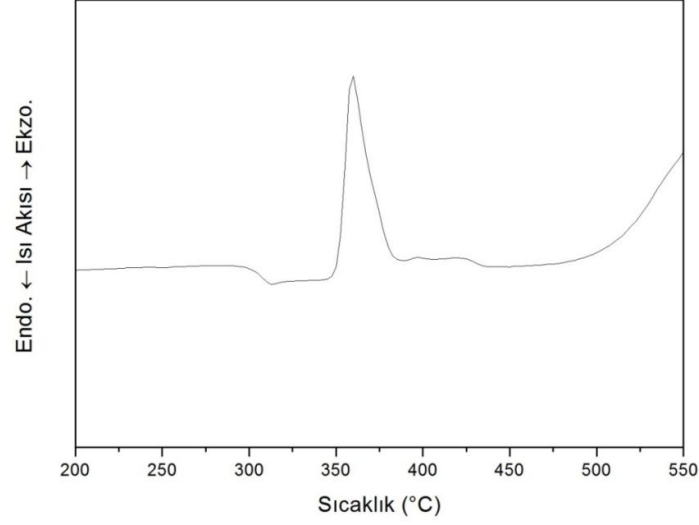
Çizelge 4.1 : T90W5L5 numunesinin DTA verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{c3} / T_{p3}	T_{mo1} / T_{mp1}	ΔT
T90W5L5 (°C)						
	293	344/361	-/399	-/422	645/690	51

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

T90W5L5 numunesinin ısı karakterizasyonu için uygulanan DSC analizi sonucunda elde edilen termogram Şekil 4.3’te verilmiş olup; numunede, DTA analiz sonuçları ile benzer şekilde, cam geçiş reaksiyonunun yanı sıra üç ekzotermik reaksiyon tespit edilmiştir. Gözlemlenen reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Gerçekleştirilen ısı analizler sonucu, kullanılan DTA ve DSC tekniklerinden ölçüm hassasiyeti daha yüksek olan tekniğin, gerek data hassasiyeti gerek baz çizgisi (baseline) açısından incelendiğinde, DSC tekniği olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla ısı analiz sonuçlarından yola çıkılarak yapılan hesaplamalar için DSC cihazının verileri dikkate alınmıştır. Bu nedenle bundan sonraki numunelerde yalnızca DSC analiz sonuçlarına yer verilecektir.



Şekil 4.3 : T90W5L5 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.2 : T90W5L5 numunesinin DSC verileri.

T90W5L5 (°C)	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{c3} / T_{p3}	ΔT
	302	352/359	391/397	410/-	50

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

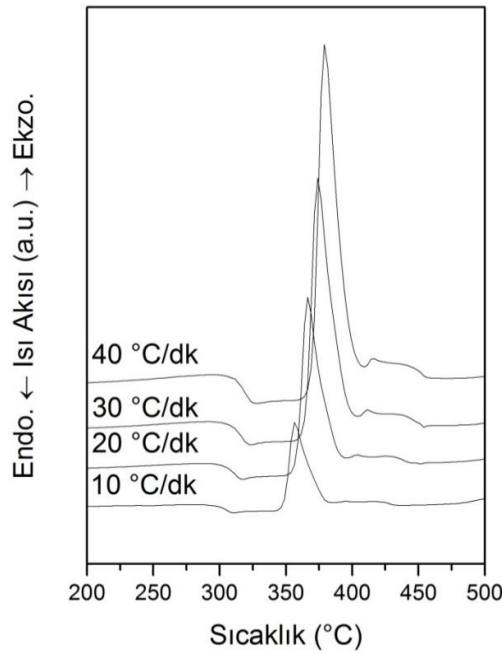
T90W5L5 camının yoğunluk ölçümleri gerçekleştirilmiş ve yoğunluk ölçümlerinden hareketle cam numuneye ait fiziksel özellikler hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 : T90W5L5 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
T90W5L5	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	5,55	5,56	28,24	14,30	70,82	2,10	91,86	0,276

T90W5L5 numunesinin cam geçiş aktivasyon enerjisi değerlerini hesaplamak amacıyla non-izotermal kinetik incelemeler gerçekleştirilmiştir. 10, 20, 30, 40 °C/dk ısıtma hızlarında gerçekleştirilen DSC analizleri sonucu elde edilen termogram Şekil 4.4'te verilmiştir. Şekil 4.4'te görüldüğü gibi, artan ısıtma hızı ile cam geçiş ve

kristalizasyon sıcaklıkları daha yüksek sıcaklıklara ötelenmiş ve kristalizasyon reaksiyonlarını temsil eden ekzotermik piklerin şiddeti artmıştır. Non-izotermal kinetik incelemeleri gerçekleştirilen tüm numunelerin farklı ısıtma hızlarındaki DSC analiz sonuçları gözlemlenen davranış benzer şekilde olduğu için, T90W5L5 numunesinin farklı ısıtma hızlarındaki DSC sonucu tüm cam numuneler için temsilen verilmiştir. Bu bölümde kinetik analizi gerçekleştirilen camların farklı ısıtma hızlarındaki DSC sonuçlarına bundan sonraki numuneler için yer verilmeyecektir. T90W5L5 numunesinin uygulanan farklı ısıtma hızlarındaki ısı analizler sonucu elde edilen cam geçiş sıcaklığı değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

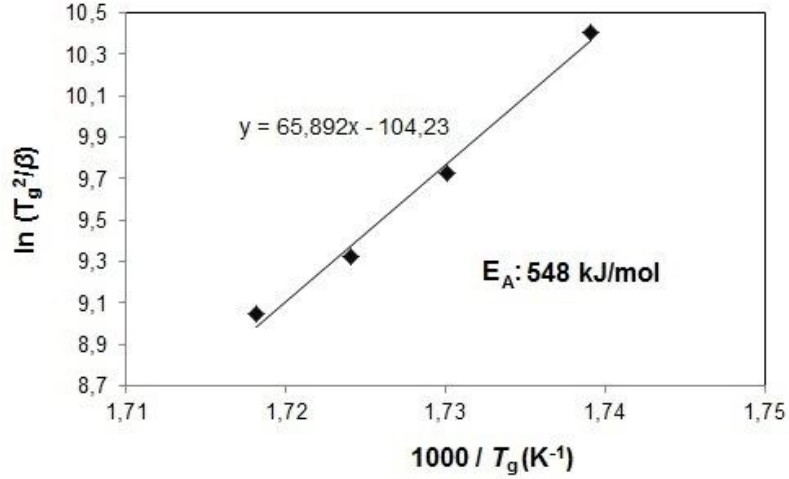


Şekil 4.4 : T90W5L5 camının farklı ısıtma hızlarında gerçekleştirilmiş DSC analizi sonucu.

Çizelge 4.4 : T90W5L5 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

T90W5L5	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40					
	(kJ mol ⁻¹)								
	302	305	307	309	548	113,9	2,2	11,27	8,6

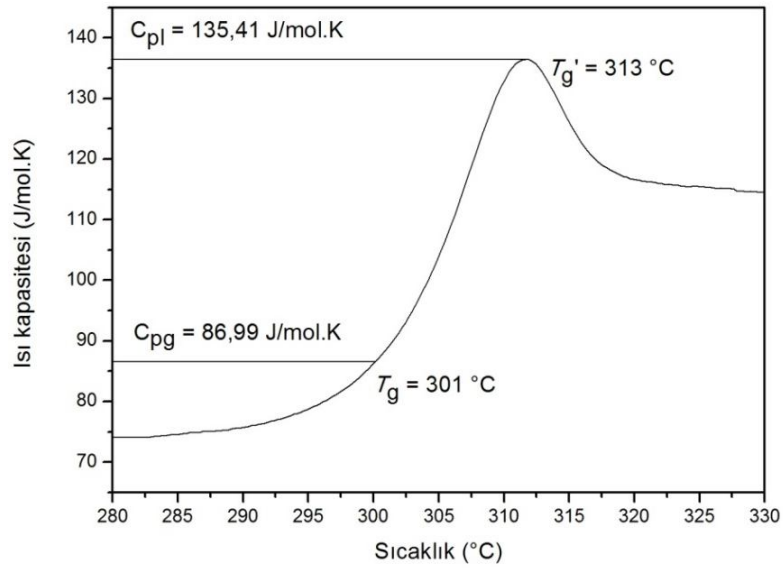
Cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln (T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişiminden hesaplanmış olan cam geçiş aktivasyon enerjisi, E_g , değeri Şekil 4.5 ve Çizelge 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.5 : T90W5L5 camının $\ln (T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi

T90W5L5 camının hesaplanan cam geçiş aktivasyon değerlerinden yola çıkarak, kırılmalık, C parametresi, viskozite ve viskozite değişim faktörü değerleri hesaplanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.4'te verilmiştir.

T90W5L5 camının cam geçiş bölgesinde ısı kapasitesi incelemeleri gerçekleştirilmiş olup; elde edilen ısı kapasitesi değişimi Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6 : T90W5L5 camının sıcaklığa bağlı ısı kapasitesi değişimi.

T90W5L5 camının cam geçiş bölgesindeki ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen sıcaklığa bağlı ısı kapasitesi değişim grafiği tüm cam numuneler için temsilen verilmiştir. Bu bölümde ısı kapasitesi incelemeleri gerçekleştirilen camların sıcaklığa bağlı ısı kapasitesi değişim grafiklerine bundan sonraki numuneler için yer verilmeyecektir.

Cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemelerinde, cam haldeki ısı kapasitesi, C_{pg} , aşırı soğutulmuş sıvı haldeki ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pg}/C_{pl} , değerleri belirlenmiş ve elde edilen değerler Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 : T90W5L5 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
T90W5L5	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
	300	313	86,99	135,41	48,48	1,56

4.1.2 0,80TeO₂-0,10WO₃-0,10Li₂O (T80W10L10) numunesi

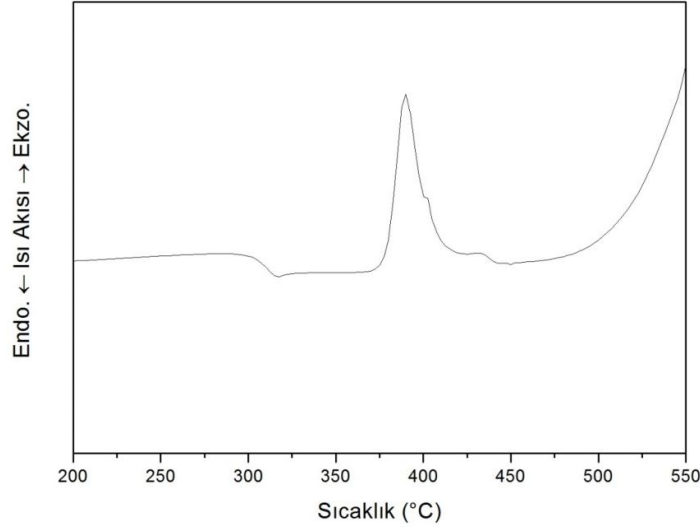
750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T80W10L10 numunesi uygulanan döküm koşullarında koyu sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T80W10L10 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T80W10L10 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.7'de, gözlemlenen cam geçiş ve ekzotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 : T80W10L10 numunesinin DSC verileri.

T80W10L10	T_g	T_{c1}/T_{p1}	T_{c2}/T_{p2}	T_{c3}/T_{p3}	ΔT
(°C)	305	380/390	-/402	420/432	75

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.



Şekil 4.7 : T80W10L10 numunesinin DSC sonucu.

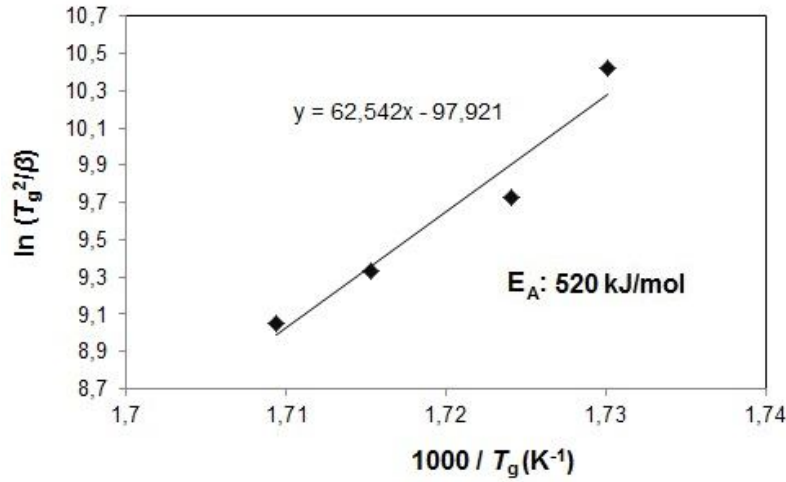
T80W10L10 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7 : T80W10L10 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
T80W10L10	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	5,44	5,45	28,28	14,50	70,72	2,18	97,92	0,272

T80W10L10 numunesinin 10, 20, 30, 40 °C/dk ısıtma hızlarında gerçekleştirilen non-izotermal kinetik incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş sıcaklığı, cam geçiş aktivasyon enerjisi, kırılgenlik, C parametresi, viskozite ve viskozite değişim faktörü değerleri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln (T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişimi ve elde edilen cam geçiş aktivasyon enerjisi, E_g , değeri Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8 : T80W10L10 camının $\ln (T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

Çizelge 4.8 : T80W10L10 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

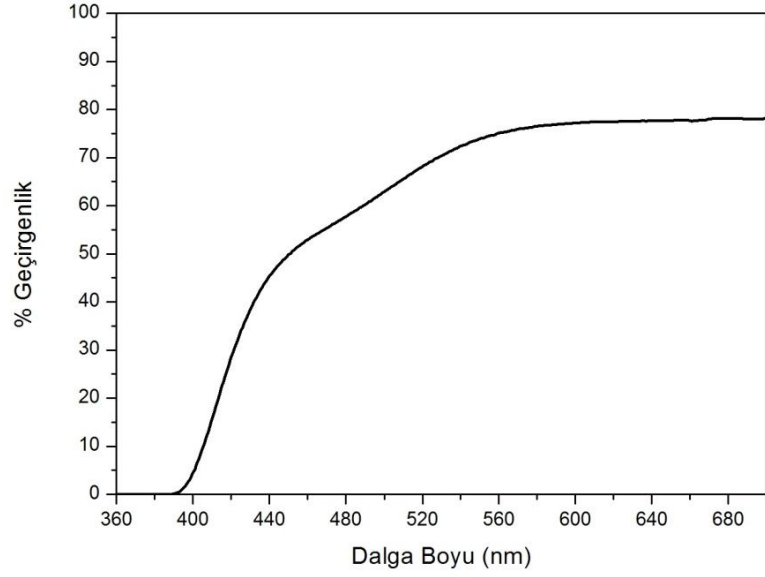
T80W10L10	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40	(kJ mol ⁻¹)			(Pa s)	
	305	307	310	312	520	107,6	2,0	11,27	7,5

T80W10L10 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9 : T80W10L10 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

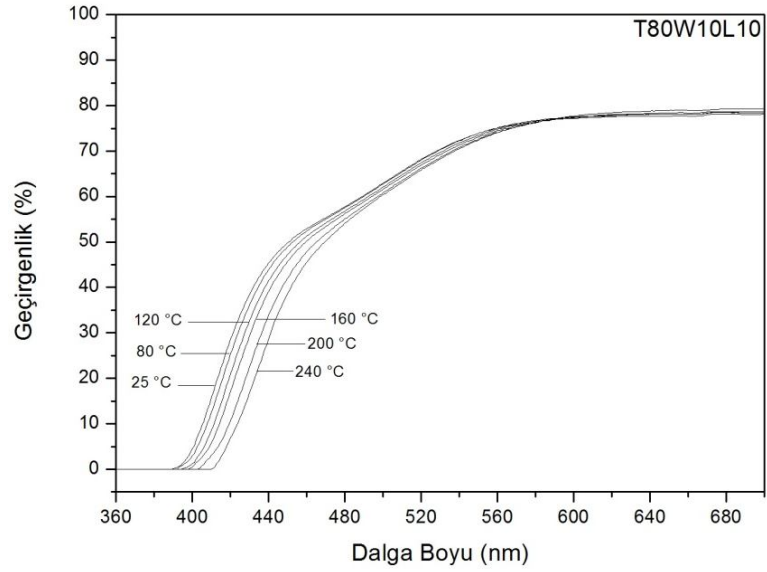
T80W10L10	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
	304	316	97,85	155,70	57,85	1,59

T80W10L10 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen optik incelemeler sonucu elde edilen % geçirgenlik değişimi Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9 : T80W10L10 camının görünür bölgedeki % geçirgenlik değişimi.

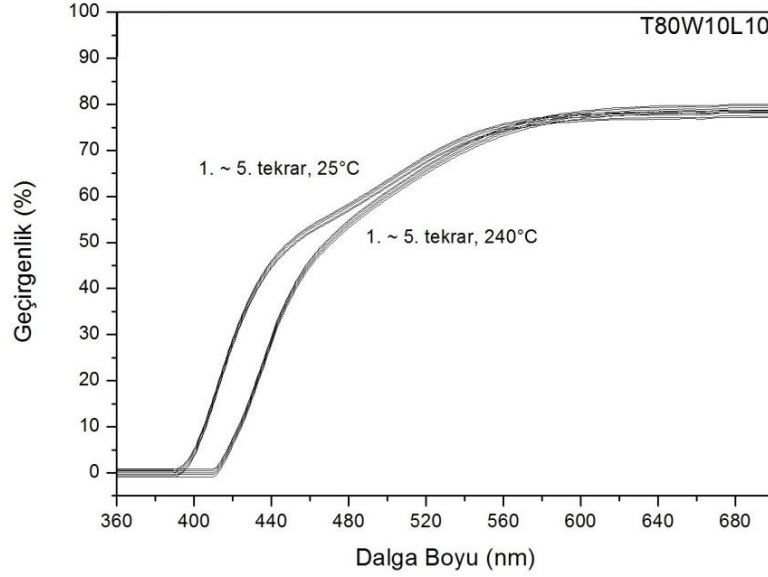
T80W10L10 camının cam geçiş sıcaklığının altındaki altı farklı sıcaklıkta görünür bölgede gerçekleştirilen spektroskopik analizleri sonucu elde edilen geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.10 : T80W10L10 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

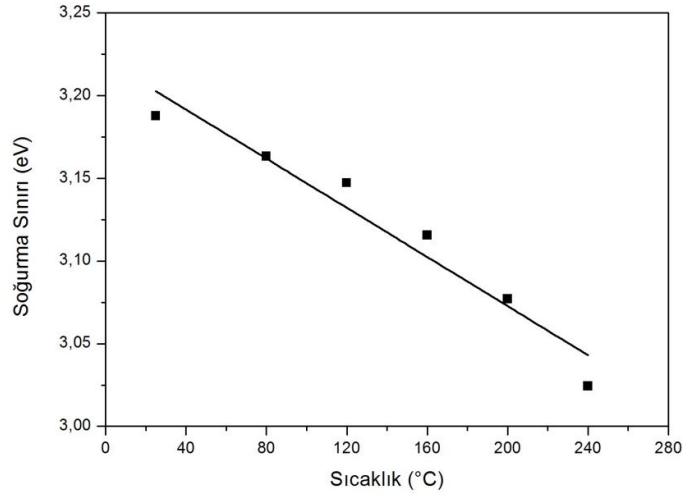
T80W10L10 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi incelendiğinde, % geçirgenlik değerlerinin 389-410 nm dalga boyu aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

T80W10L10 camının oda sıcaklığı ve 240 °C için tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş spektroskopik analiz sonuçları Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11 : T80W10L10 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin 25-240 °C sıcaklıklarındaki tekrarlı sonuçları.

T80W10L10 camının sıcaklığa bağlı % geçirgenlik değerlerinin sıfırlandığı nokta olarak tespit edilen ve soğurma veya geçirgenlik sınırı olarak adlandırılan değerin (eV) sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.12’de görülmektedir.



Şekil 4.12 : T80W10L10 camının soğurma sınırının sıcaklığa bağlı değişimi.

Çizelge 4.10’da, T80W10L10 camının soğurma sınırının ötelenme oranı ve 25-240 °C sıcaklıkları için soğurma sınır dalga boyu değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.10 : T80W10L10 camının soğurma sınırı değerleri ve sıcaklığa bağlı ötelenme oranı değerleri.

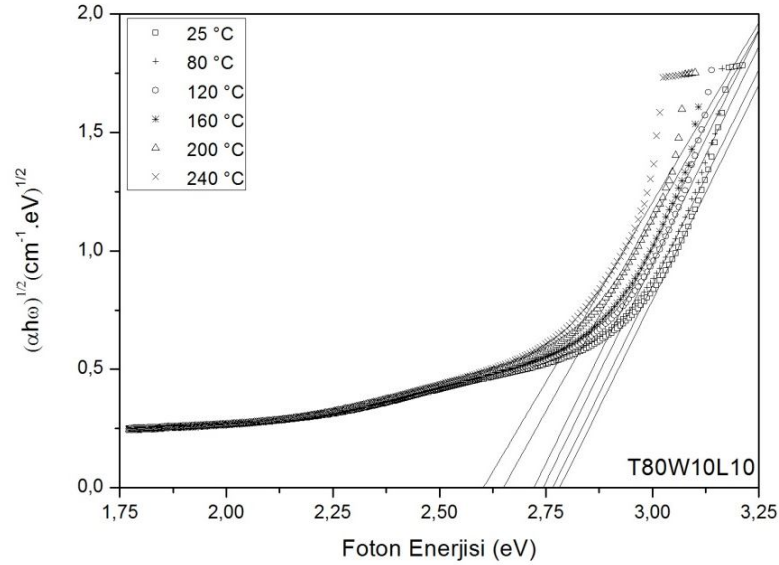
Numune	Ötelenme Oranı (10^{-4} eV/K)	Soğurma Sınırı	Soğurma Sınırı
		25 °C (nm)	240 °C (nm)
T80W10L10	-3,94	389	410

T80W10L10 camının soğurma sınırının foton enerjisine bağlı değişiminin Tauc denkleminde (Denklem 3.17) uyarlanarak belirlenen bant aralığı enerjisi değerleri Şekil 4.13'te verilmiştir.

Bant aralığı enerji değerleri, $(\alpha h\omega)^{(1/2)} - h\omega$ değişiminin foton enerjisi eksenini kestiği değerler olarak saptanmış ve Çizelge 4.11'de verilmiştir.

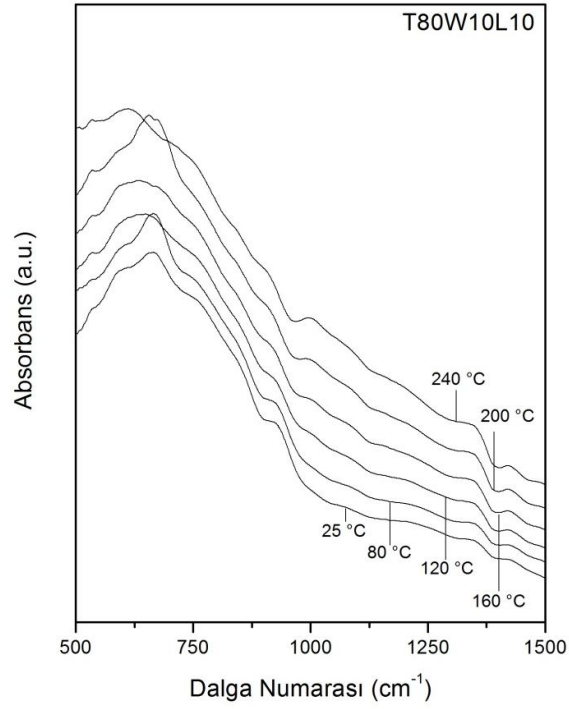
Çizelge 4.11 : T80W10L10 camının sıcaklığa bağlı bant aralığı enerji değerleri.

Numune	Bant Aralığı Enerjisi (eV)					
	25 °C	80 °C	120 °C	160 °C	200 °C	240 °C
T80W10L10	2,78	2,77	2,75	2,72	2,65	2,60



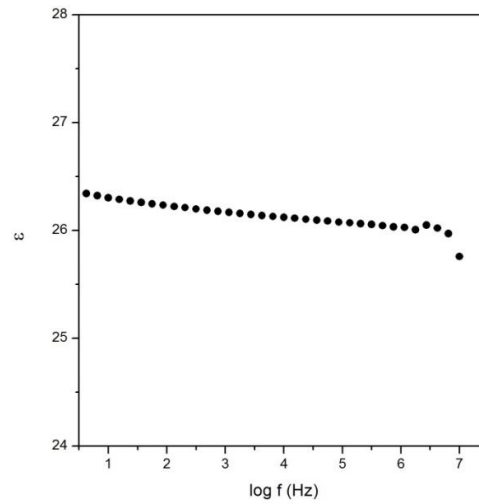
Şekil 4.13 : T80W10L10 camının Tauc denkleminde göre $(\alpha h\omega)^{1/2}$ - foton enerjisi değişimi.

T80W10L10 camının cam geçiş sıcaklığının altındaki altı farklı sıcaklıkta kızılötesi bölgede gerçekleştirilen spektroskopik analizleri sonucu elde edilen soğurma değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.14'te görülmektedir.



Şekil 4.14 : T80W10L10 camının kızılötesi bölgedeki soğurma değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

T80W10L10 camının elektriksel incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.12’de, dielektrik sabiti ölçümü sonuçları ise Şekil 4.15’te verilmiştir.

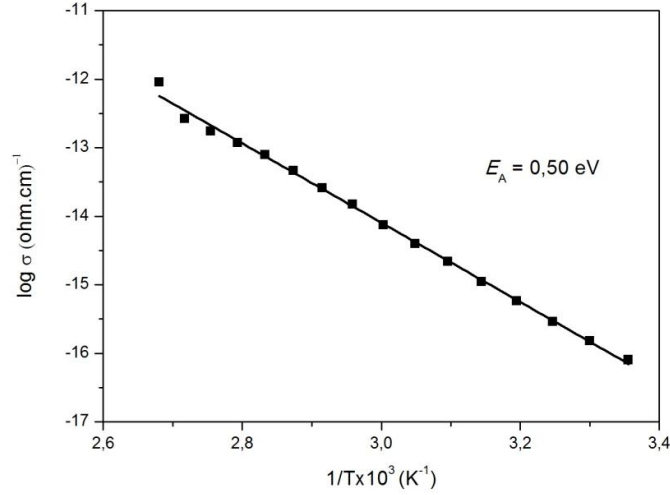


Şekil 4.15 : T80W10L10 camının dielektrik ölçüm sonucu.

Şekil 4.16’da, T80W10L10 camının iletkenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi ve $\ln \sigma - 1/T$ değişiminin hesaplanmış elektriksel iletkenlik aktivasyon enerjisi değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.12 : T80W10L10 camının öz direnç, ρ , iletkenlik, σ , dielektrik sabiti, ϵ ve iletkenlik aktivasyon enerjisi, E_A değerleri.

Numune	ρ 25 °C (ohm.cm)	σ 25 °C (ohm.cm) ⁻¹	ϵ (10 ³ Hz için)	ρ 100 °C (ohm.cm) ⁻¹	σ 100 °C (ohm.cm) ⁻¹	E_A (eV)
T80W10L10	1,25 10 ¹⁶	8,0 10 ⁻¹⁷	26	1,10 10 ¹²	9,1 10 ⁻¹³	0,5



Şekil 4.16 : T80W10L10 camının iletkenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi ve elektriksel iletkenlik aktivasyon enerjisi değerleri.

4.1.3 0,70TeO₂-0,20WO₃-0,10Li₂O (T70W20L10) numunesi

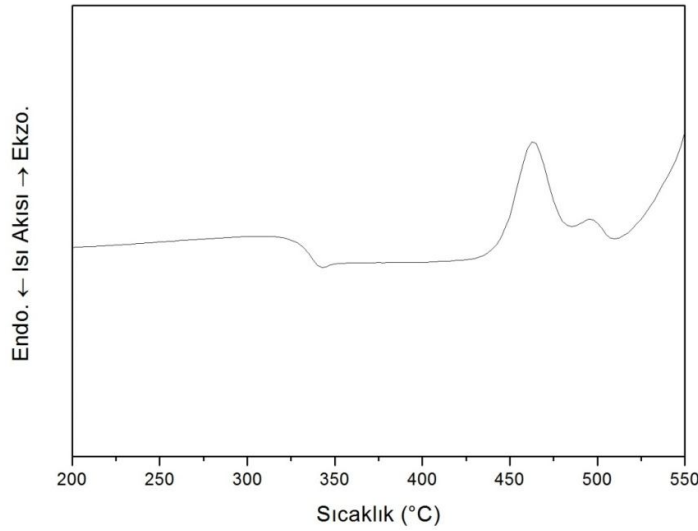
750 °C’de 30 dakika bekletilerek su verme işlemine tabi tutulan T70W20L10 numunesi, döküm sonrası saydam görünümde ve koyu sarı renkte elde edilmiştir. XRD analizi ile T70W20L10 numunesinin amorf yapıda olduğu tespit edilmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T70W20L10 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.17’de, gözlemlenen cam geçiş ve ekzotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.13’te verilmiştir.

Çizelge 4.13 : T70W20L10 numunesinin DSC verileri.

T70W20L10 (°C)	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	ΔT
	329	443/463	-/496	114

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.



Şekil 4.17 : T70W20L10 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.14’te, T70W20L10 numunesinin hesaplanan fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.14 : T70W20L10 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

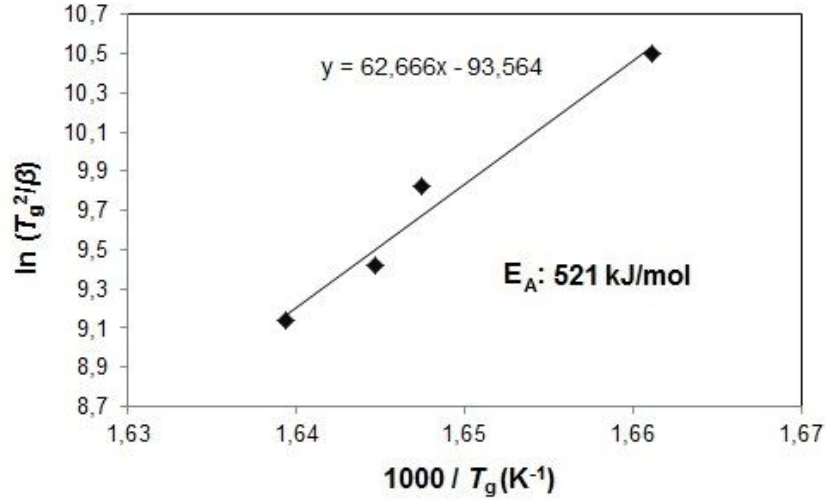
	ρ 25 °C (g cm ⁻³)	ρ teorik (g cm ⁻³)	V_M (cm ³ mol ⁻¹)	V_O (cm ³ mol ⁻¹)	OPD (mol L ⁻¹)	$\bar{n}_c$	n_b x10 ²¹ (cm ⁻³)	μ_{cal}
T70W20L10	5,65	5,60	28,51	13,91	73,66	2,36	101,36	0,273

Farklı ısıtma hızlarında gerçekleştirilen non-izotermal kinetik incelemeler sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.15’te verilmiştir.

Çizelge 4.15 : T70W20L10 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
T70W20L10	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40	(kJ mol⁻¹)			(Pa s)	
	329	333	335	336	521	114,9	2,4	11,26	10,7

T70W20L10 camının cam geçiş aktivasyon enerjisi, cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilmiş ve denklem uyarınca çizilen $\ln (T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişimi Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18 : T70W20L10 camının $\ln (T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

T70W20L10 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.16’da verilmiştir.

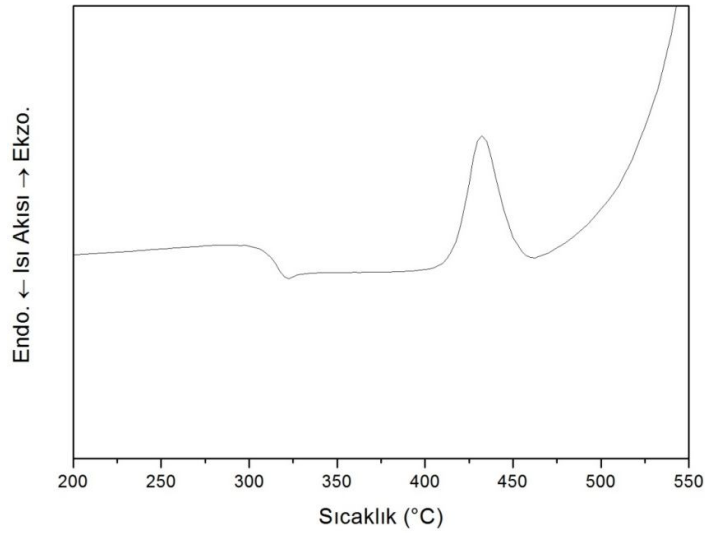
Çizelge 4.16 : T70W20L10 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
T70W20L10	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
	330	343	101,80	158,98	57,18	1,56

4.1.4 0,70TeO₂-0,15WO₃-0,15Li₂O (T70W15L15) numunesi

Uygulanan döküm koşulları sonrası sarı renkte ve saydam görünümde elde edilen T70W15L15 numunesinin XRD analizi sonucu amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T70W15L15 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.19’da, gözlemlenen cam geçiş reaksiyonu ve ekzotermik reaksiyona ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.19 : T70W15L15 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.17 : T70W15L15 numunesinin DSC verileri.

T70W15L15	T_g	T_{c1} / T_{p1}	ΔT
(°C)	309	417/432	108

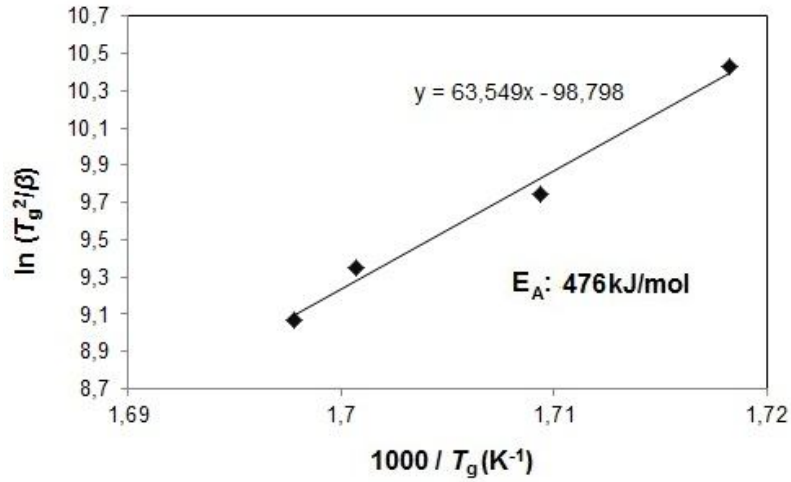
T70W15L15 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.18 : T70W15L15 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
T70W15L15	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	5,32	5,34	28,38	14,74	70,47	2,26	103,94	0,268

Non-izotermal kinetik incelemeler sonucu, T70W15L15 numunesine ait elde edilen cam geçiş sıcaklığı, cam geçiş aktivasyon enerjisi, kırılgenlik, C parametresi, viskozite ve viskozite değişim faktörü değerleri Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln(T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişimi ve elde edilen cam geçiş aktivasyon enerjisi, E_g , değeri Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.20 : T70W15L15 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

Çizelge 4.19 : T70W15L15 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

T70W15L15	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40					
					(kJ mol ⁻¹)			(Pa s)	
	309	312	315	317	476	108,4	2,1	11,27	8,6

T70W15L15 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.20 : T70W15L15 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

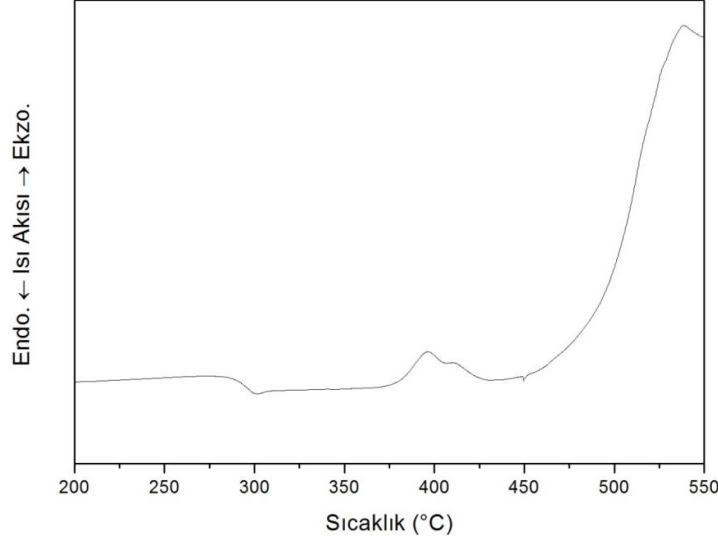
T70W15L15	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
	309	322	99,8	154,75	54,96	1,55

4.1.5 0,70TeO₂-0,10WO₃-0,20Li₂O (T70W10L20) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T70W10L20 numunesi uygulanan döküm koşullarında sarı renkte saydam

görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T70W10L20 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T70W10L20 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.21’de, gözlemlenen cam geçiş ve ekzotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.21 : T70W10L20 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.21 : T70W10L20 numunesinin DSC verileri.

T70W20L10	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{c3} / T_{p3}	T_{c4} / T_{p4}	ΔT
(°C)	289	381/397	-/410	499/538	-/450	92

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

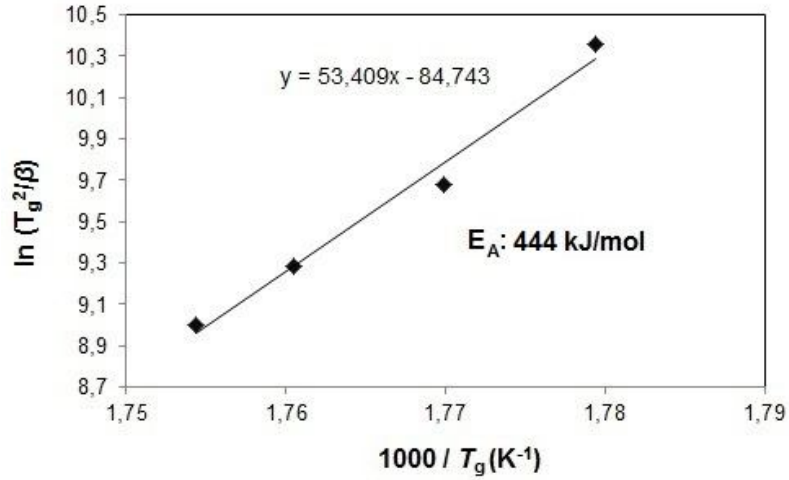
T70W10L20 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.22 : T70W10L20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ	ρ	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b	μ_{cal}
	25 °C	teorik					$\times 10^{21}$	
T70W10L20	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	5,22	5,09	27,00	15,00	70,37	2,17	111,49	0,264

T70W10L20 numunesine ait kinetik inceleme sonuçları Çizelge 4.23'te verilmiştir.

Cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln (T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişimi ve elde edilen cam geçiş aktivasyon enerjisi, E_g , değeri Şekil 4.22'de verilmiştir.



Şekil 4.22 : T70W10L20 camının $\ln (T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

Çizelge 4.23 : T70W10L20 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılmalık (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

T70W10L20	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40	(kJ mol ⁻¹)				
	289	292	295	297	444	94,3	1,8	11,27	6,2

T70W10L20 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.24'te verilmiştir.

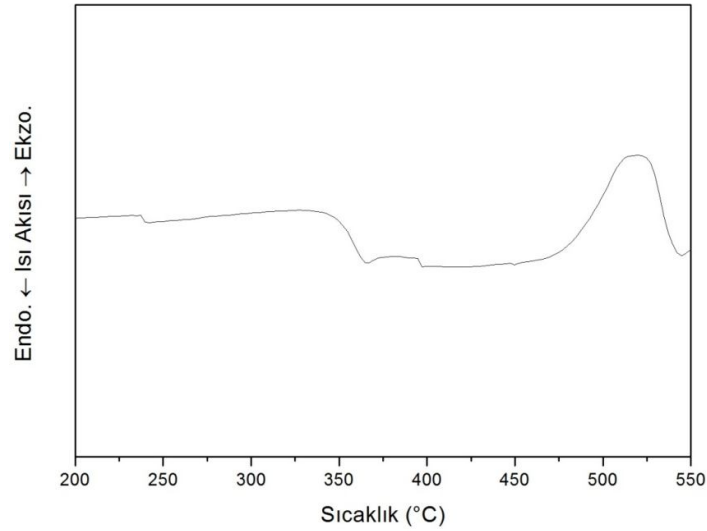
Çizelge 4.24 : T70W10L20 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onsets, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

T70W10L20	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
	289	302	97,35	149,90	52,55	1,54

4.1.6 0,60TeO₂-0,30WO₃-0,10Li₂O (T60W30L10) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T60W30L10 numunesi uygulanan döküm koşullarında sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T60W30L10 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T60W30L10 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.23'te, gözlemlenen cam geçiş, ekzotermik ve endotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.25'te verilmiştir.



Şekil 4.23 : T60W30L10 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.25 : T60W30L10 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{mo1} / T_{mp1}	ΔT
T60W30L10 (°C)	350	480/519	-/450	130

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

T60W30L10 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri olan yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri Çizelge 4.26'da verilmiştir.

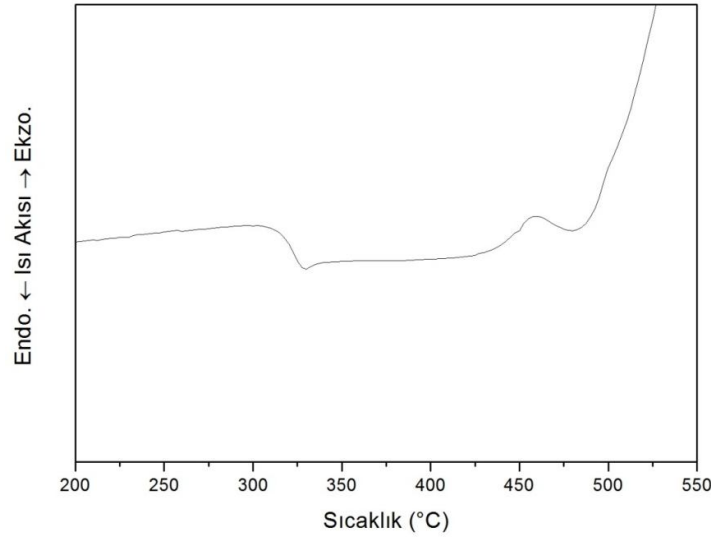
Çizelge 4.26 : T60W30L10 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
T60W30L10	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	5,88	5,75	28,64	13,32	76,81	2,55	105,10	0,273

4.1.7 0,60TeO₂-0,20WO₃-0,20Li₂O (T60W20L20) numunesi

Uygulanan döküm koşulları sonrası sarı renkte ve saydam görünümde elde edilen T60W20L20 numunesinin XRD analizi sonucu amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T60W20L20 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.24'te, gözlemlenen cam geçiş ve ekzotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.24 : T60W20L20 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.27 : T60W20L20 numunesinin DSC verileri.

T60W20L20	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	ΔT
(°C)	315	437/458	-/528	122

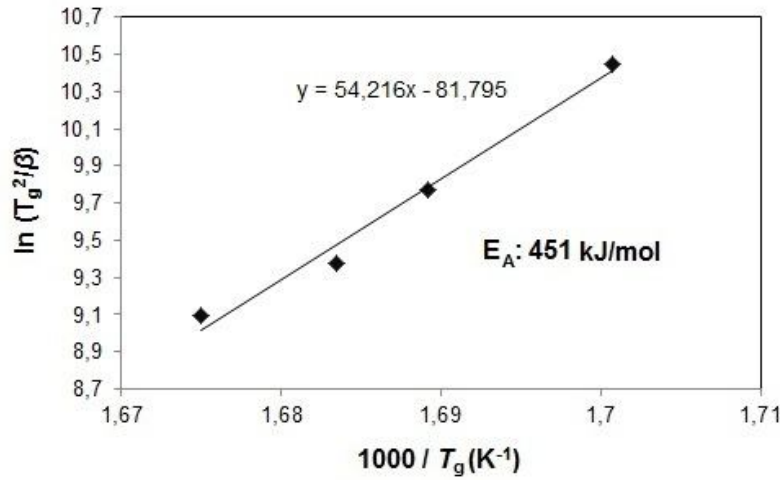
- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

T60W20L20 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.28’de verilmiştir.

Çizelge 4.28 : T60W20L20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C (g cm ⁻³)	ρ teorik (g cm ⁻³)	V_M (cm ³ mol ⁻¹)	V_O (cm ³ mol ⁻¹)	OPD (mol L ⁻¹)	$\bar{n}_c$	n_b x10 ²¹ (cm ⁻³)	μ_{cal}
T60W20L20	5,21	5,24	28,43	14,96	70,39	2,33	110,12	0,264

Kkinetik incelemeler sonucu, T60W20L20 numunesine ait elde edilen değerler Çizelge 4.29’da ve Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln(T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişimi Şekil 4.25’te verilmiştir.



Şekil 4.25 : T60W20L20 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

Çizelge 4.29 : T60W20L20 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
T60W20L20	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40	(kJ mol ⁻¹)			(Pa s)	
	315	319	321	324	451	91,5	2,1	11,27	8,5

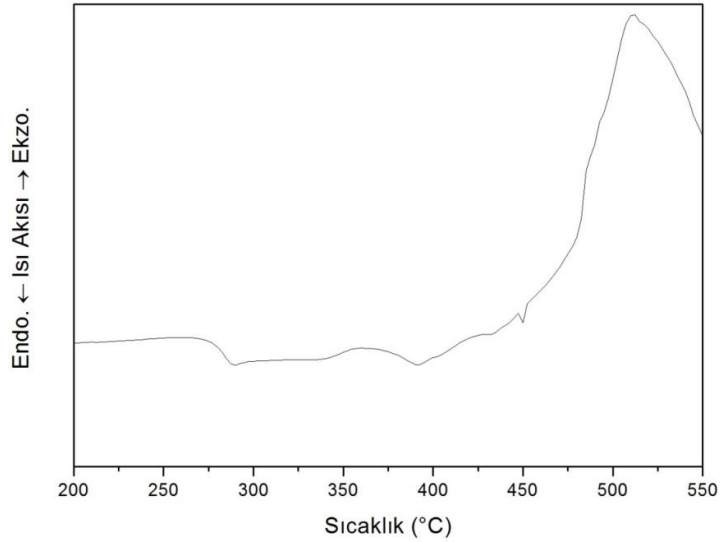
T60W20L20 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.30’da verilmiştir.

Çizelge 4.30 : T60W20L20 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
T60W20L20	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
	316	329	94,34	154,02	59,68	1,63

4.1.8 0,60TeO₂-0,10WO₃-0,30Li₂O (T60W10L30) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verilen T60W10L30 numunesi uygulanan döküm koşullarında açık sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş ve gerçekleştirilen XRD analizleri ile numunenin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir. Termal analiz sonuçları Şekil 4.26 ve Çizelge 4.31’de verilmiştir.



Şekil 4.26 : T60W10L30 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.31 : T60W10L30 numunesinin DSC verileri.

T60W10L30	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{mo1} / T_{mp1}	ΔT
(°C)	276	342/360	342/360	-/450	66

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

T60W10L30 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.32’de verilmiştir.

Çizelge 4.32 : T60W10L30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C (g cm ⁻³)	ρ teorik (g cm ⁻³)	V_M (cm ³ mol ⁻¹)	V_O (cm ³ mol ⁻¹)	OPD (mol L ⁻¹)	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$ (cm ⁻³)	μ_{cal}
T60W10L30	4,85	4,72	26,35	15,97	68,31	2,15	123,37	0,255

4.1.9 0,50TeO₂-0,40WO₃-0,10Li₂O (T50W40L10) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T50W40L10 numunesi uygulanan döküm koşullarında açık yeşil renkte opak görünümde elde edilmiştir. Cam özellikleri ile ilgili incelemeler, opak olarak elde edilen numuneler ile gerçekleştirilmemiştir. Bu nedenle bundan sonraki opak numunelerde her hangi bir analiz sonucuna yer verilmeyecektir.

4.1.10 0,50TeO₂-0,25WO₃-0,25 Li₂O (T50W25L25) numunesi

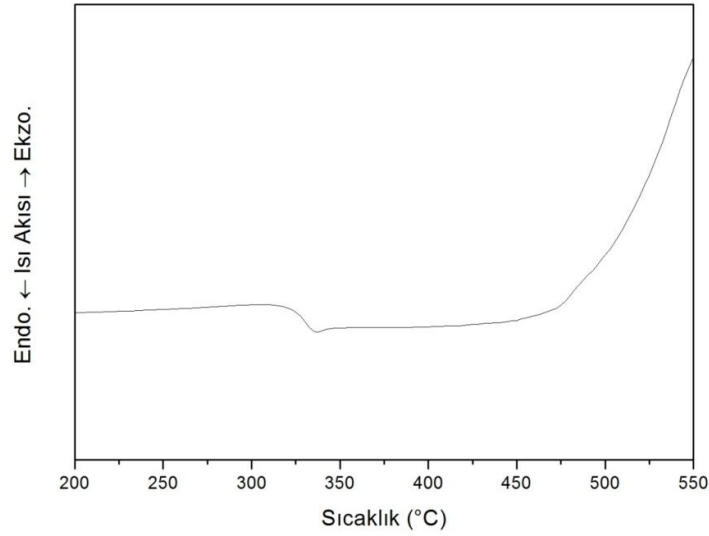
Döküm sonrası açık sarı renkte ve saydam görünümde elde edilen T50W25L25 numunesinin XRD analizi sonucu amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T50W25L25 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.27’de, gözlemlenen cam geçiş reaksiyonu ve ekzotermik reaksiyona ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.33’te verilmiştir.

Çizelge 4.33 : T50W25L25 numunesinin DSC verileri.

T50W25L25	T_g	T_{c1} / T_{p1}	ΔT
(°C)	323	505/-	182

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.



Şekil 4.27 : T50W25L25 numunesinin DSC sonucu.

T50W25L25 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.34’te verilmiştir.

Çizelge 4.34 : T50W25L25 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

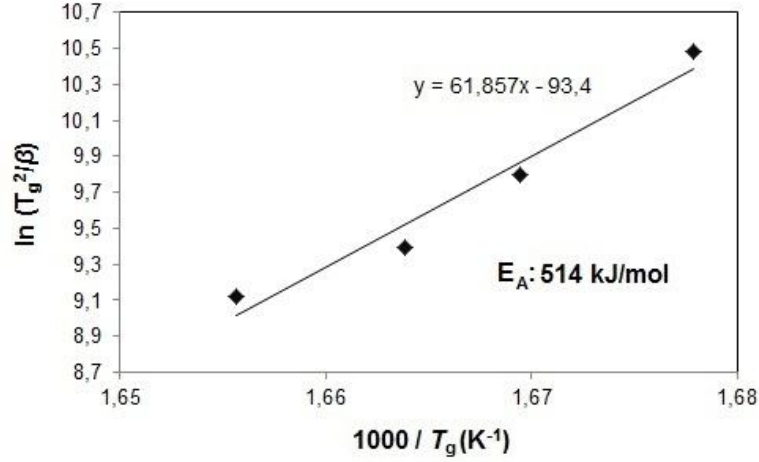
	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
T50W25L25	5,11	5,13	28,42	15,16	70,37	2,40	116,50	0,260

Non-izotermal kinetik incelemeler sonucu, T50W25L25 numunesine ait elde edilen değerler Çizelge 4.35’te verilmiştir.

Çizelge 4.35 : T50W25L25 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40	(kJ mol ⁻¹)			(Pa s)	
T50W25L25	323	326	328	331	514	103,1	2,4	11,26	10,8

Cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklemler 3.11) elde edilen $\ln(T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişimi ve elde edilen cam geçiş aktivasyon enerjisi, E_g , değeri Şekil 4.28’de verilmiştir.



Şekil 4.28 : T50W25L25 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

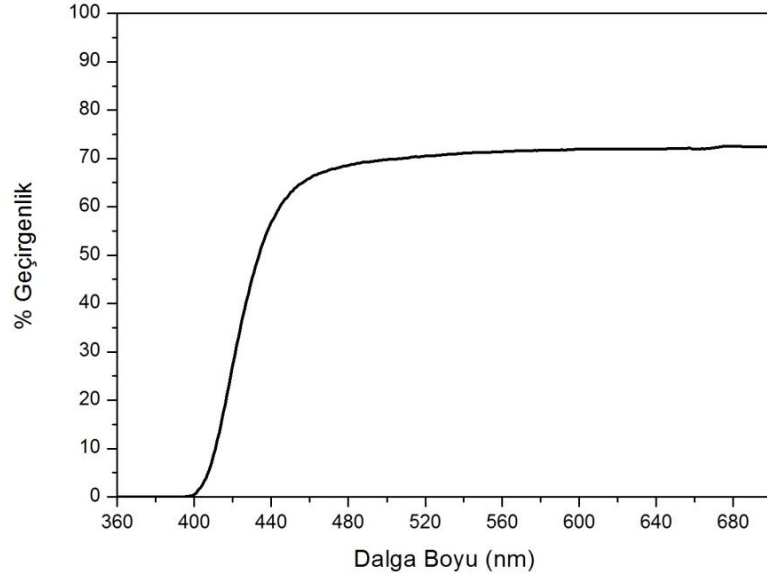
T50W25L25 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.36’da verilmiştir.

Çizelge 4.36 : T50W25L25 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

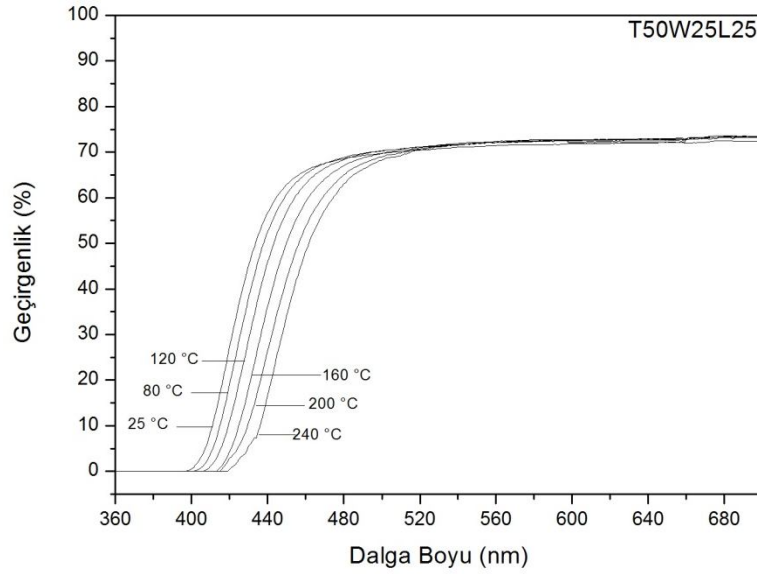
	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
T50W25L25	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
	324	337	103,26	170,06	66,81	1,65

T50W25L25 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen optik incelemeler sonucu elde edilen % geçirgenlik değişimi Şekil 4.29’da verilmiştir.

T50W25L25 camının cam geçiş sıcaklığının altındaki altı farklı sıcaklıkta görünür bölgede gerçekleştirilen spektroskopik analizleri sonucu elde edilen geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.31’de görülmektedir.



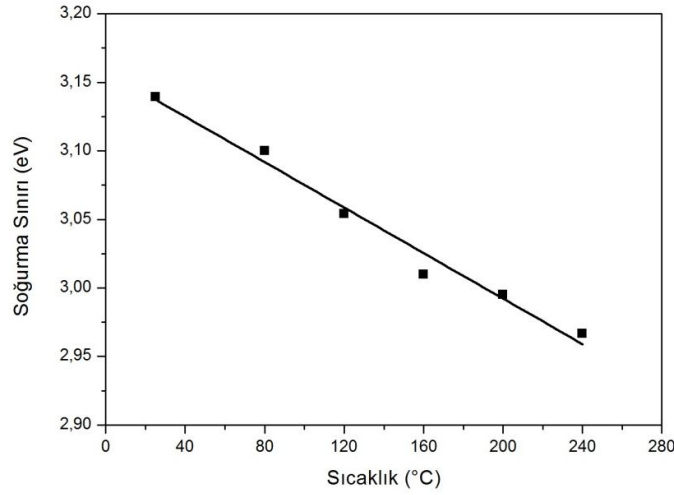
Şekil 4.29 : T50W25L25 camının görünür bölgedeki % geçirgenlik değişimi.



Şekil 4.30 : T50W25L25 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

T50W25L25 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi incelendiğinde, % geçirgenlik değerlerinin 395-418 nm dalga boyu aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

T50W25L25 camının sıcaklığa bağlı % geçirgenlik değerlerinin sıfırlandığı nokta olarak tespit edilen ve soğurma veya geçirgenlik sınırı olarak adlandırılan değer (eV) sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.31'de görülmektedir.



Şekil 4.31 : T50W25L25 camının soğurma sınırının sıcaklığa bağlı değişimi.

Çizelge 4.37’de, T50W25L25 camının soğurma sınırının ötelenme oranı ve 25-240 °C sıcaklıkları için soğurma sınır dalga boyu değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.37 : T50W25L25 camının soğurma sınırı değerleri ve sıcaklığa bağlı ötelenme oranı değerleri.

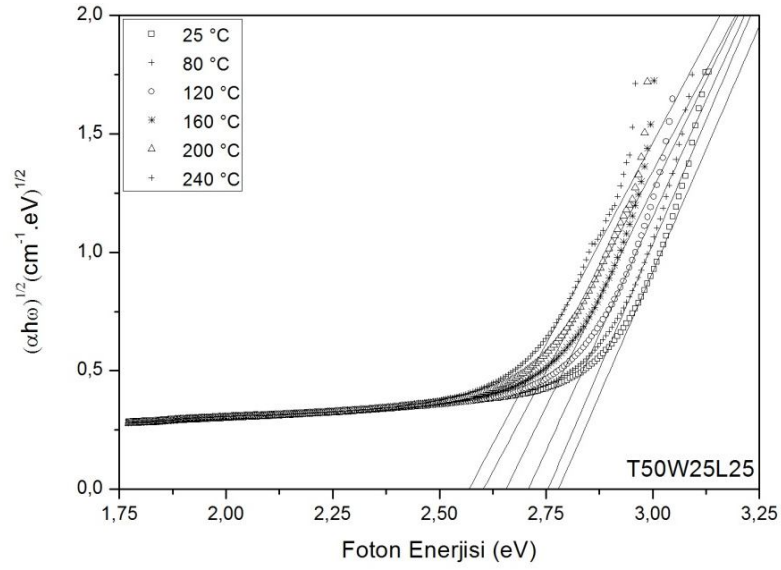
Numune	Ötelenme Oranı (10^{-4} eV/K)	Soğurma Sınırı	Soğurma Sınırı
		25 °C (nm)	240 °C (nm)
T50W25L25	-8,29	395	418

T50W25L25 camının soğurma sınırının foton enerjisine bağlı değişiminin Tauc denkleminde (Denklem 3.17) uyarlanarak belirlenen bant aralığı enerjisi değerleri Şekil 4.32’de verilmiştir.

Bant aralığı enerji değerleri, $(\alpha h\nu)^{(1/2)} - h\nu$ değişiminin foton enerjisi eksenini kestiği değerler olarak saptanmış ve Çizelge 4.38’de verilmiştir.

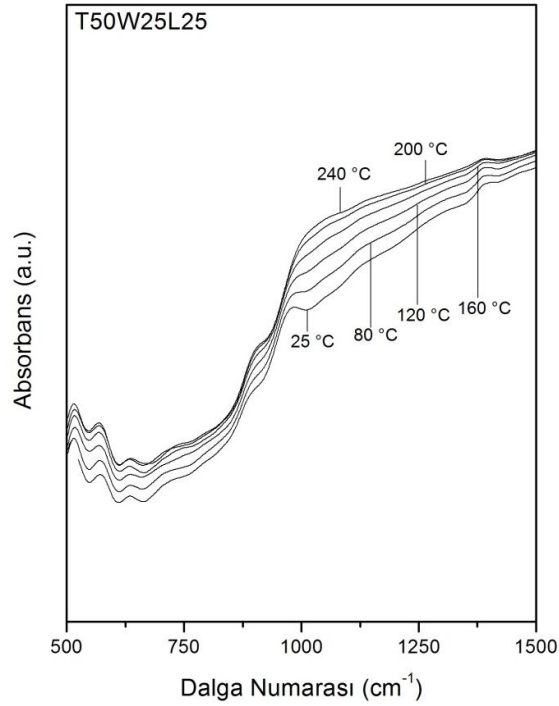
Çizelge 4.38 : T50W25L25 camının sıcaklığa bağlı bant aralığı enerji değerleri.

Numune	Bant Aralığı Enerjisi (eV)					
	25 °C	80 °C	120 °C	160 °C	200 °C	240 °C
T50W25L25	2,78	2,75	2,70	2,65	2,60	2,57



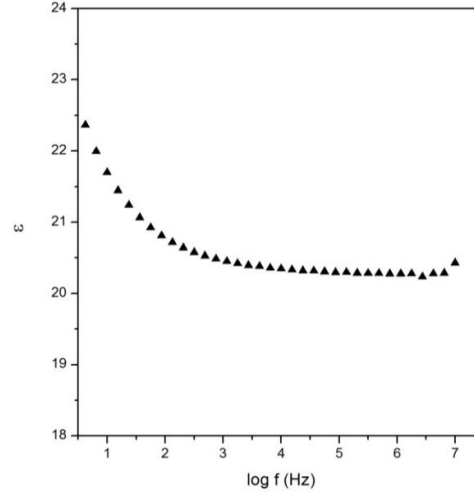
Şekil 4.32 : T50W25L25 camının Tauc denklemine göre $(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$ - foton enerjisi değişimi.

T50W25L25 camının cam geçiş sıcaklığının altındaki altı farklı sıcaklıkta kızılötesi bölgede gerçekleştirilen spektroskopik analizleri sonucu elde edilen soğurma değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.33'te görülmektedir.



Şekil 4.33 : T50W25L25 camının kızılötesi bölgedeki soğurma değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

T50W25L25 camının elektriksel incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.39’da, dielektrik sabiti ölçümü sonuçları ise Şekil 4.34’te verilmiştir.

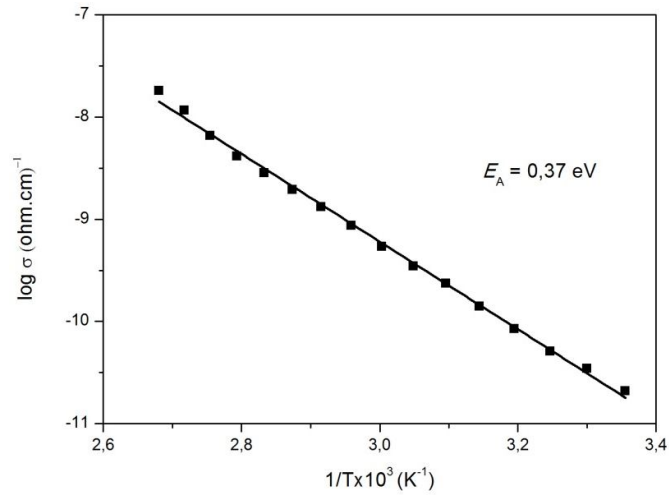


Şekil 4.34 : T50W25L25 camının dielektrik ölçüm sonucu.

Çizelge 4.39 : T50W25L25 camının özdirenç, ρ , iletkenlik, σ ve iletkenlik aktivasyon enerjisi, E_A değerleri.

Numune	ρ 25 °C (ohm.cm)	σ 25 °C (ohm.cm) ⁻¹	ε (10 ³ Hz için)	ρ 100 °C (ohm.cm) ⁻¹	σ 100 °C (ohm.cm) ⁻¹	E_A (eV)
T50W25L25	4,81 10 ¹⁰	2,1 10 ⁻¹¹	21	5,53 10 ⁷	1,8 10 ⁻⁰⁸	0,37

Şekil 4.35’te, T80W10L10 camının iletkenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi ve $\ln \sigma - 1/T$ değişiminin hesaplanmış elektriksel iletkenlik aktivasyon enerjisi değerleri verilmiştir.



Şekil 4.35 : T50W25L25 camının iletkenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi ve elektriksel iletkenlik aktivasyon enerjisi değerleri.

4.1.11 0,50TeO₂-0,10WO₃-0,40Li₂O (T50W10L40) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T50W10L40 numunesi uygulanan döküm koşullarında beyaz renkte opak görünümde elde edilmiştir.

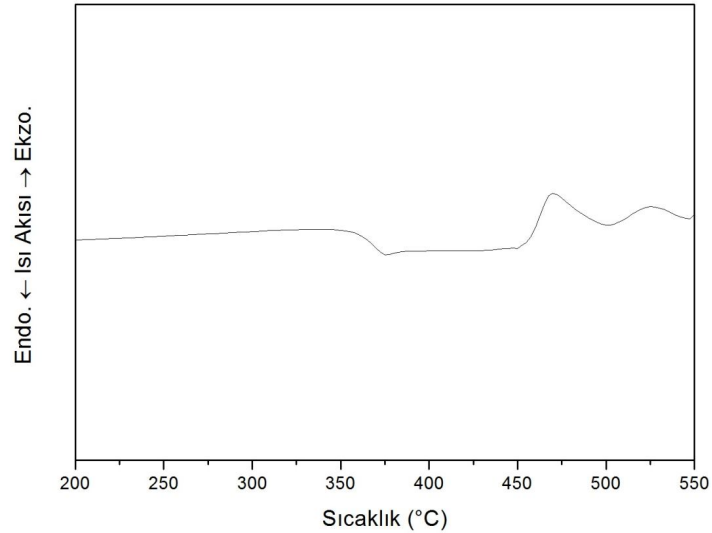
4.1.12 0,40TeO₂-0,50WO₃-0,10Li₂O (T40W50L10) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T40W50L10 numunesi uygulanan döküm koşullarında açık yeşil renkte opak görünümde elde edilmiştir.

4.1.13 0,40TeO₂-0,40WO₃-0,20Li₂O (T40W40L20) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T40W40L20 numunesi uygulanan döküm koşullarında açık sarı renkte saydam görünümde elde edilmiştir. T40W40L20 numunesi ile gerçekleştirilen XRD analizleri sonucu, numunenin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T40W40L20 numunesi için elde edilen termal analiz sonucu Şekil 4.36’da görülmektedir. Çizelge 4.40’ta ise termal analiz sonucu gözlemlenen cam geçiş ve ekzotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri verilmiştir.



Şekil 4.36 : T40W40L20 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.40 : T40W40L20 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	ΔT
T40W40L20 (°C)	360	456/476	-/526	96

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

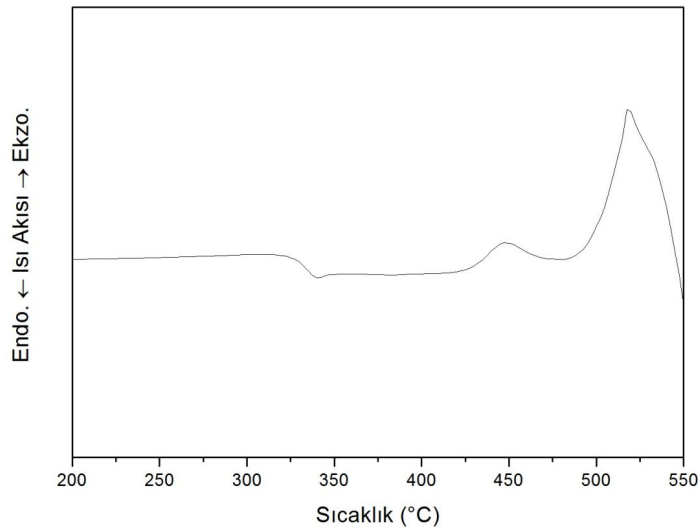
T40W40L20 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.41’de verilmiştir.

Çizelge 4.41 : T40W40L20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ	ρ	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b	μ_{cal}
	25 °C	teorik					$\times 10^{21}$	
T40W40L20	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	5,77	5,53	28,18	13,42	78,08	2,67	119,65	0,265

4.1.14 0,40TeO₂-0,30WO₃-0,30Li₂O (T40W30L30) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletilerek suda soğutulan T40W30L30 numunesi açık sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T40W30L30 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir. Numuneye ait termal analiz sonuçları Şekil 4.37 ve Çizelge 4.42’de verilmiştir.



Şekil 4.37 : T40W30L30 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.42 : T40W30L30 numunesinin DSC verileri.

T40W40L20	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	ΔT
(°C)	327	429/448	500/518	102

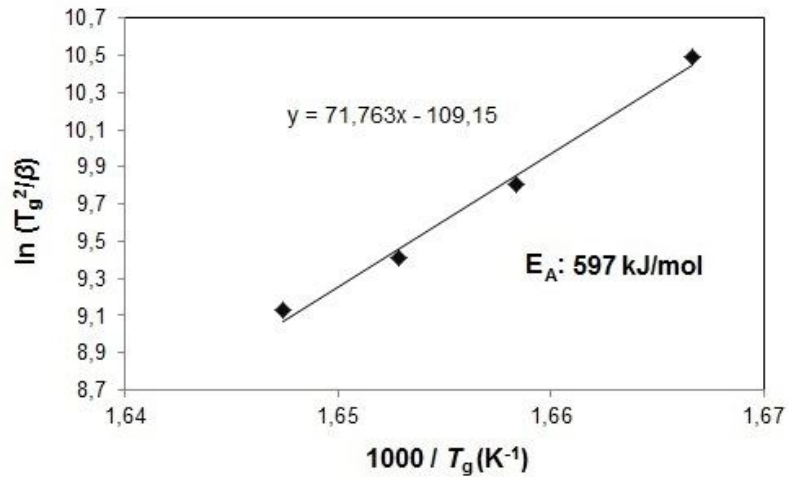
T40W30L30 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.43'te verilmiştir.

Çizelge 4.43 : T40W30L30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ	ρ	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b	μ_{cal}
	25 °C	teorik					$\times 10^{21}$	
T40W30L30	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	4,98	5,02	28,59	15,45	69,97	2,46	122,15	0,255

Non-izotermal kinetik incelemeler sonucu, T40W30L30 numunesine ait elde edilen cam geçiş sıcaklığı, cam geçiş aktivasyon enerjisi, kırılgenlik, C parametresi, viskozite ve viskozite değişim faktörü değerleri Çizelge 4.44'te verilmiştir.

Cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln (T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişimi ve elde edilen cam geçiş aktivasyon enerjisi, E_g , değeri Şekil 4.38'de verilmiştir.



Şekil 4.38 : T40W30L30 camının $\ln (T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

Çizelge 4.44 : T40W30L30 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılmalık (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

T40W30L30	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40					
	327	330	332	334	(kJ mol ⁻¹)			(Pa s)	
	327	330	332	334	597	118,9	2,5	11,26	12,7

T40W30L30 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.45'te verilmiştir.

Çizelge 4.45 : T40W30L30 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

T40W30L30	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
	328	340	101,64	169,40	67,76	1,67

4.1.15 0,40TeO₂-0,20WO₃-0,40Li₂O (T40W20L40) numunesi

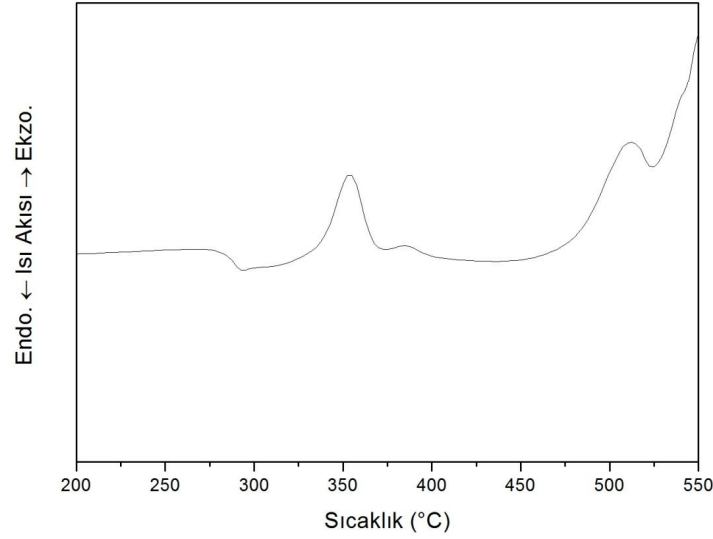
750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T40W20L40 numunesi uygulanan döküm koşullarında beyaz renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T40W20L40 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T40W20L40 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.39'da, gözlemlenen cam geçiş ve ekzotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.46'da verilmiştir.

Çizelge 4.46 : T40W20L40 numunesinin DSC verileri.

T40W20L40	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{c3} / T_{p3}	ΔT
(°C)	282	339/354	-/385	480/513	57

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir



Şekil 4.39 : T40W20L40 numunesinin DSC sonucu.

T40W20L40 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.47’de verilmiştir.

Çizelge 4.47 : T40W20L40 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
T40W20L40	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	4,74	4,51	25,77	16,11	69,84	2,29	140,14	0,245

4.1.16 0,40TeO₂-0,10WO₃-0,50Li₂O (T40W10L50) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T40W10L50 numunesi uygulanan döküm koşullarında beyaz renkte opak görünümde elde edilmiştir.

4.1.17 0,30TeO₂-0,60WO₃-0,10Li₂O (T30W60L10) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T30W60L10 numunesi uygulanan döküm koşullarında açık yeşil renkte opak görünümde elde edilmiştir.

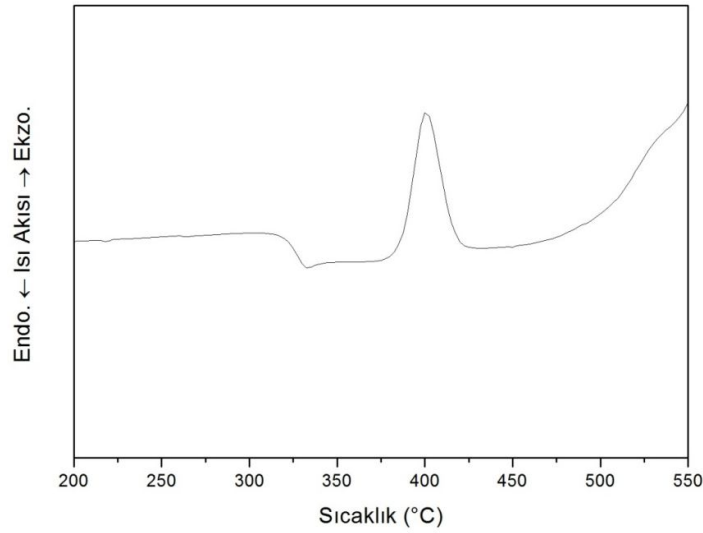
4.1.18 0,30TeO₂-0,50WO₃-0,20Li₂O (T30W50L20) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T30W50L20 numunesi uygulanan döküm koşullarında koyu yeşil renkte kısmi cam görünümünde elde edilmiştir.

4.1.19 0,30TeO₂-0,35WO₃-0,35Li₂O (T30W35L35) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T30W35L35 numunesi, uygulanan döküm koşulları sonrası açık sarı renkte ve saydam görünümde elde edilmiştir. Gerçekleştirilen XRD analizi sonucu, numunenin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T30W35L35 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.40'ta, gözlemlenen cam geçiş ve ekzotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.48'de verilmiştir.



Şekil 4.40 : T30W35L35 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.48 : T30W35L35 numunesinin DSC verileri.

T30W35L35	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	ΔT
(°C)	320	387/401	503/-	67

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

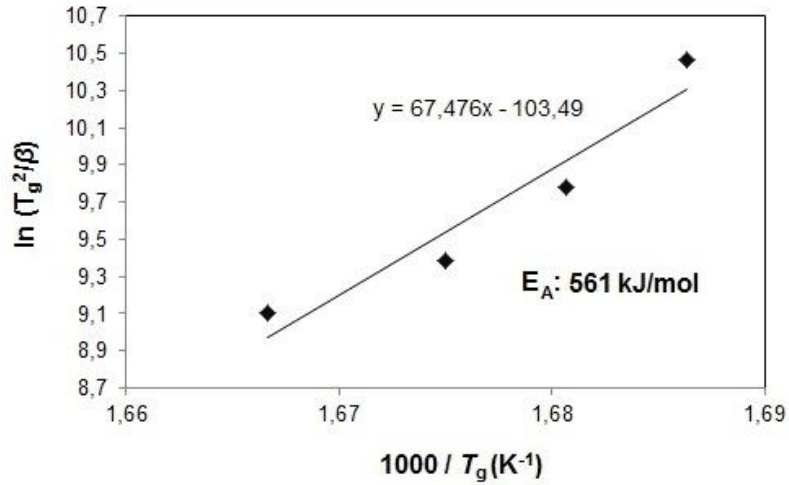
T30W35L35 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.49'da verilmiştir.

Çizelge 4.49 : T30W35L35 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
T30W35L35	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	4,86	4,91	28,70	15,73	69,69	2,52	127,96	0,251

Non-izotermal kinetik incelemeler sonucu, T30W35L35 numunesine ait elde edilen cam geçiş sıcaklığı, cam geçiş aktivasyon enerjisi, kırılgenlik, C parametresi, viskozite ve viskozite değişim faktörü değerleri Çizelge 4.50’de verilmiştir.

Cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln(T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişimi ve elde edilen cam geçiş aktivasyon enerjisi, E_g , değeri Şekil 4.41’de verilmiştir.



Şekil 4.41 : T30W35L35 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

Çizelge 4.50 : T30W35L35 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
T30W35L35	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40	(kJ mol ⁻¹)			(Pa s)	
	320	322	324	327	561	113,2	2,4	11,26	11,5

T30W35L35 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.51’de verilmiştir.

Çizelge 4.51 : T30W35L35 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
T30W35L35	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
	321	333	104,05	170,58	66,53	1,64

4.1.20 0,30TeO₂-0,20WO₃-0,50Li₂O (T30W20L50) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T30W20L50 numunesi uygulanan döküm koşullarında beyaz renkte opak görünümde elde edilmiştir.

4.1.21 0,20TeO₂-0,60WO₃-0,20Li₂O (T20W60L20) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T20W60L20 numunesi uygulanan döküm koşullarında koyu yeşil renkte opak görünümde elde edilmiştir.

4.1.22 0,20TeO₂-0,50WO₃-0,30Li₂O (T20W50L30) numunesi

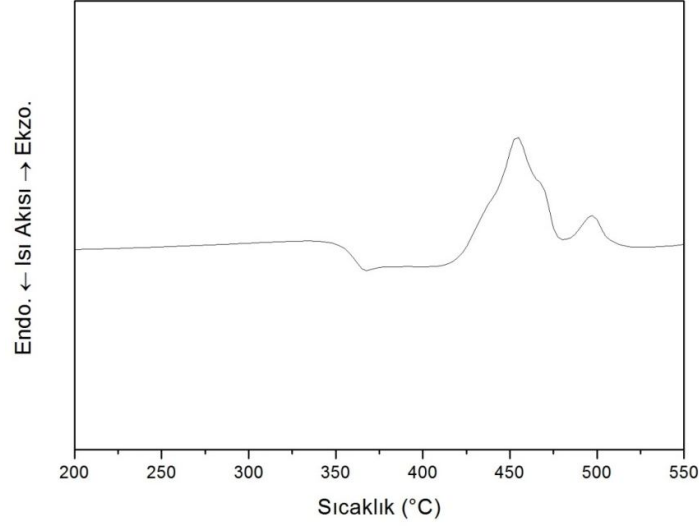
750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T20W50L30 numunesi uygulanan döküm koşullarında açık sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T20W50L30 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T20W50L30 numunesine ait elde edilen termal analiz sonuçları Şekil 4.43 ve Çizelge 4.52’de verilmiştir.

Çizelge 4.52 : T20W50L30 numunesinin DSC verileri.

T20W50L30	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	ΔT
(°C)	354	420/454	-/497	66

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir



Şekil 4.42 : T20W50L30 numunesinin DSC sonucu.

T20W50L30 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.53'te verilmiştir.

Çizelge 4.53 : T20W50L30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
T20W50L30	5,73	5,32	27,38	13,35	80,37	2,77	136,36	0,257

4.1.23 0,20TeO₂-0,40WO₃-0,40Li₂O (T20W40L40) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T20W40L40 numunesi uygulanan döküm koşullarında beyaz renkte kısmi cam görünümünde elde edilmiştir.

4.1.24 0,20TeO₂-0,30WO₃-0,50Li₂O (T20W30L50) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T20W30L50 numunesi uygulanan döküm koşullarında beyaz renkte opak görünümünde elde edilmiştir.

4.1.25 0,10TeO₂-0,60WO₃-0,30Li₂O (T10W60L30) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T10W60L30 numunesi uygulanan döküm koşullarında gri renkte opak görünümde elde edilmiştir.

4.1.26 0,10TeO₂-0,50WO₃-0,40Li₂O (T10W50L40) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T10W50L40 numunesi uygulanan döküm koşullarında beyaz ve sarı renkte kısmi cam görünümünde elde edilmiştir.

4.1.27 0,10TeO₂-0,45WO₃-0,45Li₂O (T10W45L45) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T10W45L45 numunesi uygulanan döküm koşullarında beyaz renkte kısmi cam görünümünde elde edilmiştir.

4.2 TeO₂-WO₃-N₂O Sistemi

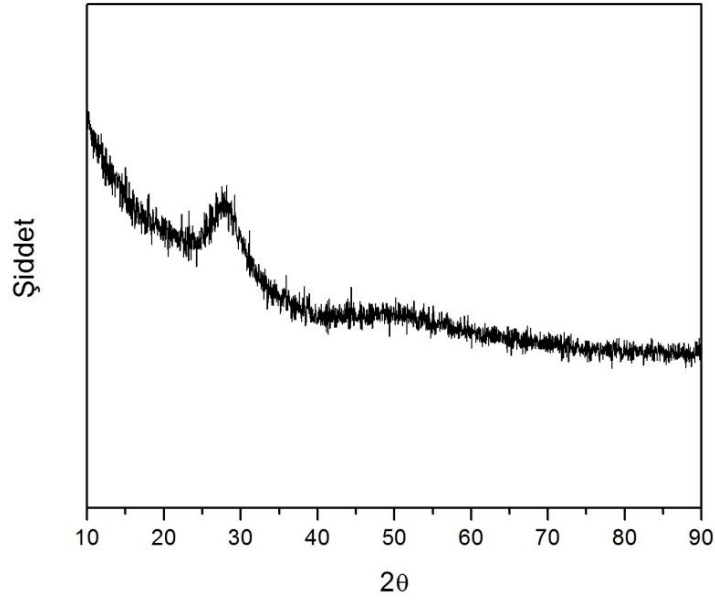
4.2.1 0,90TeO₂-0,05WO₃-0,05Na₂O (T90W5N5) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T90W5N5 numunesi, uygulanan döküm koşullarında açık turuncu renkte saydam görünümde elde edilmiştir.

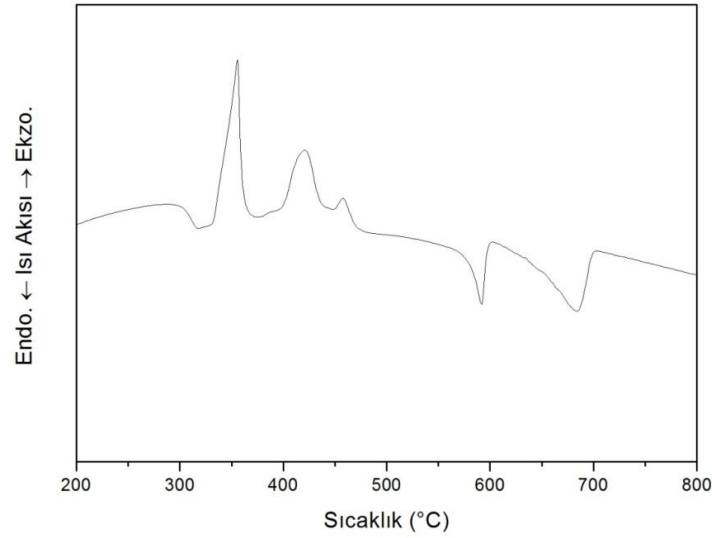
Döküm sonrası saydam görünümde elde edilen T90W5N5 numunesinin XRD incelemesi gerçekleştirilmiş ve amorf yapıda olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.43).

T90W5N5 numunesinin amorf XRD paterni tüm cam numuneler için temsilen verilmiştir. Bu bölümde cam olarak elde edilen numunelere ait amorf paternlere bundan sonraki numuneler için yer verilmeyecektir.

T90W5N5 numunesinin ısı karakterizasyonu için uygulanan DTA analizi sonucunda elde edilen termogram Şekil 4.44'te verilmiş olup; numunede cam geçiş reaksiyonunun yanı sıra üç ekzotermik ve iki endotermik reaksiyon tespit edilmiştir. Gözlemlenen reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.54'te verilmiştir.



Şekil 4.43 : T90W5N5 numunesinin XRD analiz sonucu.



Şekil 4.44 : T90W5N5 numunesinin DTA sonucu.

Çizelge 4.54 : T90W5N5 numunesinin DTA verileri.

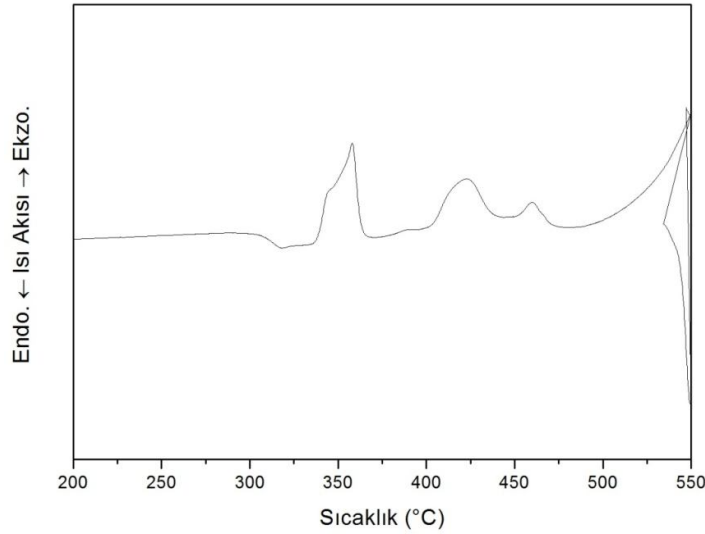
	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{c3} / T_{p3}	T_{mo1} / T_{mp1}	T_{mo2} / T_{mp2}	ΔT
T90W5N5 (°C)	300	333/355	399/419	-/4457	575/592	655/683	51

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

T90W5N5 numunesinin ısı karakterizasyonu için uygulanan DSC analizi sonucunda elde edilen termogram Şekil 4.45’de verilmiş olup; numunede, DTA analiz sonuçları ile benzer şekilde, cam geçiş reaksiyonunun yanı sıra üç ekzotermik reaksiyon tespit

edilmiştir. Gözlemlenen reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.55’te verilmiştir.

Isı analizlerde kullanılan DTA ve DSC tekniklerinden ölçüm hassasiyeti daha yüksek olan tekniğin DSC tekniği olduğu belirlenmiş olup; ısı analiz sonuçlarından yola çıkılarak yapılan hesaplamalarda DSC cihazının verileri dikkate alınmıştır. Dolayısıyla sonraki numunelerde yalnızca DSC analiz sonuçlarına yer verilecektir.



Şekil 4.45 : T90W5N5 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.55 : T90W5N5 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{c3} / T_{p3}	ΔT
T90W5N5 (°C)					
	300	338/358	379/423	-/460	32

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

T90W5N5 camının yoğunluk ölçümleri gerçekleştirilmiş ve cam numuneye ait fiziksel özellikler hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 4.56’da verilmiştir.

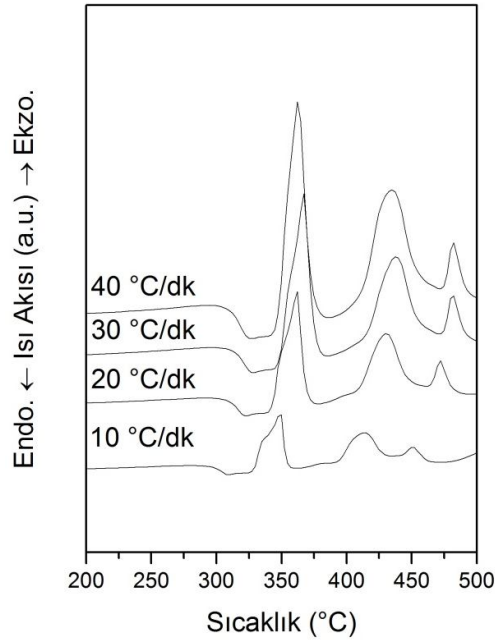
T90W5N5 numunesinin cam geçiş aktivasyon enerjisi değerlerini hesaplamak amacıyla non-izotermal kinetik incelemeler gerçekleştirilmiştir. 10, 20, 30, 40 °C/dk ısıtma hızlarında gerçekleştirilen DSC analizleri sonucu elde edilen termogram Şekil 4.46’da verilmiştir. Şekil 4.46’da görüldüğü gibi, artan ısıtma hızı ile cam geçiş ve kristalizasyon sıcaklıkları daha yüksek sıcaklıklara ötelenmiş ve kristalizasyon reaksiyonlarını temsil eden ekzotermik piklerin şiddeti artmıştır. Non-izotermal kinetik incelemeleri gerçekleştirilen tüm numunelerin farklı ısıtma hızlarındaki DSC

analiz sonuçları gözlemlenen davranış benzer şekilde olduğu için, T90W5N5 numunesinin farklı ısıtma hızlarındaki DSC sonucu tüm cam numuneler için temsilen verilmiştir. Bölüm 4.2’de kinetik analizi gerçekleştirilen camların non-izotermal analiz sonuçlarına bundan sonraki numuneler için yer verilmeyecektir. T90W5N5 numunesinin uygulanan farklı ısıtma hızlarındaki ısı analizler sonucu elde edilen cam geçiş sıcaklığı değerleri Çizelge 4.57’de verilmiştir.

Çizelge 4.56 : T90W5N5 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

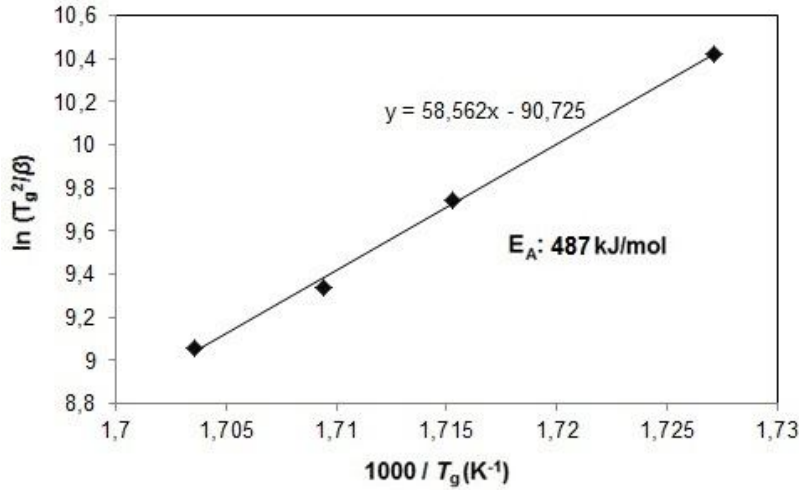
	ρ 25 °C (g cm ⁻³)	ρ teorik (g cm ⁻³)	V_M (cm ³ mol ⁻¹)	V_O (cm ³ mol ⁻¹)	OPD (mol L ⁻¹)	$\bar{n}_c$	n_b x10 ²¹ (cm ⁻³)	μ_{cal}
T90W5N5	5,48	5,57	28,91	14,64	69,17	2,1	91,14	0,28

Cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln (T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişiminden hesaplanmış olan cam geçiş aktivasyon enerjisi, E_g , değeri Çizelge 4.57 ve Şekil 4.47’de verilmiştir.



Şekil 4.46 : T90W5N5 camının farklı ısıtma hızlarında gerçekleştirilmiş DSC analizi sonucu.

T90W5N5 camının hesaplanan cam geçiş aktivasyon değerlerinden yola çıkarak, kırılgenlik, C parametresi, viskozite ve viskozite değışim faktörü değeri hesaplanmış ve elde edilen değeri Çizelge 4.57’de verilmiştir.

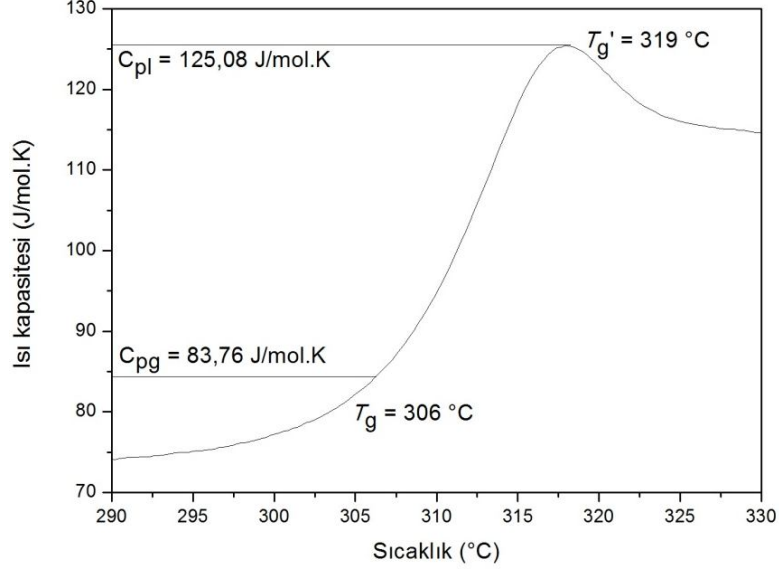


Şekil 4.47 : T90W5N5 camının $\ln (T_g^2 / \beta) - (1/T)$ değışimi

Çizelge 4.57 : T90W5N5 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değeri.

T90W5N5	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40					
					(kJ mol ⁻¹)			(Pa s)	
	306	310	312	314	487	100,4	2,2	11,26	9,2

T90W5N5 camının cam geçiş bölgesinde ısı kapasitesi incelemeleri gerçekleştirilmiş olup; elde edilen ısı kapasitesi değışimi Şekil 4.48’de verilmiştir. T90W5N5 camının cam geçiş bölgesindeki ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen sıcaklığa bağlı ısı kapasitesi değışim grafiğı tüm cam numuneler için temsilen verilmiştir. Bu bölümde ısı kapasitesi incelemeleri gerçekleştirilen camların sıcaklığa bağlı ısı kapasitesi değışim grafiklerine bundan sonraki numuneler için yer verilmeyecektir. Cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemelerinde, cam haldeki ısı kapasitesi, C_{pg} , aşırı soğutulmuş sıvı haldeki ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değışimi ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pg}/C_{pl} , değeri belirlenmiş ve elde edilen değeri Çizelge 4.58’de verilmiştir.



Şekil 4.48 : T90W5N5 camının sıcaklığa bağlı ısı kapasitesi değişimi

Çizelge 4.58 : T90W5N5 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
T90W5N5	306	319	83,76	125,08	41,32	1,49

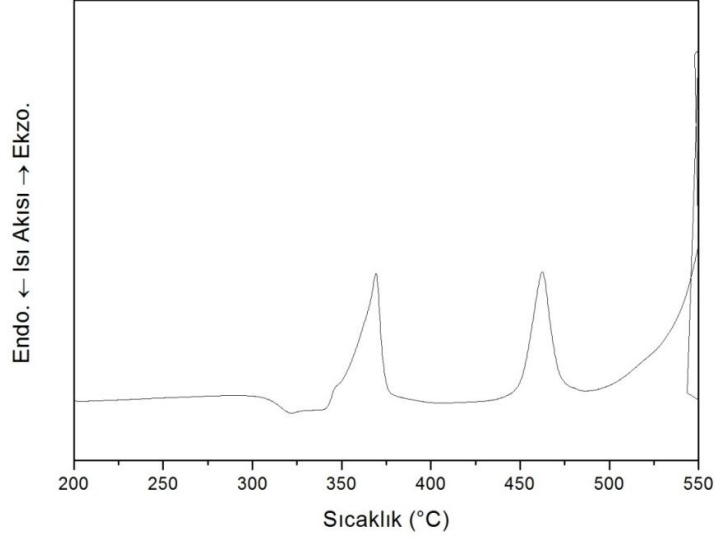
4.2.2 0,80TeO₂-0,10WO₃-0,10Na₂O (T80W10N10) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T80W10N10 numunesi uygulanan döküm koşullarında koyu sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T80W10N10 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T80W10N10 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.49'da, gözlemlenen cam geçiş ve ekzotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.59'da verilmiştir.

Çizelge 4.59 : T80W10N10 numunesinin DSC verileri.

T80W10N10	T_g	T_{c1}/T_{p1}	T_{c2}/T_{p2}	ΔT
(°C)				
	308	342/369	451/463	34



Şekil 4.49 : T80W10N10 numunesinin DSC sonucu.

T80W10N10 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.60'ta verilmiştir.

Çizelge 4.60 : T80W10N10 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

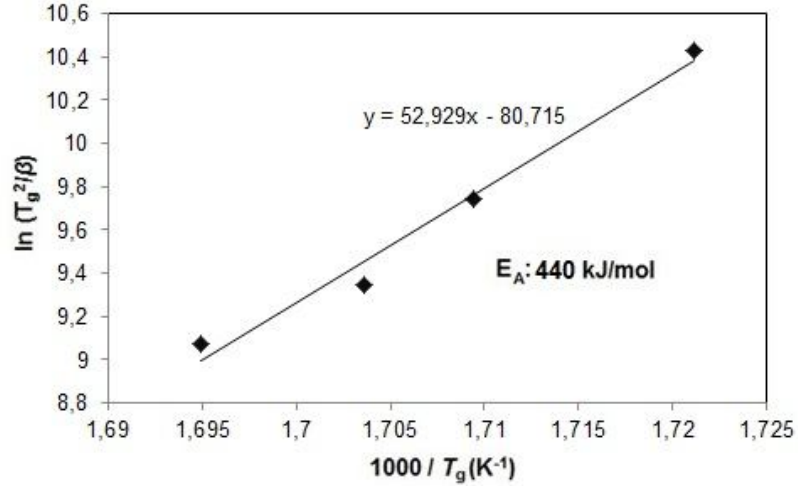
	ρ 25 °C (g cm ⁻³)	ρ teorik (g cm ⁻³)	V_M (cm ³ mol ⁻¹)	V_O (cm ³ mol ⁻¹)	OPD (mol L ⁻¹)	$\bar{n}_c$	n_b x10 ²¹ (cm ⁻³)	μ_{cal}
T80W10N10	5,32	5,48	29,54	15,15	67,70	2,18	96,61	0,27

T80W10N10 numunesinin farklı ısıtma hızlarında gerçekleştirilen non-izotermal kinetik incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.61'de verilmiştir.

Çizelge 4.61 : T80W10N10 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
T80W10N10	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40	(kJ mol ⁻¹)			(Pa s)	
	308	312	314	317	440	90,4	2,1	11,27	7,3

Cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln (T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişimi ve elde edilen cam geçiş aktivasyon enerjisi, E_g , değeri Şekil 4.50’de verilmiştir.



Şekil 4.50 : T80W10N10 camının $\ln (T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

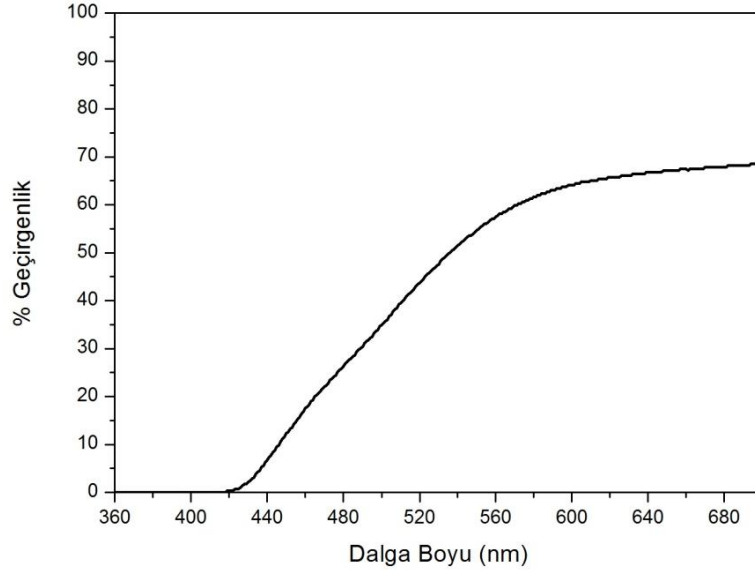
T80W10N10 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.62’de verilmiştir.

Çizelge 4.62 : T80W10N10 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

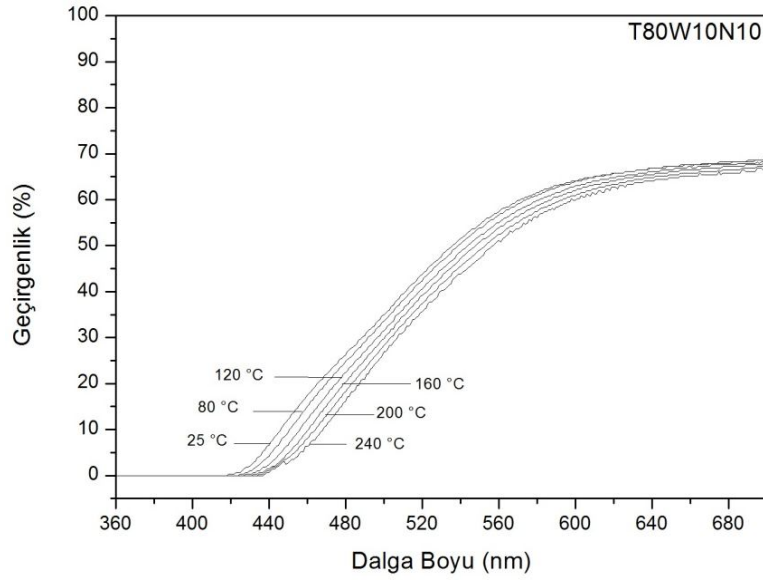
	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
T80W10N10	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
	309	321	77,90	118,58	40,68	1,52

T80W10N10 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen optik incelemeler sonucu elde edilen % geçirgenlik değişimi Şekil 4.51’de verilmiştir.

T80W10N10 camının cam geçiş sıcaklığının altındaki altı farklı sıcaklıkta görünür bölgede gerçekleştirilen spektroskopik analizleri sonucu elde edilen geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.52’te görülmektedir. T80W10N10 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi incelendiğinde, % geçirgenlik değerlerinin 418-437 nm dalga boyu aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir.



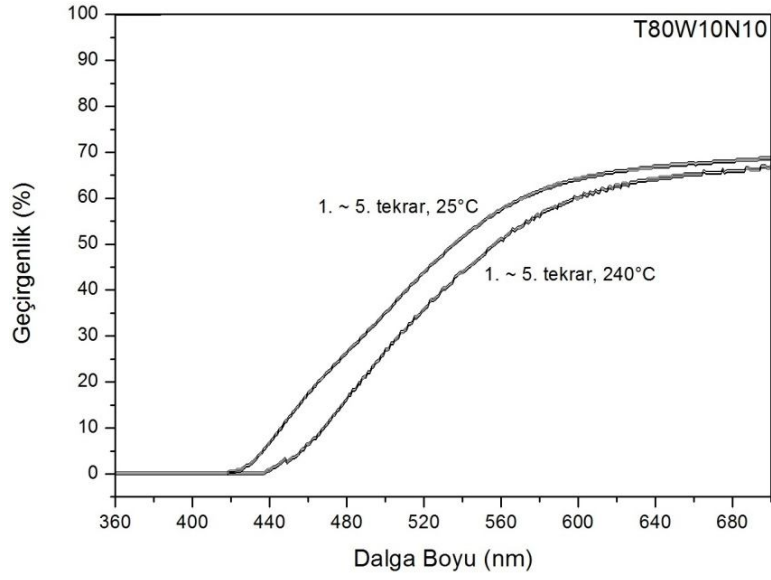
Şekil 4.51 : T80W10N10 camının görünür bölgedeki % geçirgenlik değişimi.



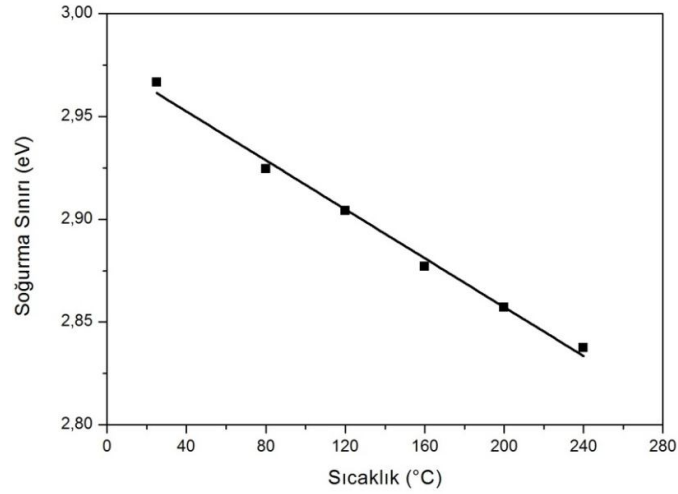
Şekil 4.52 : T80W10N10 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

T80W10N10 camının oda sıcaklığı ve 240 °C için tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş spektroskopik analiz sonuçları Şekil 4.53'te verilmiştir.

T80W10N10 camının sıcaklığa bağlı % geçirgenlik değerlerinin sıfırlandığı nokta olarak tespit edilen ve soğurma veya geçirgenlik sınırı olarak adlandırılan değerin (eV) sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.54'te görülmektedir.



Şekil 4.53 : T80W10N10 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin 25-240 °C sıcaklıklarındaki tekrarlı sonuçları.



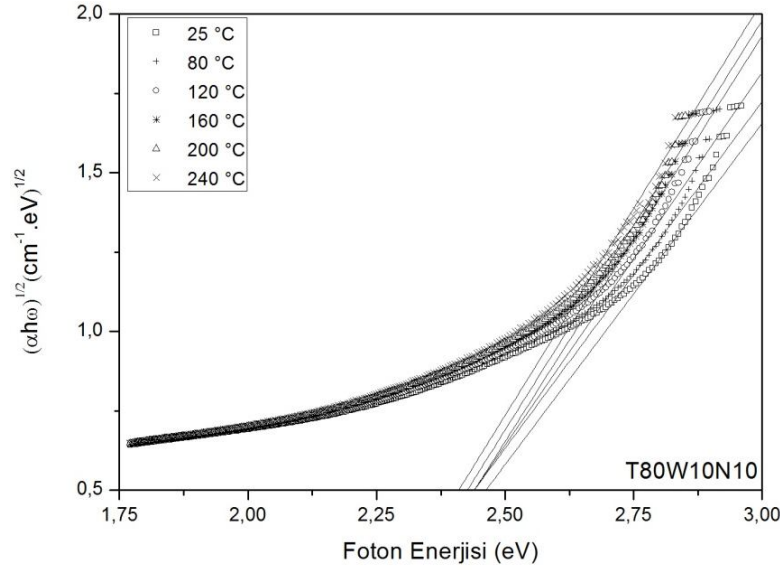
Şekil 4.54 : T80W10N10 camının soğurma sınırının sıcaklığa bağlı değişimi.

Çizelge 4.63'te, T80W10N10 camının soğurma sınırının ötelenme oranı ve 25-240 °C sıcaklıkları için soğurma sınır dalga boyu değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.63 : T80W10N10 camının soğurma sınırı değerleri ve sıcaklığa bağlı ötelenme oranı değerleri.

Numune	Ötelenme Oranı (10^{-4} eV/K)	Soğurma Sınırı 25 °C (nm)	Soğurma Sınırı 240 °C (nm)
T80W10N10	-5,95	418	437

T80W10N10 camının soğurma sınırının foton enerjisine bağlı değişiminin Tauc denkleminde (Denklem 3.17) uyarlanarak belirlenen bant aralığı enerjisi değerleri Şekil 4.55’te verilmiştir.



Şekil 4.55 : T80W10N10 camının Tauc denkleminde göre $(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$ - foton enerjisi değişimi.

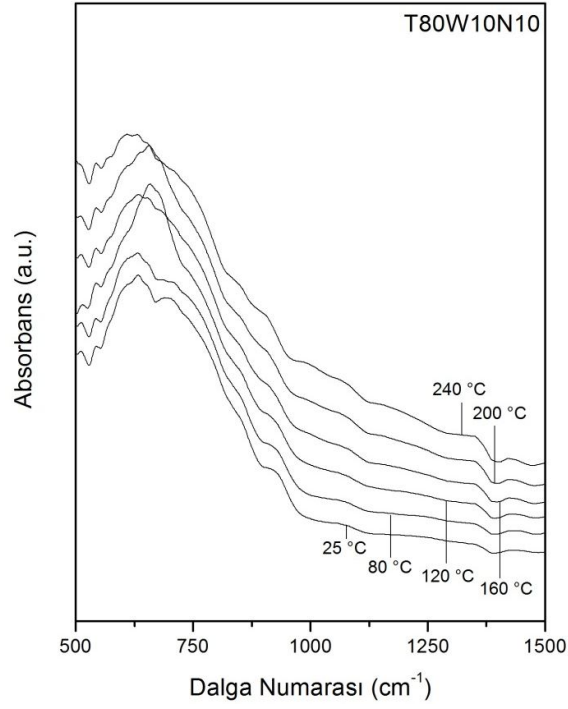
Bant aralığı enerji değerleri, $(\alpha\hbar\omega)^{(1/2)} - \hbar\omega$ değişiminin foton enerjisi eksenini kestiği değerler olarak saptanmış ve Çizelge 4.64’te verilmiştir.

Çizelge 4.64 : T80W10N10 camının sıcaklığa bağlı bant aralığı enerji değerleri.

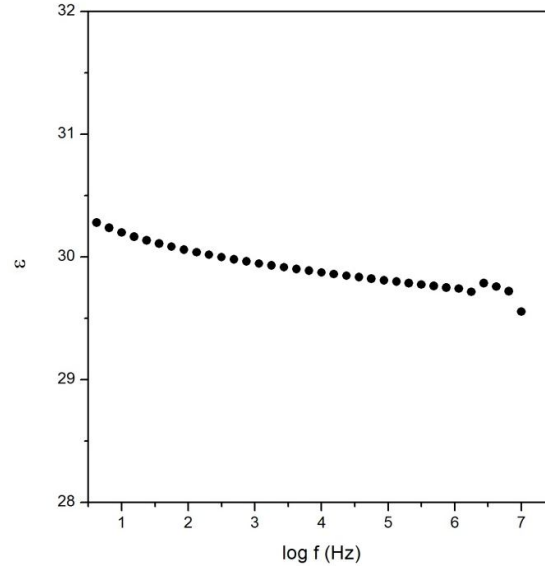
Numune	Bant Aralığı Enerjisi (eV)					
	25 °C	80 °C	120 °C	160 °C	200 °C	240 °C
T80W10N10	2,46	2,44	2,44	2,44	2,43	2,41

T80W10N10 camının cam geçiş sıcaklığının altındaki altı farklı sıcaklıkta kızılötesi bölgede gerçekleştirilen spektroskopik analizleri sonucu elde edilen soğurma değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.56’da görülmektedir.

T80W10N10 camının elektriksel incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.65’te, dielektrik sabiti ölçümü sonuçları ise şekil 4.57’de verilmiştir.



Şekil 4.56 : T80W10N10 caminin kızılötesi bölgedeki soğurma değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

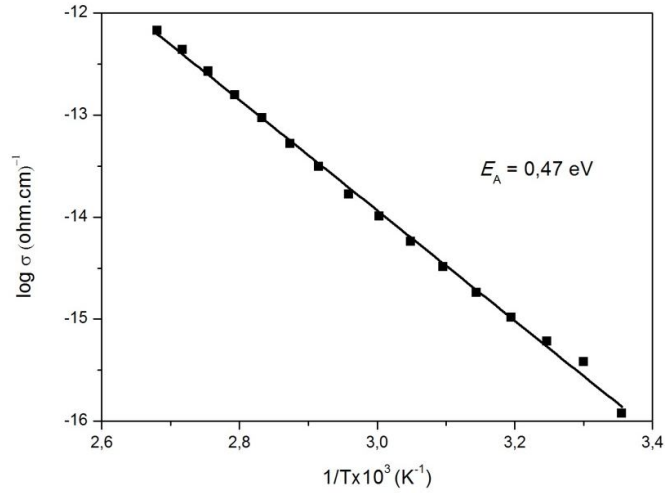


Şekil 4.57 : T80W10N10 caminin dielektrik ölçüm sonucu.

Çizelge 4.65 : T80W10N10 caminin öz direnç, ρ , iletkenlik, σ , dielektrik sabiti, ϵ ve iletkenlik aktivasyon enerjisi, E_A değerleri.

Numune	ρ 25 °C (ohm.cm)	σ 25 °C (ohm.cm) ⁻¹	ϵ (10 ³ Hz için)	ρ 100 °C (ohm.cm) ⁻¹	σ 100 °C (ohm.cm) ⁻¹	E_A (eV)
T80W10N10	8,37 10 ¹⁵	1,2 10 ⁻¹⁶	30	1,49 10 ¹²	6,7 10 ⁻¹³	0,47

Şekil 4.58’de, T80W10N10 camının iletkenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi ve $\ln \sigma - 1/T$ değişiminin hesaplanmış elektriksel iletkenlik aktivasyon enerjisi değerleri verilmiştir.

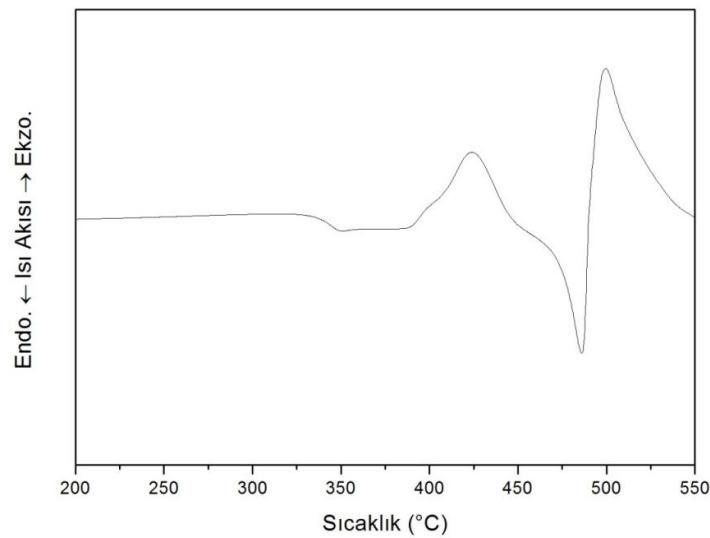


Şekil 4.58 : T80W10N10 camının iletkenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi ve elektriksel iletkenlik aktivasyon enerjisi değerleri.

4.2.3 0,70TeO₂-0,20WO₃-0,10Na₂O (T70W20N10) numunesi

750 °C’de 30 dakika bekletilerek su verme işlemine tabi tutulan T70W20N10 numunesi, döküm sonrası saydam görünümde ve sarı renkte elde edilmiştir. XRD analizi sonucu T70W20N10 numunesinin amorf yapıda olduğu tespit edilmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T70W20N10 numunesi için elde edilen sonuçlar Şekil 4.59’da ve Çizelge 4.66’da verilmiştir.



Şekil 4.59 : T70W20N10 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.66 : T70W20N10 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{mo1} / T_{mp1}	ΔT
T70W20N10 (°C)	336	390/424	-/508	475/486	54

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

Çizelge 4.67’de, T70W20N10 numunesinin hesaplanan fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.67 : T70W20N10 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

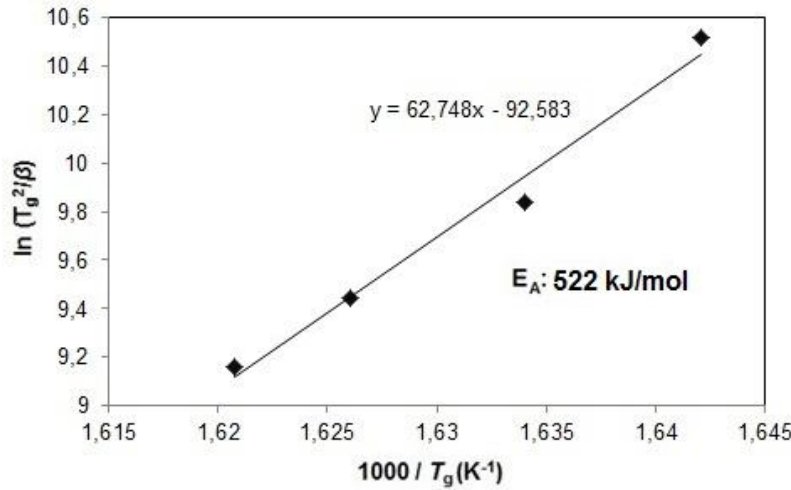
	ρ 25 °C (g cm ⁻³)	ρ teorik (g cm ⁻³)	V_M (cm ³ mol ⁻¹)	V_O (cm ³ mol ⁻¹)	OPD (mol L ⁻¹)	$\bar{n}_c$	n_b x10 ²¹ (cm ⁻³)	μ_{cal}
T70W20N10	5,47	5,63	30,02	14,64	69,96	2,36	99,00	0,27

Farklı ısıtma hızlarında gerçekleştirilen non-izotermal kinetik incelemeler sonucu elde edilen, T70W20N10 numunesine ait cam geçiş sıcaklığı, cam geçiş aktivasyon enerjisi, kırılgenlik, C parametresi, viskozite ve viskozite değişim faktörü değerleri Çizelge 4.68’de verilmiştir.

Çizelge 4.68 : T70W20N10 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
T70W20N10	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40	(kJ mol ⁻¹)			(Pa s)	
	336	339	342	344	522	102,1	2,3	11,26	10,1

T70W20N10 camının cam geçiş aktivasyon enerjisi, cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklemler 3.11) elde edilmiş ve denklem uyarınca çizilen $\ln(T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişimi Şekil 4.60’te verilmiştir.



Şekil 4.60 : T70W20N10 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

T70W20N10 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.69’da verilmiştir.

Çizelge 4.69 : T70W20N10 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
T70W20N10	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
	337	350	93,31	148,18	54,87	1,59

4.2.4 0,70TeO₂-0,15WO₃-0,15Na₂O (T70W15N15) numunesi

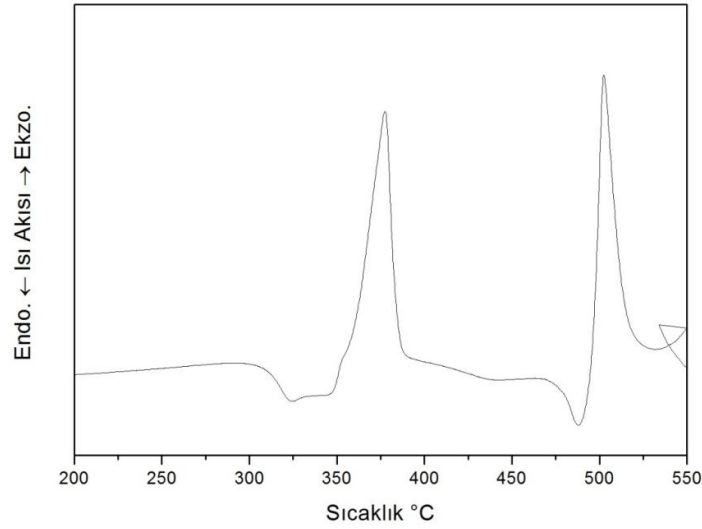
Uygulanan döküm koşulları sonrası sarı renkte ve saydam görünümde elde edilen T70W15N15 numunesinin XRD analizi sonucu amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T70W15N15 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.61’de, gözlemlenen cam geçiş ve ekzotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.70’te verilmiştir.

Çizelge 4.70 : T70W15N15 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	ΔT
T70W15N15 (°C)	309	348/378	-/503	39

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.



Şekil 4.61 : T70W15N15 numunesinin DSC sonucu.

T70W15N15 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.71’de verilmiştir.

Çizelge 4.71 : T70W15N15 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

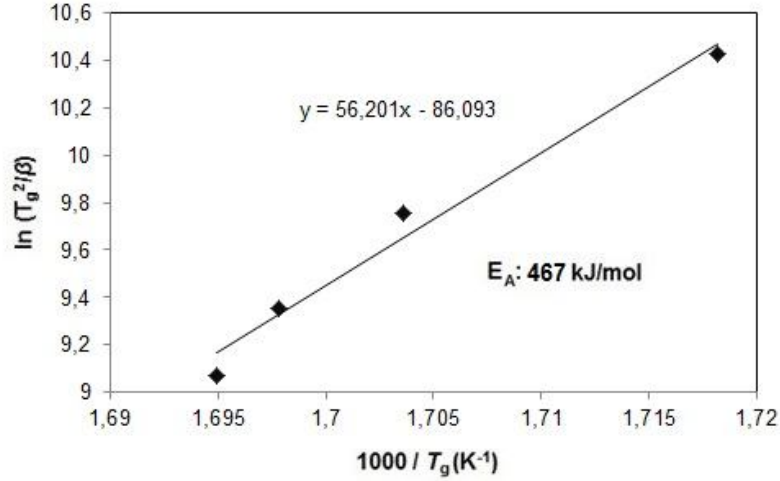
	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
T70W15N15	5,20	5,38	29,96	15,56	66,76	2,26	101,94	0,27

Non-izotermal kinetik incelemeler sonucu, T70W15N15 numunesine ait elde edilen değerler Çizelge 4.72’de verilmiştir.

Çizelge 4.72 : T70W15N15 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
	Isıtma hızı (°C/dk)								
T70W15N15	10	20	30	40	(kJ mol ⁻¹)			(Pa s)	
	309	314	316	317	467	95,7	2,2	11,27	8,8

Cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklemler 3.11) elde edilen $\ln(T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değışimi ve elde edilen cam geçiş aktivasyon enerjisi, E_g , değeri Şekil 4.62’de verilmiştir.



Şekil 4.62 : T70W15N15 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değışimi.

T70W15N15 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.73’te verilmiştir.

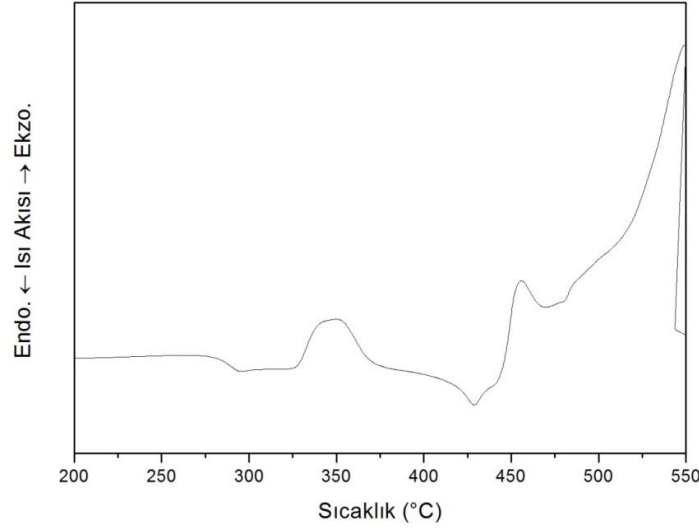
Çizelge 4.73 : T70W15N15 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değışimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
T70W15N15	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
	310	322	96,90	144,26	47,36	1,49

4.2.5 0,70TeO₂-0,10WO₃-0,20Na₂O (T70W10N20) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T70W10N20 numunesi uygulanan döküm koşullarında sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T70W10N20 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T70W10N20 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.63’te, gözlemlenen cam geçiş, ekzotermik ve endotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.74’te verilmiştir.



Şekil 4.63 : T70W10N20 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.74 : T70W10N20 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{mo1} / T_{mp1}	T_{mo2} / T_{mp2}	ΔT
T70W20L10 (°C)	281	328/350	446/456	418/429	479/481	47

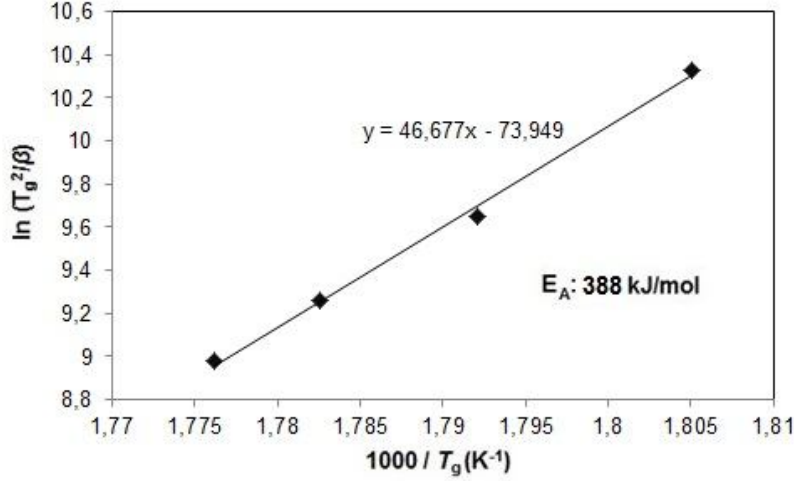
T70W10N20 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.75’da verilmiştir.

Çizelge 4.75 : T70W10N20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
T70W10N20	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	4,95	5,14	29,77	16,54	63,82	2,17	105,03	0,26

T70W10N20 numunesinin 10, 20, 30, 40 °C/dk ısıtma hızlarında gerçekleştirilen non-izotermal kinetik incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş sıcaklığı, cam geçiş aktivasyon enerjisi, kırılgenlik, C parametresi, viskozite ve viskozite değişim faktörü değerleri Çizelge 4.76’da verilmiştir.

Cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklemler 3.11) elde edilen $\ln(T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişimi ve elde edilen cam geçiş aktivasyon enerjisi, E_g , değeri Şekil 4.64'te verilmiştir.



Şekil 4.64 : T70W10N20 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

Çizelge 4.76 : T70W10N20 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılmalık (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

T70W10N20	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40					
	281	285	288	290	388	83,5	2,2	11,26	9,2

T70W10N20 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.77'de verilmiştir.

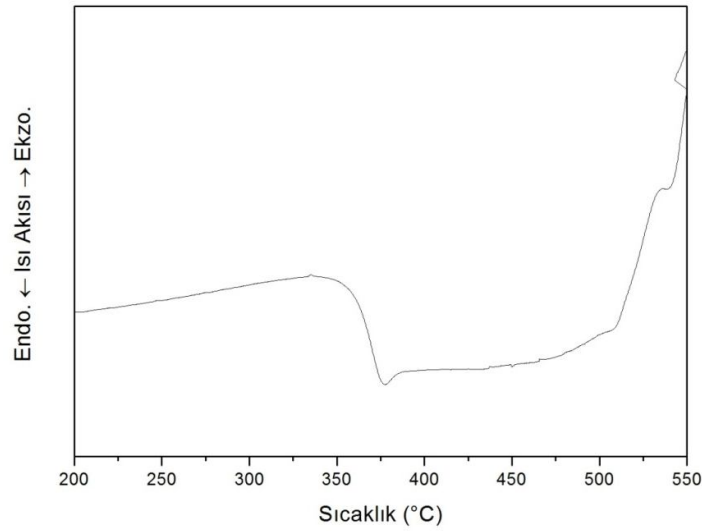
Çizelge 4.77 : T70W10N20 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onsetsi, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

T70W10N20	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
	282	296	95,60	140,67	45,07	1,47

4.2.6 0,60TeO₂-0,30WO₃-0,10Na₂O (T60W30N10) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T60W30N10 numunesi uygulanan döküm koşullarında sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T60W30N10 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T60W30N10 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.65'te, gözlemlenen cam geçiş reaksiyonu ve ekzotermik reaksiyona ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.78'de verilmiştir.



Şekil 4.65 : T60W30N10 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.78 : T60W30N10 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	ΔT
T60W30N10 (°C)	361	511/536	150

T60W30N10 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri Çizelge 4.79'da verilmiştir.

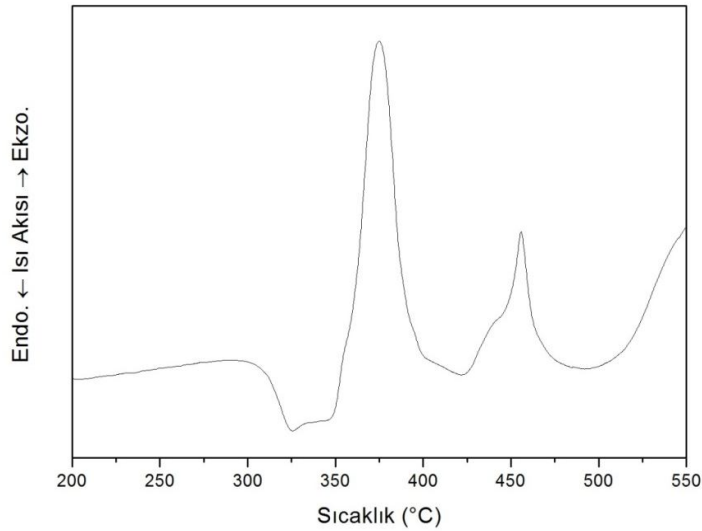
Çizelge 4.79 : T60W30N10 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
T60W30N10	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	5,63	5,78	30,47	14,17	72,21	2,55	101,40	0,27

4.2.7 0,60TeO₂-0,20WO₃-0,20Na₂O (T60W20N20) numunesi

Uygulanan döküm koşulları sonrası sarı renkte ve saydam görünümde elde edilen T60W20N20 numunesinin XRD analizi sonucu amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T60W20N20 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.66’da, gözlemlenen cam geçiş ve ekzotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.80’de verilmiştir.



Şekil 4.66 : T60W20N20 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.80 : T60W20N20 numunesinin DSC verileri.

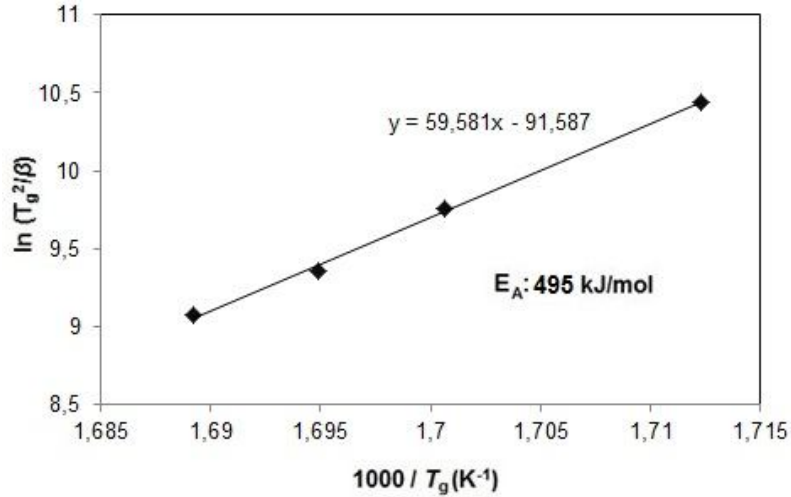
	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	ΔT
T60W20N20 (°C)	311	350/375	426/456	39

T60W20N20 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.25’te verilmiştir.

Çizelge 4.81 : T60W20N20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
T60W20N20	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	5,13	5,29	30,14	15,87	66,35	2,33	107,14	0,26

Non-izotermal kinetik incelemeler sonucu, T60W20N20 numunesine ait elde edilen değerler Çizelge 4.82’de, cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln (T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişimi ise Şekil 4.67’de verilmiştir.



Şekil 4.67 : T60W20N20 camının $\ln (T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

Çizelge 4.82 : T60W20N20 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
T60W20N20	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40	(kJ mol ⁻¹)			(Pa s)	
	311	315	317	319	495	101,2	2,6	11,26	12,8

T60W20N20 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.83’te verilmiştir.

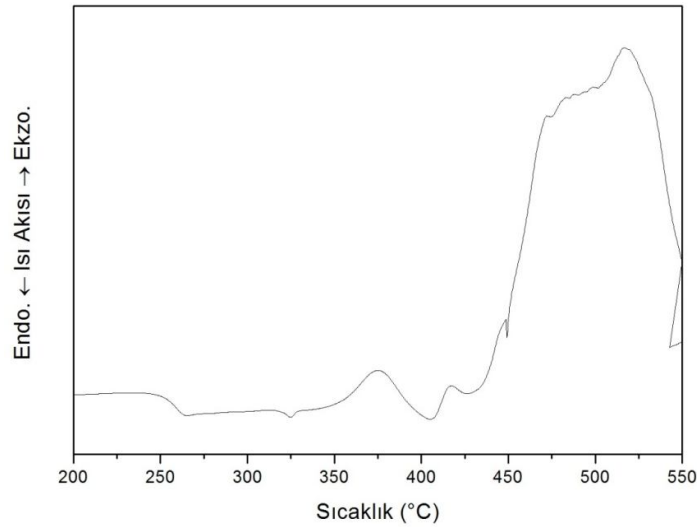
Çizelge 4.83 : T60W20N20 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
T60W20N20	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
	311	326	76,49	125,01	48,52	1,63

4.2.8 0,60TeO₂-0,10WO₃-0,30Na₂O (T60W10N30) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T60W10N30 numunesi uygulanan döküm koşullarında açık sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T60W10N30 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T60W10N30 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.68’de verilmiştir.



Şekil 4.68 : T60W10N30 numunesinin DSC sonucu.

DSC analizleri sonucu gözlemlenen cam geçiş, ekzotermik ve endotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.84’te verilmiştir.

Çizelge 4.84 : T60W10N30 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{c3} / T_{p3}	T_{m01} / T_{mp1}	T_{m02} / T_{mp2}	ΔT
T60W10N30 (°C)	251	356/375	407/417	437/-	319/325	448/449	105

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

T60W10N30 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.85'te verilmiştir.

Çizelge 4.85 : T60W10N30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
T60W10N30	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	4,57	4,80	30,12	18,26	59,76	2,15	113,45	0,25

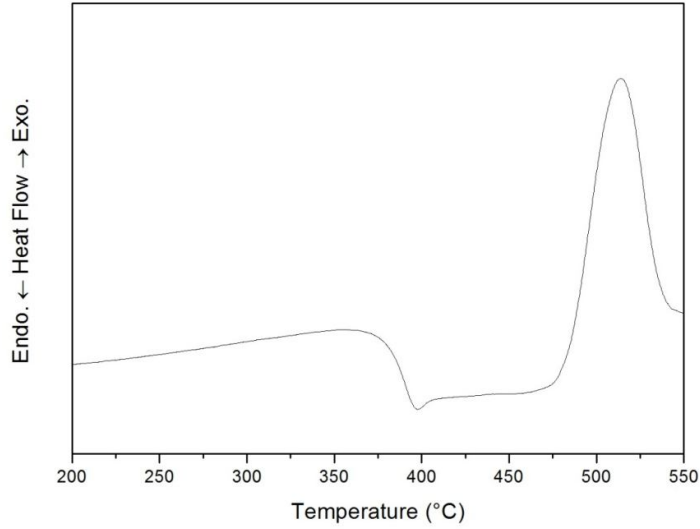
4.2.9 0,50TeO₂-0,40WO₃-0,10Na₂O (T50W40N10) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T50W40N10 numunesi uygulanan döküm koşullarında koyu yeşil renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T50W40N10 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T50W40N10 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.69'da, gözlemlenen cam geçiş reaksiyonu ve ekzotermik reaksiyona ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.86'da verilmiştir.

Çizelge 4.86 : T50W40N10 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	ΔT
T50W40N10 (°C)	380	484/514	104



Şekil 4.69 : T50W40N10 numunesinin DSC sonucu.

T50W40N10 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.87’de verilmiştir.

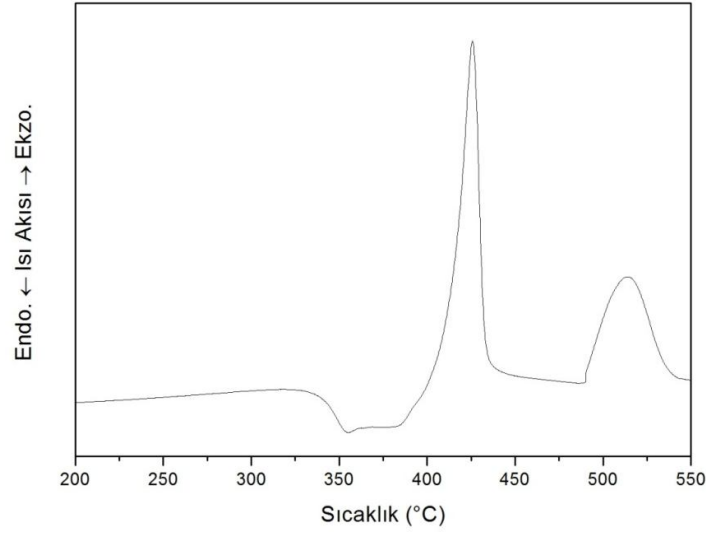
Çizelge 4.87 : T50W40N10 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ	ρ	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b	μ_{cal}
	25 °C	teorik					$\times 10^{21}$	
T50W40N10	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	5,86	5,93	30,48	13,55	75,45	2,73	103,80	0,28

4.2.10 0,50TeO₂-0,30WO₃-0,20Na₂O (T50W30N20) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T50W30N20 numunesi uygulanan döküm koşullarında sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T50W40N10 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T50W30N20 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.70’te, gözlemlenen cam geçiş ve ekzotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.88’de verilmiştir.



Şekil 4.70 : T50W30N20 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.88 : T50W30N20 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	ΔT
T50W30N20 (°C)	341	385/426	489/514	44

T50W30N20 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.89’da verilmiştir.

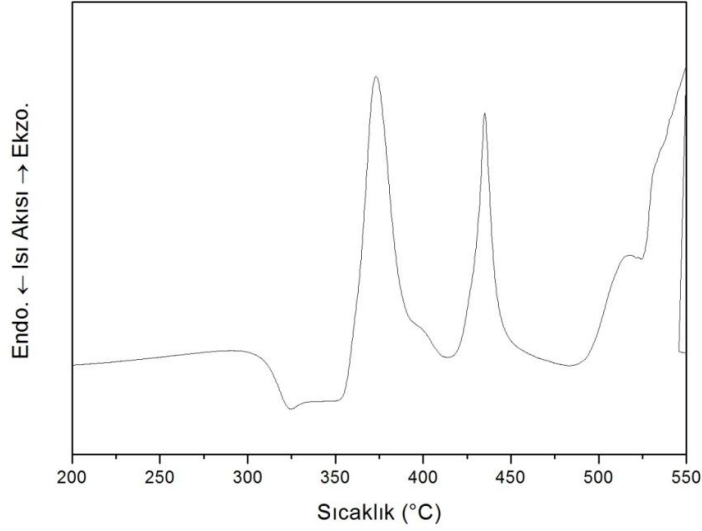
Çizelge 4.89 : T50W30N20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
T50W30N20	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	5,35	5,44	30,23	15,12	69,46	2,5	109,29	0,27

4.2.11 0,50TeO₂-0,25WO₃-0,25 Na₂O (T50W25N25) numunesi

Döküm sonrası sarı renkte ve saydam görünümde elde edilen T50W25N25 numunesinin XRD analizi sonucu amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T50W25N25 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.71’de, gözlemlenen cam geçiş ve ekzotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.90’da verilmiştir.



Şekil 4.71 : T50W25N25 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.90 : T50W25N25 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{c3} / T_{p3}	ΔT
T50W25N25 (°C)					
	309	360/373	429/435	495/516	182

T50W25N25 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.91’de verilmiştir.

Çizelge 4.91 : T50W25N25 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

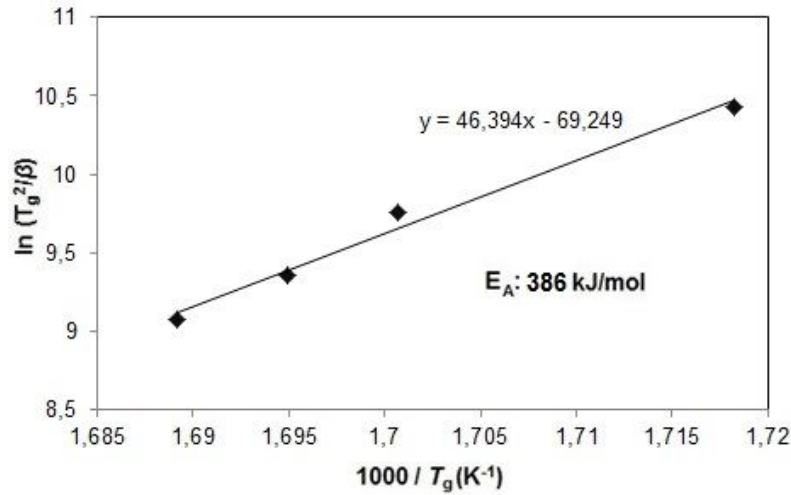
	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
T50W25N25	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	5,08	5,19	30,17	16,09	66,29	2,4	112,20	0,26

Non-izotermal kinetik incelemeler sonucu, T50W25N25 numunesine ait elde edilen değerler Çizelge 4.92’de verilmiştir.

Çizelge 4.92 : T50W25N25 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

T50W25N25	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40					
	309	315	317	319	386	78,9	2,1	11,26	8,5

Cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln (T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişimi ve elde edilen cam geçiş aktivasyon enerjisi, E_g , değeri Şekil 4.72’de verilmiştir.



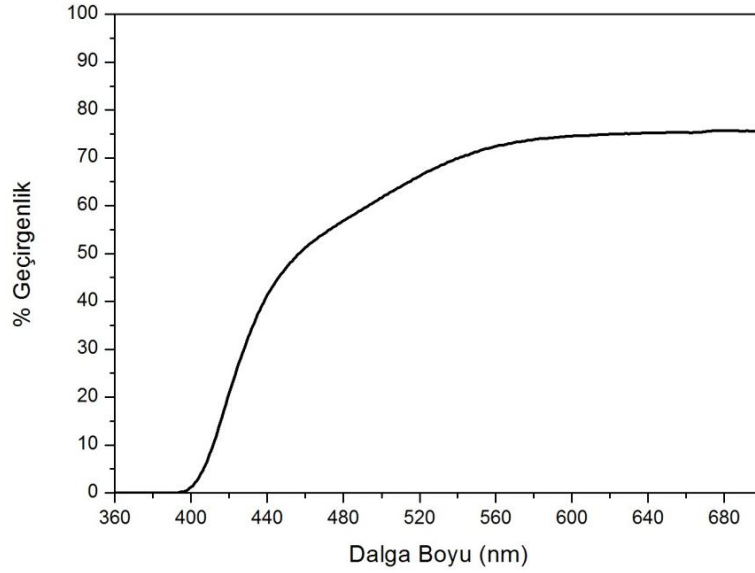
Şekil 4.72 : T50W25N25 camının $\ln (T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

T50W25N25 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.93’te verilmiştir.

Çizelge 4.93 : T50W25N25 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

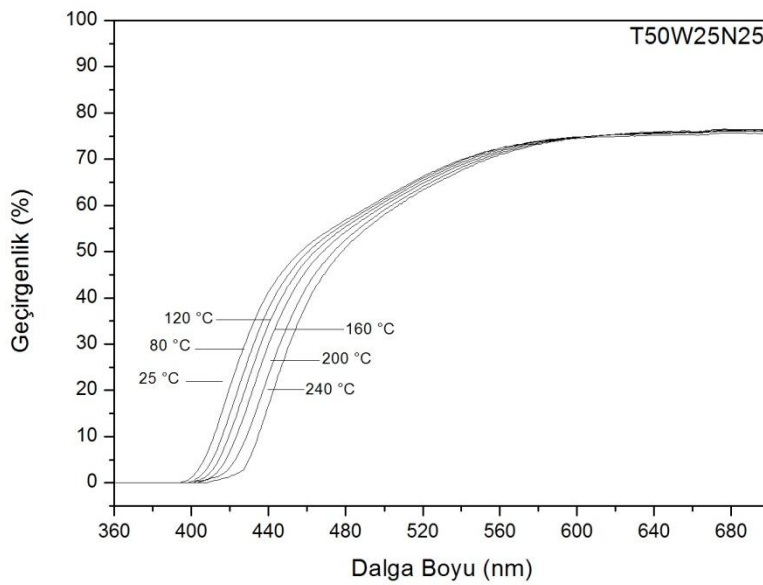
T50W25N25	T_g (°C)	T_g' (°C)	C_{pg} (J/mol K)	C_{pl} (J/mol K)	ΔC_p (J/mol K)	C_{pl}/C_{pg}
	306	325	63,91	119,08	55,17	1,86

T50W25N25 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen optik incelemeler sonucu elde edilen % geçirgenlik değişimi Şekil 4.73'te verilmiştir.



Şekil 4.73 : T50W25N25 camının görünür bölgedeki % geçirgenlik değişimi.

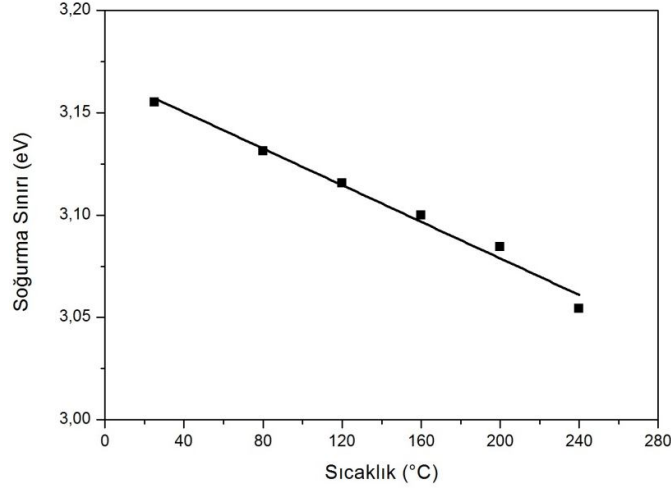
T50W25N25 camının cam geçiş sıcaklığının altındaki altı farklı sıcaklıkta görünür bölgede gerçekleştirilen spektroskopik analizleri sonucu elde edilen geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.74'te görülmektedir.



Şekil 4.74 : T50W25N25 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

T50W25N25 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı olarak 393-406 nm dalga boyu aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

T50W25N25 camının sıcaklığa bağlı % geçirgenlik değerlerinin sıfırlandığı nokta olarak tespit edilen ve soğurma veya geçirgenlik sınırı olarak adlandırılan değerin (eV) sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.75'te görülmektedir.



Şekil 4.75 : T50W25N25 camının soğurma sınırının sıcaklığa bağlı değişimi.

Çizelge 4.94'te, T50W25N25 camının soğurma sınırının ötelenme oranı ve 25-240 °C sıcaklıkları için soğurma sınır dalga boyu değerleri verilmektedir.

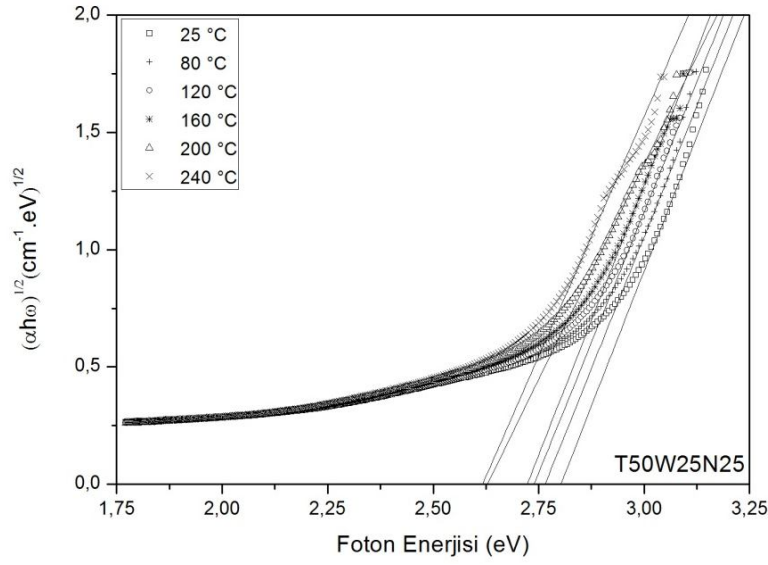
Çizelge 4.94 : T50W25N25 camının soğurma sınırı değerleri ve sıcaklığa bağlı ötelenme oranı değerleri.

Numune	Ötelenme Oranı (10^{-4} eV/K)	Soğurma Sınırı	Soğurma Sınırı
		25 °C (nm)	240 °C (nm)
T50W25N25	-4,47	393	406

T50W25N25 camının bant aralığı enerjisi değerleri, Tauc denklemi (Denklem 3.17) yardımı $(\alpha h\nu)^{(1/2)} - h\nu$ değişiminin foton enerjisi eksenini kestiği değerler olarak saptanmış (Şekil 4.76) ve Çizelge 4.95'te verilmiştir.

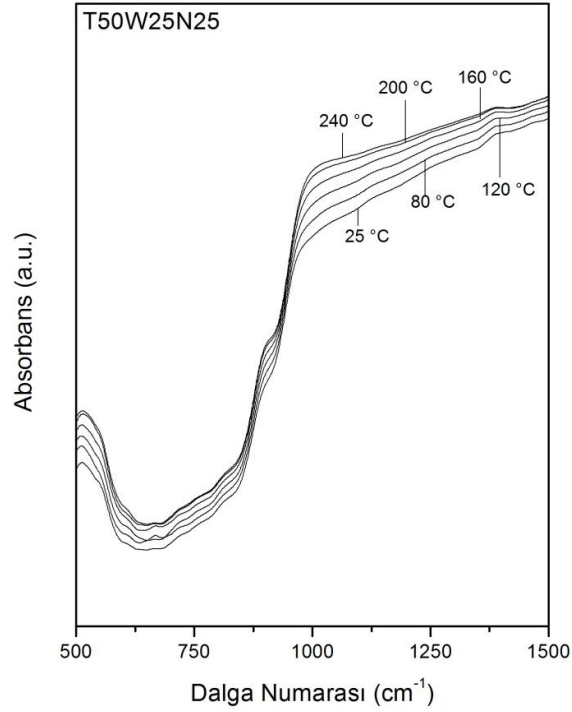
Çizelge 4.95 : T50W25N25 camının sıcaklığa bağlı bant aralığı enerji değerleri.

Numune	Bant Aralığı Enerjisi (eV)					
	25 °C	80 °C	120 °C	160 °C	200 °C	240 °C
T50W25N25	2,80	2,76	2,74	2,72	2,63	2,61



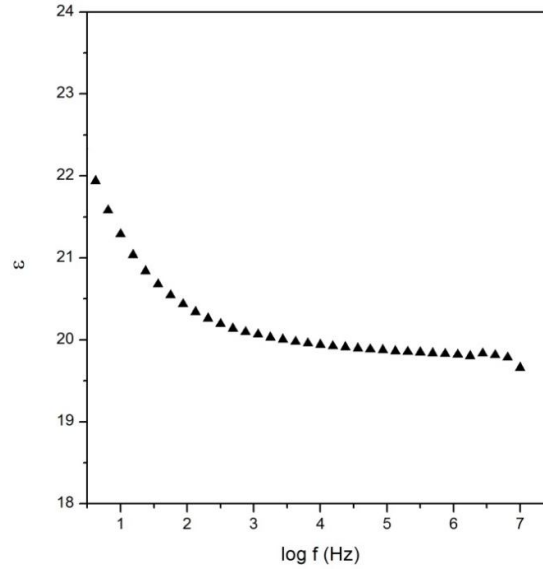
Şekil 4.76 : T50W25N25 camının Tauc denklemine göre $(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$ - foton enerjisi değişimi.

T50W25N25 camının cam geçiş sıcaklığının altındaki altı farklı sıcaklıkta kızılötesi bölgede gerçekleştirilen spektroskopik analizleri sonucu elde edilen soğurma değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.77’de görülmektedir.

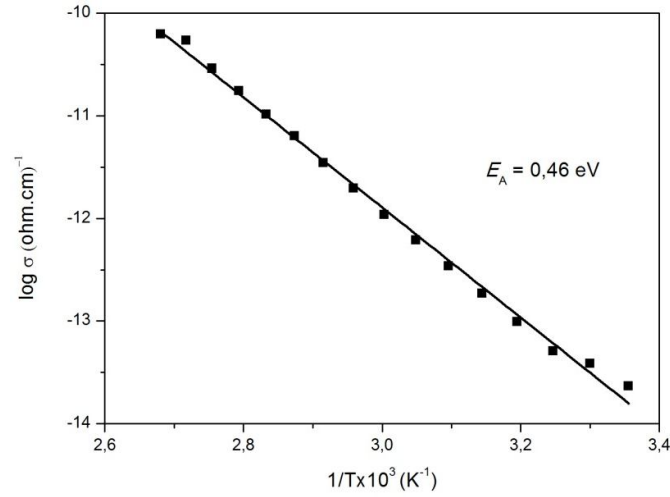


Şekil 4.77 : T50W25N25 camının kızılötesi bölgedeki soğurma değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

T50W25N25 camının elektriksel incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.96’da, dielektrik sabiti ölçümü sonuçları Şekil 4.78’de ve iletkenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.79’da verilmiştir.



Şekil 4.78 : T50W25N25 dielektrik ölçüm sonucu.



Şekil 4.79 : T50W25LN5 camının iletkenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi ve elektriksel iletkenlik aktivasyon enerjisi değerleri.

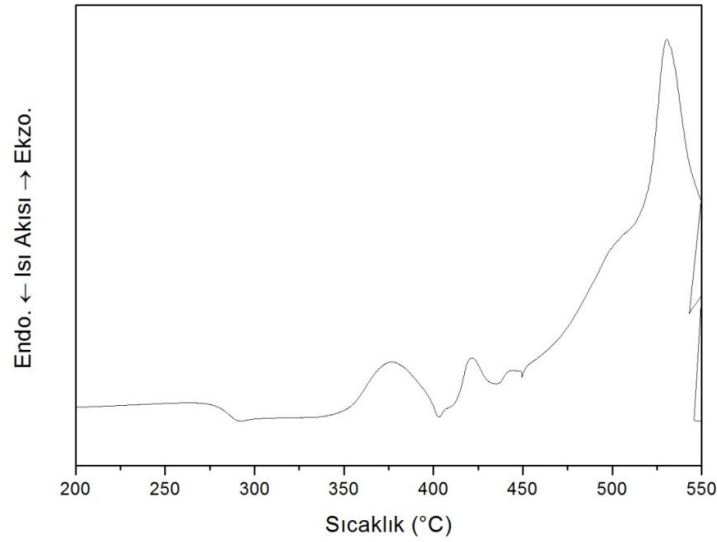
Çizelge 4.96 : T50W25N25 camının öz direnç, ρ , iletkenlik, σ ve iletkenlik aktivasyon enerjisi, E_A değerleri.

Numune	ρ 25 °C (ohm.cm)	σ 25 °C (ohm.cm) ⁻¹	ϵ (10 ³ Hz için)	ρ 100 °C (ohm.cm) ⁻¹	σ 100 °C (ohm.cm) ⁻¹	E_A (eV)
T50W25N25	4,31 10 ¹³	2,3 10 ⁻¹⁴	20	1,61 10 ¹⁰	6,2 10 ⁻¹¹	0,46

4.2.12 0,50TeO₂-0,20WO₃-0,30Na₂O (T50W20N30) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T50W20N30 numunesi uygulanan döküm koşullarında açık sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T50W20N30 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T50W20N30 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.80’de, gözlemlenen cam geçiş, ekzotermik ve endotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.97’de verilmiştir.



Şekil 4.80 : T50W20N30 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.97 : T50W20N30 numunesinin DSC verileri.

T50W20N30	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{c3} / T_{p3}	T_{mo1} / T_{mp1}	T_{mo2} / T_{mp2}	ΔT
(°C)	278	354/377	413/422	501/531	398/403	-/449	76

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

T50W20N30 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri Çizelge 4.98’de verilmiştir.

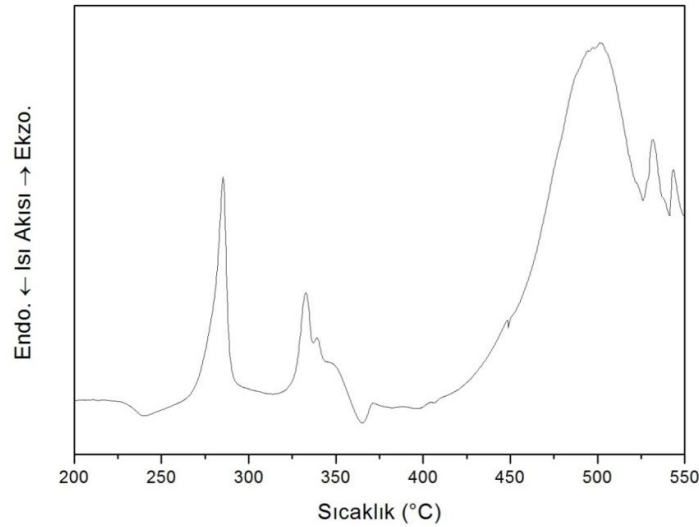
Çizelge 4.98 : T50W20N30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
T50W20N30	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	4,90	4,95	29,54	16,88	64,31	2,31	115,25	0,25

4.2.13 0,50TeO₂-0,10WO₃-0,40Na₂O (T50W10N40) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T50W10N40 numunesi uygulanan döküm koşullarında beyaz renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T50W10N40 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan termal analiz sonucunda T50W10N40 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.81’de görülmektedir.



Şekil 4.81 : T50W10N40 numunesinin DSC sonucu.

Gerçekleştirilen DSC analizleri sonucu gözlemlenen cam geçiş, ekzotermik ve endotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.99’da verilmiştir.

Çizelge 4.99 : T50W10N40 numunesinin DSC verileri.

T50W10N40 (°C)	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{c3} / T_{p3}	T_{c4} / T_{p4}
	229	279/285	327/333	-/339	-/503
	T_{c5} / T_{p5}	T_{c6} / T_{p6}	T_{mo1} / T_{mp1}	T_{mo2} / T_{mp2}	ΔT
	-/532	-/544	351/365	-/449	50

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

T50W10N40 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.100’de verilmiştir.

Çizelge 4.100 : T50W10N40 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

T50W10N40	ρ	ρ	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b	μ_{cal}
	25 °C	teorik					$\times 10^{21}$	
	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	4,33	4,46	29,51	19,67	57,61	2,14	121,88	0,24

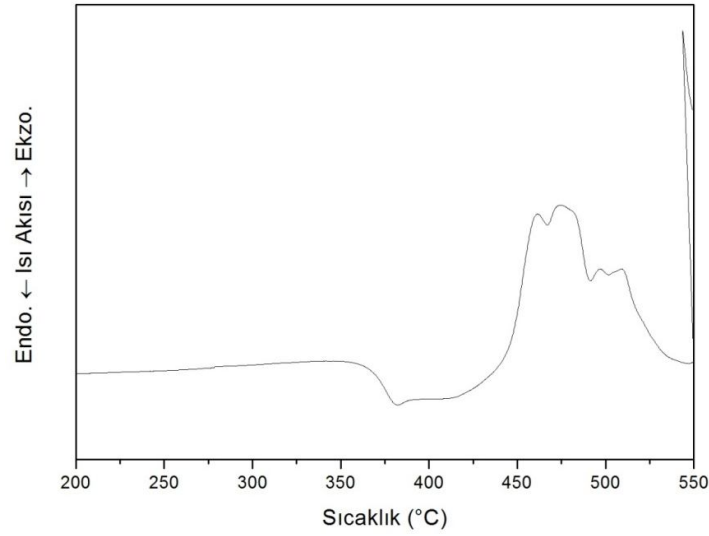
4.2.14 0,40TeO₂-0,50WO₃-0,10Na₂O (T40W50N10) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T40W50N10 numunesi uygulanan döküm koşullarında koyu yeşil renkte opak görünümde elde edilmiştir.

4.2.15 0,40TeO₂-0,40WO₃-0,20Na₂O (T40W40N20) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T40W40N20 numunesi uygulanan döküm koşullarında sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T40W40N20numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T40W40N20 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.82’de, gözlemlenen cam geçiş ve ekzotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.101’de verilmiştir.



Şekil 4.82 : T40W40N20 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.101 : T40W40N20 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{c3} / T_{p3}	T_{c4} / T_{p4}	ΔT
T40W40N20 (°C)	368	445/462	-/475	-/497	-/509	77

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

T40W40N20 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.102’de verilmiştir.

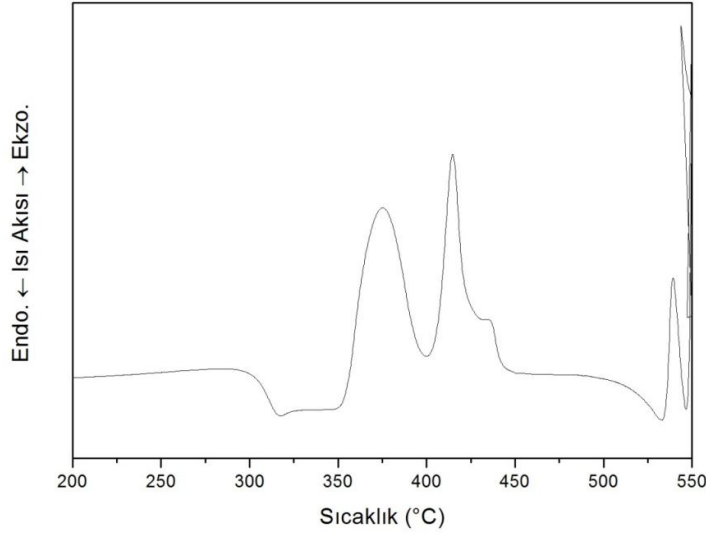
Çizelge 4.102 : T40W40N20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
T40W40N20	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	5,59	5,59	30,23	14,39	72,78	2,67	111,47	0,27

4.2.16 0,40TeO₂-0,30WO₃-0,30Na₂O (T40W30N30) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T40W30N30 numunesi uygulanan döküm koşullarında açık sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T40W30N30 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T40W30N30 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.83'te, gözlemlenen cam geçiş ve ekzotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.103'te verilmiştir.



Şekil 4.83 : T40W30N30 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.103 : T40W30N30 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{c3} / T_{p3}	ΔT
T40W40L20 (°C)	303	354/375	-/415	523/539	51

T40W30N30 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.104'te verilmiştir.

Çizelge 4.104 : T40W30N30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

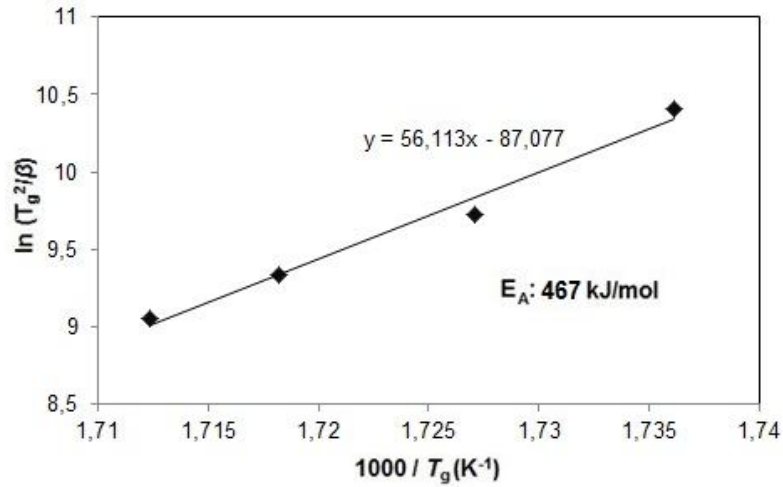
	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
T40W30N30	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	5,03	5,1	30,22	16,33	66,19	2,46	117,12	0,26

Non-izotermal kinetik incelemeler sonucu, T40W30N30 numunesine ait elde edilen cam geçiş sıcaklığı, cam geçiş aktivasyon enerjisi, kırılgenlik, C parametresi, viskozite ve viskozite değişim faktörü değerleri Çizelge 4.105'te verilmiştir.

Çizelge 4.105 : T40W30N30 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

T40W30N30	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40					
	(kJ mol ⁻¹)								
	303	306	309	311	467	96,7	2,5	11,26	11,9

Cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln (T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişimi ve elde edilen cam geçiş aktivasyon enerjisi, E_g , değeri Şekil 4.84'te verilmiştir.



Şekil 4.84 : T40W30N30 camının $\ln (T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

T40W30N30 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.106'da verilmiştir.

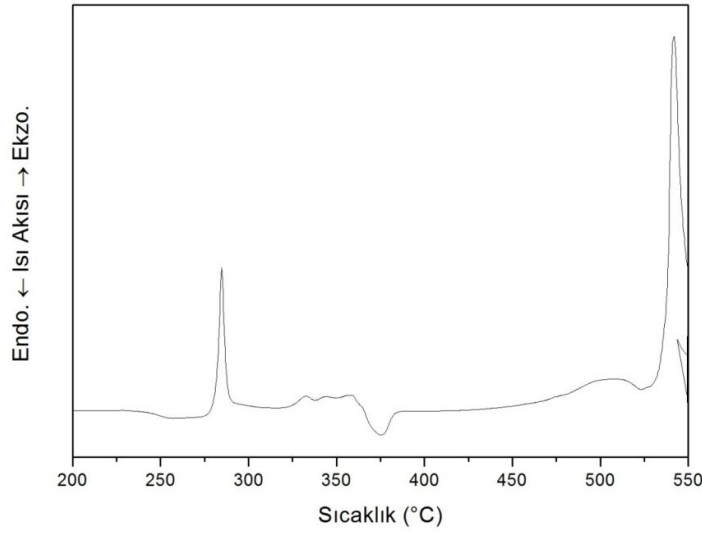
Çizelge 4.106 : T40W30N30 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

T40W30N30	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
	302	318	77,05	127,82	50,76	1,66

4.2.17 0,40TeO₂-0,20WO₃-0,40Na₂O (T40W20N40) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T40W20N40 numunesi uygulanan döküm koşullarında açık sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T40W20N40 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T40W20N40 numunesi için elde edilen termal analiz sonucu Şekil 4.85'te görülmektedir.



Şekil 4.85 : T40W20N40 numunesinin DSC sonucu.

Gerçekleştirilen termal analizler sonucu gözlemlenen cam geçiş, ekzotermik ve endotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.107'de verilmiştir.

Çizelge 4.107 : T40W20N40 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{c3} / T_{p3}	T_{mo1} / T_{mp1}	ΔT
T40W20N40 (°C)	243	282/285	325/334	538/542	361/375	39

T40W20N40 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.108'de verilmiştir.

Çizelge 4.108 : T40W20N40 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
T40W20N40	4,50	4,61	30,00	18,75	60,00	2,29	123,33	0,24

4.2.18 0,40TeO₂-0,10WO₃-0,50Na₂O (T40W10N50) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T40W10N50 numunesi uygulanan döküm koşullarında beyaz renkte opak görünümde elde edilmiştir.

4.2.19 0,30TeO₂-0,60WO₃-0,10Na₂O (T30W60N10) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T30W60N10 numunesi uygulanan döküm koşullarında yeşil renkte opak görünümde elde edilmiştir.

4.2.20 0,30TeO₂-0,50WO₃-0,20Na₂O (T30W50N20) numunesi

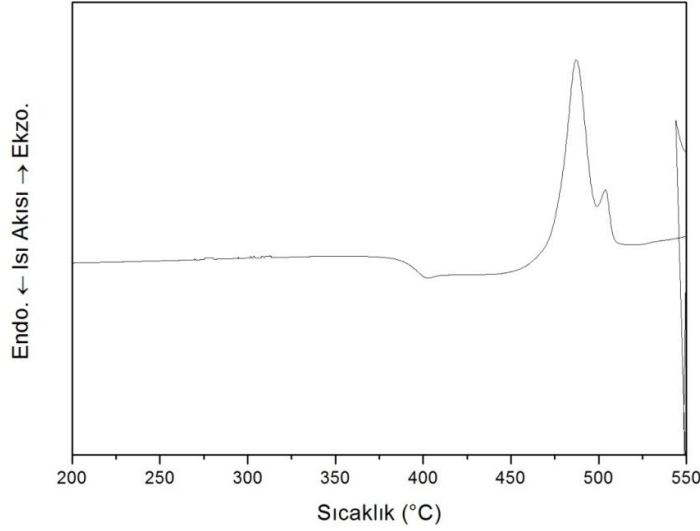
750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T30W50N20 numunesi uygulanan döküm koşullarında sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T30W50N20 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T30W50N20 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.86’da, gözlemlenen cam geçiş ve ekzotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.109’da verilmiştir.

Çizelge 4.109 : T30W50N20 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	ΔT
T30W50N20 (°C)	388	475/487	-/504	87

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir



Şekil 4.86 : T30W50N20 numunesinin DSC sonucu.

T30W50N20 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.110’da verilmiştir.

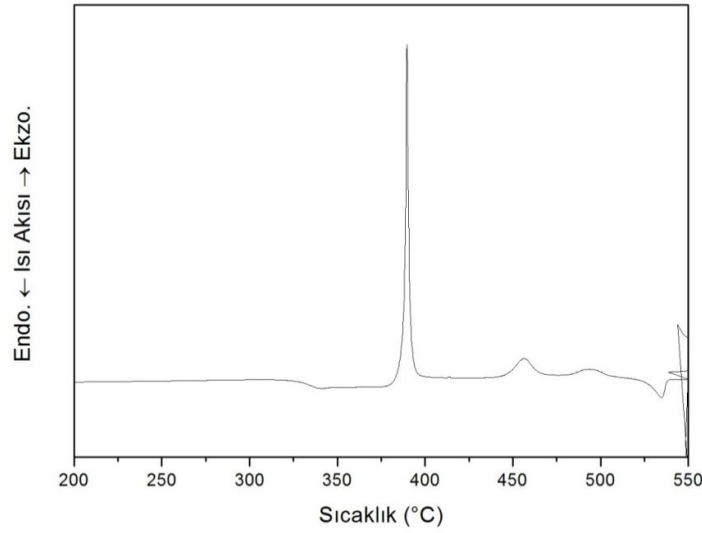
Çizelge 4.110 : T30W50N20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C (g cm ⁻³)	ρ teorik (g cm ⁻³)	V_M (cm ³ mol ⁻¹)	V_O (cm ³ mol ⁻¹)	OPD (mol L ⁻¹)	$\bar{n}_c$	n_b x10 ²¹ (cm ⁻³)	μ_{cal}
T30W50N20	5,72	5,74	30,81	14,01	74,64	2,83	113,67	0,27

4.2.21 0,30TeO₂-0,40WO₃-0,30Na₂O (T30W40N30) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T30W40N30 numunesi uygulanan döküm koşullarında açık sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T30W40N30 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T30W40N30 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.87’de, gözlemlenen cam geçiş, ekzotermik ve endotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.111’de verilmiştir.



Şekil 4.87 : T30W40N30 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.111 : T30W40N30 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{c2} / T_{p2}	T_{m01} / T_{mp1}	ΔT
T30W40N30 (°C)	328	388/390	447/457	-/497	-/535	60

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir

T30W40N30 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.112’de verilmiştir.

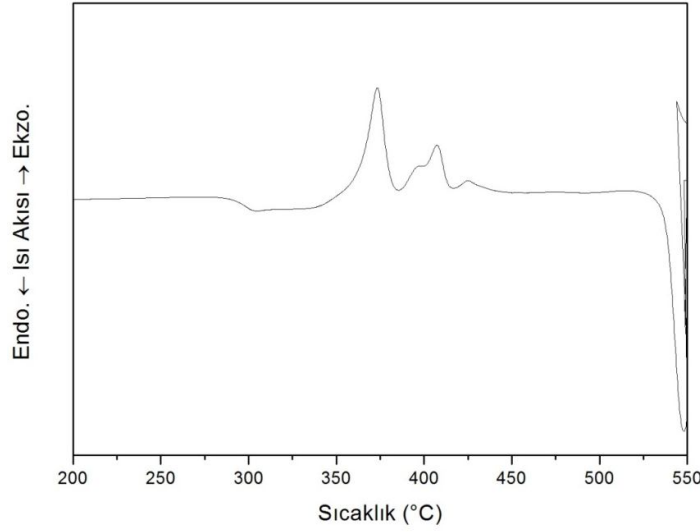
Çizelge 4.112 : T30W40N30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
T30W40N30	5,23	5,25	30,45	15,61	68,97	2,62	119,05	0,26

4.2.22 0,30TeO₂-0,35WO₃-0,35Na₂O (T30W35N35) numunesi

Döküm sonrası açık sarı renkte ve saydam görünümde elde edilen T30W35N35 numunesinin XRD analizi sonucu amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T30W35N35 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.88’de, gözlemlenen cam geçiş, ekzotermik ve endotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.113’te verilmiştir.



Şekil 4.88 : T30W35N35 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.113 : T30W35N35 numunesinin DSC verileri.

T30W35N35	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{c3} / T_{p3}	T_{c4} / T_{p4}	T_{m01} / T_{mp1}	ΔT
(°C)	290	364/373	389/396	-/407	419/425	512/516	70

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

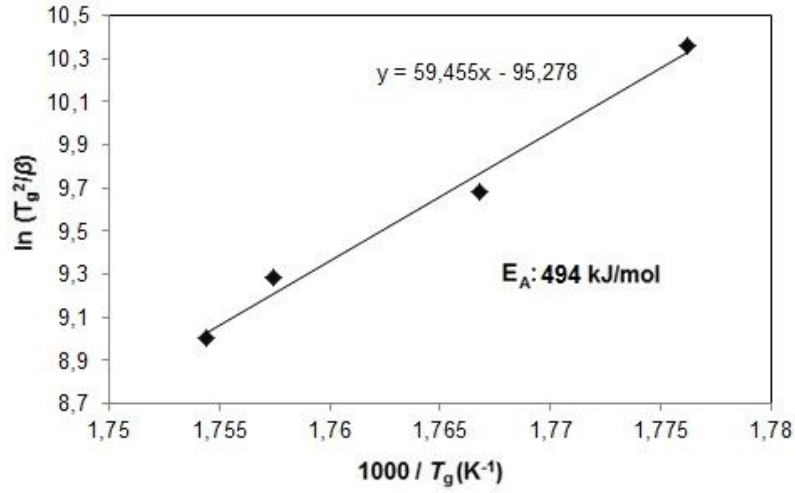
T30W35N35 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.114’te verilmiştir.

Çizelge 4.114 : T30W35N35 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ	ρ	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b	μ_{cal}
	25 °C	teorik					$\times 10^{21}$	
T30W35N35	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	4,96	5,00	30,39	16,65	65,82	2,52	121,89	0,25

Non-izotermal kinetik incelemeler sonucu, T30W35N35 numunesine ait elde edilen cam geçiş sıcaklığı, cam geçiş aktivasyon enerjisi, kırılgenlik, C parametresi,

viskozite ve viskozite değişim faktörü değerleri Çizelge 4.115'te ve Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln (T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişimi Şekil 4.89'da verilmiştir.verilmiştir.



Şekil 4.89 : T30W35N35 camının $\ln (T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

Çizelge 4.115 : T30W35N35 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

T30W35N35	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40	(kJ mol ⁻¹)				
	290	293	296	297	494	104,9	2,2	11,26	9

T30W35N35 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.116'da verilmiştir.

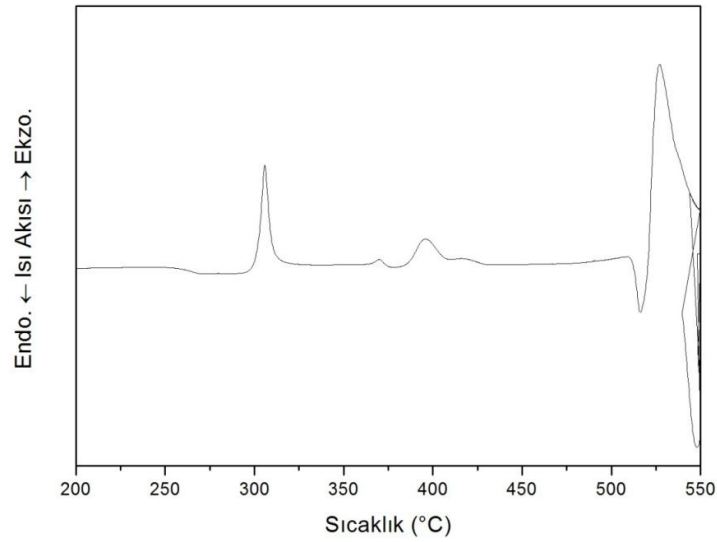
Çizelge 4.116 : T30W35N35 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

T30W35N35	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
	285	302	94,34	138,80	44,46	1,47

4.2.23 0,30TeO₂-0,30WO₃-0,40Na₂O (T30W30N40) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T30W30N40 numunesi uygulanan döküm koşullarında açık sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T30W30N40 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T30W30N40 numunesi için elde edilen sonuçlar Şekil 4.90’da görülmektedir.



Şekil 4.90 : T30W30N40 numunesinin DSC sonucu.

Uygulanan termal analizler sonucu elde edilen termogramlarda gözlemlenen cam geçiş, ekzotermik ve endotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.117’te verilmiştir.

Çizelge 4.117 : T30W30N40 numunesinin DSC verileri.

T30W30N40	T_g	T_{c1}/T_{p1}	T_{c2}/T_{p2}	T_{c3}/T_{p3}	T_{c4}/T_{p4}	T_{c5}/T_{p5}	T_{m01}/T_{mp1}	ΔT
(°C)	258	302/306	365/370	387/396	-/416	-/527	512/516	60

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir

T30W30N40 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.118’de verilmiştir.

Çizelge 4.118 : T30W30N40 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
T30W30N40	4,69	4,76	30,32	17,84	62,65	2,43	124,88	0,25

4.2.24 0,30TeO₂-0,20WO₃-0,50Na₂O (T30W20N50) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T30W20N50 numunesi uygulanan döküm koşullarında beyaz renkte opak görünümde elde edilmiştir.

4.2.25 0,20TeO₂-0,60WO₃-0,20Na₂O (T20W60N20) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T20W60N20 numunesi uygulanan döküm koşullarında soluk sarı renkte opak görünümde elde edilmiştir.

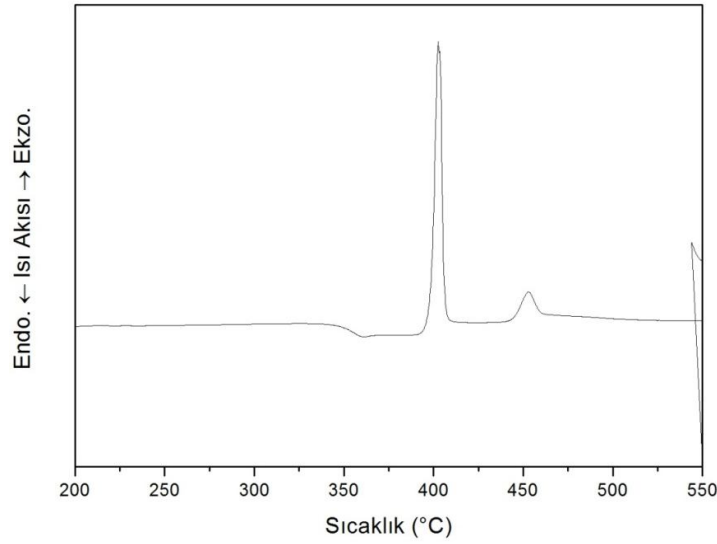
4.2.26 0,20TeO₂-0,50WO₃-0,30Na₂O (T20W50N30) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T20W50N30 numunesi uygulanan döküm koşullarında açık sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T20W50N30 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T20W50N30 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.91’de, gözlemlenen cam geçiş ve ekzotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.119’da verilmiştir.

Çizelge 4.119 : T20W50N30 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	ΔT
T20W50N30 (°C)	348	399/403	445/453	51



Şekil 4.91 : T20W50N30 numunesinin DSC sonucu.

T20W50N30 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.120’de verilmiştir.

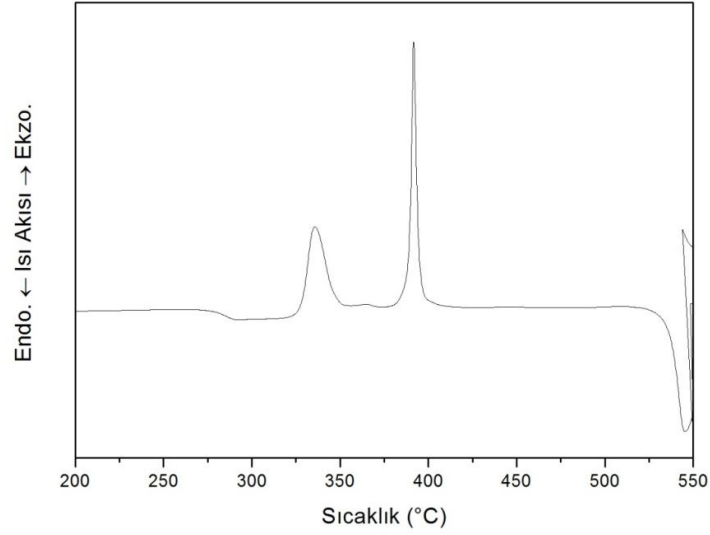
Çizelge 4.120 : T20W50N30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C (g cm ⁻³)	ρ teorik (g cm ⁻³)	V_M (cm ³ mol ⁻¹)	V_O (cm ³ mol ⁻¹)	OPD (mol L ⁻¹)	$\bar{n}_c$	n_b x10 ²¹ (cm ⁻³)	μ_{cal}
T20W50N30	5,34	5,40	31,17	15,20	70,58	2,77	121,02	0,26

4.2.27 0,20TeO₂-0,40WO₃-0,40Na₂O (T20W40N40) numunesi

Döküm sonrası açık sarı renkte ve saydam görünümde elde edilen T20W40N40 numunesinin XRD analizi sonucu amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T20W40N40 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.92’de, gözlemlenen cam geçiş ve ekzotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.121’de verilmiştir.



Şekil 4.92 : T20W40N40 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.121 : T20W40N40 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	ΔT
T20W40N40 (°C)	277	328/336	389/392	51

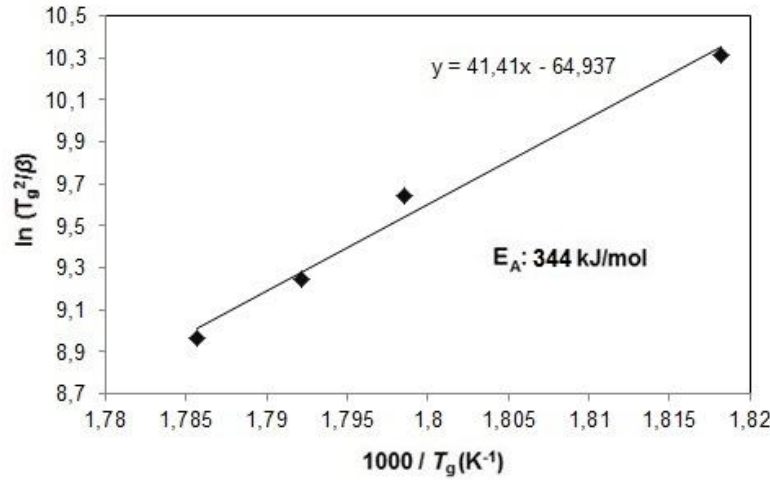
T20W40N40 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.122’de verilmiştir.

Çizelge 4.122 : T20W40N40 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ	ρ	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b	μ_{cal}
	25 °C	teorik					$\times 10^{21}$	
T20W40N40	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	4,80	4,91	31,14	17,30	64,24	2,57	126,52	0,25

Non-izotermal kinetik incelemeler sonucu, T20W40N40 numunesine ait elde edilen cam geçiş sıcaklığı, cam geçiş aktivasyon enerjisi, kırılgenlik, C parametresi, viskozite ve viskozite değişim faktörü değerleri Çizelge 4.123’te verilmiştir.

Cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln (T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişimi ve elde edilen cam geçiş aktivasyon enerjisi, E_g , değeri Şekil 4.93’te verilmiştir.



Şekil 4.93 : T20W40N40 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

Çizelge 4.123 : T20W40N40 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılmalık (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

T20W40N40	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40					
	277	283	285	287	344	74,5	1,3	11,28	3,8

T20W40N40 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.124’te verilmiştir.

Çizelge 4.124 : T20W40N40 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

T20W40N40	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
	272	287	78,46	101,47	23,01	1,29

4.2.28 0,20TeO₂-0,30WO₃-0,50Na₂O (T20W30N50) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T20W30N50 numunesi uygulanan döküm koşullarında beyaz renkte opak görünümde elde edilmiştir.

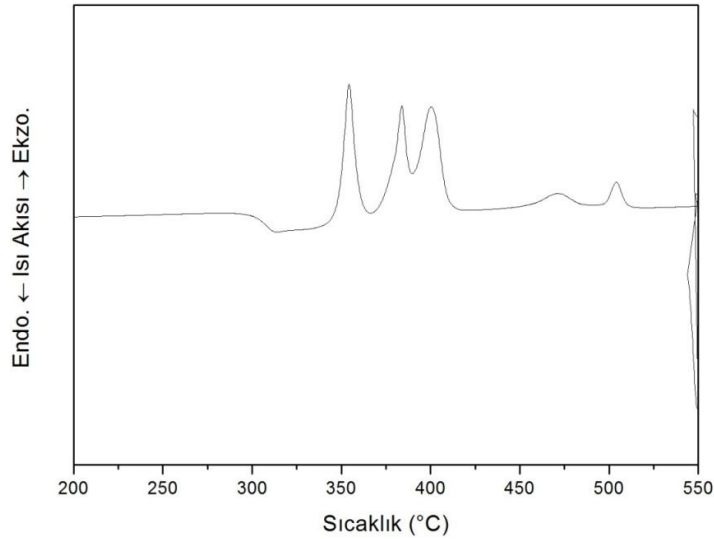
4.2.29 0,10TeO₂-0,60WO₃-0,30Na₂O (T10W60N30) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T10W60N30 numunesi uygulanan döküm koşullarında açık yeşil opak görünümde elde edilmiştir.

4.2.30 0,10TeO₂-0,50WO₃-0,40Na₂O (T10W50N40) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T10W50N40 numunesi uygulanan döküm koşullarında açık sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T10W50N40 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T10W50N40 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.94'te, gözlemlenen cam geçiş ve ekzotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.125'te verilmiştir.



Şekil 4.94 : T10W50N40 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.125 : T10W50N40 numunesinin DSC verileri.

T10W50N40	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{c3} / T_{p3}	T_{c4} / T_{p4}	T_{c5} / T_{p5}	ΔT
(°C)	301	348/354	-/384	-/400	456/471	498/504	47

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir

T10W50N40 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.126'da verilmiştir.

Çizelge 4.126 : T10W50N40 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C (g cm ⁻³)	ρ teorik (g cm ⁻³)	V_M (cm ³ mol ⁻¹)	V_O (cm ³ mol ⁻¹)	OPD (mol L ⁻¹)	$\bar{n}_c$	n_b x10 ²¹ (cm ⁻³)	μ_{cal}
T10W50N40	4,82	5,06	32,50	17,11	64,61	2,71	128,24	0,25

4.2.31 0,10TeO₂-0,45WO₃-0,45Na₂O (T10W45N45) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T10W45L45 numunesi uygulanan döküm koşullarında açık soluk sarı opak görünümde elde edilmiştir.

4.3 TeO₂-WO₃-K₂O Sistemi

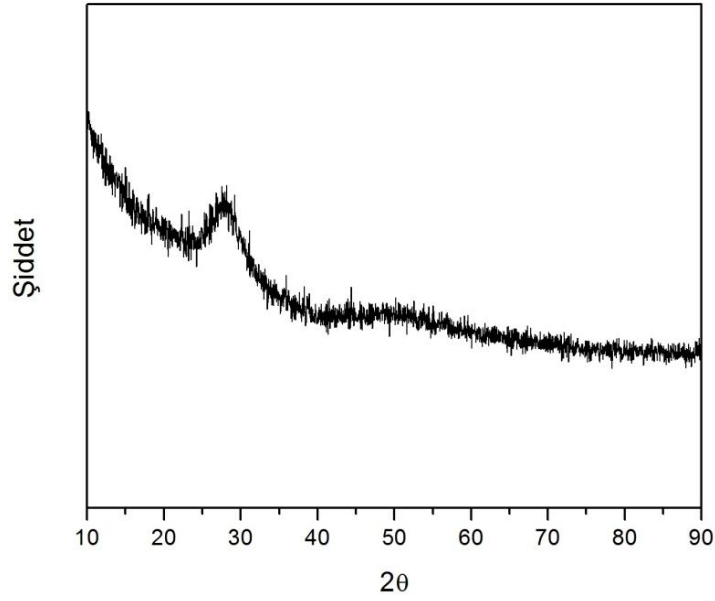
4.3.1 0,90TeO₂-0,05WO₃-0,05K₂O (T90W5K5) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T90W5K5 numunesi, uygulanan döküm koşullarında turuncu renkte saydam görünümde elde edilmiştir.

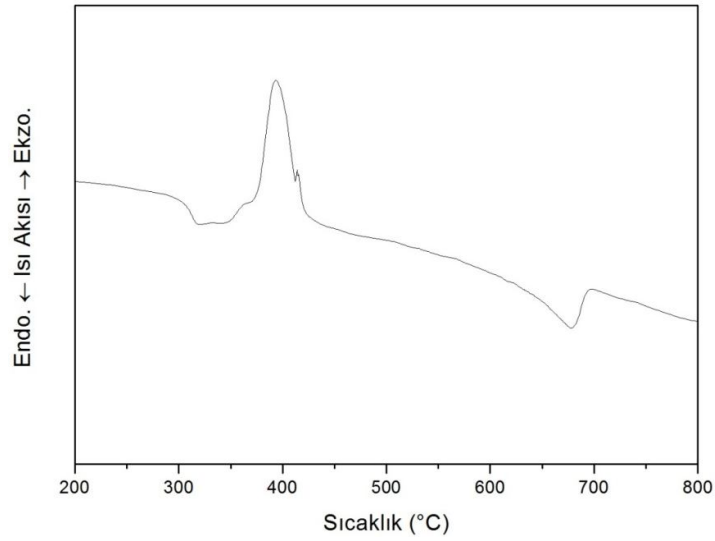
Döküm sonrası saydam görünümde elde edilen T90W5K5 numunesinin XRD analizleri, incelemesi gerçekleştirilmiş ve bu numunenin amorf yapıda olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen XRD analiz sonucu Şekil 4.95'te verilmiştir.

T90W5K5 numunesinin amorf XRD paterni tüm cam numuneler için temsilen verilmiştir. Bu bölümde cam olarak elde edilen numunelere ait amorf paternlere bundan sonraki numuneler için yer verilmeyecektir.

T90W5K5 numunesinin ısı karakterizasyonu için uygulanan DTA analizi sonucunda elde edilen termogram Şekil 4.96'da verilmiş olup; numunede cam geçiş reaksiyonunun yanı sıra üç ekzotermik ve bir endotermik reaksiyon tespit edilmiştir. Gözlemlenen reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.127'de verilmiştir.



Şekil 4.95 : T90W5K5 numunesinin XRD analiz sonucu.



Şekil 4.96 : T90W5K5 numunesinin DTA sonucu.

Çizelge 4.127 : T90W5K5 numunesinin DTA verileri.

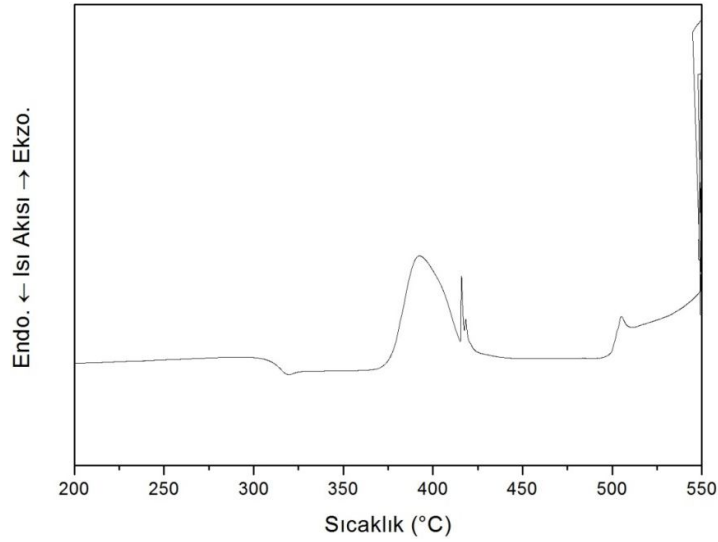
	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{c3} / T_{p3}	T_{m01} / T_{mp1}	ΔT
T90W5K5 (°C)	300	347/-	-/394	-/414	630/680	47

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

T90W5K5 numunesinin ısı karakterizasyonu için uygulanan DSC analizi sonucunda elde edilen termogram Şekil 4.97’de verilmiş olup; numunede cam geçiş

reaksiyonunun yanı sıra dört ekzotermik reaksiyon tespit edilmiştir. Gözlemlenen reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.128’de verilmiştir.

Gerçekleştirilen ısı analizler sonucu, kullanılan DTA ve DSC tekniklerinden ölçüm hassasiyeti daha yüksek olan tekniğin, gerek data hassasiyeti gerek baz çizgisi (baseline) açısından incelendiğinde, DSC tekniği olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla ısı analiz sonuçlarından yola çıkılarak yapılan hesaplamalar için DSC cihazının verileri dikkate alınmıştır. Bu nedenle bundan sonraki numunelerde yalnızca DSC analiz sonuçlarına yer verilecektir.



Şekil 4.97 : T90W5K5 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.128 : T90W5K5 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{c3} / T_{p3}	T_{c4} / T_{p4}	ΔT
T90W5K5 (°C)	308	376/393	-/416	-/418	-/505	68

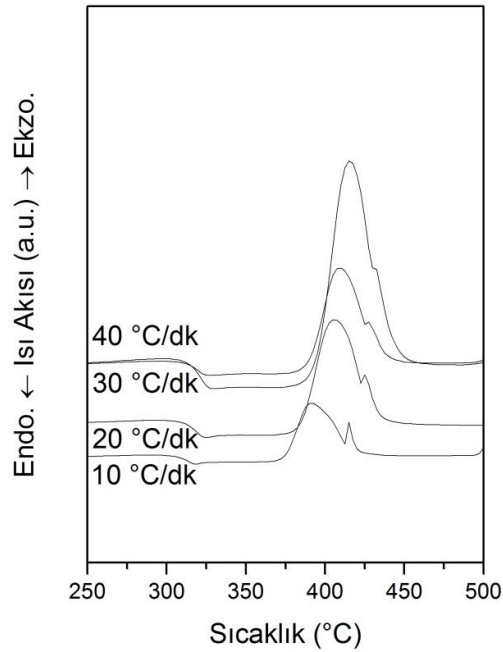
- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

T90W5K5 camının yoğunluk ölçümleri gerçekleştirilmiş ve yoğunluk ölçümlerinden hareketle cam numuneye ait fiziksel özellikler olan molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 4.129’da verilmiştir.

Çizelge 4.129 : T90W5K5 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C (g cm ⁻³)	ρ teorik (g cm ⁻³)	V_M (cm ³ mol ⁻¹)	V_O (cm ³ mol ⁻¹)	OPD (mol L ⁻¹)	$\bar{n}_c$	n_b x10 ²¹ (cm ⁻³)	μ_{cal}
T90W5K5	5,41	5,58	28,99	14,68	68,99	2,10	90,29	0,27

T90W5K5 numunesinin cam geçiş aktivasyon enerjisi değerlerini hesaplamak amacıyla non-izotermal kinetik incelemeler gerçekleştirilmiştir. 10, 20, 30, 40 °C/dk ısıtma hızlarında gerçekleştirilen DSC analizleri sonucu elde edilen termogram Şekil 4.98’de verilmiştir.



Şekil 4.98 : T90W5K5 camının farklı ısıtma hızlarında gerçekleştirilmiş DSC analizi sonucu.

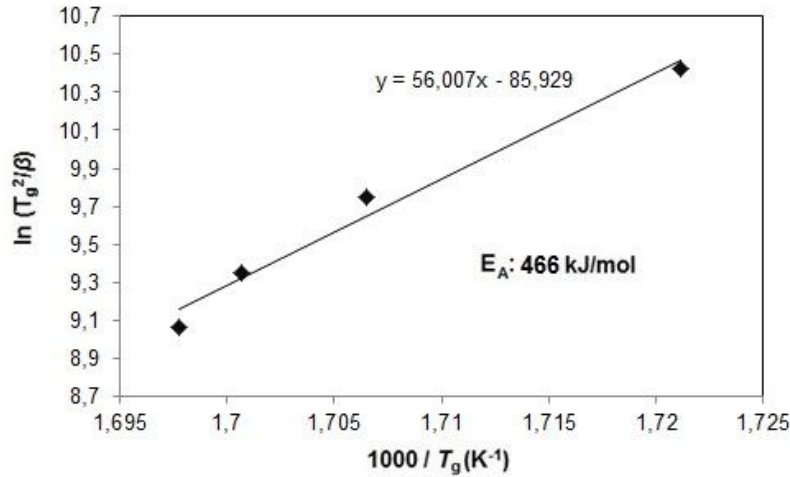
Cam geçiş ve kristalizasyon sıcaklıkları, artan ısıtma hızı ile daha yüksek sıcaklıklara ötelenmiş ve kristalizasyon reaksiyonlarına ait pik şiddetleri artmıştır (Şekil 4.98). Non-izotermal kinetik incelemeleri sonucu elde edilen DSC termogramlarında tüm numunelerin farklı ısıtma hızlarında benzer davranış gösterdiği gözlemlenmiş olup; T90W5K5 numunesinin farklı ısıtma hızlarındaki DSC sonucu tüm cam numuneler için temsilen verilmiştir. Bu bölümde kinetik analizi gerçekleştirilen camların farklı

ısıtma hızlarındaki DSC sonuçlarına bundan sonraki numuneler için yer verilmeyecektir. T90W5K5 numunesinin uygulanan farklı ısıtma hızlarındaki ısı analizler sonucu elde edilen cam geçiş sıcaklığı değerleri Çizelge 4.130’da verilmiştir.

Çizelge 4.130 : T90W5K5 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

T90W5K5	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40	(kJ mol ⁻¹)			(Pa s)	
	308	313	315	316	466	95,6	2,1	11,27	8,3

Cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln (T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişiminden hesaplanmış olan cam geçiş aktivasyon enerjisi, E_g , değeri Şekil 4.99 ve Çizelge 4.130’da verilmiştir.

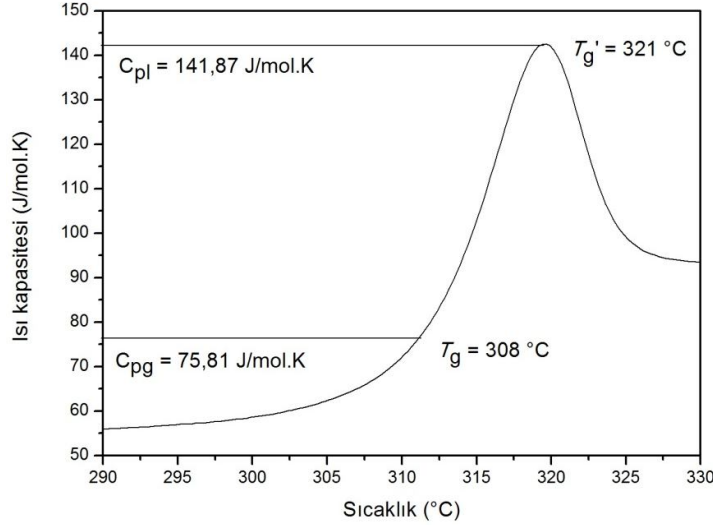


Şekil 4.99 : T90W5K5 camının $\ln (T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi

T90W5K5 camının hesaplanan cam geçiş aktivasyon değerlerinden yola çıkarak, kırılgenlik, C parametresi, viskozite ve viskozite değişim faktörü değerleri hesaplanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.130’da verilmiştir.

T90W5K5 camının cam geçiş bölgesinde ısı kapasitesi incelemeleri gerçekleştirilmiş olup; elde edilen ısı kapasitesi değişimi Şekil 4.100’de verilmiştir. T90W5K5 camının cam geçiş bölgesindeki ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen

sıcaklığa bağlı ısı kapasitesi değişim grafiği tüm cam numuneler için temsilen verilmiştir. Bu bölümde ısı kapasitesi incelemeleri gerçekleştirilen camların sıcaklığa bağlı ısı kapasitesi değişim grafiklerine bundan sonraki numuneler için yer verilmeyecektir



Şekil 4.100 : T90W5K5 camının sıcaklığa bağlı ısı kapasitesi değişimi

Cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemelerinde, cam haldeki ısı kapasitesi, C_{pg} , aşırı soğutulmuş sıvı haldeki ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pg}/C_{pl} , değerleri belirlenmiş ve elde edilen değerler Çizelge 4.131’de verilmiştir.

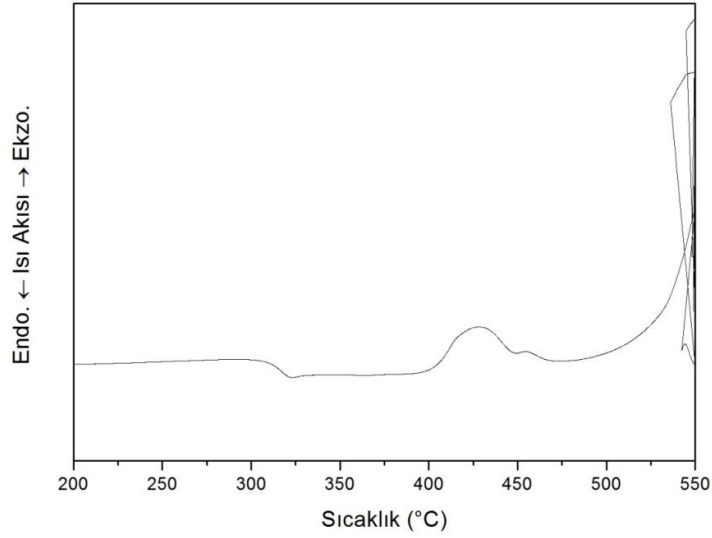
Çizelge 4.131 : T90W5K5 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
T90W5K5	311	321	75,81	141,87	66,06	1,87

4.3.2 0,80TeO₂-0,10WO₃-0,10K₂O (T80W10K10) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T80W10K10 numunesi uygulanan döküm koşullarında turuncu renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T80W10K10 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T80W10K10 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.101’de, gözlemlenen cam geçiş ve ekzotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.132’de verilmiştir.



Şekil 4.101 : T80W10K10 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.132 : T80W10K10 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	ΔT
T80W10K10 (°C)				
	309	403/428	-/454	94

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

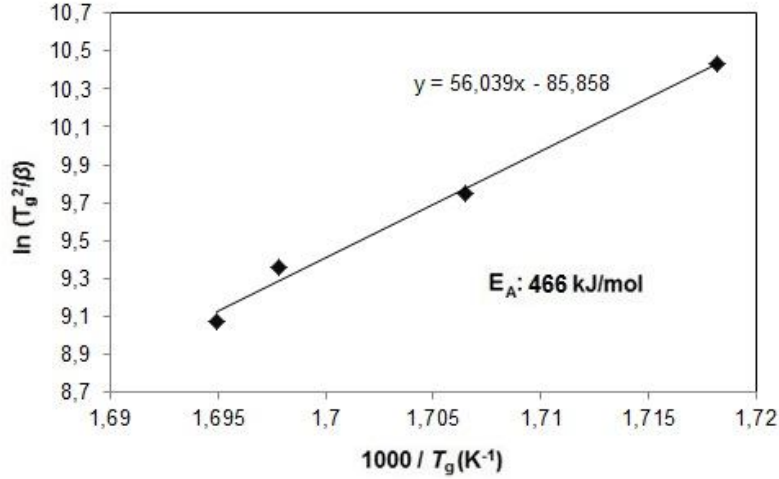
T80W10K10 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.133’de verilmiştir.

Çizelge 4.133 : T80W10K10 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ	ρ	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b	μ_{cal}
	25 °C	teorik					$\times 10^{21}$	
T80W10K10	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	5,19	5,49	29,67	15,21	67,42	2,18	94,80	0,27

T80W10K10 numunesinin farklı ısıtma hızlarında gerçekleştirilen kinetik incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.134’de verilmiştir.

Cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln (T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişimi ve elde edilen cam geçiş aktivasyon enerjisi, E_g , değeri şekil 4.103 ve izelge 134’te verilmiştir.



şekil 4.102 : T80W10K10 camının $\ln (T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

Çizelge 4.134 : T80W10L10 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılmalık (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

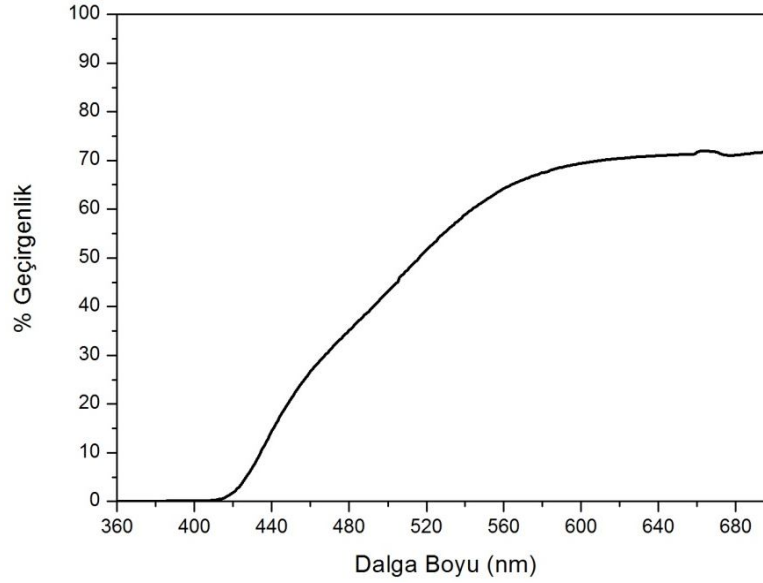
T_g (°C)					E_g	m	C	$\log \eta$	e^C				
Isıtma hızı (°C/dk)													
T80W10K10	10	20	30	40	(kJ mol ⁻¹)	(Pa s)							
	309	313	316	317	466	95,5	2,1	11,27	8,2				

T80W10K10 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler izelge 4.135’te verilmiştir.

Çizelge 4.135 : T80W10K10 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

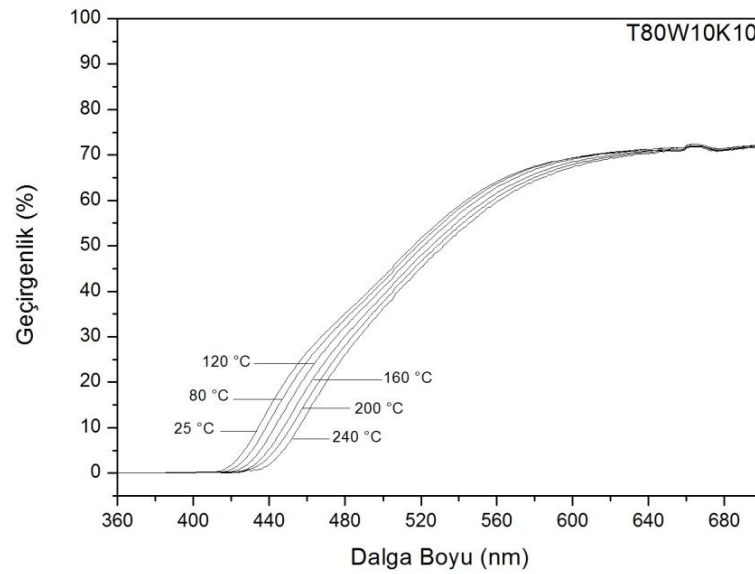
T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
311	322	83,67	147,46	63,79	1,76

T80W10K10 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen optik incelemeler sonucu elde edilen % geçirgenlik değişimi Şekil 4.103'te verilmiştir.



Şekil 4.103 : T80W10K10 camının görünür bölgedeki % geçirgenlik değişimi.

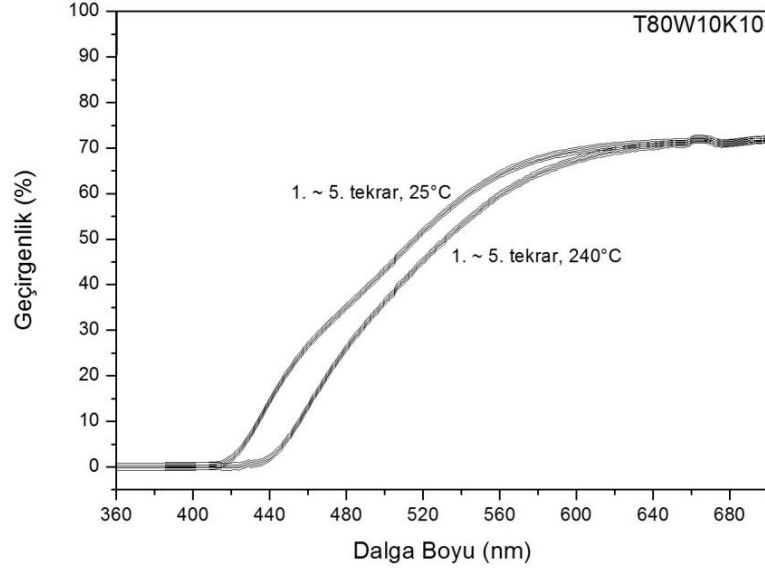
T80W10K10 camının cam geçiş sıcaklığının altındaki altı farklı sıcaklıkta görünür bölgede gerçekleştirilen spektroskopik analizleri sonucu elde edilen geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.104'te görülmektedir.



Şekil 4.104 : T80W10K10 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

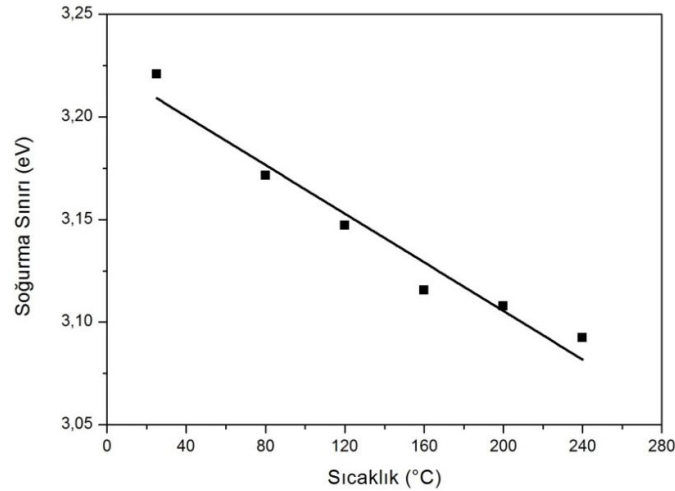
T80W10K10 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi incelendiğinde, % geçirgenlik değerlerinin 385-401 nm dalga boyu aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

T80W10K10 camının oda sıcaklığı ve 240 °C için tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş spektroskopik analiz sonuçları Şekil 4.105'te verilmiştir.



Şekil 4.105 : T80W10K10 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin 25-240 °C sıcaklıklarındaki tekrarlı sonuçları.

T80W10K10 camının sıcaklığa bağlı % geçirgenlik değerlerinin sıfırlandığı nokta olarak tespit edilen ve soğurma veya geçirgenlik sınırı olarak adlandırılan değerin (eV) sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.106'da görülmektedir.



Şekil 4.106 : T80W10K10 camının soğurma sınırının sıcaklığa bağlı değişimi.

Çizelge 4.136’da, T80W10K10 camının soğurma sınırının ötelenme oranı ve 25-240 °C sıcaklıkları için soğurma sınır dalga boyu değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.136 : T80W10K10 camının soğurma sınırı değerleri ve sıcaklığa bağlı ötelenme oranı değerleri.

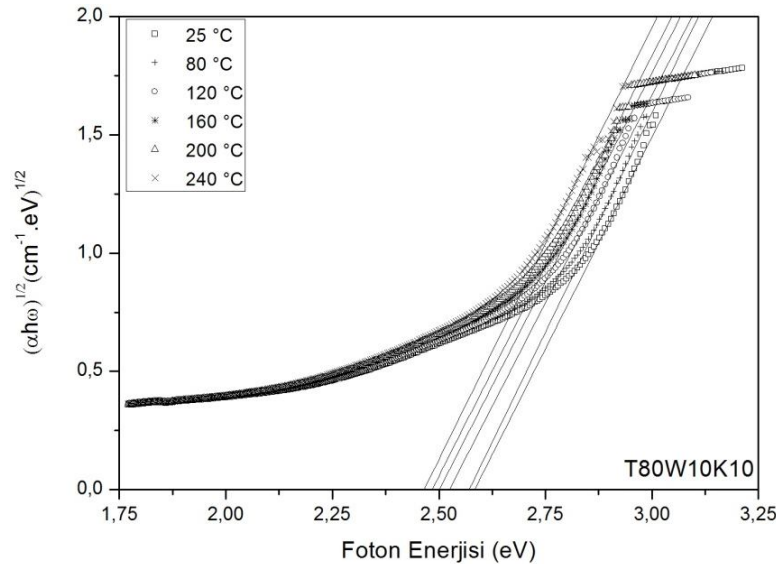
Numune	Ötelenme Oranı (10^{-4} eV/K)	Soğurma Sınırı 25 °C (nm)	Soğurma Sınırı 240 °C (nm)
T80W10K10	-5,92	385	401

T80W10K10 camının soğurma sınırının foton enerjisine bağlı değişiminin Tauc denkleminde (Denklem 3.17) uyarlanarak belirlenen bant aralığı enerjisi değerleri Şekil 4.107’de verilmiştir.

Bant aralığı enerji değerleri, $(\alpha h\omega)^{(1/2)} - h\omega$ değişiminin foton enerjisi eksenini kestiği değerler olarak saptanmış ve Çizelge 4.137’de verilmiştir.

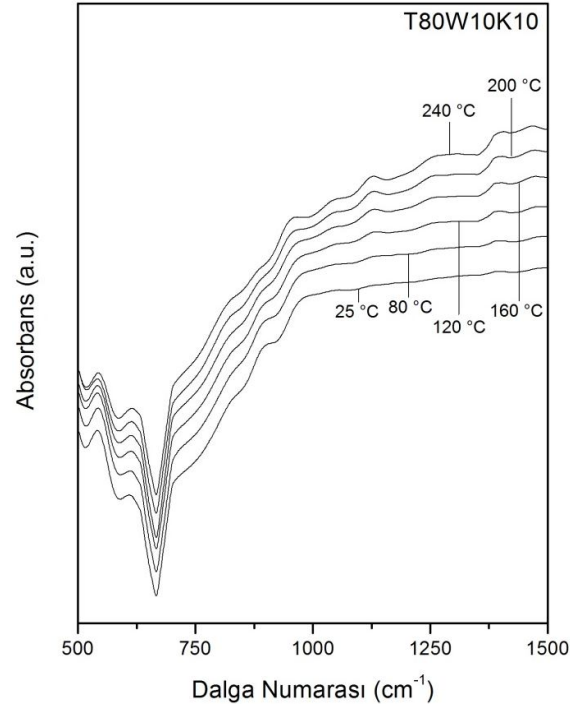
Çizelge 4.137 : T80W10K10 camının sıcaklığa bağlı bant aralığı enerji değerleri.

Numune	Bant Aralığı Enerjisi (eV)					
	25 °C	80 °C	120 °C	160 °C	200 °C	240 °C
T80W10K10	2,59	2,57	2,53	2,50	2,48	2,46



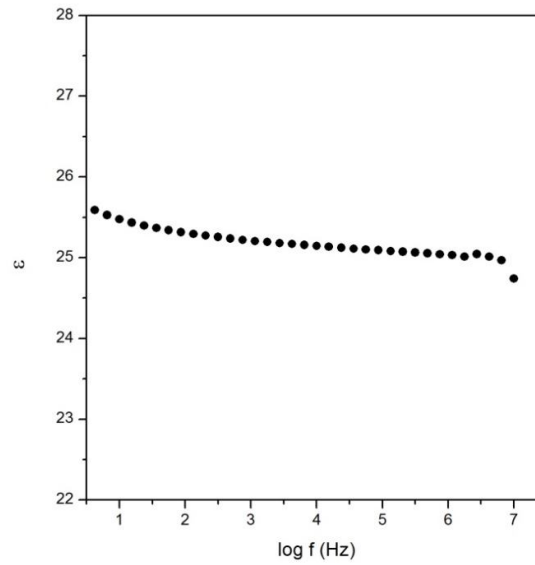
Şekil 4.107 : T80W10K10 camının Tauc denkleminde göre $(\alpha h\omega)^{1/2}$ - foton enerjisi değişimi.

T80W10K10 camının cam geçiş sıcaklığının altındaki altı farklı sıcaklıkta kızılötesi bölgede gerçekleştirilen spektroskopik analizleri sonucu elde edilen soğurma değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.108’de görülmektedir.



Şekil 4.108 : T80W10K10 camının kızılötesi bölgedeki soğurma değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

T80W10K10 camının dielektrik sabiti ölçümü sonuçları Şekil 4.109’da verilmiştir.



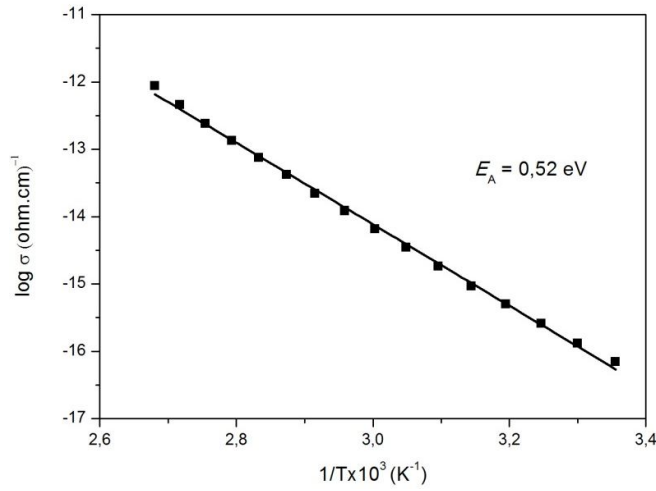
Şekil 4.109 : T80W10K10 camının dielektrik ölçüm sonucu.

T80W10K10 camının elektriksel incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.138’de verilmiştir.

Çizelge 4.138 : T80W10K10 camının öz direnç, ρ , iletkenlik, σ , dielektrik sabiti, ϵ ve iletkenlik aktivasyon enerjisi, E_A değerleri.

Numune	ρ 25 °C (ohm.cm)	σ 25 °C (ohm.cm) ⁻¹	ϵ (10 ³ Hz için)	ρ 100 °C (ohm.cm) ⁻¹	σ 100 °C (ohm.cm) ⁻¹	E_A (eV)
T80W10K10	1,44 10 ¹⁶	6,9 10 ⁻¹⁷	25	1,14 10 ¹²	8,7 10 ⁻¹³	0,52

Şekil 4.110’da, T80W10K10 camının iletkenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi ve $\ln \sigma - 1/T$ değişiminin hesaplanmış elektriksel iletkenlik aktivasyon enerjisi değerleri verilmiştir.



Şekil 4.110 : T80W10K10 camının iletkenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi ve elektriksel iletkenlik aktivasyon enerjisi değerleri.

4.3.3 0,70TeO₂-0,20WO₃-0,10K₂O (T70W20K10) numunesi

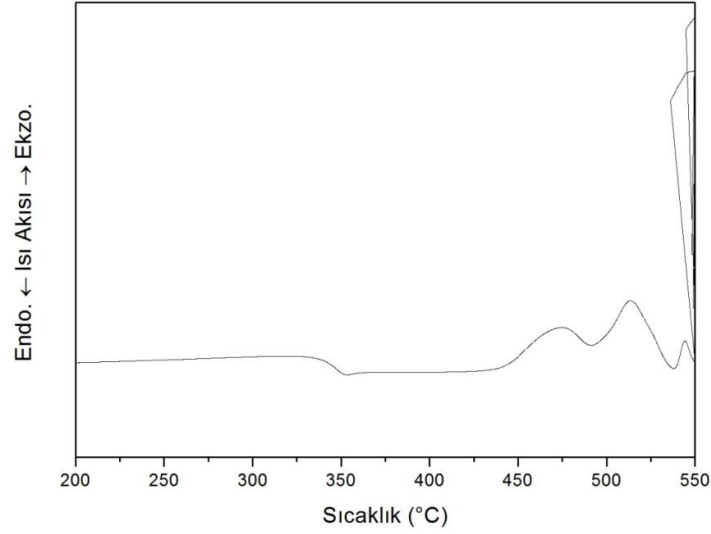
750 °C’de 30 dakika bekletilerek su verme işlemine tabi tutulan T70W20K10 numunesi, döküm sonrası saydam görünümde ve koyu sarı renkte elde edilmiştir. XRD analizi sonucu T70W20K10 numunesinin amorf yapıda olduğu tespit edilmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T70W20K10 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.111’de, gözlemlenen cam geçiş, ekzotermik ve endotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.139’da verilmiştir.

Çizelge 4.139 : T70W20K10 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{m01} / T_{mp1}	ΔT
T70W20K10 (°C)	339	442/463	-/514	-/538	103

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.



Şekil 4.111 : T70W20K10 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.140'ta, T70W20K10 numunesinin hesaplanan fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.140 : T70W20K10 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

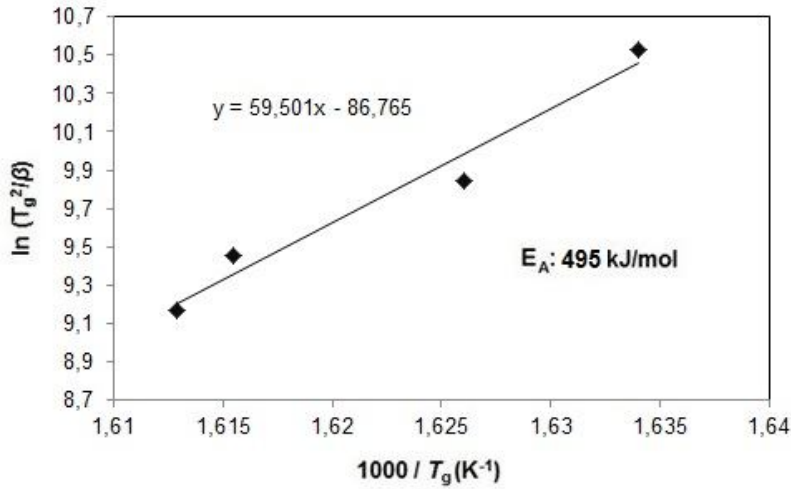
	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
T70W20K10	5,35	5,64	30,12	14,69	69,72	2,36	97,23	0,27

Farklı ısıtma hızlarında gerçekleştirilen non-izotermal kinetik incelemeler sonucu elde edilen, T70W20K10 numunesine ait cam geçiş sıcaklığı, cam geçiş aktivasyon enerjisi, kırılgenlik, C parametresi, viskozite ve viskozite değişim faktörü değerleri Çizelge 4.141'de verilmiştir.

Çizelge 4.141 : T70W20K10 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılmalılık (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

T70W20K10	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40					
	339	342	346	347	495	96,5	2,2	11,27	8,8

T70W20K10 camının cam geçiş aktivasyon enerjisi, cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilmiş ve denklem uyarınca çizilen $\ln(T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişimi Şekil 4.112’de verilmiştir.



Şekil 4.112 : T70W20K10 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

T70W20K10 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.142’de verilmiştir.

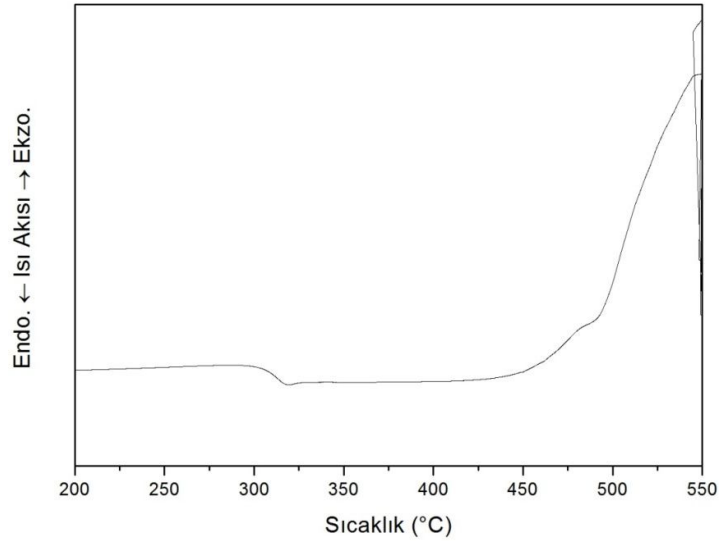
Çizelge 4.142 : T70W20K10 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

T70W20K10	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
	339	353	97,15	168,51	71,36	1,73

4.3.4 0,70TeO₂-0,15WO₃-0,15K₂O (T70W15K15) numunesi

Uygulanan döküm koşulları sonrası sarı renkte ve saydam görünümde elde edilen T70W15K15 numunesinin XRD analizi sonucu amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T70W15K15 numunesi için elde edilen sonuçlar Şekil 4.113 ve Çizelge 4.143'te verilmiştir.



Şekil 4.113 : T70W15K15 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.143 : T70W15K15 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	ΔT
T70W15K15 (°C)				
	304	457/-	-/547	153

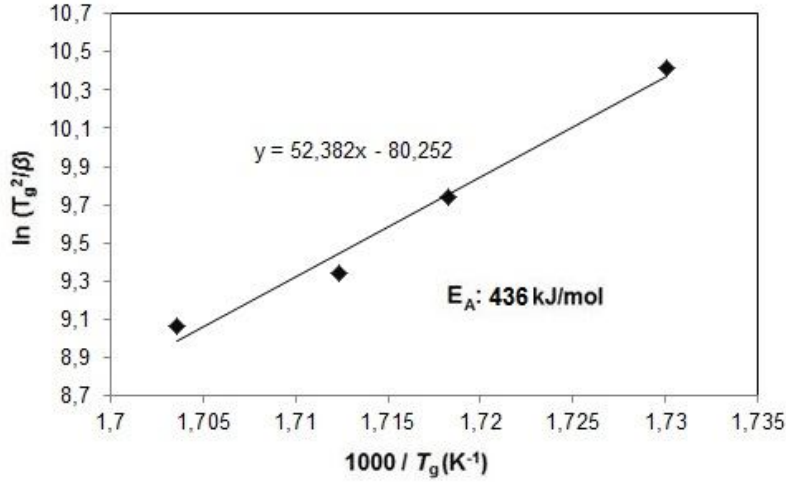
T70W15K15 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri olan Çizelge 4.144'te verilmiştir.

Çizelge 4.144 : T70W15K15 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ	ρ	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b	μ_{cal}
	25 °C	teorik					$\times 10^{21}$	
T70W15K15	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	5,06	5,40	29,87	15,52	66,96	2,26	99,09	0,26

Kinetik incelemeler sonucu, T70W15K15 numunesine ait elde edilen değerler Çizelge 4.145'te verilmiştir.

Cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln(T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişimi Şekil 4.114'te verilmiştir.



Şekil 4.114 : T70W15K15 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

Çizelge 4.145 : T70W15K15 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılmalık (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

T70W15K15	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40	(kJ mol ⁻¹)	(Pa s)			
	304	309	311	314	436	89,9	2,0	11,27	7,4

T70W15K15 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.146'da verilmiştir.

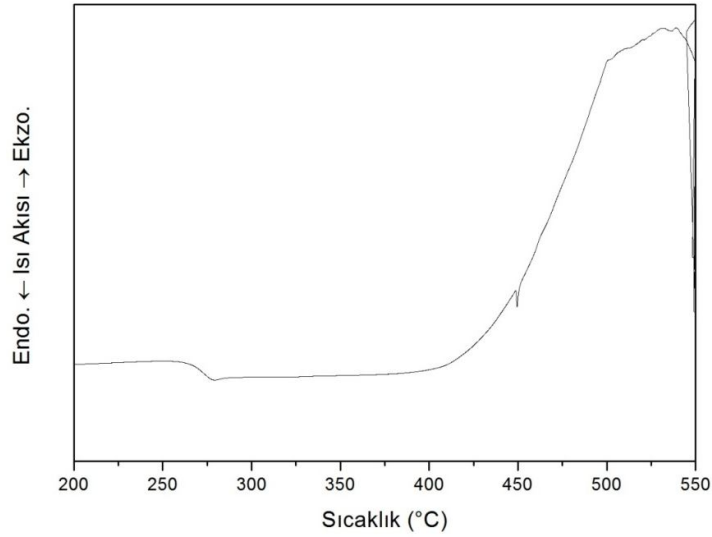
Çizelge 4.146 : T70W15K15 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

T70W15K15	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
	307	318	91,07	152,91	61,84	1,68

4.3.5 0,70TeO₂-0,10WO₃-0,20K₂O (T70W10K20) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T70W10K20 numunesi uygulanan döküm koşullarında sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T70W10K20 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T70W10K20 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.115'te, gözlemlenen cam geçiş, ekzotermik ve endotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.147'de verilmiştir.



Şekil 4.115 : T70W10K20 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.147 : T70W10K20 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{mo1} / T_{mp1}	ΔT
T70W20L10 (°C)	264	423/539	-/449	159

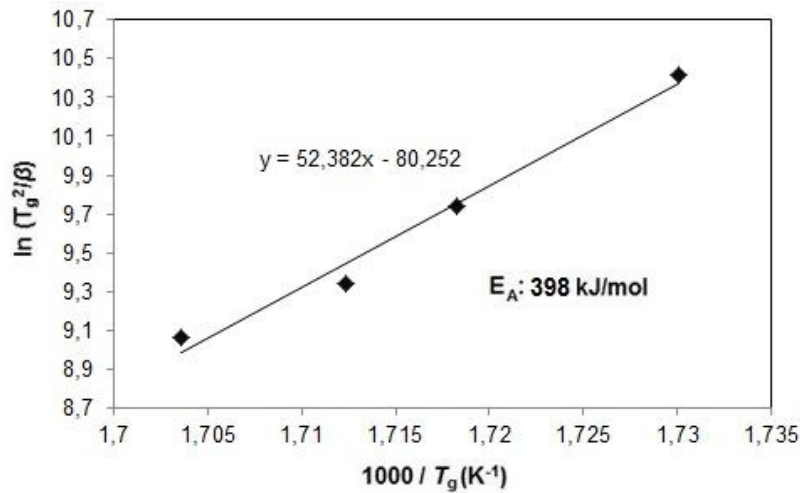
: sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

T70W10K20 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikler olan molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri Çizelge 4.148'de verilmiştir.

Çizelge 4.148 : T70W10K20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
T70W10K20	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	4,93	5,16	28,56	15,87	66,52	2,17	100,93	0,25

T70W10K20 numunesinin non-izotermal kinetik incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş sıcaklığı, cam geçiş aktivasyon enerjisi, kırılgenlik, C parametresi, viskozite ve viskozite değişim faktörü değerleri Çizelge 4.149’da, cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln(T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişimi ise Şekil 4.116’da verilmiştir.



Şekil 4.116 : T70W10K20 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

Çizelge 4.149 : T70W10K20 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
T70W10K20	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40	(kJ mol ⁻¹)			(Pa s)	
	264	269	272	273	398	88,2	2,3	11,27	9,6

T70W10K20 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler izelge 4.150’de verilmiştir.

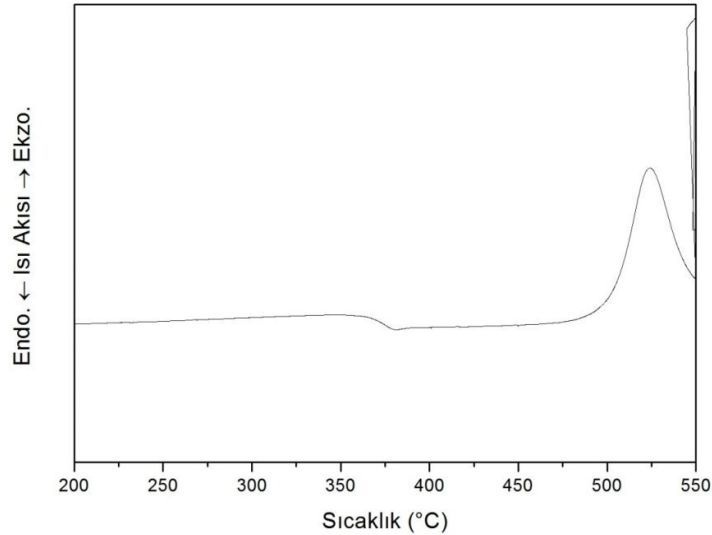
Çizelge 4.150 : T70W10K20 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
T70W10K20	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
	263	279	75,18	119,76	44,58	1,59

4.3.6 0,60TeO₂-0,30WO₃-0,10K₂O (T60W30K10) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T60W30K10 numunesi uygulanan döküm koşullarında sarı renkte saydam görünümdede elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T60W30K10 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T60W30K10 numunesi için elde edilen termogram şekil 4.117’de, gözlemlenen cam geçiş reaksiyonu ve ekzotermik reaksiyona ait onset ve pik sıcaklık değerleri izelge 4.151’de verilmiştir.



şekil 4.117 : T60W30K10 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.151 : T60W30K10 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	ΔT
T60W30K10 (°C)	367	504/524	137

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

T60W30K10 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.152’de verilmiştir.

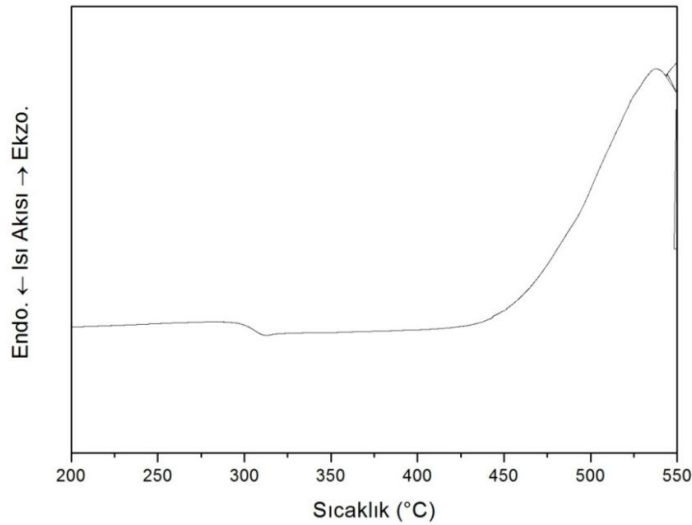
Çizelge 4.152 : T60W30K10 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C (g cm ⁻³)	ρ teorik (g cm ⁻³)	V_M (cm ³ mol ⁻¹)	V_O (cm ³ mol ⁻¹)	OPD (mol L ⁻¹)	$\bar{n}_c$	n_b x10 ²¹ (cm ⁻³)	μ_{cal}
T60W30K10	5,55	5,79	30,34	14,11	72,50	2,55	99,66	0,27

4.3.7 0,60TeO₂-0,20WO₃-0,20K₂O (T60W20K20) numunesi

Uygulanan döküm koşulları sonrası sarı renkte ve saydam görünümde elde edilen T60W20K20 numunesinin XRD analizi sonucu amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

T60W20K20 numunesinin termal analiz sonuçları Şekil 4.118 ve Çizelge 4.153’te verilmiştir.



Şekil 4.118 : T60W20K20 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.153 : T60W20K20 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	ΔT
T60W20K20 (°C)			
	297	464/538	167

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

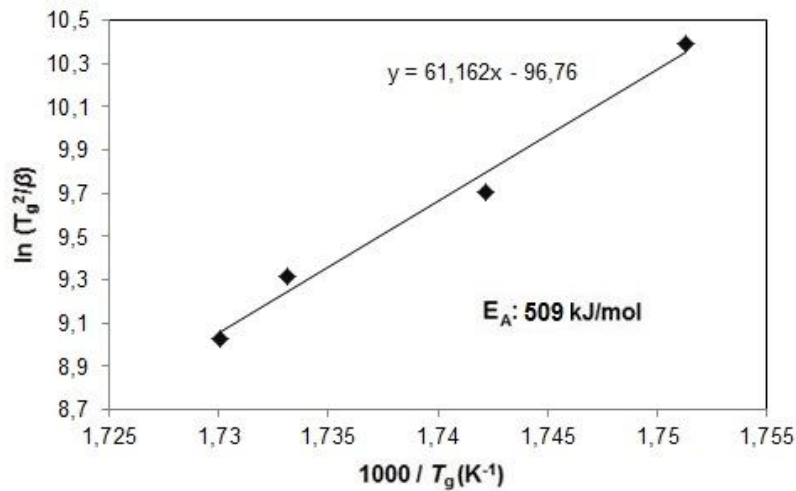
T60W20K20 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.154’te verilmiştir.

Çizelge 4.154 : T60W20K20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C (g cm ⁻³)	ρ teorik (g cm ⁻³)	V_M (cm ³ mol ⁻¹)	V_O (cm ³ mol ⁻¹)	OPD (mol L ⁻¹)	$\bar{n}_c$	n_b x10 ²¹ (cm ⁻³)	μ_{cal}
T60W20K20	4,93	5,30	30,07	15,83	66,51	2,33	103,15	0,25

Non-izotermal kinetik incelemeler sonucu, T60W20K20 numunesine ait elde edilen cam geçiş sıcaklığı, cam geçiş aktivasyon enerjisi, kırılgenlik, C parametresi, viskozite ve viskozite değişim faktörü değerleri Çizelge 4.155’te verilmiştir.

Cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln(T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişimi Şekil 4.119’da verilmiştir.



Şekil 4.119 : T60W20K20 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

Çizelge 4.155 : T60W20K20 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

T60W20K20	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40					
	297	301	304	305	(kJ mol ⁻¹)			(Pa s)	
	297	301	304	305	509	106,4	2,4	11,26	10,9

T60W20K20 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.156’da verilmiştir.

Çizelge 4.156 : T60W20K20 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

T60W20K20	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
	298	311	105,27	170,46	65,19	1,62

4.3.8 0,60TeO₂-0,10WO₃-0,30K₂O (T60W10K30) numunesi

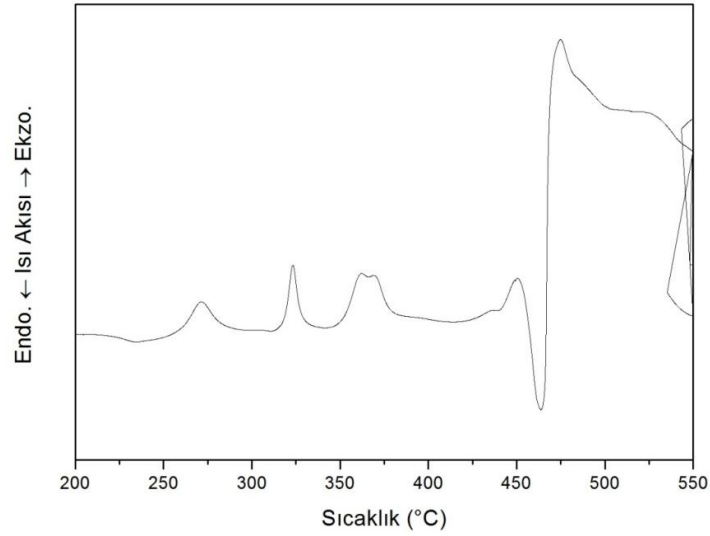
750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T60W10K30 numunesi uygulanan döküm koşullarında sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T60W10K30 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T60W10K30 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.120’de, gözlemlenen cam geçiş, ekzotermik ve endotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.157’de verilmiştir.

Çizelge 4.157 : T60W10K30 numunesinin DSC verileri.

T60W10K30	T_g	T_{c1}/T_{p1}	T_{c2}/T_{p2}	T_{c3}/T_{p3}	T_{c4}/T_{p4}	T_{mo1}/T_{mp1}	ΔT
(°C)	221	260/272	318/323	352/362	-/369	-/464	39

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.



Şekil 4.120 : T60W10K30 numunesinin DSC sonucu.

T60W10K30 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.158’de verilmiştir.

Çizelge 4.158 : T60W10K30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
T60W10K30	4,51	4,82	28,36	17,19	63,47	2,15	106,51	0,24

4.3.9 0,50TeO₂-0,40WO₃-0,10K₂O (T50W40K10) numunesi

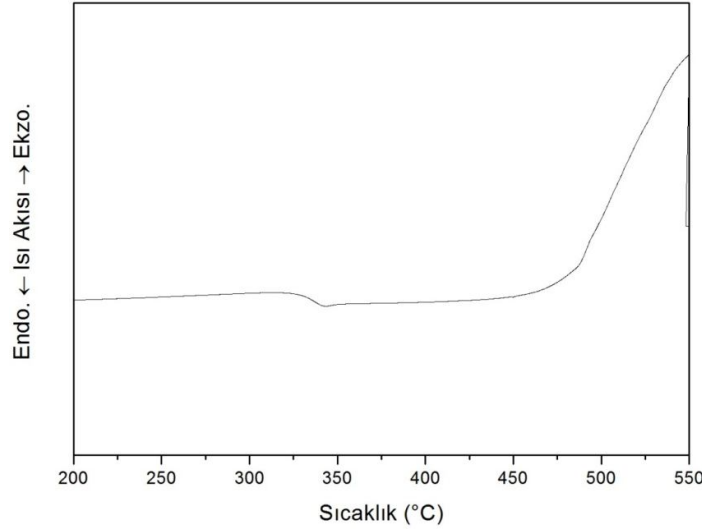
750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T50W40K10 numunesi uygulanan döküm koşullarında koyu sarı renkte yarı saydam görünümde elde edilmiştir. Cam özellikleri ile ilgili incelemeler, yarı saydam olarak elde edilen numuneler ile gerçekleştirilmemiştir. Bu nedenle bundan sonraki yarı saydam numunelerde her hangi bir analiz sonucuna yer verilmeyecektir.

4.3.10 0,50TeO₂-0,30WO₃-0,20K₂O (T50W30K20) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T50W30K20 numunesi uygulanan döküm koşullarında sarı renkte saydam

görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T50W30K20 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T50W30K20 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.121’de, gözlemlenen cam geçiş reaksiyonu ve ekzotermik reaksiyona ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.159’da verilmiştir.



Şekil 4.121 : T50W30K20 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.159 : T50W30K20 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	ΔT
T50W30K20 (°C)	327	484/-	157

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

T50W30K20 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.160’ta verilmiştir.

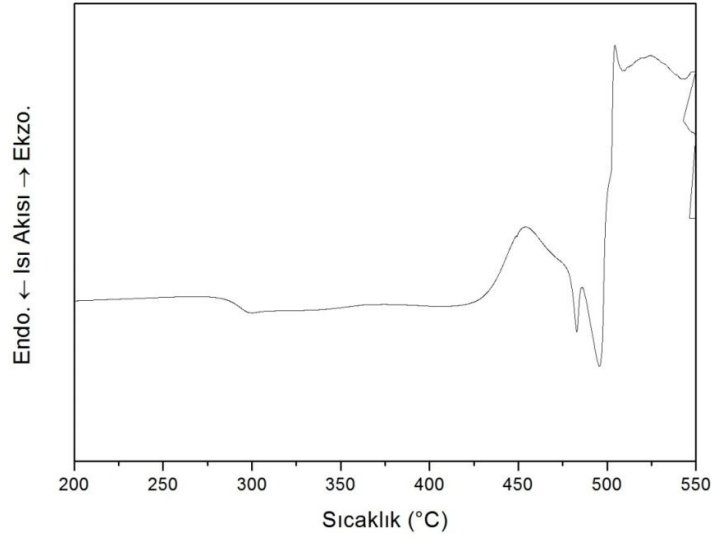
Çizelge 4.160 : T50W30K20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ	ρ	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b	μ_{cal}
	25 °C	teorik					$\times 10^{21}$	
	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
T50W30K20	5,05	5,45	30,75	15,38	68,29	2,50	105,40	0,26

4.3.11 0,50TeO₂-0,25WO₃-0,25 K₂O (T50W25K25) numunesi

Döküm sonrası sarı renkte ve saydam görünümde elde edilen T50W25K25 numunesinin XRD analizi sonucu amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

T50W25K25 camının DSC sonuçları Şekil 4.122 ve Çizelge 4.161’de verilmiştir.



Şekil 4.122 : T50W25K25 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.161 : T50W25K25 numunesinin DSC verileri.

T50W25K25	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{mo1} / T_{mp1}	T_{mo2} / T_{mp2}	ΔT
(°C)	284	340/362	433/454	480/483	-/496	56

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

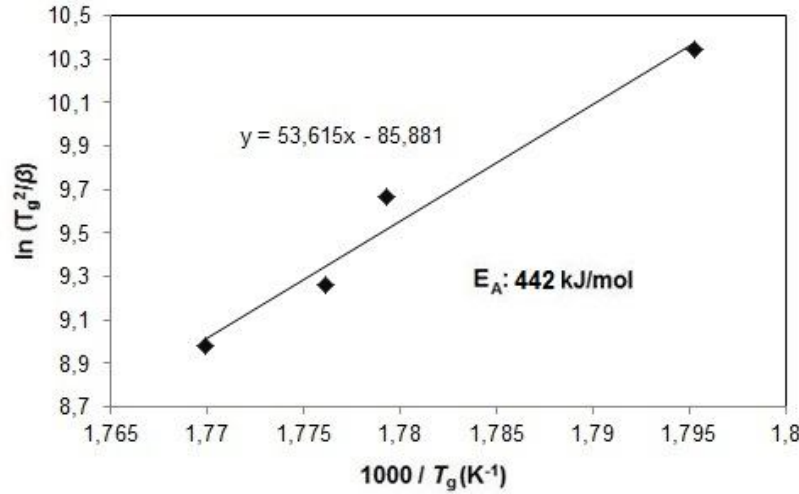
T50W25K25 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.162’de verilmiştir.

Çizelge 4.162 : T50W25K25 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ	ρ	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b	μ_{cal}
	25 °C	teorik					$\times 10^{21}$	
T50W25K25	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	4,79	5,21	30,31	16,17	65,97	2,40	107,00	0,25

Non-izotermal kinetik incelemeler sonucu, T50W25K25 numunesine ait elde edilen değerler Çizelge 4.163'te verilmiştir.

Cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln(T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişimi Şekil 4.123'te verilmiştir.



Şekil 4.123 : T50W25K25 camının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

Çizelge 4.163 : T50W25K25 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılmalılık (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

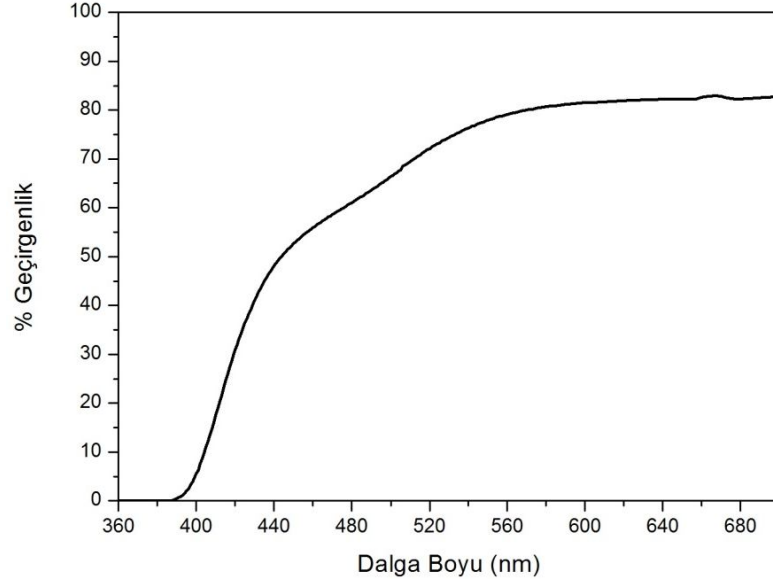
T_g (°C)		E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
Isıtma hızı (°C/dk)						
T50W25K25						
10	20	30	40	(kJ mol ⁻¹)		(Pa s)
284	289	290	292	442	95,4	2,5
					11,26	12,2

T50W25K25 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.164'te verilmiştir.

Çizelge 4.164 : T50W25K25 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

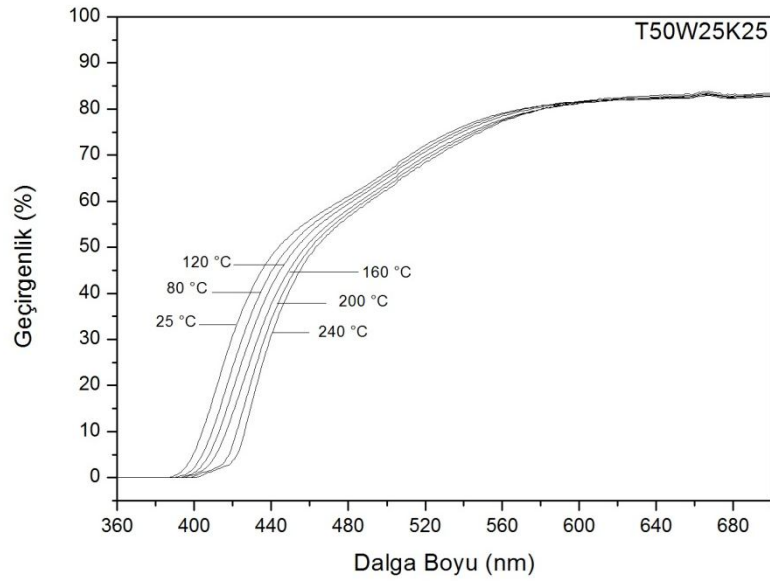
T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
281	299	89,04	138,40	49,36	1,55

T50W25K25 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen optik incelemeler sonucu elde edilen % geçirgenlik değişimi Şekil 4.124'te verilmiştir.



Şekil 4.124 : T50W25K25 camının görünür bölgedeki % geçirgenlik değişimi.

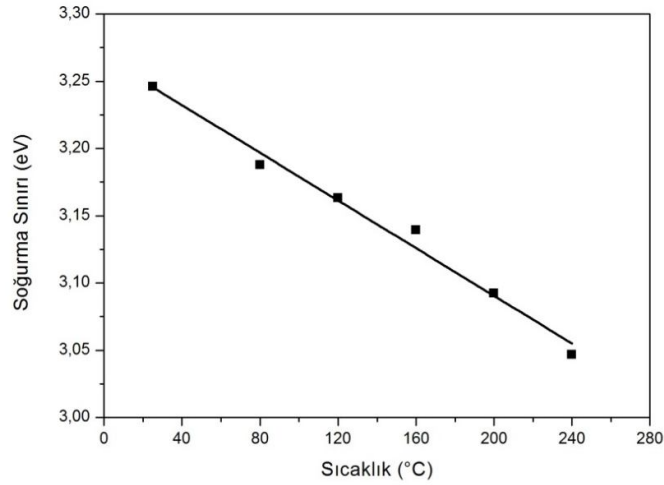
T50W25K25 camının cam geçiş sıcaklığının altındaki altı farklı sıcaklıkta görünür bölgede gerçekleştirilen spektroskopik analizleri sonucu elde edilen geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.125'te görülmektedir.



Şekil 4.125 : T50W25K25 camının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

T50W25K25 camının görünür bölgedeki % geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı olarak 392-407 nm dalga boyu aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

T50W25K25 camının sıcaklığa bağlı % geçirgenlik değerlerinin sıfırlandığı nokta olan soğurma veya geçirgenlik sınırı değerinin (eV) sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.126'da görülmektedir. Çizelge 4.165'te, T50W25K25 camının soğurma sınırının ötelenme oranı ve 25-240 °C sıcaklıkları için soğurma sınır dalga boyu değerleri verilmektedir.



Şekil 4.126 : T50W25K25 camının soğurma sınırının sıcaklığa bağlı değişimi.

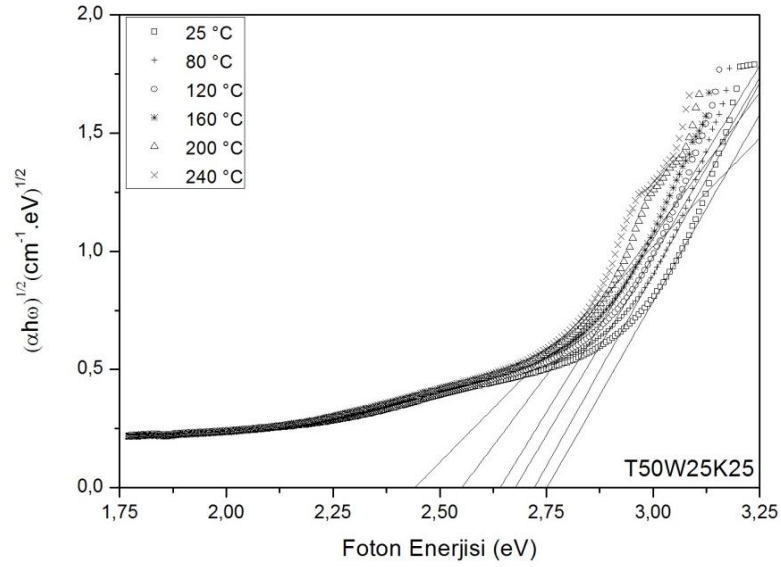
Çizelge 4.165 : T50W25K25 camının soğurma sınırı değerleri ve sıcaklığa bağlı ötelenme oranı değerleri.

Numune	Ötelenme Oranı (10 ⁻⁴ eV/K)	Soğurma Sınırı 25 °C (nm)	Soğurma Sınırı 240 °C (nm)
T50W25K25	-8,86	392	407

T50W25K25 camının soğurma sınırının foton enerjisine bağlı değişiminin Tauc denkleminde (Denklem 3.17) uyarlanması Şekil 4.127'de, saptanan bant aralığı enerji değerleri Çizelge 4.166'da verilmiştir.

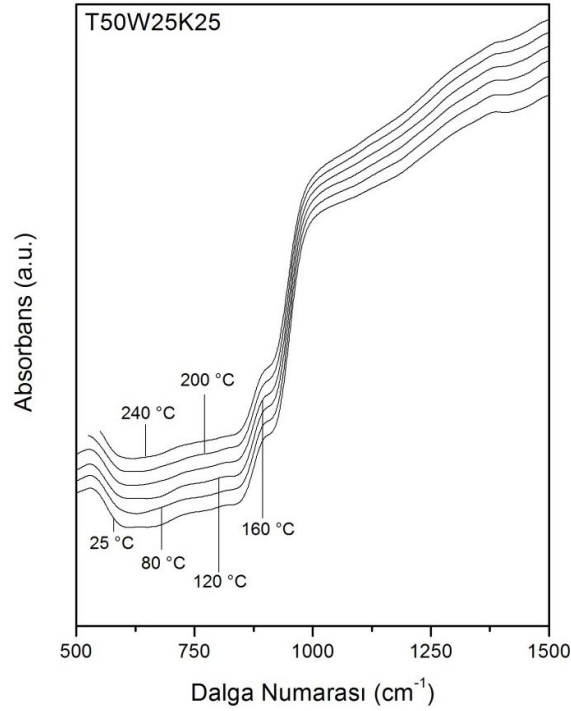
Çizelge 4.166 : T50W25K25 camının sıcaklığa bağlı bant aralığı enerji değerleri.

Numune	Bant Aralığı Enerjisi (eV)					
	25 °C	80 °C	120 °C	160 °C	200 °C	240 °C
T50W25K25	2,75	2,72	2,68	2,64	2,55	2,44



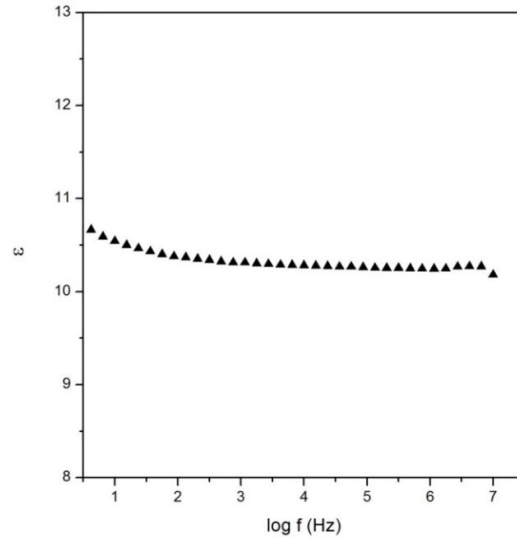
Şekil 4.127 : T50W25K25 camının Tauc denklemine göre $(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$ - foton enerjisi değişimi.

T50W25K25 camının cam geçiş sıcaklığının altındaki altı farklı sıcaklıkta kızılötesi bölgede gerçekleştirilen spektroskopik analizleri sonucu elde edilen soğurma değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.128’de görülmektedir.



Şekil 4.128 : T50W25K25 camının kızılötesi bölgedeki soğurma değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

T50W25K25 camının elektriksel incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.167’de, dielektrik sabiti ölçümü sonuçları ise Şekil 4.129’da verilmiştir.

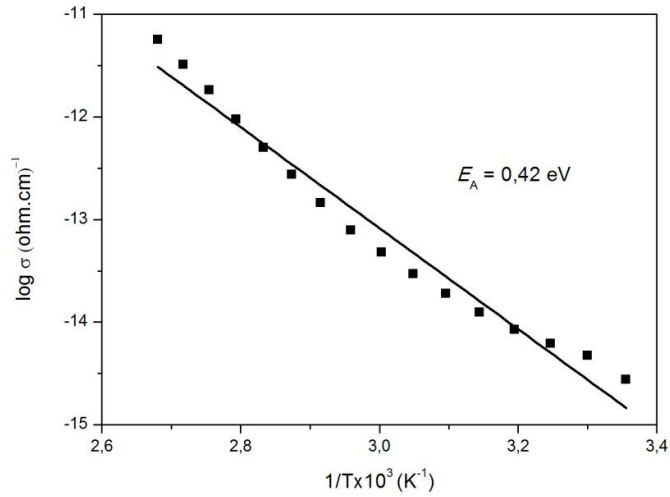


Şekil 4.129 : T50W25N25 camının dielektrik ölçüm sonucu.

Çizelge 4.167 : T50W25K25 camının öz direnç, ρ , iletkenlik, σ ve iletkenlik aktivasyon enerjisi, E_A değerleri.

Numune	ρ 25 °C (ohm.cm)	σ 25 °C (ohm.cm) ⁻¹	ϵ (10 ³ Hz için)	ρ 100 °C (ohm.cm) ⁻¹	σ 100 °C (ohm.cm) ⁻¹	E_A (eV)
T50W25K25	3,64 10 ¹⁴	2,7 10 ⁻¹⁵	10,5	1,78 10 ¹¹	5,6 10 ⁻¹²	0,42

Şekil 4.130’da, T50W25K25 camının iletkenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi ve $\ln \sigma - 1/T$ değişiminin hesaplanmış elektriksel iletkenlik aktivasyon enerjisi değerleri verilmiştir.

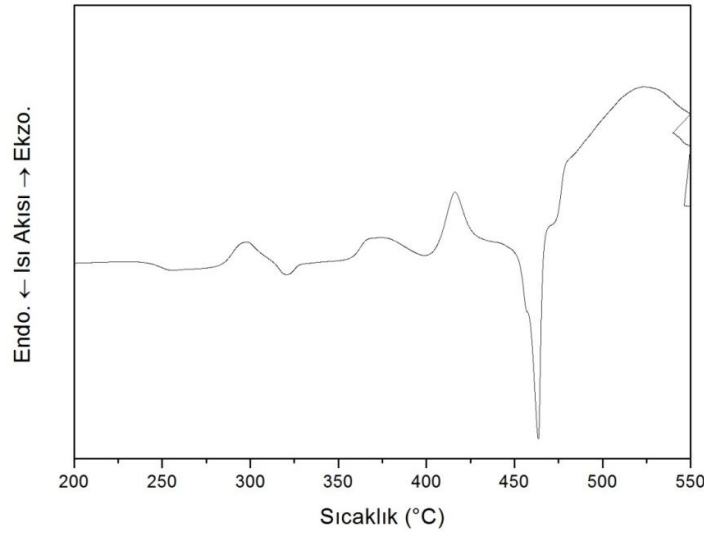


Şekil 4.130 : T50W25K25 camının iletkenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi ve elektriksel iletkenlik aktivasyon enerjisi değerleri.

4.3.12 0,50TeO₂-0,20WO₃-0,30K₂O (T50W20K30) numunesi

T50W20K30 numunesi uygulanan döküm koşullarında açık sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T50W20K30 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

T50W20K30 camının DSC sonuçları Şekil 4.131 ve Çizelge 4.168’de verilmiştir.



Şekil 4.131 : T50W20K30 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.168 : T50W20K30 numunesinin DSC verileri.

T50W20K30	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{c3} / T_{p3}	T_{m01} / T_{mp1}	T_{m02} / T_{mp2}	T_{m03} / T_{mp3}	ΔT
(°C)	241	285/298	358/375	405/416	314/321	453/-	-/464	44

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

T50W20K30 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.169’da verilmiştir.

Çizelge 4.169 : T50W20K30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ	ρ	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b	μ_{cal}
	25 °C	teorik					$\times 10^{21}$	
T50W20K30	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	4,50	4,97	30,03	17,16	63,27	2,31	108,55	0,24

4.3.13 0,50TeO₂-0,10WO₃-0,40K₂O (T50W10L40) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T50W10L40 numunesi uygulanan döküm koşullarında beyaz renkte opak görünümde elde edilmiştir.

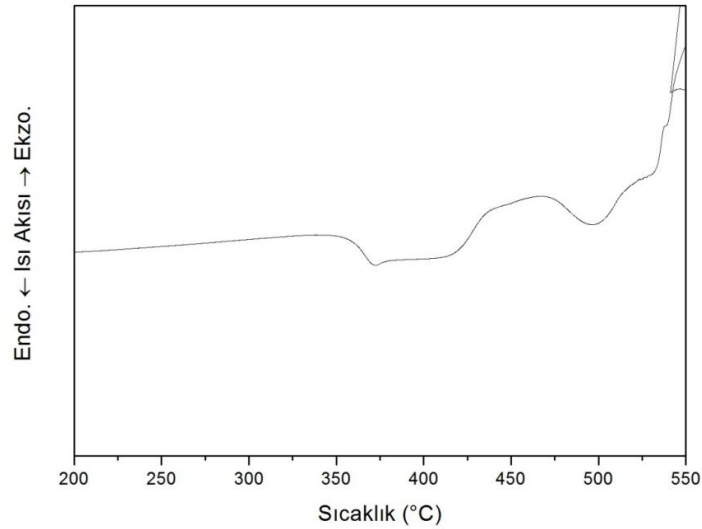
4.3.14 0,40TeO₂-0,50WO₃-0,10K₂O (T40W50K10) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T40W50K10 numunesi uygulanan döküm koşullarında koyu sarı renkte opak görünümde elde edilmiştir.

4.3.15 0,40TeO₂-0,40WO₃-0,20K₂O (T40W40K20) numunesi

T40W40K20 numunesi uygulanan döküm koşullarında sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T40W40K20 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

T40W40K20 camının DSC sonuçları Şekil 4.132’de ve Çizelge 4.170’te verilmiştir.



Şekil 4.132 : T40W40K20 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.170 : T40W40K20 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{m01} / T_{mp1}	ΔT
T40W40K20 (°C)	358	419/-	536/-	-/497	61

- : sıcaklık değeri tespit edilememiştir.

T40W40K20 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri olan molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri Çizelge 4.171’de verilmiştir.

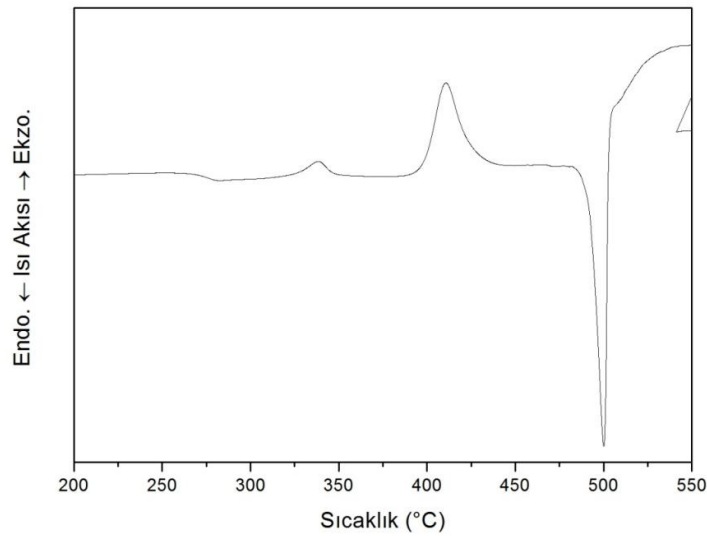
Çizelge 4.171 : T40W40K20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
T40W40K20	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	5,24	5,60	31,01	14,77	70,94	2,67	107,67	0,26

4.3.16 0,40TeO₂-0,30WO₃-0,30K₂O (T40W30K30) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T40W30K30 numunesi uygulanan döküm koşullarında açık sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T40W30K30 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan DSC analizi sonucunda T40W30K30 numunesi için elde edilen termogram Şekil 4.133’te, gözlemlenen cam geçiş, ekzotermik ve endotermik reaksiyonlara ait onset ve pik sıcaklık değerleri Çizelge 4.172’de verilmiştir.



Şekil 4.133 : T40W30K30 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.172 : T40W30K30 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{m01} / T_{mp1}	ΔT
T40W40L20 (°C)	267	325/338	398/411	492/500	58

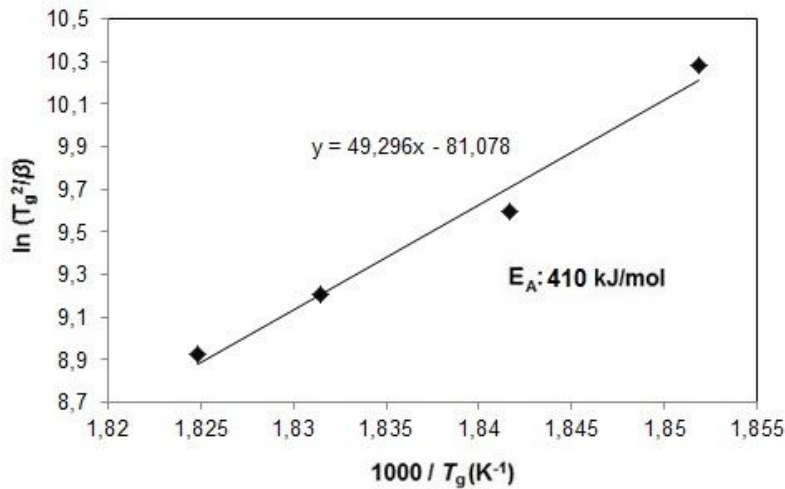
T40W30K30 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.173'te verilmiştir.

Çizelge 4.173 : T40W30K30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C (g cm ⁻³)	ρ teorik (g cm ⁻³)	V_M (cm ³ mol ⁻¹)	V_O (cm ³ mol ⁻¹)	OPD (mol L ⁻¹)	$\bar{n}_c$	n_b x10 ²¹ (cm ⁻³)	μ_{cal}
T40W30K30	4,60	5,12	30,92	16,71	64,69	2,46	110,62	0,24

Non-izotermal kinetik incelemeler sonucu, T40W30K30 numunesine ait elde edilen cam geçiş sıcaklığı, cam geçiş aktivasyon enerjisi, kırılgenlik, C parametresi, viskozite ve viskozite değişim faktörü değerleri Çizelge 4.174'te verilmiştir.

Cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln (T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişimi ve elde edilen cam geçiş aktivasyon enerjisi, E_g , değeri Şekil 4.134'te verilmiştir.



Şekil 4.134 : T40W30K30 camının $\ln (T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

Çizelge 4.174 : T40W30K30 camının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g) ve hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

T40W30K30	T_g (°C)				E_g	m	C	$\log \eta$	e^C
	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40	(kJ mol ⁻¹)	(Pa s)			
	267	270	273	275	410	90,6	8,2	11,17	3505,5

T40W30K30 camının cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.175'te verilmiştir.

Çizelge 4.175 : T40W30K30 camının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam, C_{pg} ve aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

T40W30K30	T_g	T_g'	C_{pg}	C_{pl}	ΔC_p	C_{pl}/C_{pg}
	(°C)	(°C)	(J/mol K)	(J/mol K)	(J/mol K)	
	251	320	69,83	100,06	30,23	1,43

4.3.17 0,40TeO₂-0,20WO₃-0,40K₂O (T40W20K40) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T40W10K50 numunesi uygulanan döküm koşullarında beyaz renkte opak görünümde elde edilmiştir.

4.3.18 0,40TeO₂-0,10WO₃-0,50K₂O (T40W10K50) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T40W10K50 numunesi uygulanan döküm koşullarında beyaz renkte opak görünümde elde edilmiştir.

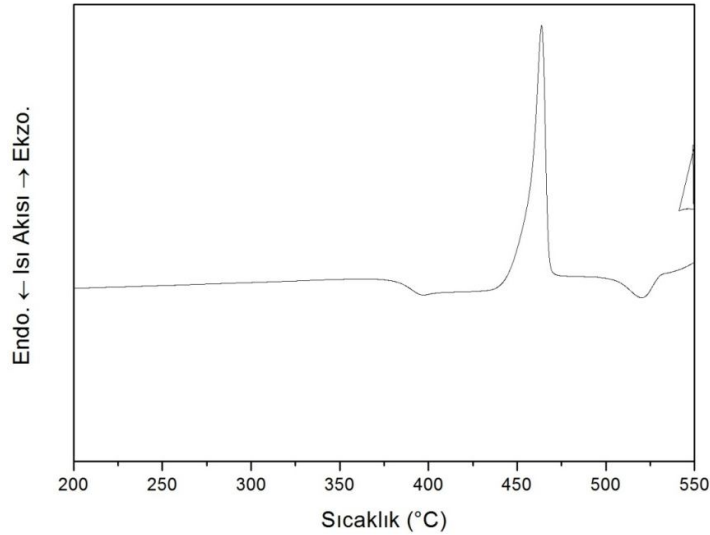
4.3.19 0,30TeO₂-0,60WO₃-0,10K₂O (T30W60K10) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T30W60K10 numunesi uygulanan döküm koşullarında koyu sarı renkte opak görünümde elde edilmiştir.

4.3.20 0,30TeO₂-0,50WO₃-0,20K₂O (T30W50K20) numunesi

T30W50K20 numunesi uygulanan döküm koşullarında açık sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T30W50K20 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

T30W50K20 camının DSC sonuçları Şekil 4.135 ve Çizelge 4.176’da verilmiştir.



Şekil 4.135 : T30W50K20 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.176 : T30W50K20 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	ΔT
T30W50K20 (°C)	382	456/464	506/521	74

T30W50K20 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.177’de verilmiştir.

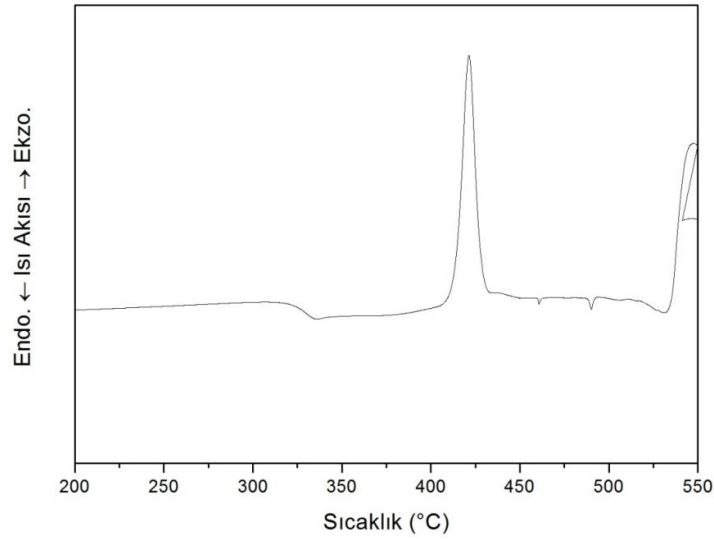
Çizelge 4.177 : T30W50K20 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
T30W50K20	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	5,37	5,75	31,63	14,38	72,71	2,83	109,96	0,26

4.3.21 0,30TeO₂-0,40WO₃-0,30K₂O (T30W40K30) numunesi

T30W40K30 numunesi uygulanan döküm koşullarında açık sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T30W40K30 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

T30W40K30 camının DSC sonuçları Şekil 4.136 ve Çizelge 4.178’de verilmiştir.



Şekil 4.136 : T30W40K30 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.178 : T30W40K30 numunesinin DSC verileri.

T30W40K30 (°C)	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{mo1} / T_{mp1}	T_{mo2} / T_{mp2}	ΔT
	322	414/421	456/461	489/490	92

T30W40K30 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.179’da verilmiştir.

Çizelge 4.179 : T30W40K30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ	ρ	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b	μ_{cal}
	25 °C	teorik					$\times 10^{21}$	
T30W40K30	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
	4,98	5,27	30,03	15,40	69,93	2,62	112,73	0,24

4.3.22 0,30TeO₂-0,35WO₃-0,35K₂O (T30W35K35) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T30W35K35 numunesi uygulanan döküm koşullarında beyaz renkte opak görünümde elde edilmiştir.

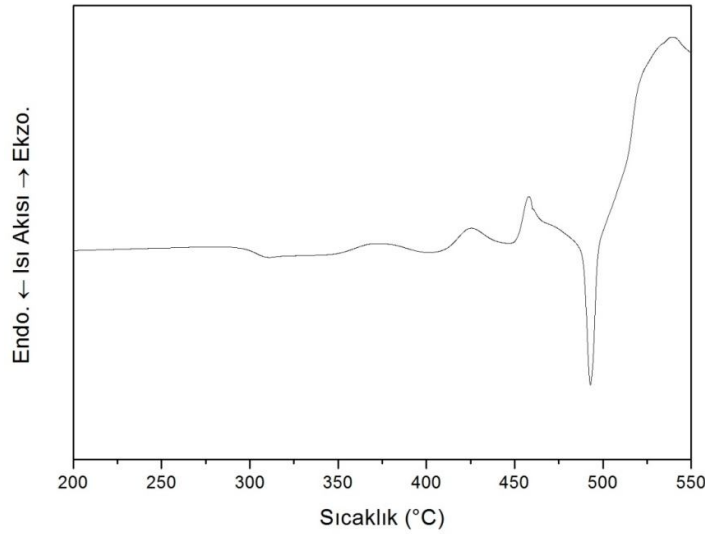
4.3.23 0,20TeO₂-0,60WO₃-0,20K₂O (T20W60K20) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T20W60K20 numunesi uygulanan döküm koşullarında koyu sarı renkte opak görünümde elde edilmiştir.

4.3.24 0,20TeO₂-0,50WO₃-0,30K₂O (T20W50K30) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T20W50K30 numunesi uygulanan döküm koşullarında açık sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T20W50K30 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

T20W50K30 camının DSC sonuçları Şekil 4.137 ve Çizelge 4.180’de verilmiştir.



Şekil 4.137 : T20W50K30 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.180 : T20W50K30 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	T_{c3} / T_{p3}	T_{mo1} / T_{mp1}	ΔT
T20W50K30 (°C)	296	350/372	412/426	451/458	489/493	54

T20W50K30 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.181’de verilmiştir.

Çizelge 4.181 : T20W50K30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
T20W50K30	4,79	5,42	32,76	15,98	67,16	2,77	114,87	0,24

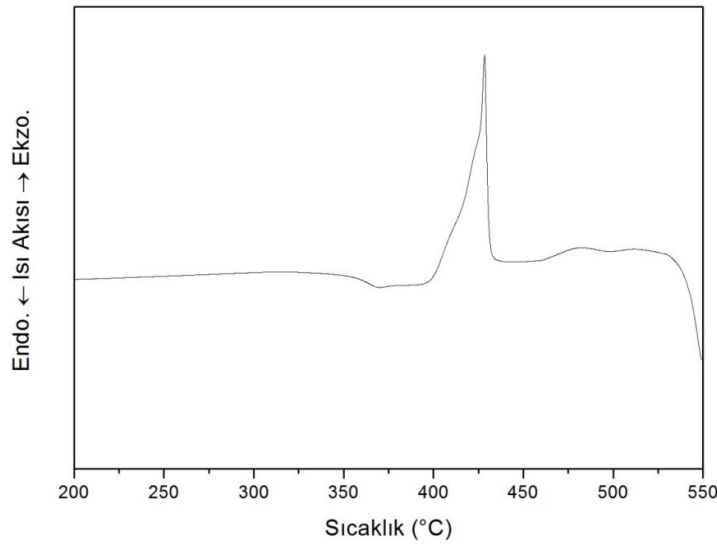
4.3.25 0,20TeO₂-0,40WO₃-0,40K₂O (T20W40K40) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T20W40K40 numunesi uygulanan döküm koşullarında beyaz renkte opak görünümünde elde edilmiştir.

4.3.26 0,10TeO₂-0,60WO₃-0,30K₂O (T10W60K30) numunesi

T10W60K30 numunesi uygulanan döküm koşullarında bacak soluk sarı renkte saydam görünümde elde edilmiş olup; gerçekleştirilen XRD analizi sonucu T10W60K30 numunesinin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.

T10W60K30 camının DSC sonuçları Şekil 4.138 ve Çizelge 4.182’de verilmiştir.



Şekil 4.138 : T10W60K30 numunesinin DSC sonucu.

Çizelge 4.182 : T10W60K30 numunesinin DSC verileri.

	T_g	T_{c1} / T_{p1}	T_{c2} / T_{p2}	ΔT
T10W60K30 (°C)	353	399/428	461/483	46

T10W60K30 numunesinin yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan fiziksel özellikleri Çizelge 4.183'te verilmiştir.

Çizelge 4.183 : T10W60K30 camına ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

	ρ 25 °C	ρ teorik	V_M	V_O	OPD	$\bar{n}_c$	n_b $\times 10^{21}$	μ_{cal}
	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(cm ³ mol ⁻¹)	(cm ³ mol ⁻¹)	(mol L ⁻¹)		(cm ⁻³)	
T10W60K30	5,15	5,57	31,85	14,81	72,21	2,92	117,03	0,25

4.3.27 0,10TeO₂-0,50WO₃-0,40K₂O (T10W50K40) numunesi

750 °C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletildikten sonra su verme işlemine tabi tutulan T10W50K40 numunesi uygulanan döküm koşullarında beyaz renkte opak görünümünde elde edilmiştir.

5. DENEYSEL SONUÇLARIN YORUMLANMASI

5.1 Camlaşma Davranışı ve Cam Özellikleri

Pek çok ileri teknolojik alanda kullanım potansiyeline sahip tellürit camların uygulamaya yönelik geliştirilmesi, bu camların detaylı incelemeleri sonucunda oluşturulacak temel bilgi birikimi ile mümkündür. Bu bölümde, tez çalışması kapsamında çalışılan $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ üçlü oksit sistemleri camlaşma davranışları ve cam özellikleri açısından incelenmiştir.

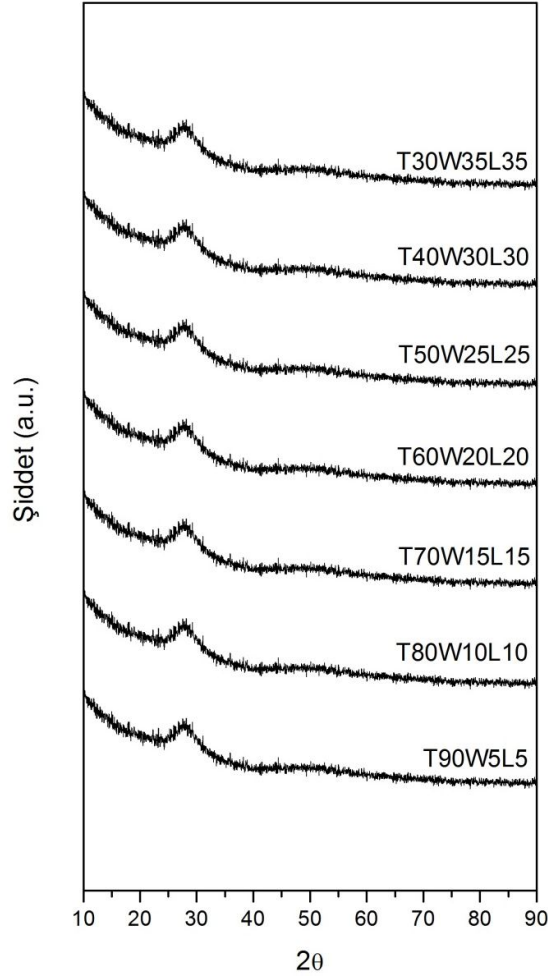
5.1.1 $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ sisteminin camlaşma davranışı ve cam özellikleri

$\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ sisteminin camlaşma davranışını ve cam özelliklerini incelemek amacıyla gerçekleştirilen çalışmalarda, sistemin cam yapma bileşim aralığı tespit edilerek; cam haritası oluşturulmuştur. Sisteme ait cam numunelerin tespiti ve camların ısı, fiziksel, termodinamik, kinetik, yapısal, optik ve elektriksel özelliklerinin incelenmesi XRD, DTA, DSC, FTIR, UV-Vis spektrofotometre, elektriksel iletkenlik ve dielektrik spektrometre cihazları kullanılarak gerçekleştirilmiş ve bileşime bağlı olarak camların özelliklerinde meydana gelen değişimler belirlenmiştir.

5.1.1.1 $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ sisteminin camlaşma davranışı

$\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ sisteminin camlaşma davranışının incelenmesi amacıyla, üçlü sisteme ait 27 farklı bileşimde numune hazırlanmış ve bu numunelerden 14 tanesi döküm sonrası saydam 4 tanesi ise yarı saydam görünümlü olarak elde edilmiştir. Elde edilen saydam görünümlü numuneler azalan TeO_2 ve eşit miktarda artan WO_3 ve Li_2O (artan $\text{WO}_3+\text{Li}_2\text{O}/\text{TeO}_2$) oranına bağlı olarak turuncudan beyaza doğru bir renk değişimi göstermiştir.

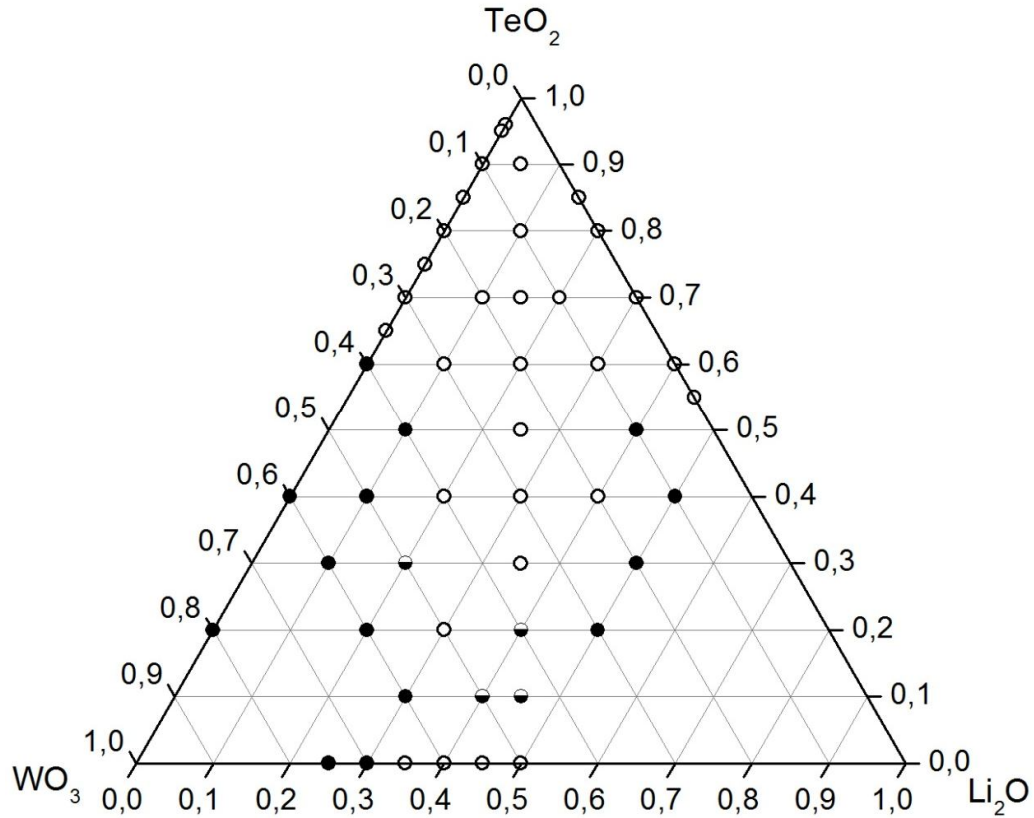
Döküm sonrası saydam görünümde elde edilen $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ numunelerine X-ışınları difraksiyonu incelemeleri uygulanmış ve bu numunelerin amorf yapıda oldukları ispatlanmıştır. Seçilen bileşimler için elde edilen XRD analiz sonuçları Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ sistemine ait seçilmiş cam numunelerin XRD analiz sonucu.

Literatürde daha önce $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ sisteminin camlaşma davranışı hakkında herhangi bir bilgi bulunmayıp; $\text{TeO}_2\text{-WO}_3$, $\text{TeO}_2\text{-Li}_2\text{O}$ ve $\text{WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ ikili sistemlerinin cam yapma aralıkları daha önce çeşitli çalışmalarda incelenmiştir (Çelikkilek ve diğ., 2011; El-Mallawany, 2002; Tatsumisago, 1981, 1982). Tez çalışması kapsamında, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ sisteminin camlaşma davranışını incelemek amacıyla öncelikle üçlü sistemin ikili alt sistemlerinin camlaşma davranışları incelenmiştir. Literatürde, uygulanan farklı soğutma koşulları sonucunda, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3$ sisteminin cam yapma aralığı hakkında elde edilmiş farklı sonuçlar bulunmakta olup (Al-Ani ve diğ., 1985; Blanchandin ve diğ., 1999; Charton ve diğ., 2002; Çelikkilek ve diğ., 2010; Kozhukarov ve diğ., 1978; Shaltout ve diğ., 1994; Yakhind, 1966); sistemin kapsamlı olarak incelendiği ve bu tez çalışması ile benzer soğutma koşullarının uygulandığı çalışmada cam yapma aralığı % 4-35 mol WO_3 olarak tespit

edilmiştir (Çelikkilek ve diğ., 2011). $\text{TeO}_2\text{-Li}_2\text{O}$ ikili sisteminin cam yapma aralığı literatürde Mochida ve diğ. tarafından % 20-46,3 mol Li_2O olarak belirlenmiştir (El-Mallawany, 2002’de atıfta bulunulduğu gibi). Bu tez çalışmasında uygulanan üretim koşulları altında ise $\text{TeO}_2\text{-Li}_2\text{O}$ sisteminin cam yapma bileşim aralığı % 15-45 mol Li_2O olarak tespit edilmiştir. Literatürde $\text{WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ sisteminin camlaşma davranışının incelendiği çalışmalarda, uygulanan farklı yöntemler sonucu elde edilmiş farklı cam yapma aralığı değerleri bulunmaktadır (Tatsumisago ve diğ., 1981, 1982). Bu tez çalışması kapsamında, sistemin cam yapma bileşim aralığı % 50-65 mol WO_3 olarak tespit edilmiştir. İkili alt sistemlerin ve üçlü sistemin incelenmesi sonucunda, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ sisteminin cam yapma bileşim aralığı literatürde ilk kez tespit edilmiş ve sistemin cam haritası Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ sisteminin cam haritası, (○) cam, (◐) kısmi cam, (●) kristalin.

5.1.1.2 $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarının ısı özelliklerinin incelenmesi

$\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ sisteminin cam oluşum bölgesi saptandıktan sonra, elde edilen cam numunelerin ısı özellikleri DTA ve DSC teknikleri kullanılarak incelenmiş ve ısı analiz sonuçlarından yola çıkılarak yapılan hesaplamalar için ölçüm hassasiyeti daha

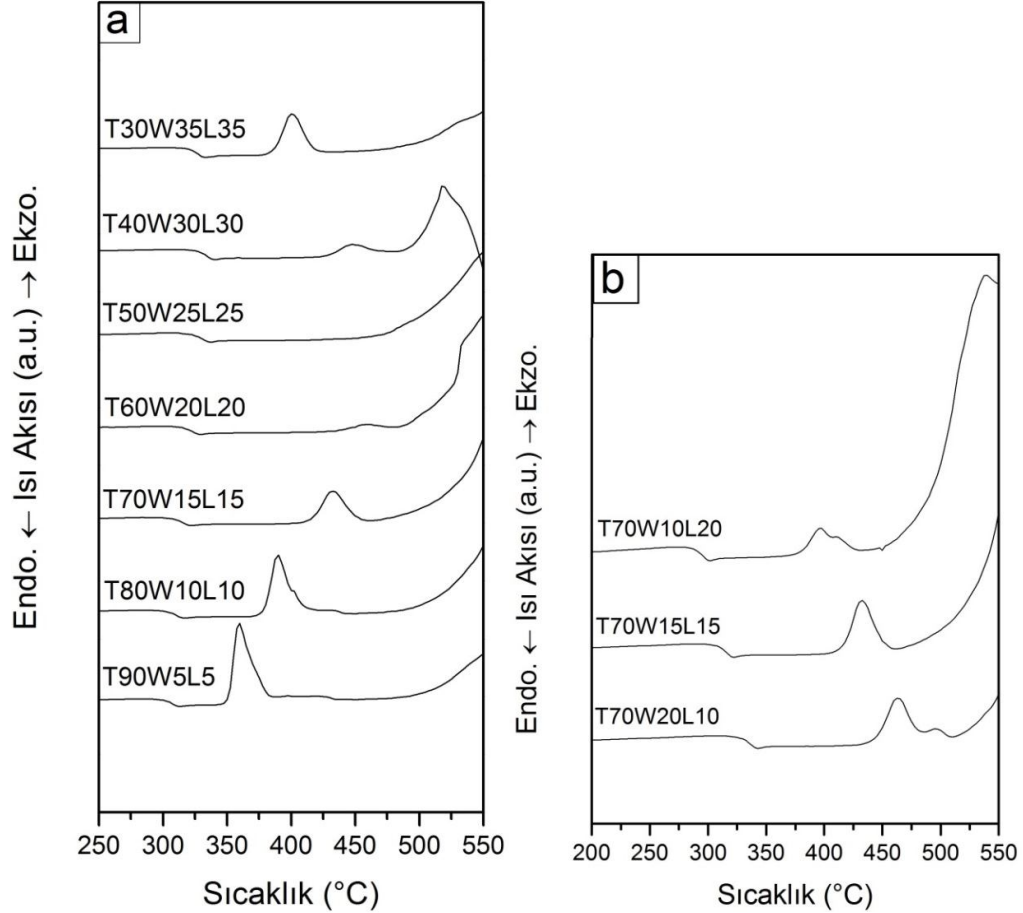
yüksek olan DSC cihazının verileri dikkate alınmıştır. $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ sisteminden elde edilen cam numunelerin cam geçiş onset (T_g), ilk kristalizasyon onset (T_{c1}) sıcaklık ve cam kararlılık (ΔT) değerleri Çizelge 5.1’de verilmektedir. Seçilen bileşimler için azalan TeO_2 ve eşit miktarda artan WO_3 ve Li_2O oranına ve sabit TeO_2 oranında artan Li_2O ve azalan WO_3 oranına bağlı olarak çizilen DSC termogramları sırasıyla Şekil 5.3a ve 5.3b’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ sisteminden elde edilen cam numunelere ait cam geçiş onset (T_g), ilk kristalizasyon onset (T_{c1}) sıcaklık ve cam kararlılık (ΔT) değerleri.

Numune	T_g (°C)	T_{c1} (°C)	ΔT (°C)
T90W5L5	302	352	50
T80W10L10	305	380	75
T70W20L10	329	443	114
T70W15L15	309	417	108
T70W10L20	289	381	92
T60W30L10	350	480	130
T60W20L20	315	437	122
T60W10L30	276	342	66
T50W25L25	323	505	182
T40W40L20	360	456	96
T40W30L30	327	429	102
T40W20L40	282	339	57
T30W35L35	320	387	67
T20W50L30	354	420	66

$\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ sistemine ait tüm cam numuneler için cam geçiş reaksiyonu, T_g , gözlemlenmiş olup; cam geçiş sıcaklığı değerleri 276-360 °C sıcaklıkları arasında değişmektedir. Cam geçiş sıcaklık değerlerinin, artan $\text{WO}_3\text{+Li}_2\text{O/TeO}_2$ miktarına göre arttığı ve T30W35L35 numunesinde ise azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 5.3a). Sabit TeO_2 bileşiminde ise, artan Li_2O ve azalan WO_3 oranı ile cam geçiş sıcaklık değerlerinin azaldığı belirlenmiş ve bu davranış Şekil 5.3b’de % 70 mol TeO_2 içeren bileşimler için gösterilmiştir. Bu durum alkali oksit katkısının tungsten-tellürit camların zincir şeklindeki şebeke yapısını gevşetip bozarak bağlanmamış oksijen bölgeleri oluşturmamasından kaynaklanmaktadır (Heo ve diğ., 1992; Nishida ve diğ., 1988; Zhu ve diğ., 2003). Artan Li_2O ve azalan WO_3 oranına bağlı olarak cam

şebeke yapısında meydana gelen bu değişiklikler, daha önce literatürde farklı tellürit cam sistemler için de belirtildiği gibi, cam yapısında WO_3 'ün şebeke oluşturu ve Li_2O 'nin ise şebeke modifiye edici olarak davrandığını göstermektedir (Çelikkalek ve diğ., 2013; El-Mallawany, 2002; Kosuge ve diğ., 1998; Munoz-Martín ve diğ., 2009).



Şekil 5.3 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarının DSC termogramları a) azalan TeO_2 ve eşit oranda artan WO_3 ve Li_2O oranına göre, b) sabit TeO_2 oranında artan Li_2O ve azalan WO_3 oranına göre.

Camların kristalizasyona karşı direncinin bir ölçütü olan cam kararlılık değeri, $\Delta T = T_c - T_g$, tüm cam bileşimleri için hesaplanmış ve Çizelge 5.1’de verilmiştir. ΔT değerleri 50-182 °C olarak elde edilmiş ve bileşime bağlı olarak düzenli bir değişim göstermemiştir. T50W25L25 camı, 182 °C olan cam kararlılık değeri ile, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ sistemine ait en yüksek cam kararlılık değerine sahip numunedir. El-Mallawany ve Ahmed’in (2008) yaklaşımına göre, camların optik uygulamalarda kullanılabilirlikleri için gerekli minimum cam kararlılık değeri 100 °C olmalıdır. Literatürdeki bu yaklaşım dikkate alındığında, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ sisteminden

seçilecek uygun bileşimdeki camların optik uygulamalarda kullanım için yeterli cam kararlılık değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

5.1.1.3 TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının fiziksel özelliklerinin incelenmesi

TeO₂-WO₃-Li₂O sisteminden elde edilen cam numunelerin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri Çizelge 5.2’de verilmektedir.

Çizelge 5.2 : TeO₂-WO₃-Li₂O sisteminden elde edilen cam numunelere ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

Numune	ρ 25 °C (g cm ⁻³)	ρ teorik (g cm ⁻³)	V_M (cm ³ mol ⁻¹)	V_O (cm ³ mol ⁻¹)	OPD (mol L ⁻¹)	$\bar{n}_c$	n_b (x10 ²¹ cm ⁻³)	μ_{cal}
T90W5L5	5,55	5,56	28,24	14,30	70,82	2,10	91,86	0,28
T80W10L10	5,44	5,45	28,28	14,50	70,72	2,18	97,92	0,27
T70W20L10	5,65	5,60	28,51	13,91	73,66	2,36	101,36	0,27
T70W15L15	5,32	5,34	28,38	14,74	70,47	2,26	103,94	0,27
T70W10L20	5,22	5,09	27,00	15,00	70,37	2,17	111,49	0,26
T60W30L10	5,88	5,75	28,64	13,32	76,81	2,55	105,10	0,27
T60W20L20	5,21	5,24	28,43	14,96	70,39	2,33	110,12	0,26
T60W10L30	4,85	4,72	26,35	15,97	68,31	2,15	123,37	0,26
T50W25L25	5,11	5,13	28,42	15,16	70,37	2,40	116,50	0,26
T40W40L20	5,77	5,53	28,18	13,42	78,08	2,67	119,65	0,27
T40W30L30	4,98	5,02	28,59	15,45	69,97	2,46	122,15	0,26
T40W20L40	4,74	4,51	25,77	16,11	69,84	2,29	140,14	0,25
T30W35L35	4,86	4,91	28,70	15,73	69,69	2,52	127,96	0,25
T20W50L30	5,73	5,32	27,38	13,35	80,37	2,77	136,36	0,26

Döküm sonrası cam olarak elde edilen bileşimlerin oda sıcaklığında ölçülen yoğunluk değerleri, camların hesaplanan teorik yoğunluk değerleri ile uyumlu bulunmuş ve bileşimdeki azalan TeO₂ ve eşit miktarda artan WO₃ ve Li₂O oranına bağlı olarak 5,55 g/cm³’den 4,86 g/cm³’e düşüş göstermiştir. Bunun yanı sıra, sabit TeO₂ bileşiminde düşük yoğunluğa sahip Li₂O’nun artması ve yüksek yoğunluğa sahip WO₃’in azalması ile ölçülen yoğunluk değerleri düşüş göstermektedir. TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının yoğunluk değerlerinin, içerdikleri düşük yoğunluğa sahip

alkali oksit bileşen nedeniyle, diğer tellürit camlara kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir (Wang ve diğ., 1994).

Camların hesaplanan molar hacim değerleri incelendiğinde (Çizelge 5.2), bileşimdeki artan $\text{WO}_3+\text{Li}_2\text{O}/\text{TeO}_2$ oranına ve sabit TeO_2 bileşiminde, artan WO_3 ve azalan Li_2O oranı ile V_M değerlerinde bir artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Camların molar hacminde gözlemlenen bu artış, artan WO_3 oranı ile daha büyük iyonik yarıçapa sahip oksijen iyonlarının (O^{2-} : 0,14nm, Te^{4+} :0,116nm, W^{6+} : 0,065nm, Li^+ :0,068nm) yapıdaki sayısının artması ile hacimde meydana gelen büyümeden kaynaklanmaktadır (Muñoz-Martín ve diğ., 2009). Buna göre, molar hacimde meydana gelen artışın cam yapısındaki boşluk hacmini arttırarak yapıyı daha gevşek hale getirdiği belirlenmiştir.

$\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarının oksijen molar hacimleri, bileşimdeki azalan TeO_2 ve eşit miktarda artan WO_3 ve Li_2O oranına ve sabit TeO_2 bileşiminde azalan WO_3 ve artan Li_2O oranına bağlı olarak, cam yapısının daha az yoğun hale gelmesi sonucu, artış göstermektedir. Yüksek alan şiddetine sahip olan W^{6+} iyonlarının (Te^{4+} : 0,71, W^{6+} : 1,47, Li^+ : 0,23) bileşimdeki azalışı ile yapı daha az sıkı paketlenir hale gelmekte böylece yoğunluğu azalan yapının oksijen molar hacim değeri azalmaktadır (Ersundu ve diğ., 2012; Muñoz-Martín ve diğ., 2009).

$\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarının oksijen paketlenme yoğunluğu değerleri, bileşimdeki artan $\text{WO}_3+\text{Li}_2\text{O}/\text{TeO}_2$ oranına bağlı olarak 70,82 mol/L'den 70,12 mol/L'ye düşüş göstermiştir (Çizelge 5.2). Sabit TeO_2 bileşiminde ise, WO_3 'ün 1/3 oranında daha az oksijen atomuna sahip Li_2O ile yer değiştirmesi sonucu, OPD değerlerinin azalışı gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum yapıdaki WO_3 miktarının azalması sonucu cam yapıdaki bağ sayının azalması ve yapının daha az sıkı paketlenmesinden kaynaklanmaktadır.

$\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarının ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu değerleri, $\bar{n}_c$, bileşimdeki azalan TeO_2 ve eşit miktarda artan WO_3 ve Li_2O oranına bağlı olarak 2,10'dan 2,52'ye artış göstermiş olup; bu durum yapıdaki Te-O-Te bağlarının modifiye olarak Te atomunun koordinasyon sayısının 4'ten 3'e azalmasından kaynaklanmaktadır. Artan ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ile cam yapının bağlanabilirliği artmaktadır (El-Mallawany ve diğ., 2010; El-Mallawany ve Ahmed, 2008; Hager ve El-Mallawany, 2010). Artan $\text{WO}_3+\text{Li}_2\text{O}/\text{TeO}_2$ oranı ile ise, cam

yapıdaki bağlanmamış oksijen bölgelerinin artışına bağlı olarak ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu değerleri azalmıştır.

TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının hesaplanan birim hacimdeki bağ sayısı, n_b , değerleri, bileşimdeki azalan TeO₂ ve eşit miktarda artan WO₃ ve Li₂O oranı ve sabit TeO₂ bileşiminde azalan WO₃ ve artan Li₂O oranı ile, cam yapısındaki katyon sayının artışına bağlı olarak, artış göstermektedir. Yapıda azalan TeO₂ ve artan Li₂O oranı ile birim hacimdeki bağ sayısında meydana gelen artış, camların sert karakter gösterme eğiliminin de bir göstegesidir (El-Mallawany ve diğ., 2010; El-Mallawany ve Ahmed, 2008; Hager ve El-Mallawany, 2010).

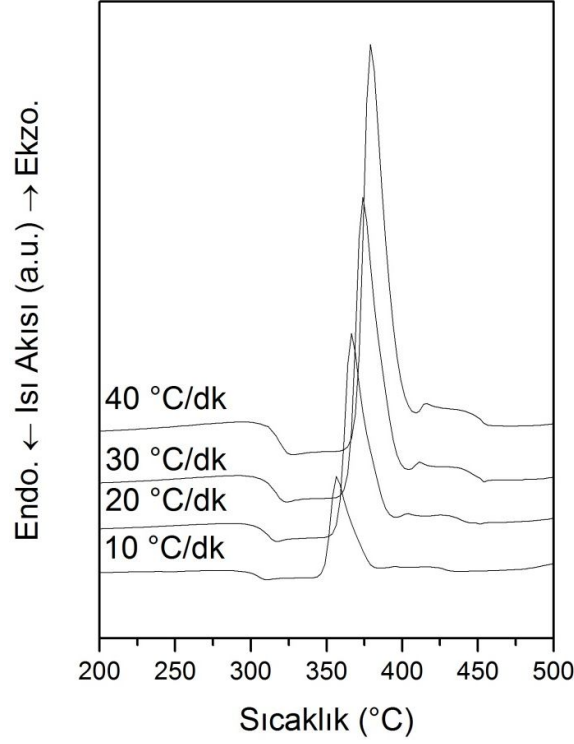
TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının Poisson oranı (μ_{cal}), bileşimdeki artan WO₃+Li₂O/TeO₂ oranına ve sabit TeO₂ bileşiminde azalan WO₃ ve artan Li₂O oranına bağlı olarak, artan çapraz bağlanma yoğunluğu nedeniyle, azalış göstermektedir. Poisson oranında meydana gelen bu azalış, yapıda azalan TeO₂ ve artan Li₂O oranının cam yapısının bağlanabilirliğini ve sertliğini arttırdığını ifade etmektedir (El-Mallawany ve diğ., 2010).

5.1.1.4 TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının kinetik incelenmesi

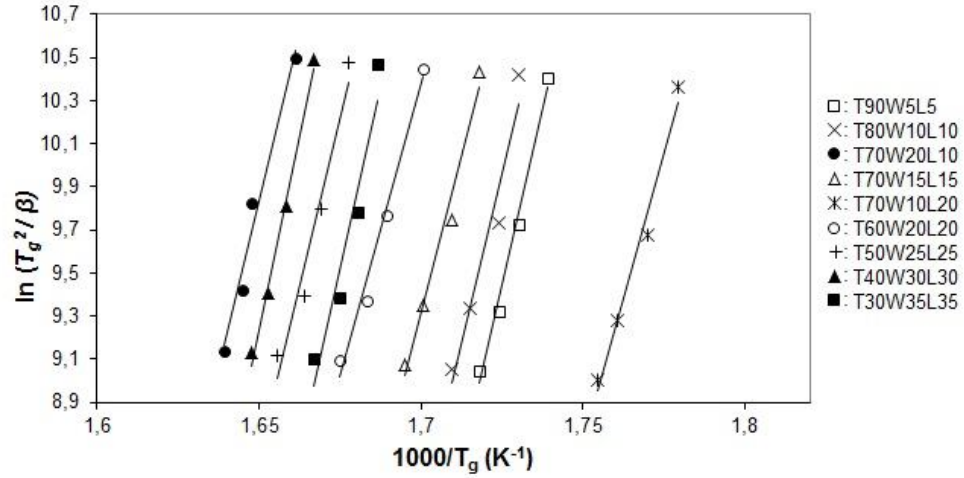
TeO₂-WO₃-Li₂O sisteminden elde edilen cam numunelerin cam geçiş aktivasyon enerjisi değerlerini hesaplamak amacıyla non-izotermal kinetik incelemeler gerçekleştirilmiştir. Örnek olarak seçilen T90W5L5 camının farklı ısıtma hızlarında (10, 20, 30, 40 °C/dk) gerçekleştirilen DSC analizleri sonucu elde edilen termogram Şekil 5.4'te verilmiştir. Uygulanan farklı ısıtma hızlarındaki ısıl analizler sonucu elde edilen cam geçiş sıcaklığı değerleri Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Şekil 5.4 ve Çizelge 5.3'ten görüleceği gibi, artan ısıtma hızı ile cam geçiş ve kristalizasyon sıcaklıkları daha yüksek sıcaklıklara ötelenmiş, kristalizasyon reaksiyonlarını temsil eden ekzotermik piklerin şiddeti artmıştır.

Cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln (T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişiminden (Şekil 5.5) hesaplanmış olan cam geçiş aktivasyon enerjisi, E_g , değerlerinin, değişen bileşime bağlı olarak, 444-597 kJ/mol aralığında değiştiği belirlenmiştir (Çizelge 5.3).



Şekil 5.4 : T90W5L5 camının farklı ısıtma hızlarında gerçekleştirilmiş DSC analizi sonucu.



Şekil 5.5 : TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

Cam geçiş aktivasyon enerjisi değerlerinin, sabit TeO₂ bileşiminde artan Li₂O ve azalan WO₃ oranı ile düşüş gösterdiği belirlenmiştir. Cam kompozisyonunda azalan WO₃ oranına karşılık artan Li₂O oranına bağlı olarak cam geçiş aktivasyon enerjisinde meydana gelen azalma koordinasyon sayısının 1/6 oranında azalmasından kaynaklanmaktadır.

TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının hesaplanan cam geçiş aktivasyon değerlerinden yola çıkarak, camlara ait kinetik özellikler olan kırılgenlik, *C* parametresi, viskozite ve viskozite değişim faktörü değerleri hesaplanmış ve elde edilen değerler Çizelge 5.3'te verilmiştir.

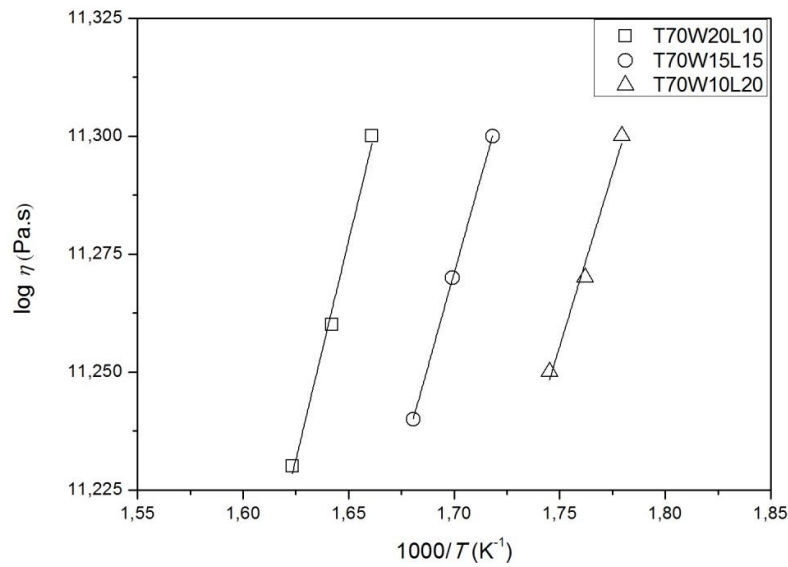
Camların sert-kırılgen karakterinin tespit edilmesinde kullanılan kırılgenlik, *m*, değerlerinin 91,5 ile 118,9 arasında değiştiği belirlenmiş olup; literatür değerleri ile karşılaştırıldığında TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının genel olarak sert-kırılgen karakter arasında bir özellik gösterdiği tespit edilmiştir (Zhu ve diğ., 2003). Sabit TeO₂ bileşiminde artan Li₂O ve azalan WO₃ oranına bağlı olarak kırılgenlik değerleri azalış göstermiş olup; TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının artan Li₂O ve azalan WO₃ oranı ile sert karakter gösterme eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Buna göre, TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının viskozite ve ısı kapasitesi değerlerinin artan Li₂O/WO₃ oranı ile cam geçiş bölgesinde küçük bir değişiklik göstermesi beklenmektedir (Brüning ve Sorton, 1996; Ersundu ve diğ., 2012; Voivod, 2001).

Çizelge 5.3 : TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (*T_g*), hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (*E_g*), kırılgenlik (*m*), *C* parametresi (*C*), viskozite (*log η*) ve viskozite azalma faktörü (*e^C*) değerleri.

Numune	T_g (°C)				E_g (kJ mol ⁻¹)	m	C	$\log \eta$ (Pa s)	e^C
	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40					
T90W5L5	302	305	307	309	548	113,9	2,2	11,27	8,6
T80W10L10	305	307	310	312	520	107,6	2,0	11,27	7,5
T70W20L10	329	333	335	336	521	114,9	2,4	11,26	10,7
T70W15L15	309	312	315	317	476	108,4	2,1	11,27	8,6
T70W10L20	289	292	295	297	444	94,3	1,8	11,27	6,2
T60W20L20	315	319	321	324	451	91,5	2,1	11,27	8,5
T50W25L25	323	326	328	331	514	103,1	2,4	11,26	10,8
T40W30L30	327	330	332	334	597	118,9	2,5	11,26	12,7
T30W35L35	320	322	324	327	561	113,2	2,4	11,26	11,5

Sıcaklığa bağlı olarak cam geçiş bölgesi genişliği ve aktivasyon enerjisi arasındaki ilişkiyi veren ve *C* ile gösterilen parametre, TeO₂-WO₃-Li₂O camları için hesaplanmış ve elde edilen değerler Çizelge 5.3'te verilmiştir. Literatürde Moynihan (1993) tarafından inorganik camlar için ortalama 4,8 olarak hesaplanan *C* parametresi, TeO₂-WO₃-Li₂O camları için 1,8-2,5 aralığında tespit edilmiştir.

TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının cam geçiş onsets ve cam geçiş sonlanma sıcaklıkları arasındaki bir sıcaklık için (ortalama cam geçiş sıcaklık değeri) hesaplanan viskozite, η , değeri yaklaşık 11,27 Pa.s olarak tespit edilmiştir. Literatürde Moynihan (1993) tarafından çeşitli cam sistemler için hesaplanan viskozite değeri 11,3 Pa.s olduğu görülmektedir. Cam geçiş bölgesi genişliği boyunca viskozitenin sıcaklığa bağlı değişimi ($\log \eta - 1/T$) seçilen farklı bileşimler için Şekil 5.6’da verilmiştir. TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının viskoziteleri değişen sıcaklıkla lineer bir artış göstermiş olup; Angell’in (1991) yaklaşımına göre bu özellik sıvıların sert yapıda olduğunun bir göstergesidir.



Şekil 5.6 : TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının $\log \eta - 1/T$ değişimi.

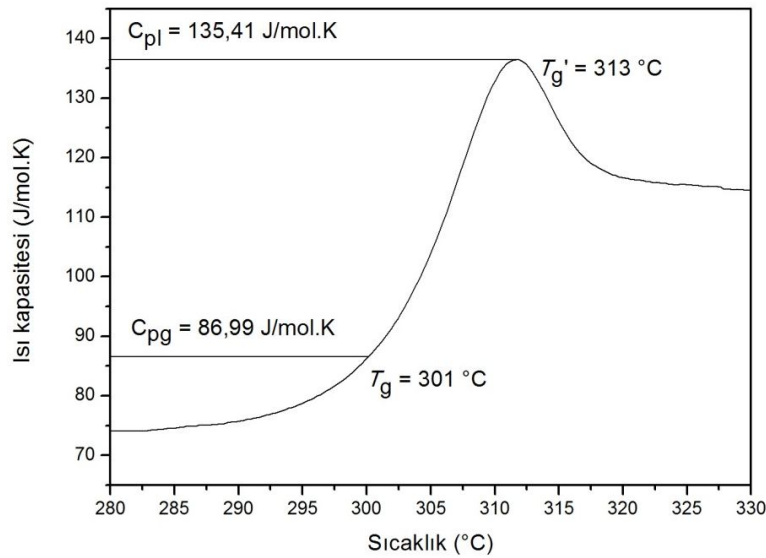
TeO₂-WO₃-Li₂O camları için hesaplanmış olan viskozite azalma faktörü, e^C , değeri (Çizelge 5.3), literatürde Moynihan (1993) tarafından pek çok inorganik cam sistem için hesaplanmış değerlerden daha düşük değerlerde tespit edilmiştir. Cam geçiş bölgesi genişliği boyunca TeO₂-WO₃-Li₂O camları için 6,2-12,7 olarak hesaplanan e^C değeri, bu camların viskozitelerinin cam geçiş bölgesi boyunca sıcaklıktan az etkilendiğini göstermektedir.

Cam geçiş aktivasyon enerjisi değerlerinden yola çıkarak gerçekleştirilen kırılgenlik hesaplamaları sonucu sert ve kırılgen arası bir karakter gösterdiği ve artan Li₂O oranı ile sert özellik gösterme eğiliminde olduğu tespit edilen TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının C parametresi, viskozite ve viskozite azalma faktörü değeri bu camların cam

geçiş bölgesi boyunca akışkanlık özelliklerinin az miktarda değiştiğini göstermektedir.

5.1.1.5 TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının ısı kapasitesi ölçümleri

TeO₂-WO₃-Li₂O sisteminden elde edilen cam numunelerin cam geçiş bölgesinde ısı kapasitesi incelemeleri gerçekleştirilmiş olup; seçilen T90W5L5 bileşimi için elde edilen ısı kapasitesi değişimi Şekil 5.7’de verilmiştir. İncelenen sıcaklık aralığında numunenin cam halden aşırı soğutulmuş sıvı haline geçişi ısı kapasitesinde bir değişikliğe yol açmış ve bu durum tüm numunelerde benzer şekilde gözlemlenmiştir.



Şekil 5.7 : T90W5L5 camının ısı kapasitesi analizi.

Cam geçiş onset sıcaklığı T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı T_g' ile gösterilmiş olup; cam geçiş bölgesi genişliği, $\Delta T_g = T_g' - T_g$ şeklinde tanımlanmıştır. Cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemelerinde seçilen numunelerin cam haldeki ısı kapasitesi, C_{pg} , aşırı soğutulmuş sıvı haldeki ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pg}/C_{pl} , değerleri belirlenmiş ve elde edilen değerler Çizelge 5.4'te verilmiştir.

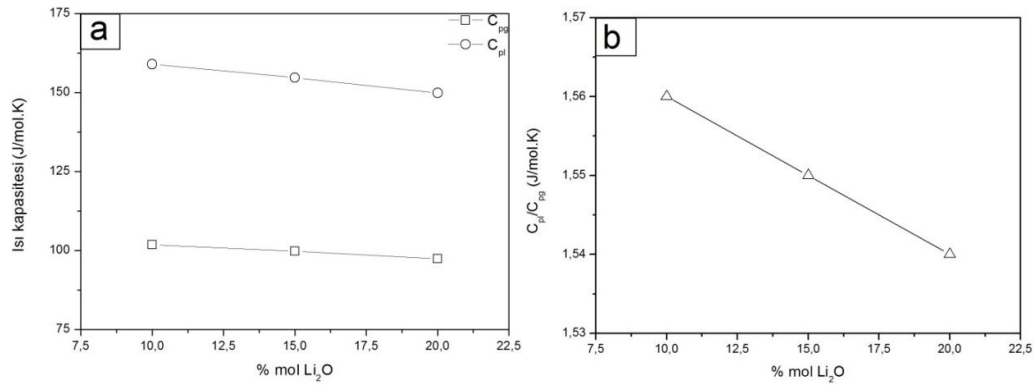
Isı kapasitesi analizleri öncesi, iç gerilmelerin giderilmesi amacıyla, ısı geçişleri silinen camların ısı kapasitesi analizleri esnasında ölçülen T_g değerleri, döküm sonrası elde edilen numunelerin ısı analizleri ile tespit edilen T_g değerlerinden farklılıklar göstermektedir. T_g ve T_g' değerleri, sabit TeO₂ bileşiminde artan Li₂O ve azalan WO₃ oranına bağlı olarak azalış göstermiştir. Isı kapasitesi değişimi ve

oransal ısı kapasitesi değerleri, kırılgenlik değerleri ile benzer şekilde, sabit TeO_2 bileşiminde artan Li_2O ve azalan WO_3 oranına bağlı olarak azalış göstermiştir.

Çizelge 5.4 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam ısı kapasitesi, C_{pg} , aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

Numune	T_g (°C)	T_g' (°C)	ΔT_g (°C)	C_{pg} (J/mol K)	C_{pl} (J/mol K)	ΔC_p (J/mol K)	C_{pl}/C_{pg}
T90W5L5	300	313	13	86,99	135,41	48,48	1,56
T80W10L10	304	316	12	97,85	155,70	57,85	1,59
T70W20L10	330	343	13	101,80	158,98	57,18	1,56
T70W15L15	309	322	13	99,80	154,75	54,96	1,55
T70W10L20	289	302	13	97,35	149,90	52,55	1,54
T60W20L20	316	329	13	94,34	154,02	59,68	1,63
T50W25L25	324	337	13	103,26	170,06	66,81	1,65
T40W30L30	328	340	12	101,64	169,40	67,76	1,67
T30W35L35	321	333	12	104,05	170,58	66,53	1,64

$\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarının hesaplanan C_{pg} , C_{pl} ve C_{pl}/C_{pg} değerlerinin sabit TeO_2 oranında (%70 mol) artan Li_2O oranına göre değişimi Şekil 5.8a ve 5.8b'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8 : Sabit TeO_2 oranında (%70 mol) $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarının değişen Li_2O oranına göre a) C_{pg} ve C_{pl} ve b) C_{pl}/C_{pg} değişimi.

Artan Li_2O oranı ile ΔC_p (Şekil 5.8a) ve C_{pl}/C_{pg} (Şekil 5.8b) değerlerinin azaldığı, bileşimde artan % mol Li_2O miktarının $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarının ısı kapasitesi değerlerinin sıcaklıktan etkilenme oranını azalttığı görülmektedir. Literatürde oransal ısı kapasitesi değerlerindeki değişimin TeO_4 tbp birimlerinin $\text{TeO}_3/\text{TeO}_{3+1}$

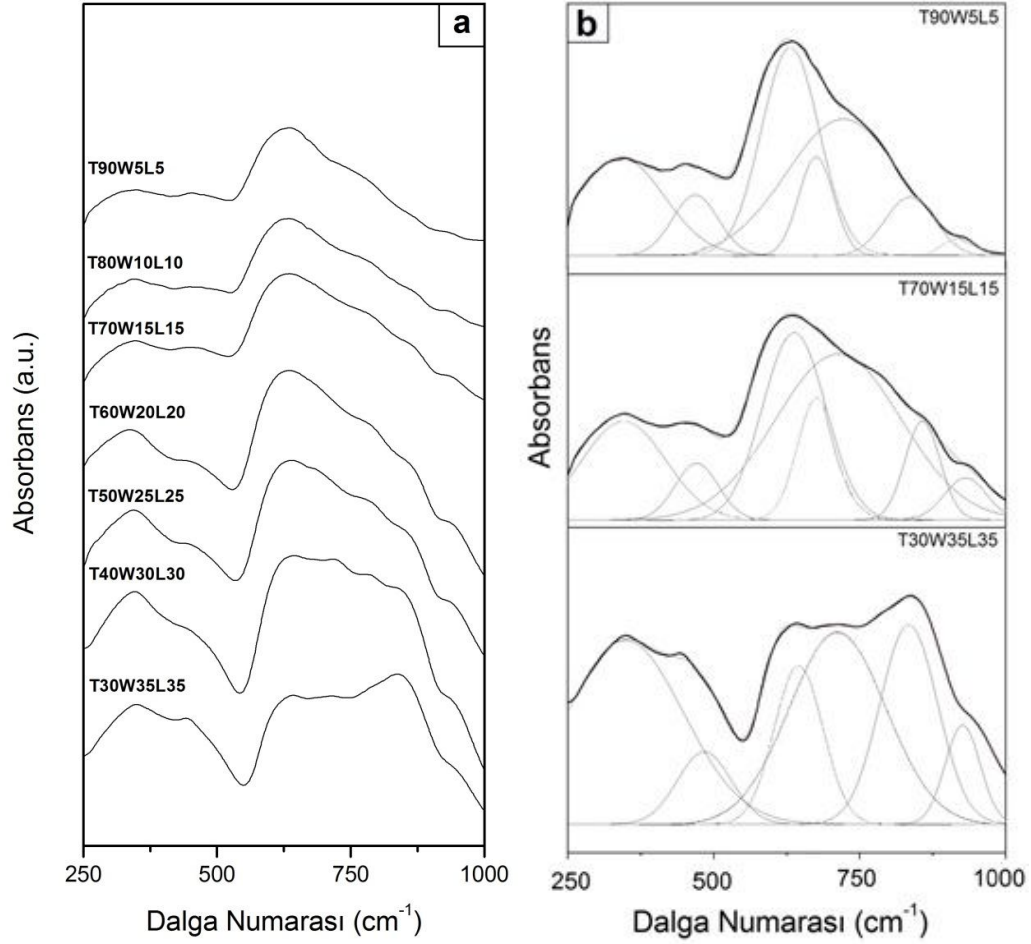
birimlerine dönüşümü sonucu oluşan bağlanmamış oksijen bölgelerinden kaynaklandığı belirtilmiştir (Upender ve diğ., 2010b). Buna göre artan Li_2O oranı ile ısı kapasitesi değerlerinde meydana gelen azalış, Li_2O katkısının bağlanmamış oksijen bölgeleri oluşturarak tungsten-tellürit camların zincir şeklindeki şebeke yapısını gevşetip bozduğunu göstermektedir.

Angell'in (1991) yaklaşımına göre, oransal ısı kapasitesi değerleri camların kırılgenlikleri hakkında termodinamik açıdan bilgi vermekte ve kırılgenlik özelliklerinin belirlenmesinde oransal ısı kapasitesi değerlerinin kesin bir sınırı bulunmamaktadır. Yapılan deneylerde 1,1'in altında C_{pl}/C_{pg} değerine sahip olan sıvıların sert, 1,1'in üzerinde değere sahip olan sıvıların ise kırılgen karakter gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, kovalent bağlarından ötürü sert sıvıların cam geçiş bölgesindeki ısı kapasitesi değişimlerinin daha az olduğu belirtilmiştir (Angell, 1991; Upender, 2010b). TeO_2 - WO_3 - Li_2O camlarında, sabit TeO_2 bileşiminde artan Li_2O ve azalan WO_3 oranına bağlı olarak azalış göstermekte olan oransal ısı kapasitesi değerleri, Angell'in (1991) yaklaşımına göre, artan Li_2O ve azalan WO_3 oranının tellürit cam yapısını daha sert hale getirdiğini ve camların ısı kapasitesi değişimini azalttığını göstermektedir.

5.1.1.6 TeO_2 - WO_3 - Li_2O camlarının yapısal incelenmesi

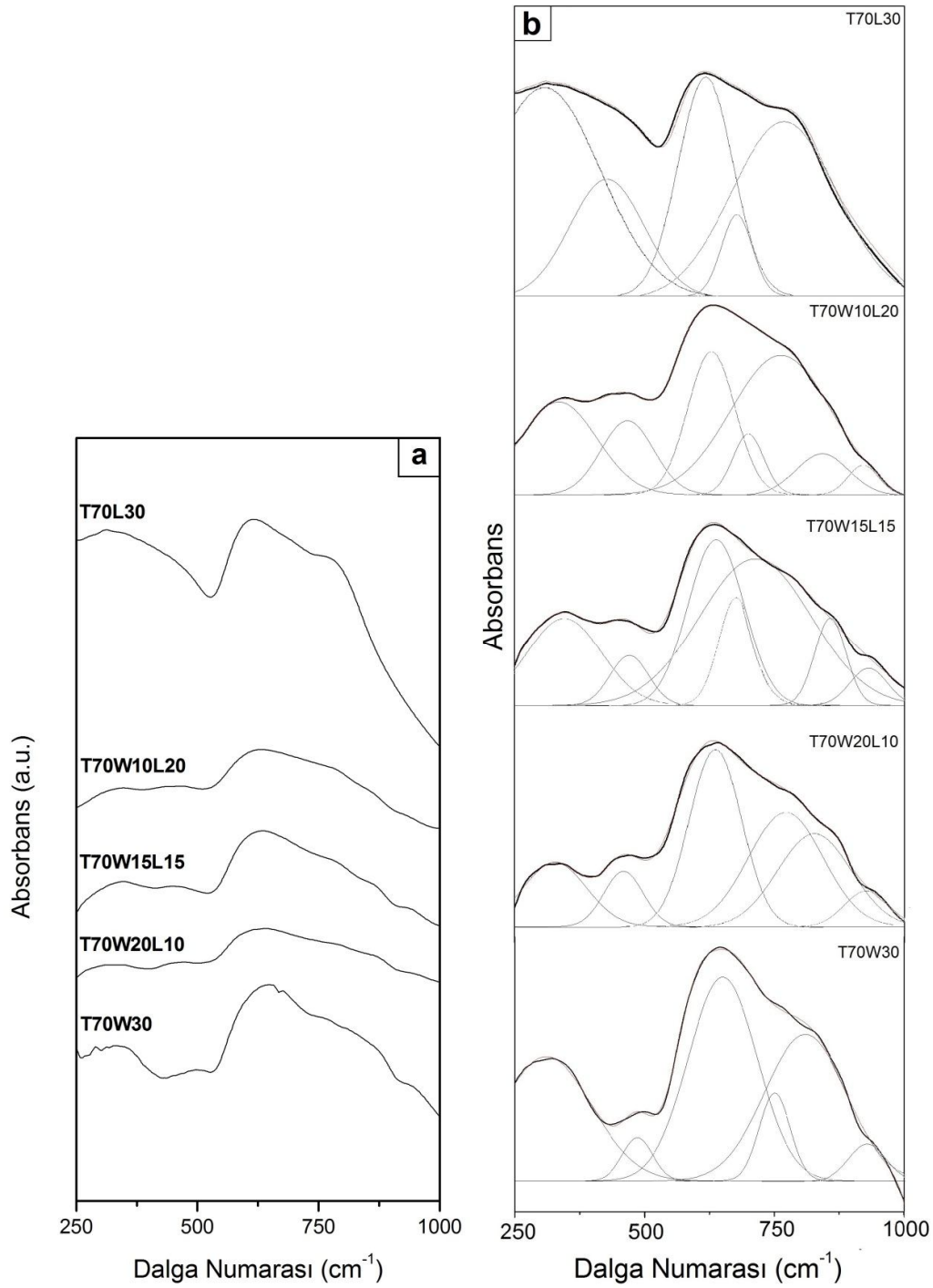
TeO_2 - WO_3 - Li_2O camlarının yapısal incelenmesi FTIR spektroskopisi yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş olup; seçilen bileşimlerin azalan TeO_2 ve eşit oranda artan WO_3 ve Li_2O miktarına ve sabit TeO_2 bileşiminde artan Li_2O ve azalan WO_3 oranına bağlı olarak gerçekleştirilen FTIR analiz sonuçları sırasıyla Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da verilmiştir.

Elde edilen spektrumlarda gözlemlenen titreşim modları, literatürde farklı tellüroksit esaslı sistemler için belirlenen FTIR spektrumları ve kullanılan hammaddelerin FTIR spektrumları incelenerek tespit edilmiş ve Çizelge 5.5'te verilmiştir (Ersundu ve diğ., 2011, 2012; Kosuge ve diğ., 1998; Sekiya ve diğ., 1994; Tatsumisago ve diğ., 1994; Upender ve diğ., 2009). Camların FTIR spektrumları geniş pikler göstermiş olup; piklerde gözlemlenen genişleme cam yapısındaki düzensizlikten kaynaklanmaktadır. FTIR analiz sonuçlarına göre, azalan TeO_2 ve sabit TeO_2 oranında değişen Li_2O ve WO_3 oranına bağlı olarak, elde edilen piklerde ötelenmeler ve şiddetlerinde değişiklikler görülmektedir.



Şekil 5.9 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarının azalan $\text{TeO}_2/\text{WO}_3+\text{Li}_2\text{O}$ oranına göre a) FTIR spektrumları, b) ayrılmış (deconvoluted) FTIR spektrumları.

FTIR spektrumlarında $319\text{-}347\text{ cm}^{-1}$ dalga numaralarında gözlemlenen piklerin WO_6 yapısındaki W-O-W bağlarının titreşimine ait olduğu, $440\text{-}488\text{ cm}^{-1}$ dalga numaralarında gözlemlenen piklerin ise Te-O-W veya Te-O-Te bağlarının titreşimlerinden kaynaklandığı belirlenmiştir. $609\text{-}642\text{ cm}^{-1}$ 'de ve $680\text{-}725\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlemlenen absorpsiyon piklerinin TeO_4 tbp birimlerinin titreşimlerinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. $711\text{-}778\text{ cm}^{-1}$ 'de TeO_3 tp/ TeO_{3+1} birimlerinin titreşimine ait pikler gözlemlenmiştir. $838\text{-}862\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlemlenen piklerin WO_4 veya WO_6 birimlerindeki W-O-W bağlarının titreşimine ve $927\text{-}933\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlemlenen piklerin WO_4 veya WO_6 yapısındaki W-O^- ve W=O bağlarının titreşimine ait olduğu düşünülmektedir. Çalışılan dalga numarası aralığında Li^{2+} iyonlarının titreşim bandı oluşturmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.10 : TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının artan Li₂O ve azalan WO₃ oranına göre a) FTIR spektrumları, b) ayrılmış (deconvoluted) FTIR spektrumları.

Şekil 5.9'da görüldüğü gibi, TeO₂'nin azalan ve WO₃ ve Li₂O'nun eşit oranda artan oranına bağlı olarak FTIR pik şiddetleri ve pozisyonları değişiklik göstermiştir. Artan WO₃ ve Li₂O oranı ile WO₆ yapısındaki W-O-W bağlarına ait piklerin ve Te-O-Te ya da Te-O-W bağlarına ait piklerin şiddetleri artmış ve pikler yüksek

frekanslara doğru ötelenmiştir. Ayrıca TeO_4 yapısındaki Te-O bağlarına ait piklerin şiddeti azalmış ve TeO_3 tp/ TeO_{3+1} piklerinin şiddeti artmıştır. Bu durum, artan WO_3 ve Li_2O oranının zincir şeklindeki şebeke yapısının gevşeyip bozularak bağlanmamış oksijen bölgeleri oluşmasına neden olduğunu, böylece TeO_4 yapısından TeO_3 yapısına dönüşen birimlerin arttığını ve cam yapısının bağlanabilirliğinin arttığını göstermektedir. Gözlemlenen bu pikler haricinde, T90W5L5, T80W10L10 ve T70W15L15 camlarında $640\text{-}648\text{ cm}^{-1}$ 'de TeO_4 yapısına ait bir pik daha tespit edilmiştir. Bu pik diğer camlarda TeO_4 tbp ve TeO_3 tp/ TeO_{3+1} piklerin geniş karakterinden dolayı gözlemlenememektedir. Azalan $\text{TeO}_2/\text{Li}_2\text{O}+\text{WO}_3$ oranı ile WO_4 ya da WO_6 birimlerine ait W-O-W , W-O^- ve W=O bağlarına ait pikler yüksek dalga numaralarına ötelenmiş ve şiddetleri artmıştır. Bu durum cam yapısında W-O bağlarının arttığını göstermektedir.

Çizelge 5.5 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarının FTIR analizleri sonucu belirlenen titreşim modları.

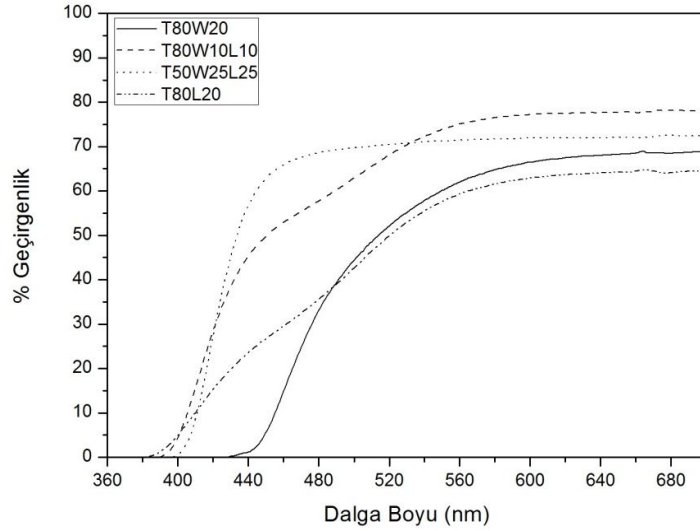
Dalga numarası (cm^{-1})	Titreşim modu
319-347	WO_6 yapısındaki W-O-W bağlarının titreşimi
440-488	Te-O-W veya Te-O-Te bağlarının titreşimi
609-642	TeO_4 tbp birimlerinin titreşimi
640-707	TeO_4 tbp birimlerinin titreşimi
711-778	TeO_3 tp/ TeO_{3+1} birimlerinin titreşimi
838-862	WO_4 veya WO_6 yapısındaki W-O-W bağlarının titreşimi
927-933	WO_4 veya WO_6 yapısındaki W-O^- ve W=O bağlarının titreşimi

Şekil 5.10'da görüldüğü gibi, sabit TeO_2 oranında değişen WO_3 ve Li_2O oranının cam yapıya olan etkisi tungsten-tellürit (TW30) ve lityum-tellürit (TL30) camlarının FTIR spektrumları referans alınarak artan Li_2O oranı için değerlendirilmiştir. Elde edilen spektrumlar, artan Li_2O oranının WO_4 ya da WO_6 birimlerine ait W-O-W , W-O^- ve W=O ve TeO_4 tbp birimlerinin titreşimine ait piklerin şiddetlerini azalttığını, TeO_3 tp/ TeO_{3+1} birimlerine ait piklerinin şiddetini ise arttırdığını göstermektedir. Lityum-tellürit camının (TL30), 311 cm^{-1} dalga numarasında TeO_4 yapısındaki Te-O-Te bağlarına ait farklı bir pike daha sahip olduğu belirlenmiştir.

$\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarının yapısal incelenmesi, TeO_2 'nin azalan ve WO_3 ve Li_2O 'nun eşit oranda artan ve sabit TeO_2 oranında azalan WO_3 ve artan Li_2O oranlarına bağlı olarak, TeO_2 cam şebeke yapısında W-O^- , W=O , TeO_3 ve TeO_{3+1} birimleri şeklinde bağlanmamış oksijen bölgeleri oluşturduğunu göstermektedir.

5.1.1.7 TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının optik incelenmesi

TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının görünür bölgedeki optik incelenmesi amacıyla, seçilen T80W10L10, T50W25L25, tungsten-tellürit (T80W20) ve lityum-tellürit (T80L20) camları ile spektrofotometrik analizler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.11 : TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının optik analiz sonuçları.

TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin yaklaşık olarak %65-78 aralığında değiştiği, üçlü sisteme ait bileşimler olan T80W10L10 ve T50W25L25 camlarının geçirgenlik değerlerinin T80W20 ve T80L20 camlarına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Camların görünür bölgedeki geçirgenlik sınırlarının 382-428 nm dalga boyu aralığında değişim gösterdiği ve artan WO₃ oranı ile yüksek dalga boylarına ötelendiği, T80W20 camının geçirgenlik sınırının en yüksek dalga boyunda olduğu belirlenmiştir.

5.1.1.8 TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının elektriksel özelliklerinin incelenmesi

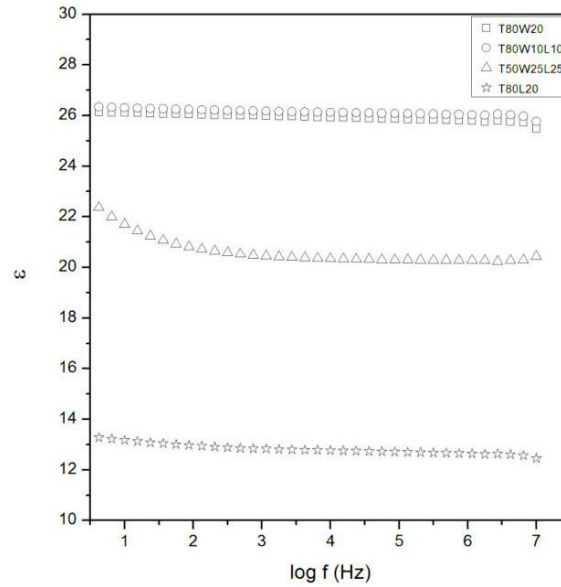
TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının oda sıcaklığında ölçülen özdirenç, dielektrik sabiti ve hesaplanan iletkenlik değerleri Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Özdirenç değerlerinin 10¹⁰-10¹⁶ ohm.cm aralığında değiştiği, TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının oda sıcaklığında yalıtkan davranış gösterdikleri ve bileşimde artan Li₂O oranı ile camların iletkenliklerinin arttığı belirlenmiştir.

Çizelge 5.6 : TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının özdirenç, ρ , iletkenlik, σ , ve dielektrik sabiti, ϵ , değerleri.

Numune	ρ 25 °C (ohm.cm)	σ 25 °C (ohm.cm) ⁻¹	ϵ (10 ³ Hz için)
T80W20	2,09 10 ¹⁶	4,7 10 ⁻¹⁷	26
T80W10L10	1,25 10 ¹⁶	8,0 10 ⁻¹⁷	26
T50W25L25	4,81 10 ¹⁰	2,1 10 ⁻¹¹	21
T80L20	3,70 10 ¹⁴	2,7 10 ⁻¹⁵	13

Şekil 5.12 ve Çizelge 5.6'dan görüldüğü gibi, camlarının dielektrik sabiti değerlerinin 13-26 aralığında değiştiği tespit edilmiştir.



Şekil 5.12 : TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının dielektrik sabiti değerleri.

Elde edilen dielektrik sabiti değerlerine göre, lityum-tellürit cam yapısına katılan WO₃'in dielektrik sabiti değerlerini dolayısıyla camların yük taşıma kapasitelerini arttırdığı belirlenmiştir. Literatürde dielektrik özellikleri az sayıda inorganik malzeme için incelenmiş olup; saf TeO₂ camının ϵ değeri 20,1, molce % 67 oranında WO₃ içeren TeO₂-WO₃ camının ϵ değeri ise 17,8 olarak belirlenmiştir (El-Mallawany, 2002).

5.1.2 TeO₂-WO₃-Na₂O sisteminin camlaşma davranışı ve cam özellikleri

TeO₂-WO₃-Na₂O sisteminin camlaşma davranışını ve cam özelliklerini incelemek amacıyla gerçekleştirilen çalışmalarda, sistemin cam yapma bileşim aralığı tespit edilerek; cam haritası oluşturulmuştur. Sisteme ait cam numunelerin tespiti ve

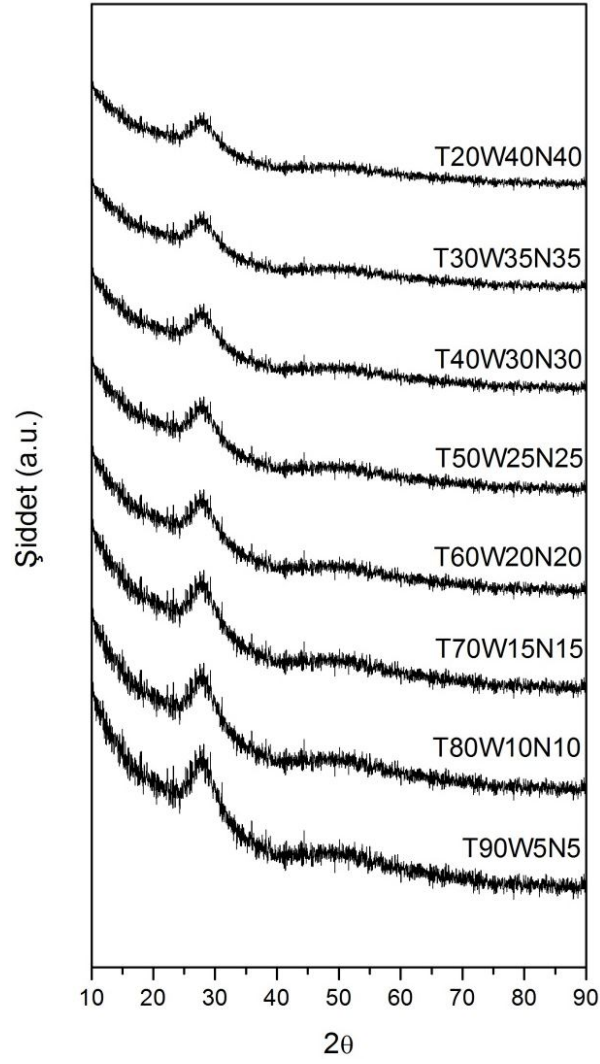
camların ısı, fiziksel, termodinamik, kinetik, yapısal, optik ve elektriksel özelliklerinin incelenmesi XRD, DTA, DSC, FTIR, UV-Vis spektrofotometre, elektriksel iletkenlik ve dielektrik spektrometre cihazları kullanılarak gerçekleştirilmiş ve bileşime bağlı olarak camların özelliklerinde meydana gelen değişimler belirlenmiştir.

5.1.2.1 TeO₂-WO₃-Na₂O sisteminin camlaşma davranışı

TeO₂-WO₃-Na₂O sisteminin camlaşma davranışının incelenmesi amacıyla, üçlü sisteme ait 31 farklı bileşimde numune hazırlanmış ve bu numunelerden 23 tanesi döküm sonrası saydam görünümlü olarak elde edilmiştir. Elde edilen saydam görünümlü numuneler azalan TeO₂ ve eşit miktarda artan WO₃ ve Na₂O (artan WO₃+Na₂O/TeO₂) oranına bağlı olarak turuncudan açık soluk sarıya doğru bir renk değişimi göstermiştir.

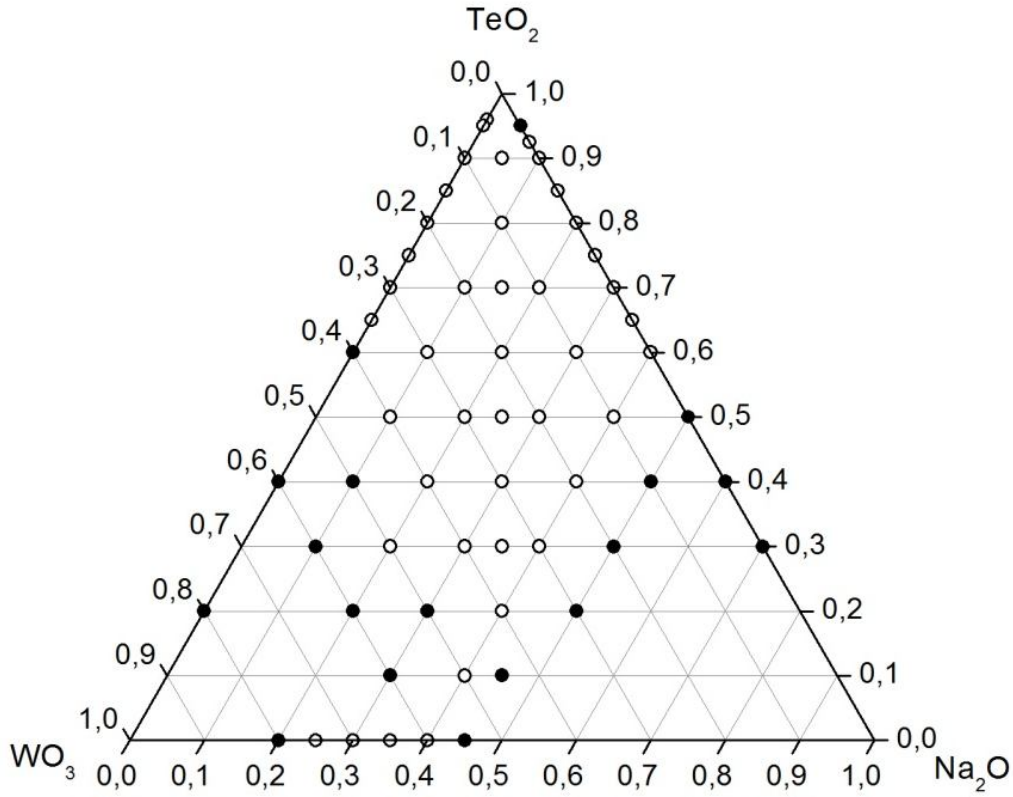
Döküm sonrası saydam görünümde elde edilen numunelerin amorf yapıda oldukları X-ışınları difraksiyonu incelemeleri ile ispatlanmış olup; Şekil 5.13'te seçilen bileşimlere ait XRD analiz sonuçları verilmiştir.

TeO₂-WO₃-Na₂O sisteminin camlaşma davranışı hakkında literatürde herhangi bir bilgi bulunmayıp; bu sisteme ait alt ikili sistemler olan TeO₂-WO₃, TeO₂-Na₂O ve WO₃-Na₂O sistemlerinin cam yapma aralıkları daha önce çeşitli çalışmalarda incelenmiştir (Çelikkilek ve diğ., 2011; El-Mallawany, 2002; Kavaklıoğlu ve diğ., 2012; Kobayashi, 1987; Tatsumisago, 1981, 1982). Tez çalışması kapsamında, TeO₂-WO₃-Na₂O sisteminin camlaşma davranışını incelemek amacıyla, öncelikle üçlü sisteme ait ikili alt sistemlerinin camlaşma davranışları incelenmiştir. Bölüm 5.1.1.1'de detaylı olarak açıklandığı gibi, TeO₂-WO₃ sisteminin cam yapma aralığı % 4-35 mol WO₃ olarak tespit edilmiştir (Çelikkilek ve diğ., 2011). Literatürde Mochida ve diğ. tarafından % 10-46,3 mol Na₂O olarak belirtilen TeO₂-Na₂O ikili sisteminin cam yapma aralığı (El-Mallawany, 2002'de atıfta bulunduğu gibi), bu tez çalışmasında uygulanan üretim koşulları altında % 7,5-40 mol Na₂O olarak tespit edilmiştir (Kavaklıoğlu ve diğ., 2012). Literatürde WO₃-Na₂O sisteminin cam yapma bileşim aralığı ile ilgili, uygulanan farklı yöntemler sonucu elde edilmiş, farklı değerler bulunmaktadır (Kobayashi, 1987; Tatsumisago ve diğ., 1981, 1982). Bu tez çalışması kapsamında, sistemin cam yapma bileşim aralığı % 60-75 mol WO₃ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.13 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ sistemine ait seçilmiş cam numunelerin XRD analiz sonucu.

İkili alt sistemlerin ve üçlü sistemin incelenmesi sonucunda, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ sisteminin cam yapma bileşim aralığı literatürde ilk kez tespit edilmiş ve sistemin cam haritası Şekil 5.14'te gösterilmiştir



Şekil 5.14 : TeO₂-WO₃-Na₂O sisteminin cam haritası, (○) cam, (●) kristalin.

5.1.2.2 TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının ısı özelliklerinin incelenmesi

TeO₂-WO₃-Na₂O sistemine ait camların ısı özellikleri DTA ve DSC teknikleri kullanılarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak yapılan hesaplamalar için ölçüm hassasiyeti daha yüksek olan DSC cihazının verileri dikkate alınmıştır. TeO₂-WO₃-Na₂O sisteminden elde edilen cam numunelerin cam geçiş onset (T_g), ilk kristalizasyon onset (T_{c1}) sıcaklık ve cam kararlılık (ΔT) değerleri Çizelge 5.7’de verilmektedir. Seçilen bileşimler için azalan TeO₂ ve eşit oranda artan WO₃ ve Na₂O miktarına ve sabit TeO₂ oranında artan Na₂O ve azalan WO₃ oranına bağlı olarak çizilen DSC termogramları sırasıyla Şekil 5.15a ve 5.15b’de verilmiştir.

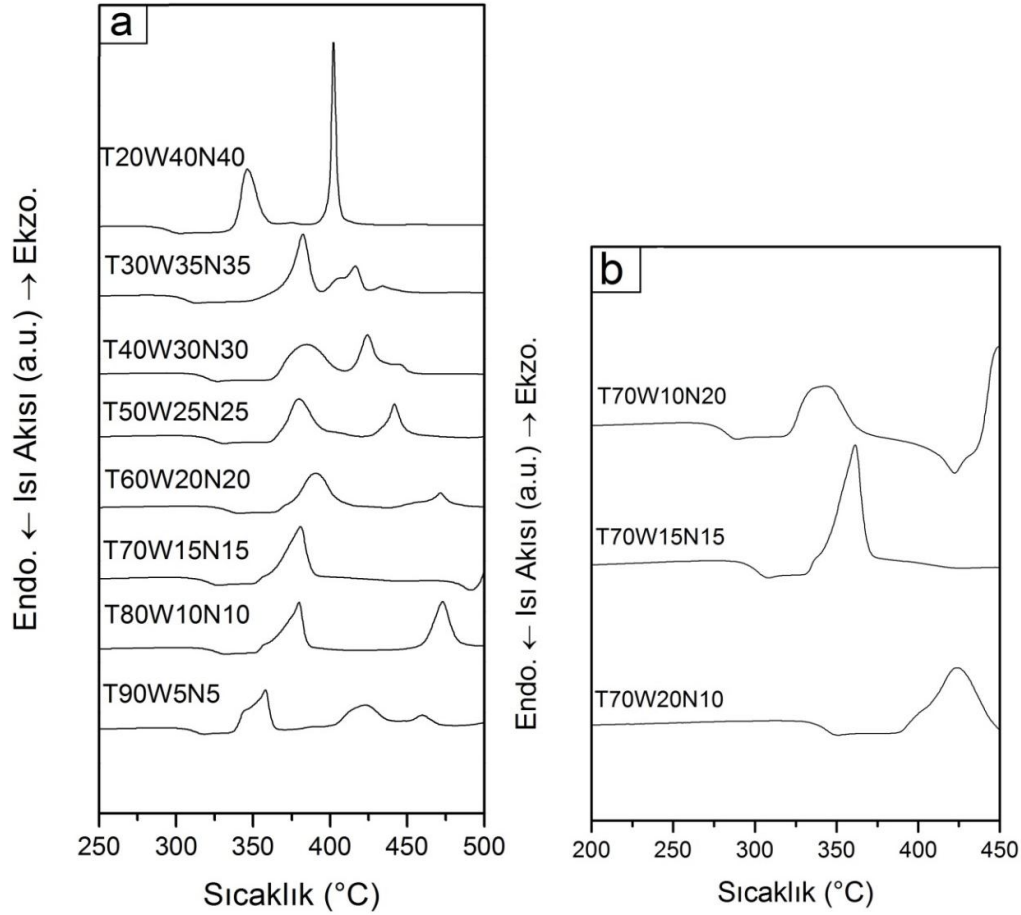
TeO₂-WO₃-Na₂O sistemine ait tüm cam numuneler için cam geçiş reaksiyonu, T_g , gözlemlenmiştir. 229-388 °C arasında değiştiği saptanan cam geçiş sıcaklığı değerlerinin, artan WO₃+Na₂O/TeO₂ oranı ile önce arttığı, T50W25N25 bileşiminden itibaren ise azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 5.15a). Sabit TeO₂ bileşiminde ise, cam geçiş sıcaklık değerlerinin artan Na₂O ve azalan WO₃ oranı ile azaldığı belirlenmiş ve bu davranış Şekil 5.15b’de % 70 mol TeO₂ için gösterilmiştir.

Çizelge 5.7 : TeO₂-WO₃-Na₂O sisteminden elde edilen cam numunelere ait cam geçiş onset (T_g), ilk kristalizasyon onset (T_{c1}) sıcaklık ve cam kararlılık (ΔT) değerleri.

Numune	T_g (°C)	T_{c1} (°C)	ΔT (°C)
T90W5N5	306	338	32
T80W10N10	308	342	34
T70W20N10	336	390	54
T70W15N15	309	348	39
T70W10N20	281	328	47
T60W30N10	361	511	150
T60W20N20	311	350	39
T60W10N30	251	356	105
T50W40N10	380	484	104
T50W30N20	341	385	44
T50W25N25	309	360	51
T50W20N30	278	354	76
T50W10N40	229	279	50
T40W40N20	368	445	77
T40W30N30	303	354	51
T40W20N40	243	282	39
T30W50N20	388	475	87
T30W40N30	328	388	60
T30W35N35	290	364	74
T30W30N40	258	302	44
T20W50N30	348	399	51
T20W40N40	277	328	51
T10W50N40	301	348	47

Gerçekleştirilen ısı analizler ile, T_g ve T_{c1} sıcaklıklarının sabit TeO₂ oranında artan WO₃ oranı ile artan ve artan Na₂O oranı ile azalan davranış gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durum, Na₂O katkısının tungsten-tellürit camların zincir şeklindeki şebeke yapısını gevşetip bozarak bağlanmamış oksijen bölgeleri oluşturmamasından kaynaklanmaktadır (Heo ve diğ., 1992; Nishida ve diğ., 1988; Zhu ve diğ., 2003). Literatürde daha önce farklı tellürit cam sistemler için de belirtildiği gibi, artan Na₂O ve azalan WO₃ oranına bağlı olarak cam şebeke yapısında meydana gelen bu değişiklikler, cam yapısında WO₃'in şebeke oluşturu ve Na₂O'in ise şebeke

modifiye edici olarak davrandığını göstermektedir (Çelikkalek ve diğ., 2013; El-Mallawany, 2002, Kosuge ve diğ., 1998; Munoz-Martín ve diğ., 2009).



Şekil 5.15 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ camlarının DSC termogramları a) azalan TeO_2 ve eşit oranda artan WO_3 ve Na_2O oranına göre, b) sabit TeO_2 oranında artan Na_2O ve azalan WO_3 oranına göre.

Camların kristalizasyona karşı direncinin bir ölçütü olan cam kararlılık değeri, $\Delta T = T_c - T_g$, tüm cam bileşimleri için hesaplanmış ve Çizelge 5.7’de verilmiştir. 32-150 $^\circ\text{C}$ aralığında bulunan ΔT değerleri bileşime bağlı olarak düzenli bir değişim göstermemiştir. T60W30N10 camı, 150 $^\circ\text{C}$ olan cam kararlılık değeri ile, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ sistemine ait en yüksek cam kararlılık değerine sahip numunedir. $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ sisteminden seçilecek uygun bileşimdeki camların, literatürdeki yaklaşımlar dikkate alındığında, optik uygulamalarda kullanım için yeterli cam kararlılık değerine sahip olduğu tespit edilmiştir (El-Mallawany ve Ahmed, 2008).

5.1.2.3 TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının fiziksel özelliklerinin incelenmesi

TeO₂-WO₃-Na₂O sisteminden elde edilen cam numunelerin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri Çizelge 5.8’de verilmektedir.

Çizelge 5.8 : TeO₂-WO₃-Na₂O sisteminden elde edilen cam numunelere ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

Numune	ρ 25 °C (g cm ⁻³)	ρ teorik (g cm ⁻³)	V_M (cm ³ mol ⁻¹)	V_O (cm ³ mol ⁻¹)	OPD (mol L ⁻¹)	$\bar{n}_c$	n_b (x10 ²¹ cm ⁻³)	μ_{cal}
T90W5N5	5,48	5,57	28,91	14,64	69,17	2,10	91,14	0,28
T80W10N10	5,32	5,48	29,54	15,15	67,70	2,18	96,61	0,27
T70W20N10	5,47	5,63	30,02	14,64	69,96	2,36	99,00	0,27
T70W15N15	5,20	5,38	29,96	15,56	66,76	2,26	101,94	0,27
T70W10N20	4,95	5,14	29,77	16,54	63,82	2,17	105,03	0,26
T60W30N10	5,63	5,78	30,47	14,17	72,21	2,55	101,40	0,27
T60W20N20	5,13	5,29	30,14	15,87	66,35	2,33	107,14	0,26
T60W10N30	4,57	4,80	30,12	18,26	59,76	2,15	113,45	0,25
T50W40N10	5,86	5,93	30,48	13,55	75,45	2,73	103,80	0,28
T50W30N20	5,35	5,44	30,23	15,12	69,46	2,50	109,29	0,27
T50W25N25	5,08	5,19	30,17	16,09	66,29	2,40	112,20	0,26
T50W20N30	4,90	4,95	29,54	16,88	64,31	2,31	115,25	0,25
T50W10N40*	4,33	4,46	29,51	19,67	57,61	2,14	121,88	0,24
T40W40N20	5,59	5,59	30,23	14,39	72,78	2,67	111,47	0,27
T40W30N30	5,03	5,1	30,22	16,33	66,19	2,46	117,12	0,26
T40W20N40*	4,50	4,61	30,00	18,75	60,00	2,29	123,33	0,24
T30W50N20	5,72	5,74	30,81	14,01	74,64	2,83	113,67	0,27
T30W40N30	5,23	5,25	30,45	15,61	68,97	2,62	119,05	0,26
T30W35N35	4,96	5,00	30,39	16,65	65,82	2,52	121,89	0,25
T30W30N40*	4,69	4,76	30,32	17,84	62,65	2,43	124,88	0,25
T20W50N30	5,34	5,40	31,17	15,20	70,58	2,77	121,02	0,26
T20W40N40*	4,80	4,91	31,14	17,30	64,24	2,57	126,52	0,25
T10W50N40*	4,82	5,06	32,50	17,11	64,61	2,71	128,24	0,25

*: yoğunluk ölçüm sıvısı olarak etanol kullanılan numuneler

Çizelge 5.8’de isimleri * ile belirtilen T50W10N40, T40W20N40, T30W30N40, T20W40N40 ve T10W50N40 numunelerinin, Arşimet tekniği ile gerçekleştirilen yoğunluk ölçümleri sırasında saf su içerisinde kısmen çözünerek sürekli olarak ağırlık kaybı yaşadıkları tespit edilmiş; dolayısıyla yoğunluk ölçümleri saf su ile gerçekleştirilememiştir. Bu durum, cam bileşimindeki Na_2O oranının belirli bir değerin üzerinde olmasının camın kimyasal kararlılığını olumsuz etkilediğini göstermektedir. Bu nedenle, bu numunelerin yoğunluk ölçümlerinde ölçüm sıvısı olarak saf su yerine etanol kullanılmıştır.

Oda sıcaklığında ölçülen yoğunluk değerleri, camların hesaplanan teorik yoğunluk değerleri ile uyumlu bulunmuş ve bileşimdeki artan $\text{WO}_3+\text{Na}_2\text{O}/\text{TeO}_2$ oranına bağlı olarak $5,48 \text{ g/cm}^3$ ’den $4,80 \text{ g/cm}^3$ ’e düşüş göstermiştir. Sabit TeO_2 bileşiminde ise düşük yoğunluğa sahip Na_2O ’nun artışı ve yüksek yoğunluğa sahip WO_3 ’ün azalışı ile ölçülen yoğunluk değerleri düşüş göstermiştir. $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ camlarının yoğunluk değerlerinin diğer tellürit camların yoğunluk değerlerine kıyasla düşük değerlerde oluşu, içerdiği düşük yoğunluğa sahip Na_2O bileşeninden kaynaklanmaktadır.

Camların molar hacim değerlerinin (Çizelge 5.8), bileşimdeki artan $\text{WO}_3+\text{Na}_2\text{O}/\text{TeO}_2$ oranı ve sabit TeO_2 bileşiminde, artan WO_3 ve azalan Na_2O oranları ile artış gösterdiği belirlenmiştir. Molar hacimde gözlemlenen bu artış, artan WO_3 oranı ile daha büyük iyonik yarıçapa sahip oksijen iyonlarının (O^{2-} : 0,14nm, Te^{4+} :0,116nm, W^{6+} : 0,065nm, Na^+ :0,095nm) yapıdaki sayısının artması ile hacimde meydana gelen büyümeden kaynaklanmaktadır (Muñoz-Martín ve diğ., 2009). Molar hacimde meydana gelen artışın cam yapısındaki boşluk hacmini arttırarak yapıyı daha gevşek hale getirdiği belirlenmiştir.

Camların oksijen molar hacimleri, Çizelge 5.8’de görüldüğü gibi, azalan TeO_2 ve eşit oranda artan WO_3 ve Na_2O oranına ve sabit TeO_2 bileşiminde azalan WO_3 ve artan Na_2O oranına bağlı olarak, cam yapısının daha az yoğun hale gelmesi sonucu, artış göstermektedir. Yüksek alan şiddetine sahip olan W^{6+} iyonlarının (Te^{4+} : 0,71, W^{6+} : 1,47, Na^+ : 0,19) bileşimdeki azalışı ile yapı daha az sıkı paketlenir hale gelmekte ve bu durum yoğunluğu azalan yapının oksijen molar hacim değerlerinin azalmasına neden olmaktadır (Ersundu ve diğ., 2012; Muñoz-Martín ve diğ., 2009).

Camların oksijen paketlenme yoğunluğu değerleri, sabit TeO_2 bileşiminde WO_3 'ün 1/3 oranında daha az oksijen atomuna sahip Na_2O ile yer değiştirmesi sonucu, azalış göstermiştir. Bileşimdeki artan $\text{WO}_3+\text{Na}_2\text{O}/\text{TeO}_2$ oranına bağlı olarak ise OPD değerlerinin 69,17 mol/L'den 65,29 mol/L'ye düşüş gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 5.8). Bu durum, azalan WO_3 oranı ile cam yapıdaki bağ sayısının azalması ve yapının daha az sıkı paketlenmesinden kaynaklanmaktadır.

TeO_2 - WO_3 - Na_2O camlarının ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu değerleri, $\bar{n}_c$, bileşimdeki artan $\text{WO}_3+\text{Na}_2\text{O}/\text{TeO}_2$ oranına bağlı olarak 2,10'dan 2,57'ye artış göstermiştir. Bu durum yapıdaki Te-O-Te bağlarının modifiye olarak Te atomunun koordinasyon sayısının 4'ten 3'e azalmasından kaynaklanmaktadır. Artan ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu cam yapının bağlanabilirliğini arttırmaktadır. Sabit TeO_2 bileşiminde azalan WO_3 ve artan Na_2O oranı ile ise, cam yapıdaki bağlanmamış oksijen bölgelerinin artışına bağlı olarak ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu değerleri azalmıştır (El-Mallawany ve diğ., 2010; El-Mallawany ve Ahmed, 2008; Hager ve El-Mallawany, 2010).

TeO_2 - WO_3 - Na_2O sistemine ait camların hesaplanan birim hacimdeki bağ sayısı, n_b , değerleri, sabit TeO_2 bileşiminde azalan WO_3 ve artan Na_2O oranı ve azalan TeO_2 ve eşit oranda artan WO_3 ve Na_2O miktarı ile, cam yapısındaki katyon sayısının artışına bağlı olarak, artış göstermektedir. Birim hacimdeki bağ sayısında meydana gelen artış, camların sert karakter gösterme eğilimin de bir göstegesidir (El-Mallawany ve diğ., 2010; El-Mallawany ve Ahmed, 2008; Hager ve El-Mallawany, 2010).

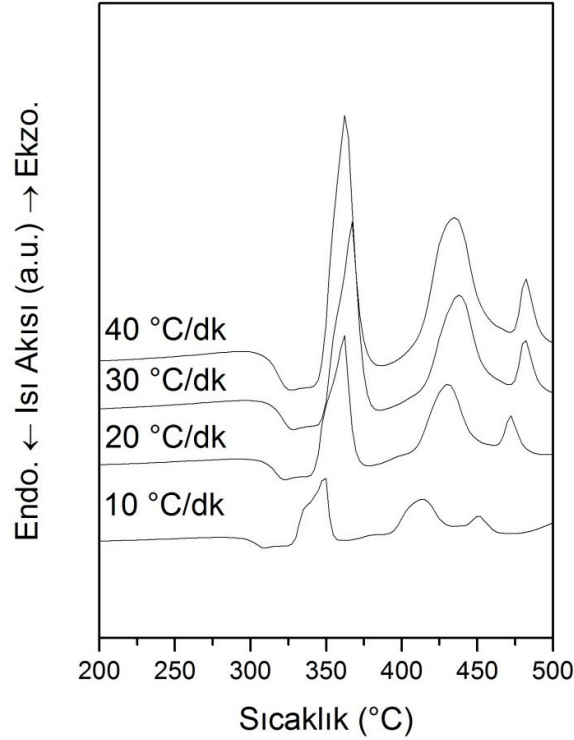
TeO_2 - WO_3 - Na_2O camlarının Poisson oranı (μ_{cal}), artan çapraz bağlanma yoğunluğu nedeniyle, bileşimdeki artan $\text{WO}_3+\text{Na}_2\text{O}/\text{TeO}_2$ oranına ve sabit TeO_2 bileşiminde azalan WO_3 ve artan Na_2O oranına bağlı olarak azalış göstermektedir. Poisson oranında meydana gelen azalış, yapıda azalan TeO_2 ve artan Na_2O oranı ile cam yapısının bağlanabilirliğinin ve sertliğinin artışını ifade etmektedir (El-Mallawany ve diğ., 2010).

5.1.2.4 TeO_2 - WO_3 - Na_2O camlarının kinetik incelenmesi

TeO_2 - WO_3 - Na_2O camları ile gerçekleştirilen non-izotermal kinetik incelemeler sonucunda, camların cam geçiş aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmıştır. Şekil 5.16'da, sisteme ait camları temsilen seçilen T90W5N5 camının farklı ısıtma hızlarında (10, 20, 30, 40 °C/dk) gerçekleştirilen DSC analizleri sonucu elde edilen

termogramlar verilmiştir. Sisteme ait camların uygulanan farklı ısıtma hızlarındaki ısı analizler sonucu elde edilen cam geçiş sıcaklığı değerleri Çizelge 5.9’da verilmiştir.

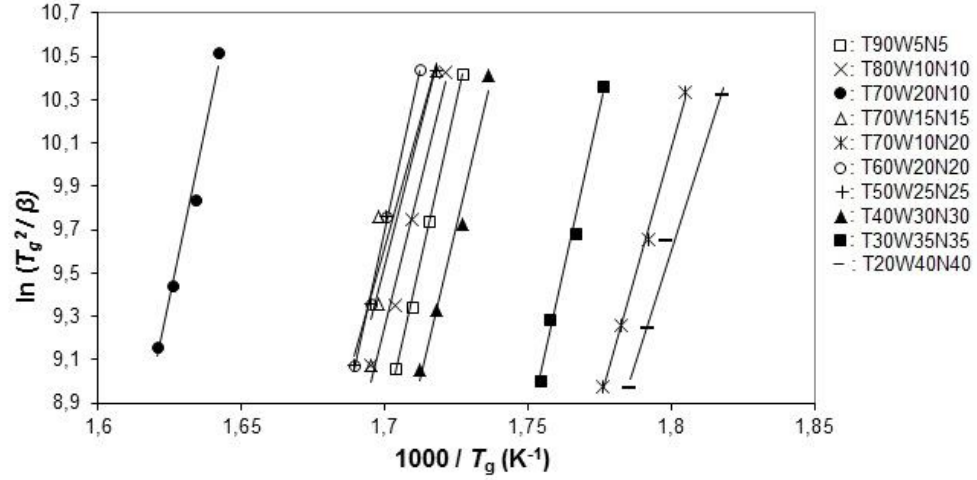
Artan ısıtma hızı ile cam geçiş ve kristalizasyon sıcaklıkları daha yüksek sıcaklıklara ötelenmiş ve kristalizasyon reaksiyonlarına ait piklerin şiddetleri artmıştır (Şekil 5.16 ve Çizelge 5.9).



Şekil 5.16 : T90W5N5 camının farklı ısıtma hızlarında gerçekleştirilmiş DSC analizi sonucu.

Cam geçiş aktivasyon enerjisi, E_g , değerleri, cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln(T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişiminden (Şekil 5.17) 344-522 kJ/mol olarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Sabit TeO_2 bileşiminde artan Na_2O ve azalan WO_3 oranı ile cam geçiş aktivasyon enerjisi değerlerinin düşüş gösterdiği belirlenmiştir. Cam bileşiminde azalan WO_3 oranına karşılık artan Na_2O oranına bağlı olarak cam geçiş aktivasyon enerjisinde meydana gelen azalma koordinasyon sayısının 1/6 oranında azalmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.17 : TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının $\ln(T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

Cam geçiş aktivasyon değerlerinden hareketle TeO₂-WO₃-Na₂O camlarına ait kırılgenlik, C parametresi, viskozite ve viskozite değişim faktörü değerleri hesaplanmış ve elde edilen değerler Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Camların sert-kırılgen karakterinin tespit edilmesinde kullanılan kırılgenlik, m , değerlerinin, TeO₂-WO₃-Na₂O camları için 74,5 ile 104,9 arasında değiştiği saptanmıştır. Literatür değerleri ile karşılaştırıldığında TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının genel olarak sert-kırılgen karakter arasında serte yakın bir özellik gösterdiği tespit edilmiştir (Zhu ve diğ., 2003). TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının kırılgenlik değerlerinin sabit TeO₂ bileşiminde artan Na₂O ve azalan WO₃ oranına bağlı olarak azalış gösterdiği, dolayısıyla artan Na₂O ve azalan WO₃ oranı ile TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının sert karakter gösterme eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Buna göre, TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının viskozite ve ısı kapasitesi değerlerinin artan Na₂O/WO₃ oranı ile cam geçiş bölgesinde küçük bir değişiklik göstermesi beklenmektedir (Brüning ve Sorton, 1996; Ersundu ve diğ., 2012; Voivod, 2001).

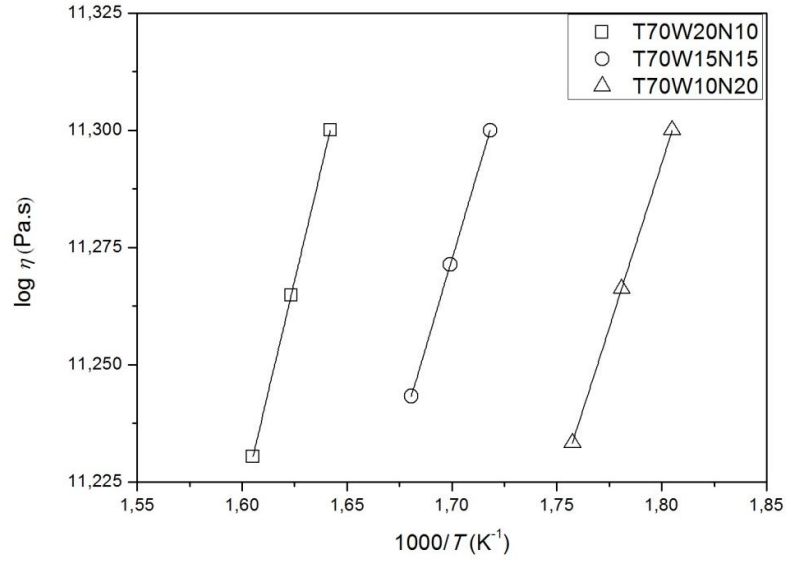
TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının sıcaklığa bağlı olarak cam geçiş bölgesi genişliği ve aktivasyon enerjisi arasındaki ilişkiyi veren C parametresi değerleri Çizelge 5.9’da verilmiştir. Literatürde Zhu ve diğ. (2003) tarafından sodyum tellürit camlar için 3,1-4,8 arasında, Moynihan (1993) tarafından inorganik camlar için ortalama 4,8 ve Moynihan ve diğ. (1996) tarafından B₂O₃-Na₂O camlar için ortalama 5,5 olarak hesaplanan C parametresi, TeO₂-WO₃-Na₂O camları için 1,3-2,6 aralığında bulunmuş ve ortalama 2,13 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.9 : TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g), hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

Numune	T_g (°C)				E_g (kJ mol ⁻¹)	m	C	$\log \eta$ (Pa s)	e^C
	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40					
T90W5N5	306	310	312	314	487	100,4	2,2	11,26	9,2
T80W10N10	308	312	314	317	440	90,4	2,1	11,27	7,3
T70W20N10	336	339	342	344	522	102,1	2,3	11,26	10,1
T70W15N15	309	316	316	317	467	95,7	2,2	11,27	8,8
T70W10N20	281	285	288	290	388	83,5	2,2	11,26	9,2
T60W20N20	311	315	317	319	495	101,2	2,6	11,26	12,8
T50W25N25	309	315	317	319	386	78,9	2,1	11,26	8,5
T40W30N30	303	306	309	311	467	96,7	2,5	11,26	11,9
T30W35N35	290	293	296	297	494	104,9	2,2	11,26	9,0
T20W40N40	277	283	285	287	344	74,5	1,3	11,28	3,8

TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının cam geçiş onset ve cam geçiş sonlanma sıcaklıkları arasındaki bir sıcaklık için (ortalama cam geçiş sıcaklık değeri) hesaplanan viskozite, η , değerleri 11,26-11,28 Pa.s aralığında belirlenmiş olup;. literatürde Moynihan (1993) tarafından çeşitli inorganik cam sistemler için hesaplanan viskozite değerinin 11,3 Pa.s olduğu görülmektedir. Şekil 5.18’de cam geçiş bölgesi genişliği boyunca viskozitenin sıcaklığa bağlı değişimi ($\log \eta - 1/T$) seçilen farklı bileşimler için verilmiştir. Viskozite değerlerinin TeO₂-WO₃-Na₂O camlarında azalan sıcaklık ile lineer bir artış gösterdiği belirlenmiş olup; Angell’in (1991) yaklaşımına göre bu özellik sıvıların sert yapıda olduğunun bir göstergesidir.

TeO₂-WO₃-Na₂O camları için cam geçiş bölgesi genişliği boyunca 3,8-12,8 olarak hesaplanan viskozite azalma faktörü, e^C , değerlerinin literatürde Moynihan (1993) tarafından pek çok inorganik cam sistem için hesaplanmış değerlerden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durum, TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının viskozitelerinin cam geçiş bölgesi boyunca sıcaklıktan az etkilendiğini göstermektedir.



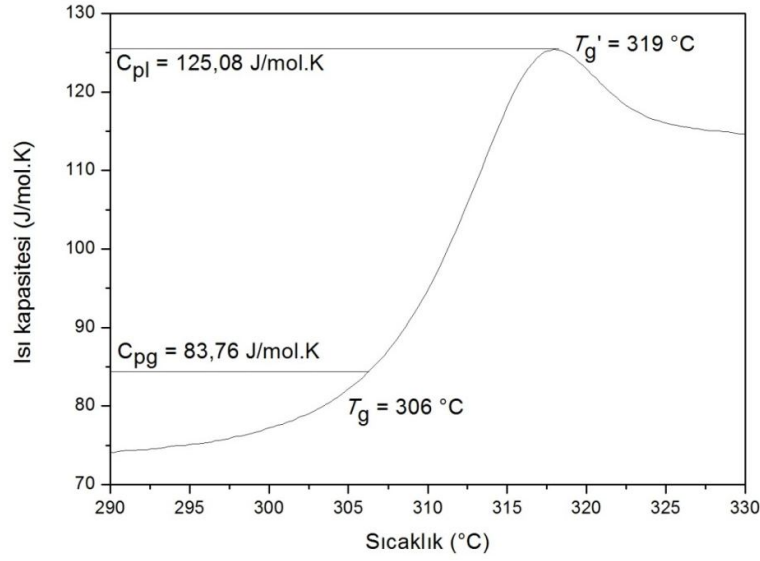
Şekil 5.18 : TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının log η – 1/T değişimi.

TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının cam geçiş aktivasyon enerjisi değerlerinden yola çıkarak hesaplanan kırılgenlik parametreleri, bu camların sert ve kırılgen arası bir karakter gösterdiğini ve artan Na₂O oranı ile sert özellik gösterme eğiliminde olduğunu göstermiştir. Hesaplanan C parametresi, viskozite ve viskozite azalma faktörü değerleri ise, TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının cam geçiş bölgesi boyunca akışkanlık özelliklerinin az miktarda değiştiğini göstermiştir.

5.1.2.5 TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının ısı kapasitesi ölçümleri

TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının ısı kapasitesi incelemeleri cam geçiş bölgesi boyunca gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.19’da, sisteme ait camları temsilen seçilen T90W5N5 numunesine ait ısı kapasitesi ölçümü sonucu verilmiştir. İncelenen sıcaklık aralığında numunenin cam halden aşırı soğutulmuş sıvı haline geçişi ısı kapasitesinde bir değişikliğe yol açmış ve bu durum tüm numunelerde benzer şekilde gözlemlenmiştir.

Cam geçiş onset sıcaklığı T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı T_g' ile gösterilmiş olup; cam geçiş bölgesi genişliği, $\Delta T_g = T_g' - T_g$ şeklinde tanımlanmıştır. Cam geçiş bölgesinde gerçekleştirilen ısı kapasitesi incelemelerinde seçilen numunelerin cam haldeki ısı kapasitesi, C_{pg} , aşırı soğutulmuş sıvı haldeki ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pg}/C_{pl} , değerleri belirlenmiş ve elde edilen değerler Çizelge 5.10’da verilmiştir.



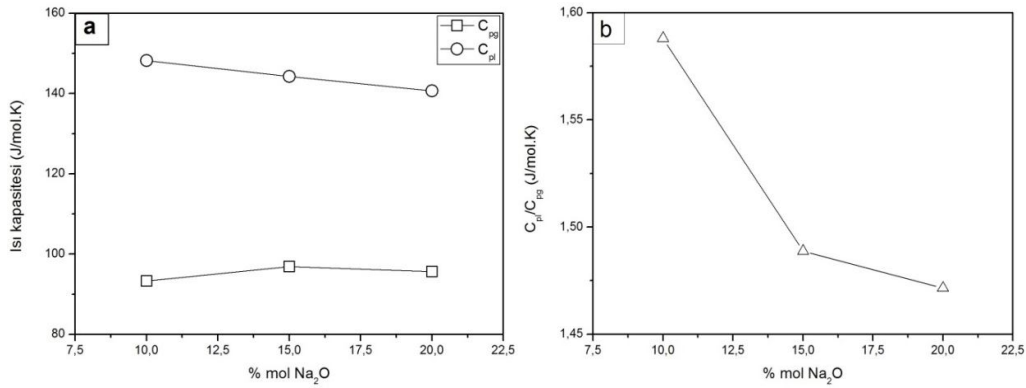
Şekil 5.19 : T90W5N5 camının ısı kapasitesi analizi.

Çizelge 5.10 : TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam ısı kapasitesi, C_{pg} , aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

Numune	T_g (°C)	T_g' (°C)	ΔT_g (°C)	C_{pg} (J/mol K)	C_{pl} (J/mol K)	ΔC_p (J/mol K)	C_{pl}/C_{pg}
T90W5N5	306	319	13	83,76	125,08	41,32	1,49
T80W10N10	309	321	12	77,90	118,58	40,68	1,52
T70W20N10	337	350	13	93,31	148,18	54,87	1,59
T70W15N15	310	322	12	96,90	144,26	47,36	1,49
T70W10N20	282	296	14	95,60	140,67	45,07	1,47
T60W20N20	311	326	15	76,49	125,01	48,52	1,63
T50W25N25	306	325	19	63,91	119,08	55,17	1,86
T40W30N30	302	318	16	77,05	127,82	50,76	1,66
T30W35N35	285	302	17	94,34	138,80	44,46	1,47
T20W40N40	272	287	15	78,46	101,47	23,01	1,29

Sabit TeO₂ bileşiminde artan Na₂O ve azalan WO₃ oranı ile T_g ve T_g' değerleri azalmış olup; benzer şekilde ısı kapasitesi değişimi ve oransal ısı kapasitesi değerleri de azalış göstermiştir. Şekil 5.20a ve 5.20b’de, TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının hesaplanan C_{pg} , C_{pl} ve C_{pl}/C_{pg} değerlerinin sabit TeO₂ oranında (%70 mol) artan Na₂O oranına göre değişimi gösterilmiştir. Artan Na₂O oranı ile ΔC_p (Şekil 5.20a) ve C_{pl}/C_{pg} (Şekil 5.20b) değerlerinin azaldığı, buna göre bileşimde artan Na₂O oranının

TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının ısı kapasitesi değerlerinin sıcaklıktan etkilenme oranını azalttığı belirlenmiştir. Literatürde daha önce yapılan çalışmalarda oransal ısı kapasitesi değerlerindeki değişimin TeO₄ tbp birimlerinin TeO₃ tp birimlerine dönüşümü sonucu oluşan bağlanmamış oksijen bölgelerinden kaynaklandığı belirtilmiş olup (Upender ve diğ., 2010b); TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının ısı kapasitesi değerlerinde artan Na₂O oranı ile meydana gelen azalış, Na₂O katkısının bağlanmamış oksijen bölgeleri oluşturarak tungsten-tellürit camlarının zincir şeklindeki şebeke yapısını gevşetip bozduğunu göstermektedir.

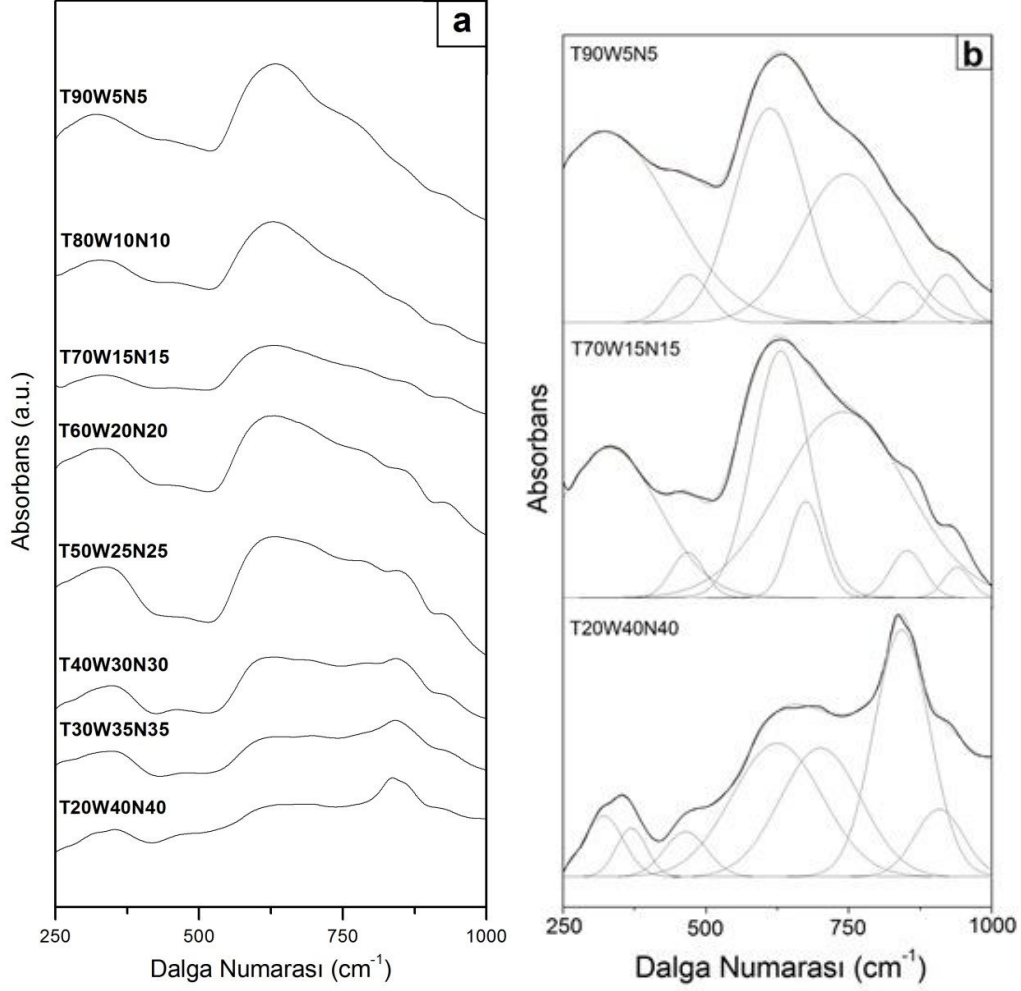


Şekil 5.20 : Sabit TeO₂ oranında (%70 mol) TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının değişen Na₂O oranına göre a) C_{pg} ve C_{pl} ve b) C_{pl}/C_{pg} değişimi.

Oransal ısı kapasitesi değerleri camların kırılmalıkları hakkında termodinamik açıdan bilgi vermektedir. Literatürde, 1,1'in altında C_{pl}/C_{pg} değerine sahip olan sıvıların sert, 1,1'in üzerinde C_{pl}/C_{pg} değerine sahip olan sıvıların ise kırılmal karakter gösterdiği ve sert sıvıların, sahip oldukları kovalent bağlardan ötürü, cam geçiş bölgesindeki ısı kapasitesi değişimlerinin daha az olduğu belirtilmiştir (Angell, 1991; Upender, 2010b). TeO₂-WO₃-Na₂O camlarında, sabit TeO₂ bileşiminde artan Na₂O ve azalan WO₃ oranına bağlı olarak azalış gösteren C_{pl}/C_{pg} değerleri, artan Na₂O ve azalan WO₃ oranının tellürit cam yapısını daha sert hale getirdiğini ve camların ısı kapasitesi değişimini azalttığını göstermektedir.

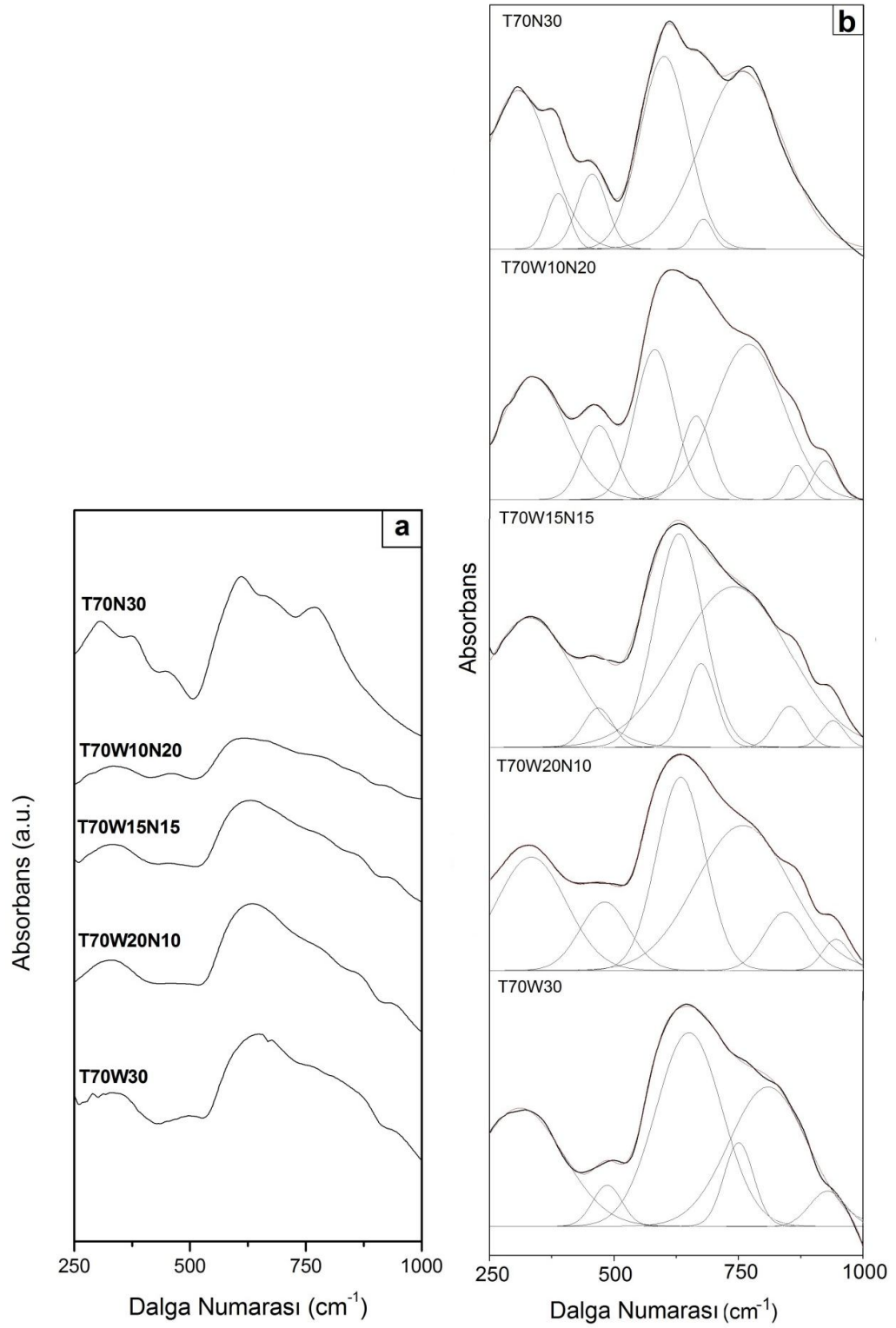
5.1.2.6 TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının yapısal incelenmesi

TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının FTIR spektroskopisi yöntemi ile gerçekleştirilen yapısal incelemeleri, seçilen bileşimler için azalan TeO₂ ve eşit oranda artan WO₃ ve Na₂O oranları ve sabit TeO₂ bileşiminde artan Na₂O ve azalan WO₃ oranına bağlı olarak sırasıyla Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'de verilmiştir.



Şekil 5.21 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ camlarının azalan $\text{TeO}_2/\text{WO}_3+\text{Na}_2\text{O}$ oranına göre a) FTIR spektrumları, b) ayrılmış (deconvoluted) FTIR spektrumları.

FTIR spektrumlarında gözlemlenen titreşim modları, farklı tellüroksit esaslı sistemlerin literatürde belirlenen FTIR spektrumları ve kullanılan hammaddelerin FTIR spektrumları incelenerek tespit edilmiş ve Çizelge 5.11’de verilmiştir (Ersundu ve diğ., 2011, 2012; Kosuge ve diğ., 1998; Sekiya ve diğ., 1994; Tatsumisago ve diğ., 1994; Upender ve diğ., 2009). Genel olarak $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ camlarının FTIR spektrumları geniş pikler göstermiş olup; gözlemlenen bu genişleme cam yapısındaki düzensizlikten kaynaklanmaktadır. Azalan TeO_2 ve sabit TeO_2 oranında değişen Na_2O ve WO_3 oranına bağlı olarak, elde edilen FTIR piklerinde ötelenmeler ve şiddet değişiklikleri görülmektedir.



Şekil 5.22 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ camlarının artan Na_2O ve azalan WO_3 oranına göre a) FTIR spektrumları, b) ayrılmış (deconvoluted) FTIR spektrumları.

FTIR spektrumunda 318-352 cm^{-1} dalga numaralarında gözlemlenen piklerin WO_6 yapısındaki W–O–W bağlarının, 439-470 cm^{-1} dalga numaralarında gözlemlenen piklerin ise Te–O–W veya Te–O–Te bağlarının titreşimine ait olduğu belirlenmiştir. 606-638 cm^{-1} 'de ve 700-731 cm^{-1} 'de gözlemlenen absorpsiyon piklerinin TeO_4 tbp birimlerinin titreşimlerinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. TeO_3 tp/ TeO_{3+1} birimlerinin titreşimine ait pikler 708-776 cm^{-1} 'de gözlemlenmiştir. 830-852 cm^{-1} 'de gözlemlenen piklerin WO_4 veya WO_6 birimlerindeki W–O–W bağlarının titreşimine ve 912-938 cm^{-1} 'de gözlemlenen piklerin WO_4 veya WO_6 yapısındaki W–O⁻ ve W=O bağlarının titreşimine ait olduğu belirlenmiştir. İncelenen dalga numarası aralığında, Na^{2+} iyonlarına ait titreşim bandı tespit edilmemiştir.

Çizelge 5.11 : TeO_2 - WO_3 - Na_2O camlarının FTIR analizleri sonucu belirlenen titreşim modları.

Dalga numarası (cm^{-1})	Titreşim modu
318 - 352	WO_6 yapısındaki W–O–W bağlarının titreşimi
439 - 470	Te–O–W veya Te–O–Te bağlarının titreşimi
606 - 638	TeO_4 tbp birimlerinin titreşimi
700 - 731	TeO_4 tbp birimlerinin titreşimi
708 - 776	TeO_3 tp/ TeO_{3+1} birimlerinin titreşimi
830 - 852	WO_4 veya WO_6 yapısındaki W–O–W bağlarının titreşimi
912 - 938	WO_4 veya WO_6 yapısındaki W–O ⁻ ve W=O bağlarının titreşimi

Artan WO_3 + Na_2O / TeO_2 oranına bağlı olarak, Şekil 5.21'de de görüldüğü gibi, pik şiddetleri ve pozisyonları değişiklik göstermiş olup; artan WO_3 ve Na_2O oranı ile WO_6 yapısındaki W–O–W bağlarına ait piklerin ve Te–O–Te ya da Te–O–W bağlarına ait piklerin şiddetleri azalmış ve pikler yüksek frekanslara doğru ötelenmiştir. Bunun yanı sıra TeO_4 yapısındaki Te–O bağlarına ait piklerin ve TeO_3 tp/ TeO_{3+1} piklerinin şiddetlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, artan WO_3 ve Na_2O oranının TeO_2 - WO_3 - Na_2O camlarının zincir şeklindeki şebeke yapısını gevşetip bozarak bağlanmamış oksijen bölgeleri oluşturduğunu ve böylece TeO_4 yapısından TeO_3 yapısına dönüşen birimlerin artarak cam yapısının bağlanabilirliğinin arttığını göstermektedir. T70W15N15 ve T60W20N20 camlarında sırasıyla 728 ve 731 cm^{-1} 'de TeO_4 yapısına ait bir pik daha tespit edilmiş olup; bu pik diğer camlarda 606-638 cm^{-1} 'deki piklerin geniş karakterinden dolayı gözlemlenememektedir. Azalan TeO_2 / Na_2O + WO_3 oranı ise, cam yapısında artan W–O bağlarından ötürü, WO_4 ya da WO_6 birimlerine ait W–O–W, W–O⁻ ve W=O

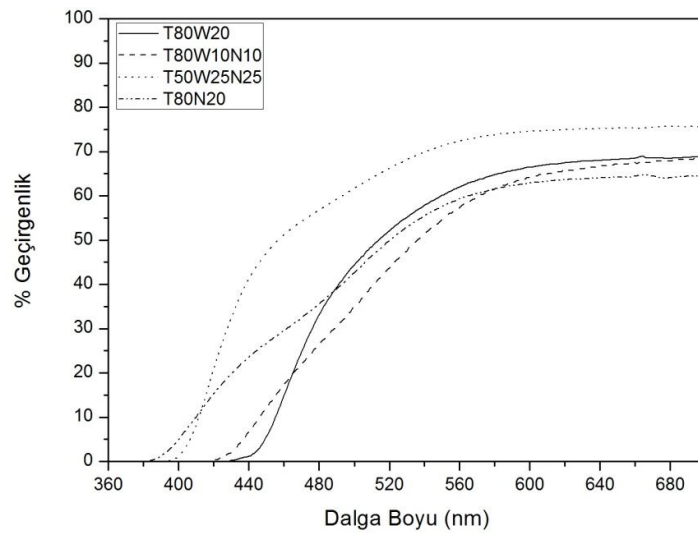
bağlarına ait piklerin düşük dalga numaralarına ötelenmesine ve şiddetlerinin azalmasına neden olmuştur.

Sabit TeO_2 oranında değişen WO_3 ve Na_2O oranının cam yapıya olan etkisi ise Şekil 5.22’de görüldüğü gibi, tungsten-tellürit (TW30) ve sodyum-tellürit (TN30) camlarının FTIR spektrumları referans alınarak artan Na_2O oranı için değerlendirilmiştir. Artan Na_2O oranının WO_4 ya da WO_6 birimlerine ait W-O-W , W-O^- ve W=O bağlarına ve TeO_4 tpb birimlerinin titreşimine ait piklerin şiddetlerini düşürdüğü ve TeO_3 tp/ TeO_{3+1} piklerinin şiddetini arttırdığı Şekil 5.22’de görülmektedir. 305 ve 370 cm^{-1} dalga numaralarında TN30 numunesi için gözlemlenen iki farklı pikin TeO_4 yapısındaki Te-O-Te bağlarına ait olduğu belirlenmiştir.

TeO_2 - WO_3 - Na_2O camlarının FTIR analiz sonuçları, TeO_2 ’nin azalan ve WO_3 ve Na_2O ’nun eşit oranda artan ve sabit TeO_2 oranında azalan WO_3 ve artan Na_2O oranlarının, TeO_2 cam şebeke yapısında W-O^- , W=O , TeO_3 ve TeO_{3+1} birimleri şeklinde bağlanmamış oksijen bölgeleri oluştuğunu göstermektedir.

5.1.2.7 TeO_2 - WO_3 - Na_2O camlarının optik incelenmesi

TeO_2 - WO_3 - Na_2O camlarının görünür bölgedeki optik incelenmesi, seçilen T80W10N10, T50W25N25, tungsten-tellürit (T80W20) ve sodyum-tellürit (T80N20) camları ile gerçekleştirilmiş olup; elde edilen spektrofotometrik analiz sonuçları Şekil 5.23’te verilmiştir.



Şekil 5.23 : TeO_2 - WO_3 - Na_2O camlarının optik analiz sonuçları.

TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin %65-76 olduğu ve üçlü sisteme ait camların (T80W10N10 ve T50W25LN25) geçirgenlik değerlerinin ikili sisteme ait camlara göre (T80W20 ve T80N20) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının görünür bölgedeki geçirgenlik sınırlarının 369-428 nm dalga boyu aralığında değiştiği ve artan WO₃ oranı ile yüksek dalga boylarına ötelendiği ve geçirgenlik sınırı en yüksek dalga boyunda olan numunenin T80W20 camı olduğu belirlenmiştir.

5.1.2.8 TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının elektriksel özelliklerinin incelenmesi

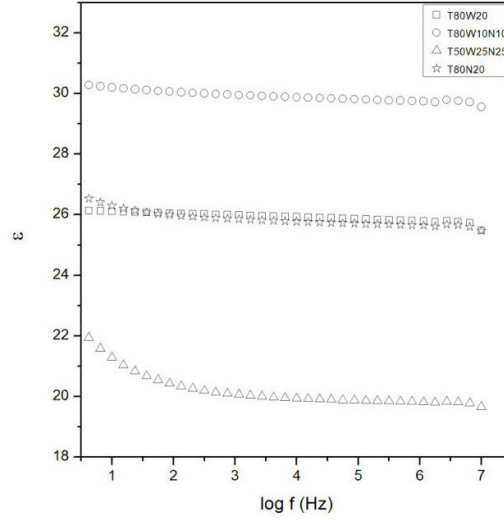
TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının elektriksel özelliklerinin incelenmesi, oda sıcaklığında ölçülen özdirenç, dielektrik sabiti ve hesaplanan iletkenlik değerleri ile gerçekleştirilmiş olup; elde edilen sonuçlar Çizelge 5.12’de verilmiştir.

Çizelge 5.12 : TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının özdirenç, ρ , iletkenlik, σ , ve dielektrik sabiti, ϵ , değerleri.

Numune	ρ 25 °C (ohm.cm)	σ 25 °C (ohm.cm) ⁻¹	ϵ (10 ³ Hz için)
T80W20	2,09 10 ¹⁶	4,7 10 ⁻¹⁷	26
T80W10N10	8,37 10 ¹⁵	1,2 10 ⁻¹⁶	30
T50W25N25	4,31 10 ¹³	2,3 10 ⁻¹⁴	20
T80N20	8,54 10 ¹⁴	1,2 10 ⁻¹⁵	22

Oda sıcaklığında ölçülen özdirenç değerlerinin 10¹³-10¹⁶ ohm.cm aralığında değişen TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının yalıtkan davranış gösterdikleri ve camların iletkenliklerinin bileşimde artan Na₂O oranı ile arttığı belirlenmiştir.

Şekil 5.24’te de görüldüğü gibi, dielektrik sabiti değerleri 20-30 aralığında değişmekte olup; T80W10N10 camı en yüksek dielektrik sabitine dolayısıyla en büyük yük taşıma kapasitesine sahip numunedir. Ayrıca, WO₃’in sodyum-tellürit camların dielektrik sabiti değerlerini dolayısıyla yük taşıma kapasitelerini arttırdığı belirlenmiştir. Literatürde dielektrik özellikleri az sayıda inorganik malzeme için incelenmiş olup; saf TeO₂ camının dielektrik sabiti değeri 20,1, 0,67TeO₂-0,33WO₃ bileşimindeki tungsten-tellürit camının ϵ değeri ise 17,8 olarak belirlenmiştir (El-Mallawany, 2002).



Şekil 5.24 : TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının dielektrik sabiti değerleri.

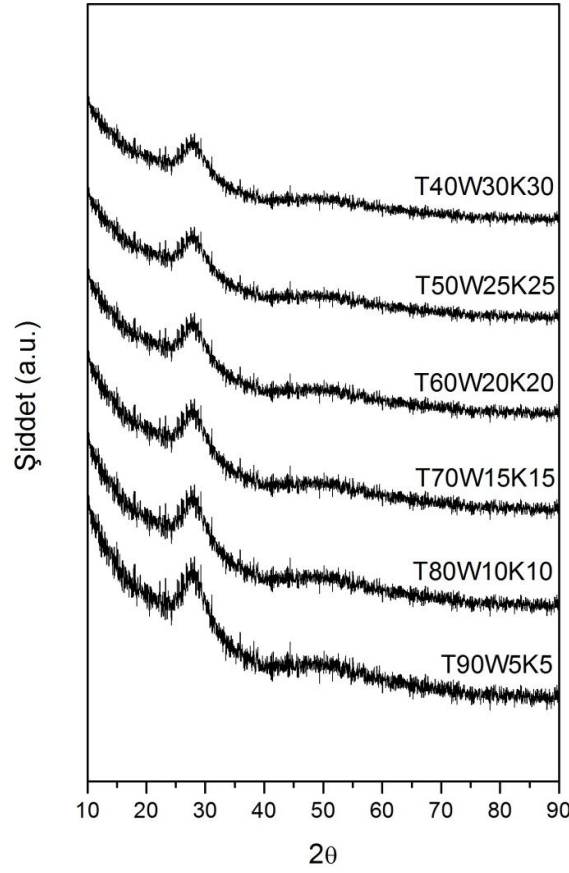
5.1.3 TeO₂-WO₃-K₂O sisteminin camlaşma davranışı ve cam özellikleri

TeO₂-WO₃-K₂O sisteminin camlaşma davranışını ve cam özelliklerini incelemek amacıyla gerçekleştirilen çalışmalarda, sistemin cam yapma bileşim aralığı tespit edilerek; cam haritası oluşturulmuştur. Sisteme ait cam numunelerin tespiti ve camların ısı, fiziksel, termodinamik, kinetik, yapısal, optik ve elektriksel özelliklerinin incelenmesi amacıyla XRD, DTA, DSC, FTIR, UV-Vis spektrofotometre, elektriksel iletkenlik ve dielektrik spektrometre cihazları kullanılmış ve bileşime bağlı olarak camların özelliklerinde meydana gelen değişimler belirlenmiştir.

5.1.3.1 TeO₂-WO₃-K₂O sisteminin camlaşma davranışı

TeO₂-WO₃-K₂O sisteminin camlaşma davranışının incelenmesi için hazırlanan üçlü sisteme ait 27 numuneden 17 tanesi döküm sonrası saydam, 1 tanesi ise yarı saydam görünümde elde edilmiştir. Saydam görünümde elde edilen numunelerin azalan TeO₂ ve eşit oranda artan WO₃ ve K₂O (artan WO₃+K₂O/TeO₂) oranına bağlı olarak turuncudan açık soluk sarıya doğru bir renk değişimi gösterdiği belirlenmiştir.

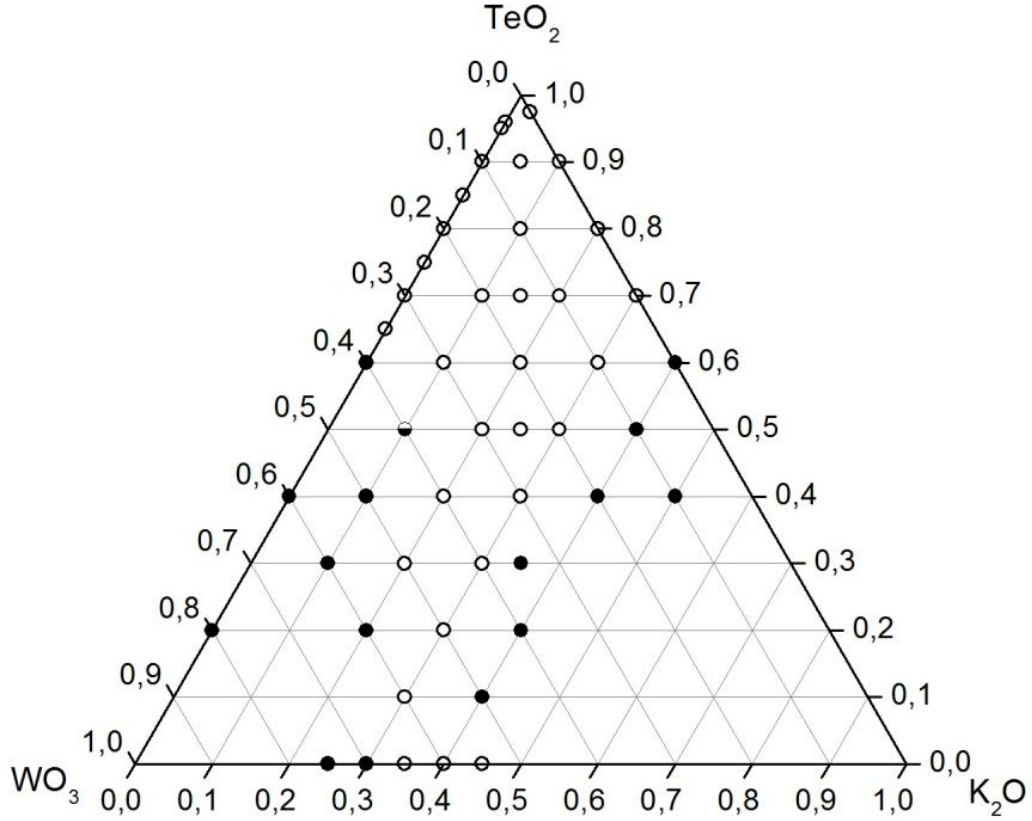
X-ışınları difraksiyonu incelemeleri ile saydam görünümde elde edilen TeO₂-WO₃-K₂O numunelerin amorf yapıda oldukları ispatlanmıştır. Seçilen bileşimler için elde edilen XRD analiz sonuçları Şekil 5.25'te verilmiştir.



Şekil 5.25 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ sistemine ait seçilmiş cam numunelerin XRD analiz sonucu.

$\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ sisteminin camlaşma davranışı literatürde daha önce Kosuge ve diğ. (1998) tarafından incelenmiş olup; sistemin cam haritası oluşturulmuştur. $\text{TeO}_2\text{-WO}_3$, $\text{TeO}_2\text{-K}_2\text{O}$ ve $\text{WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ alt ikili sistemlerinin cam yapma aralıkları ise daha önce çeşitli çalışmalarda incelenmiştir (Çelikbilek ve diğ., 2011; El-Mallawany, 2002; Tatsumisago, 1981, 1982). Tez çalışması kapsamında, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ sisteminin camlaşma davranışını incelemek amacıyla, öncelikle üçlü sistemin ikili alt sistemlerinin camlaşma davranışları incelenmiştir. Bölüm 5.1.1.1’de detaylı şekilde anlatıldığı gibi, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3$ sisteminin cam yapma aralığı % 4-35 mol WO_3 olarak tespit edilmiştir (Çelikbilek ve diğ., 2011). $\text{TeO}_2\text{-K}_2\text{O}$ ikili sisteminin cam yapma aralığı literatürde Mochida ve diğ. tarafından % 2,5-34,6 mol K_2O olarak belirlenmiştir (El-Mallawany, 2002’de atıfta bulunulduğu gibi). Bu tez çalışmasında uygulanan üretim koşulları altında ise, $\text{TeO}_2\text{-K}_2\text{O}$ sisteminin cam yapma bileşim aralığı % 2,5-30 mol K_2O olarak tespit edilmiştir. $\text{TeO}_2\text{-WO}_3$ sistemi ile benzer şekilde, $\text{WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ sisteminin camlaşma davranışının incelendiği çalışmalarda da,

uygulanan farklı yöntemlerden dolayı, elde edilmiş farklı cam yapma aralığı değerleri mevcuttur (Tatsumisago ve diğ., 1981, 1982). Bu tez çalışması kapsamında, sistemin cam yapma bileşim aralığı % 55-65 mol WO_3 olarak tespit edilmiştir. İkili alt sistemlerin ve üçlü sistemin incelenmesi sonucunda, TeO_2 - WO_3 - K_2O sisteminin cam yapma bileşim aralığı tespit edilmiş ve sistemin elde edilen cam haritası Şekil 5.26'da gösterilmiştir.



Şekil 5.26 : TeO_2 - WO_3 - K_2O sisteminin cam haritası, (○) cam, (◐) kısmi cam, (●) kristalin.

Bu tez çalışmasında uygulanan üretim koşullarında elde edilen TeO_2 - WO_3 - K_2O sisteminin cam haritası, Kosuge ve diğ. (1998) tarafından oluşturulan cam haritası ile karşılaştırıldığında, özellikle alt ikili sistemlerin cam yapma bölgeleri açısından, daha geniş bir cam yapma bileşim aralığına sahiptir.

5.1.3.2 TeO_2 - WO_3 - K_2O camlarının ısı özelliklerinin incelenmesi

TeO_2 - WO_3 - K_2O camlarının DSC analizleri sonucu elde edilen cam geçiş onset (T_g), ilk kristalizasyon onset (T_{c1}) sıcaklık ve cam kararlılık (ΔT) değerleri Çizelge 5.13'te verilmektedir. Seçilen bileşimler için artan WO_3 + K_2O / TeO_2 miktarına ve sabit TeO_2

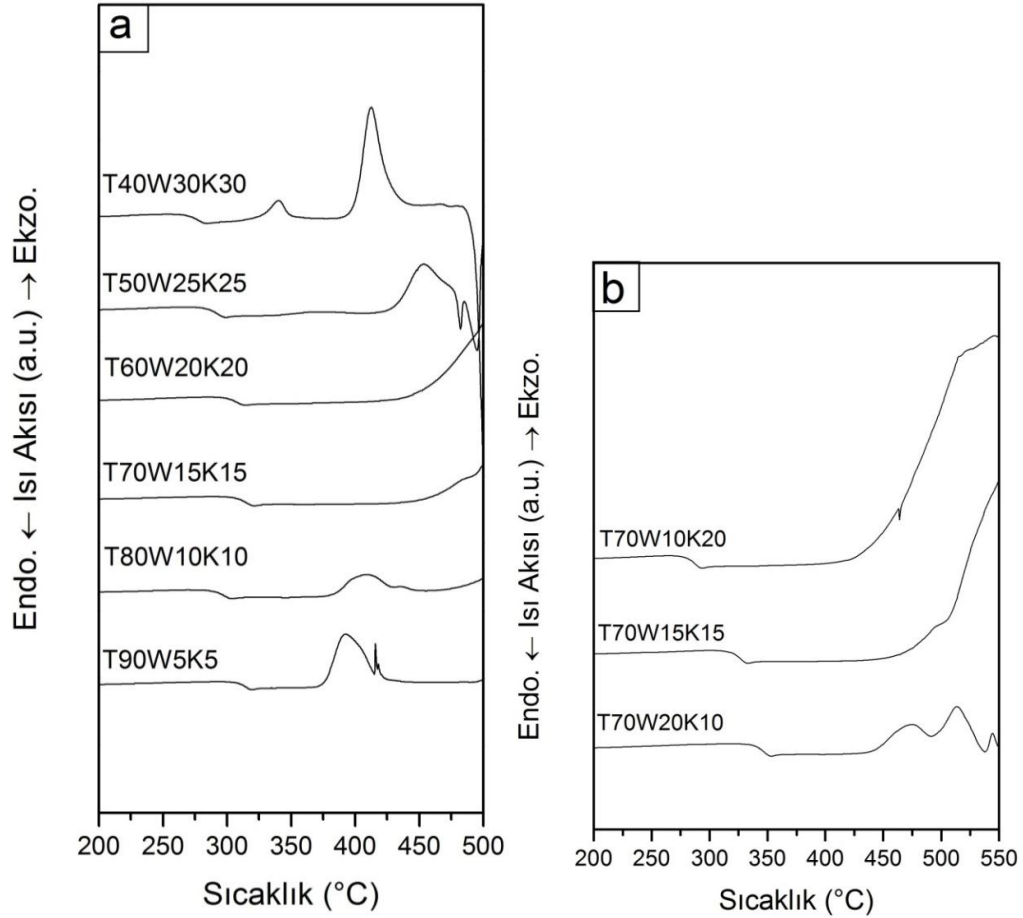
oranında artan K_2O ve azalan WO_3 oranına bağılı olarak çizilen DSC termogramları ise sırasıyla Şekil 5.27 ve 5.28’de verilmiştir.

Çizelge 5.13 : $TeO_2-WO_3-K_2O$ sisteminden elde edilen cam numunelere ait cam geçiş onset (T_g), ilk kristalizasyon onset (T_{c1}) sıcaklık ve cam kararlılık (ΔT) değerleri.

Numune	T_g (°C)	T_{c1} (°C)	ΔT (°C)
T90W5K5	308	376	68
T80W10K10	309	403	94
T70W20K10	339	442	103
T70W15K15	304	457	153
T70W10K20	264	423	159
T60W30K10	367	504	137
T60W20K20	297	464	167
T60W10K30	221	260	39
T50W30K20	327	484	157
T50W25K25	284	340	56
T50W20K30	241	285	44
T40W40K20	358	419	61
T40W30K30	267	325	58
T30W50K20	383	456	74
T30W40K30	322	414	92
T20W50K30	296	350	54
T10W60K30	353	399	46

$TeO_2-WO_3-K_2O$ sisteminden elde edilen tüm cam numunelerde cam geçiş reaksiyonu, T_g , gözlemlenmiş olup; elde edilen T_g değerleri 221-383 °C aralığında değişmektedir. Cam geçiş sıcaklık değerlerinin, artan WO_3+K_2O/TeO_2 miktarına göre, önce önemli bir değişim göstermediği, T80W10K10 bileşiminden itibaren ise azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 5.27a). Şekil 5.27b’de % 70 mol TeO_2 için gösterildiği gibi, sabit TeO_2 bileşiminde artan K_2O ve azalan WO_3 oranı ile cam geçiş sıcaklık değerlerinin azaldığı belirlenmiş ve bu davranış literatürde de daha önce benzer şekilde tespit edilmiştir (El-Desoky ve Ragab, 2005; Jeong ve diğ., 2007; Kosuge ve diğ., 1998; Öz ve diğ., 2007a, 2007b). Bu sonuçlar, K_2O katkısının tungsten-tellürit camların zincir şeklindeki şebeke yapısını gevşetip bozarak bağlanmamış oksijen bölgeleri oluşturduğunu göstermektedir (Heo ve diğ., 1992; Kosuge ve diğ., 1998; Nishida ve diğ., 1988; Öz ve diğ., 2007a, 2007b; Zhu ve diğ.,

2003). Artan K_2O ve azalan WO_3 oranına bağlı olarak cam şebeke yapısında meydana gelen değişim, cam yapısında WO_3 'in şebeke oluşturu ve K_2O 'in ise şebeke yapısı modifiye edici olarak davrandığını göstermekte olup; benzer davranış literatürde daha önce farklı tellürit cam sistemler için de belirtilmiştir (El-Mallawany, 2002, Kosuge, 1998; Muñoz-Martín, 2009).



Şekil 5.27 : $TeO_2-WO_3-K_2O$ camlarının DSC termogramları a) azalan TeO_2 ve eşit oranda artan WO_3 ve K_2O oranına göre, b) sabit TeO_2 oranında artan K_2O ve azalan WO_3 oranına göre.

Cam kararlılık değeri, $\Delta T = T_c - T_g$, tüm cam bileşimleri için hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.13'te verilmiştir. Cam kararlılık değerleri 39-167 °C aralığında tespit edilmiş ve bileşime bağlı olarak düzenli bir değişim göstermediği belirlenmiştir. $TeO_2-WO_3-K_2O$ sistemine ait en yüksek cam kararlılık değerine sahip numune, 167 °C olan cam kararlılık değeri ile T60W20K20 camıdır. El-Mallawany ve Ahmed'in (2008) yaklaşımı dikkate alınarak, $TeO_2-WO_3-K_2O$ sisteminden

seçilecek uygun bileşimdeki camların optik uygulamalarda kullanım için yeterli cam kararlılık değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

5.1.3.3 TeO₂-WO₃-K₂O camlarının fiziksel özelliklerinin incelenmesi

TeO₂-WO₃-K₂O sisteminden elde edilen cam numunelerin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri Çizelge 5.14'te verilmektedir.

TeO₂-WO₃-K₂O camlarından Çizelge 5.14'te ismi * ile belirtilen T60W10K30 numunesinin, Arşimet tekniği ile gerçekleştirilen yoğunluk ölçümleri sırasında su içerisinde kısmen çözünerek sürekli olarak ağırlık kaybı yaşaması nedeniyle bu numunenin yoğunluk ölçümlerinde ölçüm sıvısı olarak saf su yerine etanol kullanılmıştır.

TeO₂-WO₃-K₂O camlarının oda sıcaklığında ölçülen yoğunluk değerleri, hesaplanan teorik yoğunluk değerleri ile uyumlu elde edilmiş ve bileşimdeki artan WO₃+K₂O/TeO₂ miktarına bağlı olarak 5,41 g/cm³'den 4,60 g/cm³'e düşüş göstermiştir. Ayrıca, sabit TeO₂ bileşiminde düşük yoğunluğa sahip K₂O'nun artması ve yüksek yoğunluğa sahip WO₃'in azalması ile ölçülen yoğunluk değerleri düşüş gösterdiği belirlenmiştir (El-Desoky ve Ragab, 2005) TeO₂-WO₃-K₂O camlarının yoğunluk değerlerinin, içerdikleri düşük yoğunluğa sahip alkali oksit bileşen nedeniyle, diğer tellürit camlara kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir

TeO₂-WO₃-K₂O camlarının molar hacim değerleri incelendiğinde ise (Çizelge 5.14), azalan TeO₂ ve eşit oranda artan WO₃ ve K₂O oranına ve sabit TeO₂ bileşiminde, artan WO₃ ve azalan K₂O oranı ile V_M değerlerinde bir artış meydana geldiği belirlenmiştir. Bu durum, artan WO₃ oranı ile daha büyük iyonik yarıçapa sahip oksijen iyonlarının (O^{2-} : 0,14nm, Te^{4+} :0,116nm, W^{6+} : 0,065nm, K^{+} :0,113nm) yapıdaki sayısının artması ve bu nedenle hacimde meydana gelen büyümeden kaynaklanmaktadır (Muñoz-Martín ve diğ., 2009). Molar hacimdeki artışın cam yapısındaki boşluk hacmini arttırarak yapıyı daha gevşek hale getirdiği belirlenmiştir.

TeO₂-WO₃-K₂O camlarının oksijen molar hacimleri, Çizelge 5.14'te görüldüğü gibi, azalan TeO₂ ve eşit oranda artan WO₃ ve K₂O oranına ve sabit TeO₂ bileşiminde azalan WO₃ ve artan K₂O oranına bağlı olarak, cam yapısının daha az yoğun hale

gelmesi sonucu, artış göstermektedir. Yüksek alan şiddetine sahip olan W^{6+} iyonlarının (Te^{4+} : 0,71, W^{6+} : 1,47, K^+ : 0,13) bileşimdeki azalışı ile daha az sıkı paketlenir hale gelen yapının yoğunluğu ve oksijen molar hacim değeri azalmaktadır (Ersundu ve diğ., 2012; Muñoz-Martín ve diğ., 2009).

Çizelge 5.14 : $TeO_2-WO_3-K_2O$ sisteminden elde edilen cam numunelere ait yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD), ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu ($\bar{n}_c$), birim hacimdeki bağ sayısı (n_b) ve Poisson oranı (μ_{cal}) değerleri.

Numune	$\rho_{25^\circ C}$ (g cm ⁻³)	ρ_{teorik} (g cm ⁻³)	V_M (cm ³ mol ⁻¹)	V_O (cm ³ mol ⁻¹)	OPD (mol L ⁻¹)	$\bar{n}_c$	n_b (x10 ²¹ cm ⁻³)	μ_{cal}
T90W5K5	5,41	5,58	28,99	14,68	68,99	2,10	90,29	0,27
T80W10K10	5,19	5,49	29,67	15,21	67,42	2,18	94,80	0,27
T70W20K10	5,35	5,64	30,12	14,69	69,72	2,36	97,23	0,27
T70W15K15	5,06	5,40	29,87	15,52	66,96	2,26	99,09	0,26
T70W10K20	4,93	5,16	28,56	15,87	66,52	2,17	100,93	0,25
T60W30K10	5,55	5,79	30,34	14,11	72,50	2,55	99,66	0,27
T60W20K20	4,93	5,30	30,07	15,83	66,51	2,33	103,15	0,25
T60W10K30*	4,51	4,82	28,36	17,19	63,47	2,15	106,51	0,24
T50W30K20	5,05	5,45	30,75	15,38	68,29	2,50	105,40	0,26
T50W25K25	4,79	5,21	30,31	16,17	65,97	2,40	107,00	0,25
T50W20K30	4,50	4,97	30,03	17,16	63,27	2,31	108,55	0,24
T40W40K20	5,24	5,60	31,01	14,77	70,94	2,67	107,67	0,26
T40W30K30	4,60	5,12	30,92	16,71	64,69	2,46	110,62	0,24
T30W50K20	5,37	5,75	31,63	14,38	72,71	2,83	109,96	0,26
T30W40K30	4,98	5,27	30,03	15,40	69,93	2,62	112,73	0,24
T20W50K30	4,79	5,42	32,76	15,98	67,16	2,77	114,87	0,24
T10W60K30	5,15	5,57	31,85	14,81	72,21	2,92	117,03	0,25

*: yoğunluk ölçüm sıvısı olarak etanol kullanılan numune

$TeO_2-WO_3-K_2O$ camlarının oksijen paketlenme yoğunluğu değerleri, bileşimdeki artan WO_3+K_2O/TeO_2 miktarına bağlı olarak 68,99 mol/L'den 64,69 mol/L'ye düşüş göstermiştir (Çizelge 5.14). Sabit TeO_2 bileşiminde WO_3 'ün 1/3 oranında daha az oksijen atomu sayısına sahip K_2O ile yer değiştirmesi ile ise, oksijen paketlenme yoğunluğu değerleri azalış göstermiştir. Oksijen paketlenme yoğunluğu

değerlerindeki bu azalış yapıdaki WO_3 miktarının azalması sonucu cam yapıdaki bağ sayısının azalması ve yapının daha az sıkı paketlenmesinden kaynaklanmaktadır.

TeO_2 - WO_3 - K_2O camlarının ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu değerleri, $\bar{n}_c$, bileşimdeki azalan TeO_2 ve eşit oranda artan WO_3 ve K_2O oranı ile, yapıdaki $Te-O-Te$ bağlarının modifiye olarak Te atomunun koordinasyon sayısının 4'ten 3'e azalmasından dolayı, 2,10'dan 2,46'ya artış göstermiştir. Artan ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu değerleri, cam yapının bağlanabilirliğinin arttığını göstermektedir. Sabit TeO_2 bileşiminde azalan WO_3 ve artan K_2O oranı ile ise, ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu değerleri azalmış olup; bu durum cam yapıdaki bağlanmamış oksijen bölgelerinin artışından kaynaklanmaktadır (El-Mallawany ve diğ., 2010; Hager ve El-Mallawany, 2010; El-Mallawany ve Ahmed, 2008).

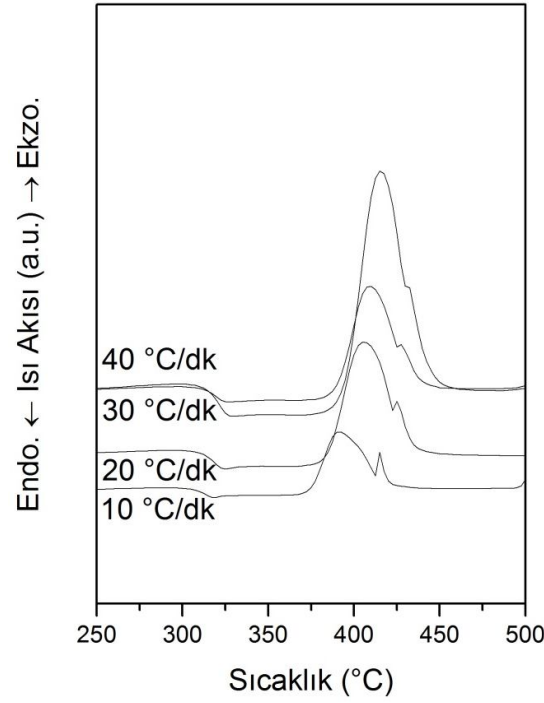
TeO_2 - WO_3 - K_2O camlarının birim hacimdeki bağ sayısı, n_b , değerleri, bileşimdeki artan WO_3+K_2O/TeO_2 miktarı ve sabit TeO_2 bileşiminde azalan WO_3 ve artan K_2O oranı ile artış göstermiş olup; bu durum cam yapısındaki katyon sayısının artışından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, azalan TeO_2 ve artan K_2O oranı ile birim hacimdeki bağ sayısında meydana gelen artış, camların sert karakter gösterme eğilimin de bir göstegesidir (El-Mallawany ve diğ., 2010; Hager ve El-Mallawany, 2010; El-Mallawany ve Ahmed, 2008).

TeO_2 - WO_3 - K_2O camlarının Poisson oranı (μ_{cal}), bileşimdeki azalan TeO_2 ve eşit oranda artan WO_3 ve K_2O miktarına ve sabit TeO_2 bileşiminde azalan WO_3 ve artan K_2O oranına bağlı olarak, artan çapraz bağlanma yoğunluğu nedeniyle, azalış göstermektedir. Poisson oranında meydana gelen azalış, yapıda azalan TeO_2 ve artan K_2O oranının cam yapısının bağlanabilirliğini ve sertliğini arttırdığını ifade etmektedir (El-Mallawany ve diğ., 2010).

5.1.3.4 TeO_2 - WO_3 - K_2O camlarının kinetik incelenmesi

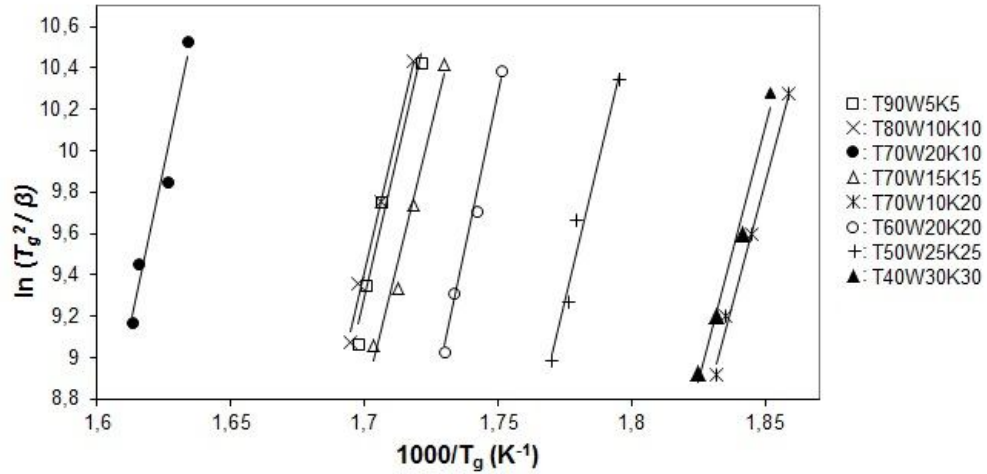
TeO_2 - WO_3 - K_2O camlarının cam geçiş aktivasyon enerjisi değerleri gerçekleştirilen non-izotermal incelemeler ile belirlenmiştir. Temsilen seçilen T90W5K5 camının farklı ısıtma hızlarındaki ısıl analiz sonuçları Şekil 5.28'de, TeO_2 - WO_3 - K_2O camlarının farklı ısıtma hızlarında elde edilen cam geçiş sıcaklığı değerleri ise Çizelge 5.15'te görülmektedir.

T90W5K5 camının cam geçiş ve kristalizasyon sıcaklıkları artan ısıtma hızı ile daha yüksek sıcaklıklara ötelenmiş, ve kristalizasyon piklerinin şiddetleri artmıştır.



Şekil 5.28 : T90W5K5 camının farklı ısıtma hızlarında gerçekleştirilmiş DSC analizi sonucu.

Çizelge 5.15'te verilen cam geçiş aktivasyon enerjisi, E_g , değeri, cam geçiş reaksiyonu için uyarlanmış Kissinger bağıntısı kullanılarak (Denklem 3.11) elde edilen $\ln (T_g^2/\beta) - 1/T_g$ değişiminden 398-509 kJ/mol olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.29).



Şekil 5.29 : TeO₂-WO₃-K₂O camlarının $\ln (T_g^2/\beta) - (1/T)$ değişimi.

Sabit TeO₂ bileşiminde artan K₂O ve azalan WO₃ oranı ile, cam geçiş aktivasyon enerjisi değerlerinin düşüş gösterdiği belirlenmiş olup; bu durum cam

kompozisyonunda azalan WO₃ oranına karşılık artan K₂O oranına bağlı olarak koordinasyon sayısının 1/6 oranında azalmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 5.15 : TeO₂-WO₃-K₂O camlarının non-izotermal kinetik analizi sonucu farklı ısıtma hızları için elde edilen cam geçiş sıcaklıkları (T_g), hesaplanan cam geçiş aktivasyon enerjisi (E_g), kırılgenlik (m), C parametresi (C), viskozite ($\log \eta$) ve viskozite azalma faktörü (e^C) değerleri.

Numune	T_g (°C)				E_g (kJ mol ⁻¹)	m	C	$\log \eta$ (Pa s)	e^C
	Isıtma hızı (°C/dk)								
	10	20	30	40					
T90W5K5	308	313	315	316	466	95,6	2,1	11,27	8,3
T80W10K10	309	313	316	317	466	95,5	2,1	11,27	8,2
T70W20K10	339	342	346	347	495	96,5	2,2	11,27	8,8
T70W15K15	304	309	311	314	436	89,9	2,0	11,27	7,4
T70W10K20	264	269	272	273	398	88,2	2,3	11,27	9,6
T60W20K20	297	301	304	305	509	106,4	2,4	11,26	10,9
T50W25K25	284	289	290	292	442	95,4	2,5	11,26	12,2
T40W30K30	267	270	273	275	410	90,6	-	-	-

Cam geçiş aktivasyon değerlerinden yola çıkarak TeO₂-WO₃-K₂O camlarının kırılgenlik, C parametresi, viskozite ve viskozite değişim faktörü değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 5.15).

Camların sert-kırılgen karakterinin tespit edilmesinde kullanılan kırılgenlik, m , değerleri 90,6 ile 106,4 arasında değişmektedir. Bu değerler, literatür değerleri ile karşılaştırıldığında TeO₂-WO₃-K₂O camlarının genel olarak sert-kırılgen karakter arasında sertte yakın bir özellik gösterdiği tespit edilmiştir (Zhu ve diğ., 2003). Sabit TeO₂ bileşiminde artan K₂O ve azalan WO₃ oranına bağlı olarak kırılgenlik değerleri azalış göstermiştir. Bu durum TeO₂-WO₃-K₂O camlarının artan K₂O ve azalan WO₃ oranı ile sert karakter gösterme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Buna göre, sert özellik gösterme eğilimde olan TeO₂-WO₃-K₂O camlarının viskozite ve ısı kapasitesi değerlerinin artan K₂O/WO₃ oranı ile cam geçiş bölgesinde küçük bir değişiklik göstermesi beklenmektedir.

Sıcaklığa bağlı olarak cam geçiş bölgesi genişliği ve aktivasyon enerjisi arasındaki ilişkiyi veren C parametresi, TeO₂-WO₃-K₂O camları için Çizelge 5.15'te verilmiştir. İnorganik camlar için ortalama 4,8 olarak hesaplanmış olan C parametresi değerleri (Moynihan, 1993), TeO₂-WO₃-K₂O camları için 2,0-2,5 olarak belirlenmiştir. C

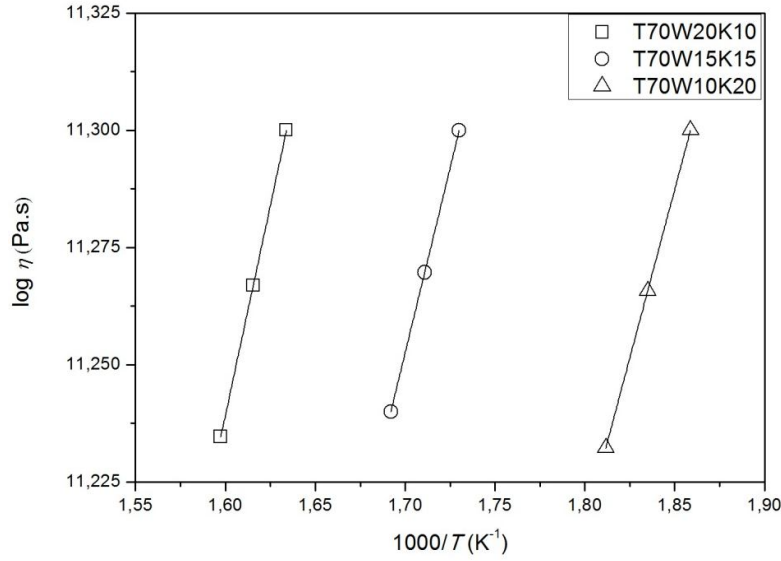
parametresi değeri diğer numunelere kıyasla daha yüksek değerlerde olan T40W30K30 camına ait değer ise (8,8), $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camları için dikkate alınmamıştır. Bu numunenin yüksek C parametresi değeri, çok geniş bir cam geçiş bölgesi genişliğine sahip olmasından ve bu bölge boyunca aktivasyon enerjisinin diğer camlara kıyasla daha çok değişmesinden kaynaklanmaktadır.

$\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarının ortalama cam geçiş sıcaklık değeri için hesaplanan viskozite, η , değerleri 11,26-11,27 Pa.s olarak tespit edilmiş olup; C parametresi ile benzer şekilde T40W30K30 camının sıcaklığa bağlı viskozite değişiminin de $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarına kıyasla daha büyük olduğu tespit edilmiş ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camları için dikkate alınmamıştır. Literatürde Moynihan (1993) tarafından çeşitli inorganik cam sistemler için hesaplanan ortalama viskozite değeri 11,3 Pa.s'dır. $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarının cam geçiş bölgesi genişliği boyunca sıcaklığa bağlı viskozite değişimi seçilen farklı bileşimler için Şekil 5.30'da verilmiş olup; viskozite değerlerinin azalan sıcaklık ile lineer bir artış gösterdiği belirlenmiştir. Angell'in (1991) yaklaşımına göre bu özellik sıvıların sert yapıda olduğunun bir göstergesidir.

$\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camları için hesaplanan viskozite azalma faktörü, e^C , değerleri incelendiğinde, T40W30K30 camına ait değer hariç, e^C değerlerinin literatürde pek çok inorganik cam sistem için hesaplanmış değerlerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Moynihan, 1993). T40W30K30 camına ait viskozite azalma faktörü değeri ise 3505 olarak tespit edilmiş olup; bu durum cam geçiş bölgesi genişliği boyunca T40W30K30 camının viskozitesinin artan sıcaklıkla birlikte hızla azaldığını göstermektedir. Yapılan tekrarlı deneylerde, T40W30K30 camının cam geçiş bölgesi boyunca viskozite değerlerinde büyük bir değişiklik gözlemlenmiş olup; bu durum T40W30K30 camının diğer numunelere kıyasla daha yüksek kristallenme kabiliyetine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarının e^C değerleri ise cam geçiş bölgesi genişliği boyunca 7,4-12,2 aralığında bulunmuştur. Bu durum $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarının viskozitelerinin cam geçiş bölgesi boyunca sıcaklıktan az etkilendiğini göstermektedir.

Cam geçiş aktivasyon enerjisi değerlerinden yola çıkarak gerçekleştirilen kırılgenlik hesaplamaları sonucu sert ve kırılgen arası bir karakter gösterdiği belirlenen ve artan K_2O oranı ile sert özellik gösterme eğiliminde olduğu tespit edilen $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarının C parametresi, viskozite ve viskozite azalma faktörü değerleri, T40W30K30 camı hariç, bu camların cam geçiş bölgesi boyunca akışkanlık

özelliklerinin çok az değiştiğini göstermiştir. T40W30K30 bileşimindeki camın ise akışkanlık özelliklerinin cam geçiş bölgesi boyunca sıcaklıktan büyük oranda etkilendiği tespit edilmiştir.

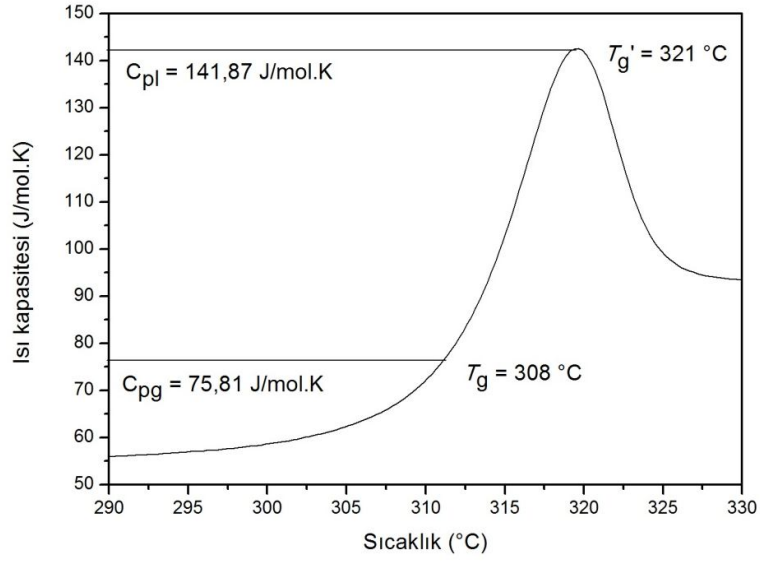


Şekil 5.30 : TeO₂-WO₃-K₂O camlarının log η – 1/T değişimi.

5.1.3.5 TeO₂-WO₃-K₂O camlarının ısı kapasitesi ölçümleri

TeO₂-WO₃-K₂O camlarının ısı kapasitesi incelemeleri cam geçiş bölgesi için gerçekleştirilmiş olup; Şekil 5.31'de seçilen T90W5K5 bileşimi için elde edilen ısı kapasitesi değişimi verilmiştir. İncelenen bölgede, T90W5K5 camının cam halden aşırı soğutulmuş sıvı haline geçişi ısı kapasitesinde bir değişikliğe yol açmış ve bu durum tüm numunelerde benzer şekilde gözlemlenmiştir.

Isı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 5.16 verilmiş olup; incelemelerde cam geçiş onset sıcaklığı T_g , cam geçiş sonlanma sıcaklığı T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, $\Delta T_g = T_g' - T_g$, cam haldeki ısı kapasitesi, C_{pg} , aşırı soğutulmuş sıvı haldeki ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pg}/C_{pl} , değerleri hesaplanmıştır. T_g ve T_g' değerlerinin sabit TeO₂ bileşiminde artan K₂O ve azalan WO₃ oranına bağlı olarak azalış gösterdiği tespit edilmiştir. ΔC_p ve C_{pg}/C_{pl} değerleri, kırılgenlik değerleri ile benzer şekilde, sabit TeO₂ bileşiminde artan K₂O ve azalan WO₃ oranına bağlı olarak azalış göstermiş olup; literatürde daha önce TeO₂-WO₃-K₂O camları için Kosuge ve diğ. (1998) tarafından belirlenen değerlerle uyumlu olarak tespit edilmiştir.



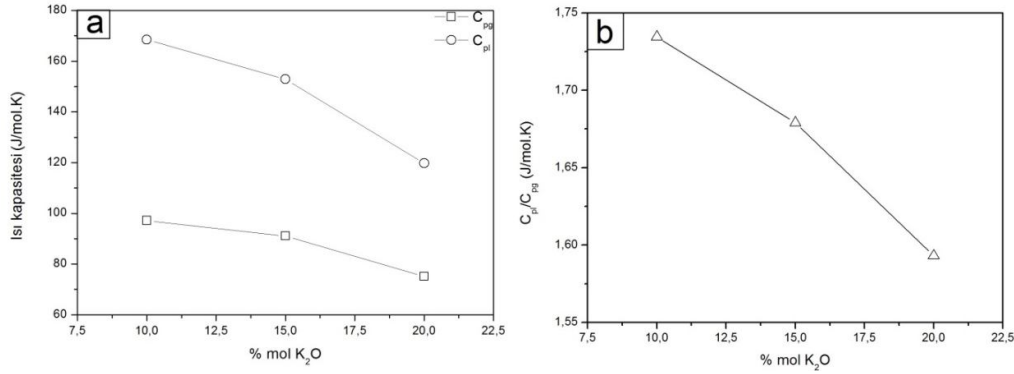
Şekil 5.31 : T90W5K5 camının ısı kapasitesi analizi.

Çizelge 5.16 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarının ısı kapasitesi incelemeleri sonucu elde edilen cam geçiş onset, T_g ve cam geçiş sonlanma sıcaklığı, T_g' , cam geçiş bölgesi genişliği, ΔT_g , cam ısı kapasitesi, C_{pg} , aşırı soğutulmuş sıvı ısı kapasitesi, C_{pl} , ısı kapasitesi değişimi, ΔC_p ve oransal ısı kapasitesi, C_{pl}/C_{pg} , değerleri.

Numune	T_g (°C)	T_g' (°C)	ΔT_g (°C)	C_{pg} (J/mol K)	C_{pl} (J/mol K)	ΔC_p (J/mol K)	C_{pl}/C_{pg}
T90W5K5	311	321	10	75,81	141,87	66,06	1,87
T80W10K10	311	322	11	83,67	147,46	63,79	1,76
T70W20K10	339	353	14	97,15	168,51	71,36	1,73
T70W15K15	307	318	11	91,07	152,91	61,84	1,68
T70W10K20	263	279	16	75,18	119,76	44,58	1,59
T60W20K20	298	311	13	105,27	170,46	65,19	1,62
T50W25K25	281	299	18	89,04	138,40	49,36	1,55
T40W30K30	251	320	69	69,83	100,06	30,23	1,43

Şekil 5.32a ve 5.32b’de, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarının C_{pg} , C_{pl} ve C_{pl}/C_{pg} değerlerinin sabit TeO_2 oranında (%70 mol) artan K_2O oranına göre değişimi gösterilmiştir. Artan K_2O oranı ile ΔC_p (Şekil 5.32a) ve C_{pl}/C_{pg} (Şekil 5.32b) değerlerinin azaldığı, buna göre bileşimde artan K_2O miktarının $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarının ısı kapasitesi değerlerinin sıcaklıktan etkilenme oranını azalttığı görülmektedir. Oransal ısı kapasitesi değerlerindeki değişimin TeO_4 tbp birimlerinin $\text{TeO}_3/\text{TeO}_{3+1}$ birimlerine dönüşümü sonucu oluşan bağlanmamış oksijen bölgelerinden kaynaklandığı bilinmektedir (Upender ve diğ., 2010b). Buna göre, artan K_2O oranı ile $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-}$

K₂O camlarının ısı kapasitesi değerlerinde meydana gelen azalış, K₂O katkısının bağlanmamış oksijen bölgeleri oluşturarak tungsten-tellürit camların zincir şeklindeki şebeke yapısını gevşetip bozduğunu göstermektedir.



Şekil 5.32 : Sabit TeO₂ oranında (%70 mol) TeO₂-WO₃-K₂O camlarının değişen K₂O oranına göre a) C_{pg} ve C_{pl} ve b) C_{pl}/C_{pg} değişimi.

Oransal ısı kapasitesi değerleri camların kırılgenlıkları hakkında termodinamik açıdan bilgi vermektedir (Angell, 1991). Kırılgenlık özelliklerinin belirlenmesinde, kesin bir C_{pl}/C_{pg} sınır değeri bulunmayıp; 1,1'in altında C_{pl}/C_{pg} değerine sahip olan sıvıların sert, 1,1'in üzerinde C_{pl}/C_{pg} değerine sahip olan sıvıların ise kırılgen karakter gösterdiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, sert sıvıların cam geçiş bölgesindeki ısı kapasitesi değişimlerinin, sahip oldukları kovalent bağlardan ötürü, daha az olduğu bilinmektedir (Angell, 1991; Upender, 2010b). TeO₂-WO₃-K₂O camlarında, sabit TeO₂ bileşiminde artan K₂O oranı ile azalış göstermekte olan oransal ısı kapasitesi değerleri, Angell'in (1991) yaklaşımına göre, artan K₂O ve azalan WO₃ oranının tellürit cam yapısını daha sert hale getirdiğini ve camların ısı kapasitesi değişimini azalttığını göstermektedir.

5.1.3.6 TeO₂-WO₃-K₂O camlarının yapısal incelenmesi

TeO₂-WO₃-K₂O camlarının FTIR spektroskopisi yöntemi ile gerçekleştirilen yapısal analiz sonuçları, azalan TeO₂ ve eşit oranda artan WO₃ ve K₂O miktarına ve sabit TeO₂ bileşiminde artan K₂O ve azalan WO₃ oranına bağlı olarak, sırasıyla Şekil 5.33 ve Şekil 5.34'te verilmiştir.

Çizelge 5.17'de, literatürde farklı TeO₂ esaslı sistemler için belirlenen FTIR spektrumları ve kullanılan hammaddelerin FTIR spektrumları incelenerek TeO₂-WO₃-K₂O camları için tespit edilen titreşim özellikleri verilmiştir (Ersundu ve diğ., 2011, 2012; Kosuge ve diğ., 1998; Sekiya ve diğ., 1994; Tatsumisago ve diğ., 1994;

Upender ve diğ., 2009). TeO_2 - WO_3 - K_2O camlarının FTIR spektrumları geniş pikler göstermiştir. Bu durum, cam yapısındaki düzensizlikten kaynaklanmaktadır. Yapısal incelemelere göre, azalan TeO_2 ve sabit TeO_2 oranında değişen K_2O ve WO_3 oranına bağlı olarak, elde edilen piklerde ötelenmeler ve pik şiddetlerinde değişiklikler görülmektedir.

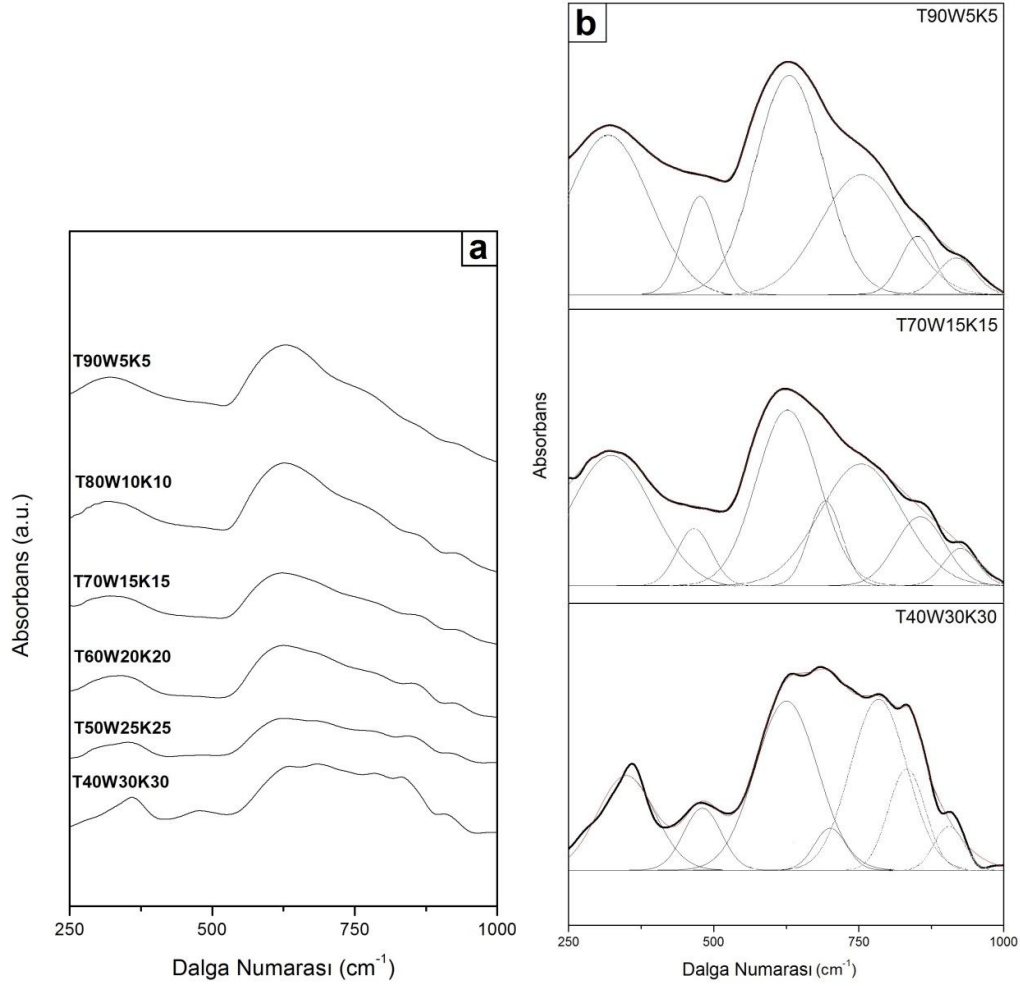
Çizelge 5.17 : TeO_2 - WO_3 - K_2O camlarının FTIR analizleri sonucu belirlenen titreşim modları.

Dalga numarası (cm^{-1})	Titreşim modu
320-358	WO_6 yapısındaki W–O–W bağlarının titreşimi
453-488	Te–O–W veya Te–O–Te bağlarının titreşimi
617-634	TeO_4 tbp birimlerinin titreşimi
677-683	TeO_4 tbp birimlerinin titreşimi
745-786	TeO_3 tp/ TeO_{3+1} birimlerinin titreşimi
833-856	WO_4 veya WO_6 yapısındaki W–O–W bağlarının titreşimi
906-931	WO_4 veya WO_6 yapısındaki W–O [–] ve W=O bağlarının titreşimi

FTIR spektrumunda 320-358 cm^{-1} dalga numaralarında gözlemlenen piklerin WO_6 yapısındaki W–O–W bağlarının, 453-488 cm^{-1} dalga numaralarında gözlemlenen piklerin ise Te–O–W veya Te–O–Te bağlarının titreşimine ait olduğu belirlenmiştir. 617-634 cm^{-1} 'de ve 677-683 cm^{-1} 'de gözlemlenen absorpsiyon piklerinin TeO_4 tbp birimlerinin titreşimlerinden kaynaklandığı, 745-786 cm^{-1} 'de gözlemlenen piklerin ise TeO_3 tp/ TeO_{3+1} birimlerinin titreşimine ait olduğu tespit edilmiştir. 833-856 cm^{-1} 'de gözlemlenen piklerin WO_4 veya WO_6 birimlerindeki W–O–W bağlarının titreşimine ve 906-931 cm^{-1} 'de gözlemlenen piklerin WO_4 veya WO_6 yapısındaki W–O[–] ve W=O bağlarının titreşimine ait olduğu düşünülmektedir. Çalışılan dalga numarası aralığında K^{2+} iyonlarının titreşim bandı oluşturmadığı tespit edilmiştir.

TeO_2 'nin azalan ve WO_3 ve K_2O 'nun eşit oranda artan oranına bağlı olarak pik şiddetleri ve pozisyonları değişiklik göstermiştir (Şekil 5.33). Artan WO_3 ve K_2O oranı ile WO_6 yapısındaki W–O–W bağlarına ait piklerin ve TeO_4 yapısındaki Te–O–Te ya da Te–O–W bağlarına ait piklerin şiddetleri azalmış ve pikler yüksek frekanslara doğru ötelenmiştir. TeO_4 yapısındaki Te–O bağlarına ait piklerin şiddeti azalırken; TeO_3 tp/ TeO_{3+1} piklerinin şiddeti artmıştır. Bu sonuçlar, artan WO_3 ve K_2O oranının zincir şeklindeki şebeke yapısının gevşeyip bozularak bağlanmamış oksijen bölgeleri oluşturduğunu ve böylece TeO_4 yapısından TeO_3 yapısına dönüşen birimlerin artarak cam yapısının bağlanabilirliğinin arttığını göstermektedir. T70W15L15, T60W20K20, T50W25K25 ve T40W35K35 camlarında TeO_4 yapısına

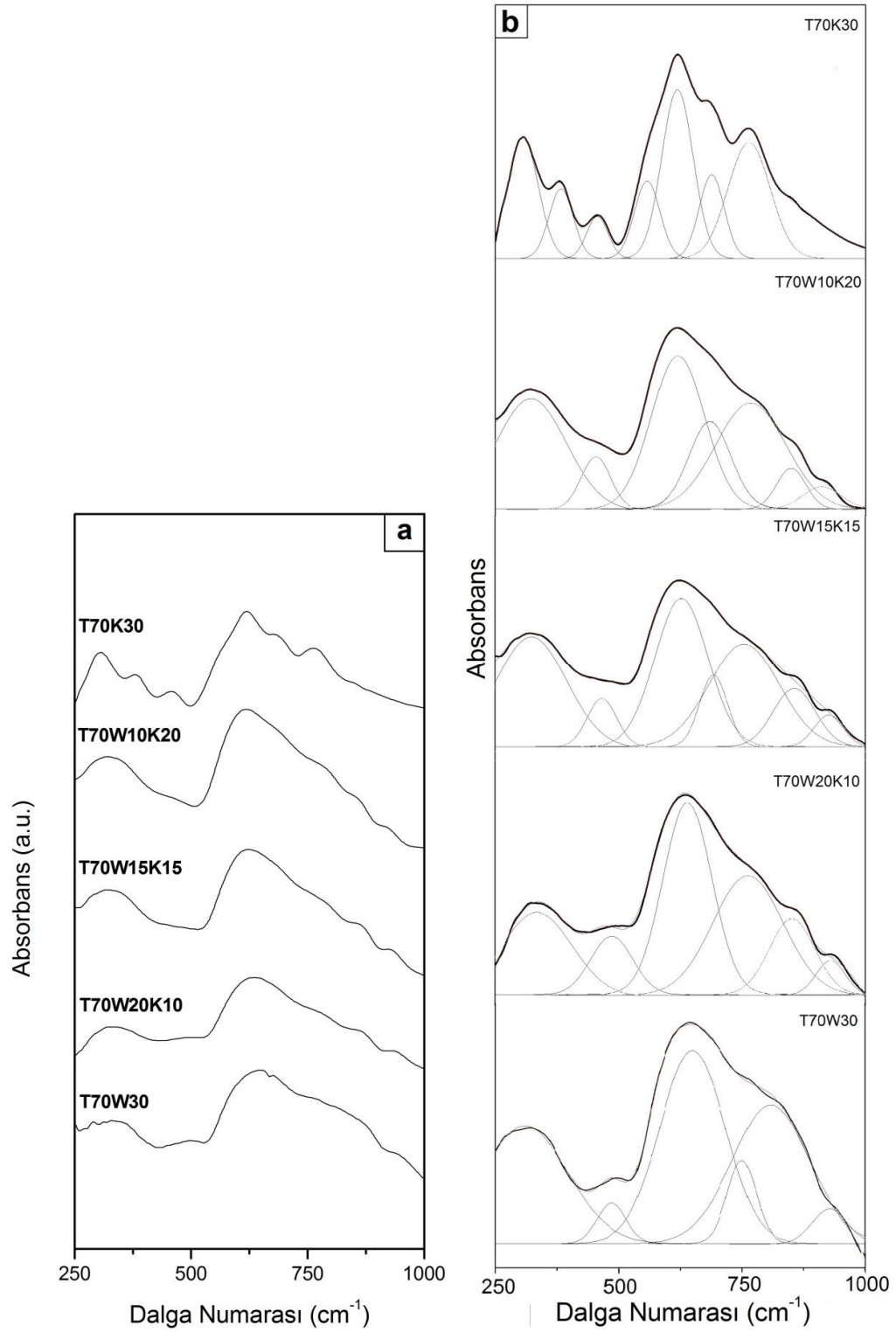
ait bir pik daha tespit edilmiş olup; bu pik diğer camlarda TeO_4 tbp ve TeO_3 tp/ TeO_{3+1} piklerin geniş karakterinden dolayı gözlemlenmemiştir. Ayrıca, azalan $\text{TeO}_2/\text{K}_2\text{O}+\text{WO}_3$ oranı ile WO_4 ya da WO_6 birimlerine ait $\text{W}-\text{O}-\text{W}$, $\text{W}-\text{O}^-$ ve $\text{W}=\text{O}$ bağlarına ait pikler yüksek dalga numaralarına ötelenmiş ve şiddetleri artmıştır. Bu durum cam yapısında $\text{W}-\text{O}$ bağlarının arttığını göstermektedir.



Şekil 5.33 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarının azalan $\text{TeO}_2/\text{WO}_3+\text{K}_2\text{O}$ oranına göre a) FTIR spektrumları, b) ayrılmış (deconvoluted) FTIR spektrumları.

Sabit TeO_2 oranında değişen WO_3 ve K_2O oranının cam yapıya olan etkisi tungsten-tellürit (TW30) ve potasyum-tellürit (TK30) camlarının FTIR spektrumları referans alınarak, Şekil 5.34'te görüldüğü gibi, artan K_2O oranı için değerlendirilmiştir. Buna göre, artan K_2O oranının WO_4 ya da WO_6 birimlerine ait $\text{W}-\text{O}-\text{W}$, $\text{W}-\text{O}^-$ ve $\text{W}=\text{O}$ ve TeO_4 tbp birimlerinin titreşimine ait piklerin şiddetlerini azalttığı ve TeO_3 tp/ TeO_{3+1} piklerinin şiddetini arttırdığı belirlenmiştir. Potasyum-tellürit camının

(TK30), 305 ve 378 cm^{-1} dalga numaralarında TeO_4 yapısındaki Te–O–Te bağlarına ait farklı iki pike daha sahip olduğu belirlenmiştir.

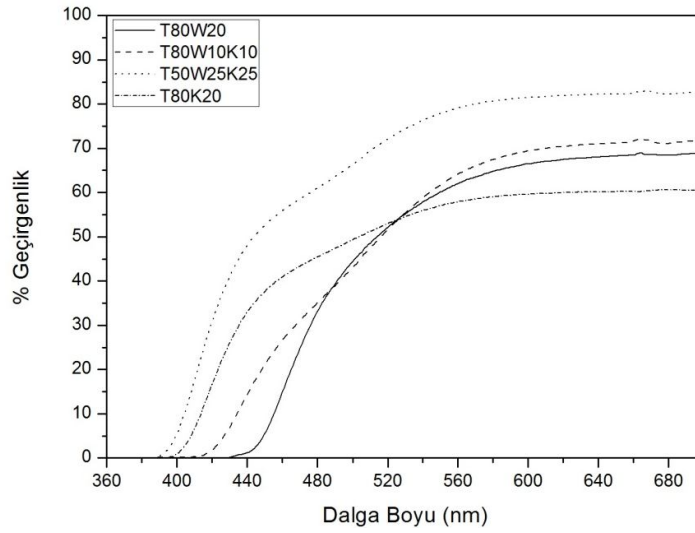


Şekil 5.34 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarının artan K_2O ve azalan WO_3 oranına göre a) FTIR spektrumları, b) ayrılmış (deconvoluted) FTIR spektrumları.

TeO₂-WO₃-K₂O camlarının FTIR analizleri sonucu, azalan TeO₂ ve eşit oranda artan WO₃ ve K₂O oranına ve sabit TeO₂ oranında azalan WO₃ ve artan K₂O oranlarına bağlı olarak, TeO₂ cam şebeke yapısında W-O⁻, W=O, TeO₃ ve TeO₃₊₁ birimleri şeklinde bağlanmamış oksijen bölgeleri oluştuğu belirlenmiştir.

5.1.3.7 TeO₂-WO₃-K₂O camlarının optik incelenmesi

TeO₂-WO₃-K₂O camlarının görünür bölgedeki optik incelenmesi amacıyla, sistemi temsilen seçilen T80W10K10, T50W25K25, tungsten-tellürit (T80W20) ve potasyum-tellürit (T80N20) camları ile analizler gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.35).



Şekil 5.35 : TeO₂-WO₃-K₂O camlarının optik analiz sonuçları.

TeO₂-WO₃-K₂O camlarının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin %61-83 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca T80W10K10 ve T50W25LK25 camlarının geçirgenlik değerlerinin T80W20 ve T80K20 camlarına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Camların görünür bölgedeki geçirgenlik sınırlarının ise 382-428 nm dalga boyu aralığında değişim gösterdiği ve artan WO₃ oranı ile yüksek dalga boylarına ötelendiği gözlemlenmiştir. En yüksek geçirgenlik sınırı dalga boyuna sahip numunenin T80W20 camı olduğu belirlenmiştir.

5.1.3.8 TeO₂-WO₃-K₂O camlarının elektriksel özelliklerinin incelenmesi

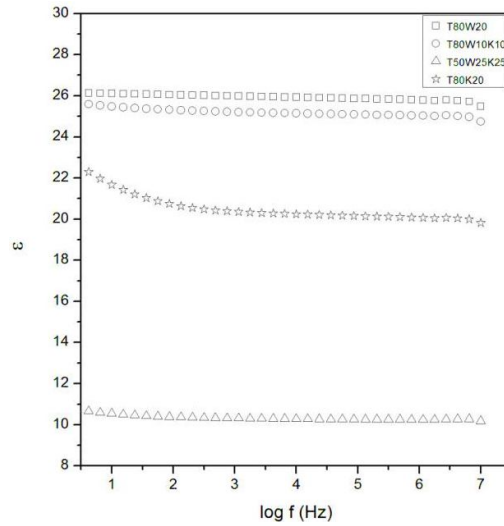
TeO₂-WO₃-K₂O camlarının elektriksel özelliklerinin incelenmesi amacıyla oda sıcaklığında ölçülen özdirenç, dielektrik sabiti ve hesaplanan iletkenlik değerleri Çizelge 5.18’de verilmiştir.

Çizelge 5.18 : TeO₂-WO₃-K₂O camlarının özdirenç, ρ , iletkenlik, σ , ve dielektrik sabiti, ϵ , değerleri.

Numune	ρ 25 °C (ohm.cm)	σ 25 °C (ohm.cm) ⁻¹	ϵ (10 ³ Hz için)
T80W20	2,09 10 ¹⁶	4,7 10 ⁻¹⁷	26
T80W10K10	1,44 10 ¹⁶	6,9 10 ⁻¹⁷	25
T50W25K25	3,64 10 ¹⁴	2,7 10 ⁻¹⁵	10,5
T80K20	4,86 10 ¹⁴	2,1 10 ⁻¹⁵	20

Oda sıcaklığında yalıtkan davranış gösterdiği tespit edilen TeO₂-WO₃-K₂O camlarının özdirenç değerlerinin 10¹⁴-10¹⁶ ohm.cm aralığında değiştiği ve bileşimde artan K₂O oranı ile camların iletkenliklerinin arttığı belirlenmiştir.

Ölçülen dielektrik sabiti değerlerinin, Şekil 5.36'da görüldüğü gibi, 10,5-26 aralığında değiştiği ve potasyum-tellürit cam yapısına katılan WO₃'ün dielektrik sabiti değerlerini dolayısıyla camların yük taşıma kapasitelerini arttırdığı belirlenmiştir. Literatürde az sayıda inorganik malzeme için incelenmiş olan dielektrik özellikleri incelendiğinde, saf TeO₂ camının ϵ değerinin 20,1, molce % 67 oranında WO₃ içeren tungsten-tellürit camının ϵ değerinin ise 17,8 olarak belirlenmiştir (El-Mallawany, 2002).



Şekil 5.36 : TeO₂-WO₃-K₂O camlarının dielektrik sabiti değerleri.

5.2 Termokromik Davranış ve Camların Termokromik Özellikleri

Sıcaklık etkisiyle malzemenin optik özelliklerinde meydana gelen değişim olarak tanımlanan termokromizm, camlarda artan sıcaklıkla birlikte optik spektrumun

soğurma sınırı (absorption edge) veya geçirgenlik sınırı (cut-off wavelength) olarak tanımlanan limit dalga boyunun kırmızı bölgeye doğru ötelenmesi ile belirlenmektedir. Genel olarak bir camın UV ya da görünür bölgedeki soğurma veya geçirgenlik sınırı, bant aralığının büyük oranda soğurulmasından kaynaklanmakta olup; artan sıcaklıkla birlikte termokromik özellik gösteren bir camın bant aralığı azalmakta ve soğurma veya geçirgenlik sınır değeri değişmektedir (Bahgat, 1999; Elliot, 1983; Inoue, 1995). Bu nedenle, camlarda gözlemlenen termokromik davranış, sıcaklığa bağlı olarak gerçekleştirilen optik ve elektriksel ölçümler sonucunda soğurma veya geçirgenlik sınırının ve bu sınırın ötelenme oranının, bant aralığının ve elektriksel iletkenliğin değişimi incelenerek tespit edilebilir. Bağ yapısına katılmayan TeO_4 gruplarının eşleşmemiş elektron çiftleri sayesinde diğer cam sistemlere kıyasla daha iyi elektriksel özelliklere sahip olan, içerdiği WO_3 sayesinde yapı içerisindeki elektronik geçişleri mümkün kılan ve alkali oksitler sayesinde yüksek yük taşıma ve iyi iletkenlik özellikleri gösteren $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ ($\text{A}=\text{Li, Na, K}$) camları, sahip oldukları bu özellikler nedeniyle yarı iletken özellik ve dolayısıyla termokromik davranış gösterme potansiyeline sahip sistemlerdir.

Bu tez çalışmasında, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının termokromik davranışlarını ve termokromik özelliklerini incelemek amacıyla gerçekleştirilen çalışmalarda, camların sıcaklığa bağlı optik ve elektriksel analizleri gerçekleştirilerek soğurma veya geçirgenlik sınırı ve bu sınırın ötelenme oranı, bant aralığı ve elektriksel iletkenlik değerlerinin değişimi belirlenmiştir. $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının termokromik davranışlarının ve termokromik özelliklerinin bileşime bağlı değişiminin incelenmesi amacıyla, TeO_2 'nin azalan ve WO_3 ve A_2O 'nun eşit oranda artan oranına bağlı olarak yapılacak incelemelerde kullanılmak üzere her üç sistemden sistemleri temsil eden ikişer cam bileşimi (T80W10A10, T50W25A25) ve sabit TeO_2 oranında değişen WO_3 ve A_2O oranına bağlı olarak yapılacak incelemeler için ise tungsten-tellürit (T80W20) ve alkali-tellürit (T80L20, T80N20 ve T80K20) camları seçilmiş ve sıcaklığa bağlı optik ve elektriksel analizler bu camlar ile gerçekleştirilmiştir.

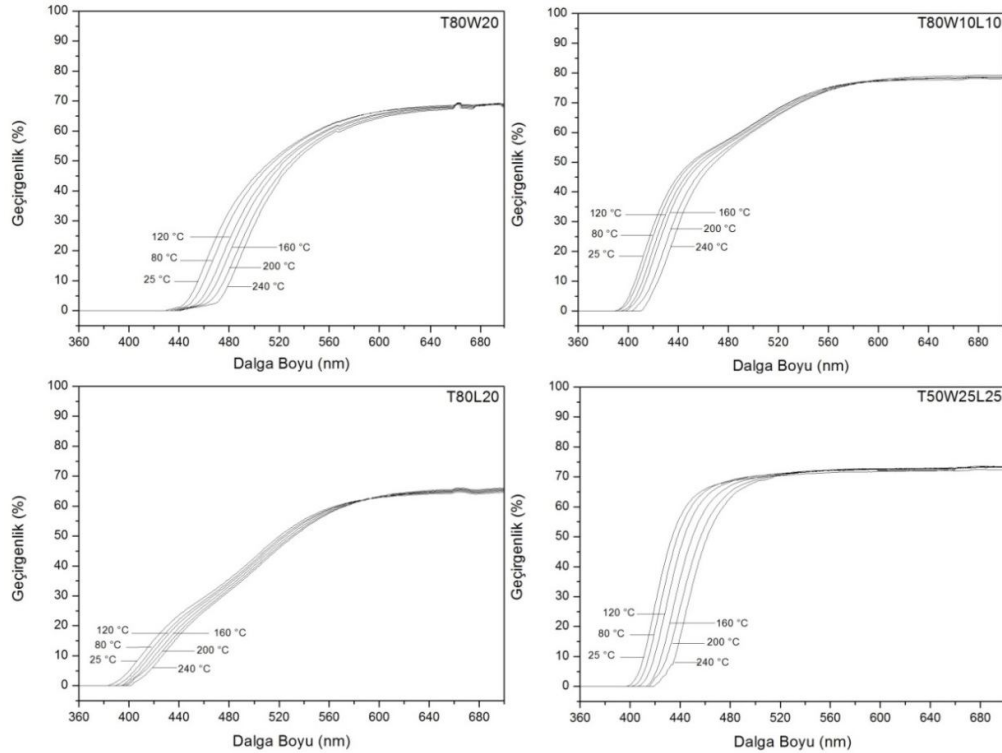
5.2.1 $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ (A: Li, Na, K) camlarının sıcaklığa bağlı spektroskopik incelenmesi

$\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının termokromik özelliklerinin incelenmesi amacıyla sıcaklığa bağlı optik incelemeler elektromanyetik spektrumun morötesi, görünür ve

kızılötesi bölgelerinde yapılan spektroskopik analizlerle gerçekleştirilmiştir. Yapılan incelemeler sonucu değişen sıcaklıkla $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının geçirgenlik değerlerinin morötesi ve yakın kızılötesi bölgede önemli bir değişim göstermediği tespit edilmiştir. Bu nedenle bu bölümde $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının sıcaklığa bağlı spektroskopik incelemeleri görünür ve orta kızılötesi bölgeler için verilmiştir.

5.2.1.1 $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının görünür bölgede sıcaklığa bağlı spektroskopik incelenmesi

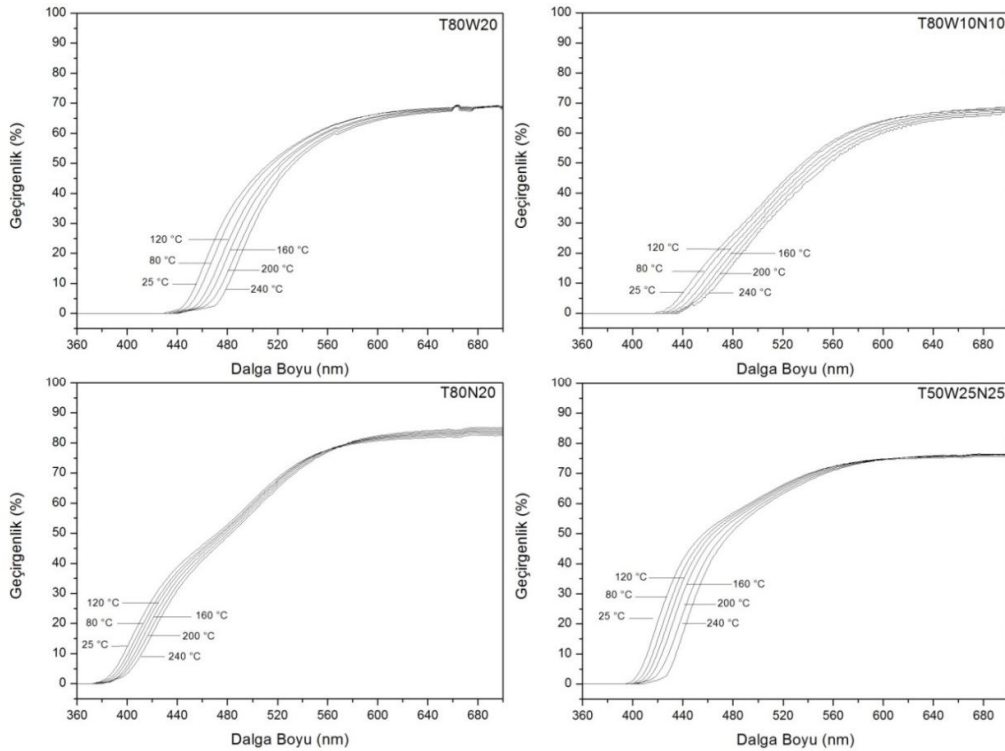
$\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının görünür bölgede termokromik davranışlarının ve termokromik özelliklerinin incelenmesi amacıyla seçilen cam bileşimlerinin cam geçiş sıcaklıklarının altındaki altı farklı sıcaklıkta (25 °C, 80 °C, 120 °C, 160 °C, 200 °C, 240 °C) spektroskopik analizleri gerçekleştirilmiştir. Camların geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi, değişen bileşime bağlı olarak, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ sistemleri için sırasıyla Şekil 5.37, Şekil 5.38 ve Şekil 5.39’da verilmiştir.



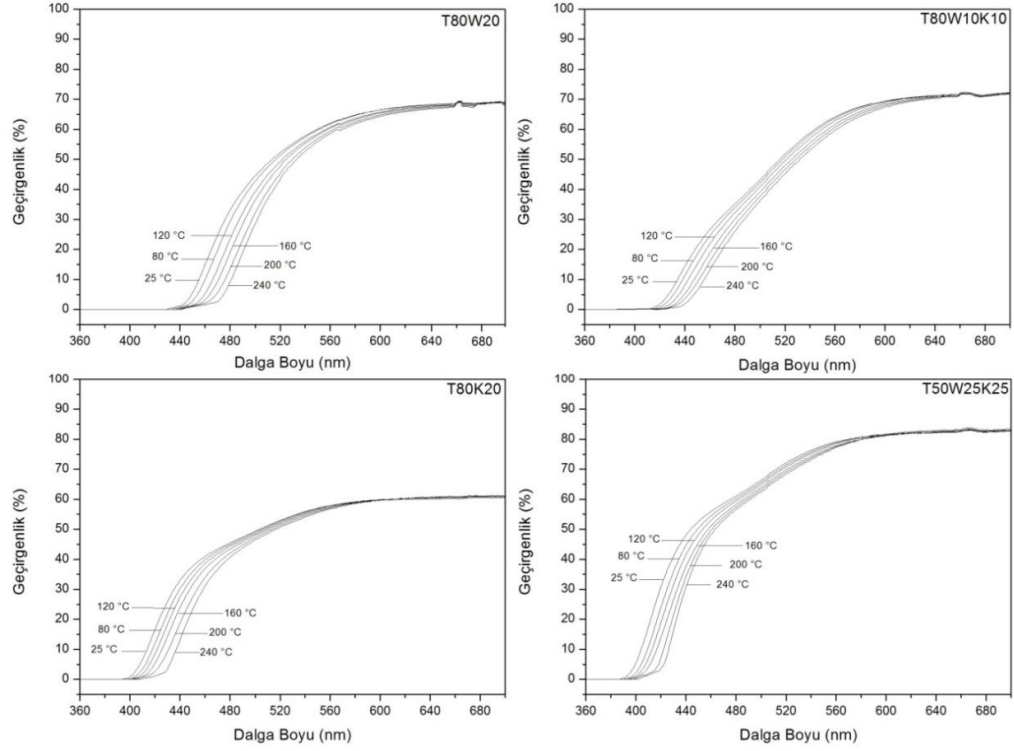
Şekil 5.37 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi incelendiğinde, camların 382-441 nm dalga boyu aralığında değişim gösteren % geçirgenlik değerlerinin artan sıcaklıkla azaldığı, 382-428 nm dalga boyu aralığında değişen oda sıcaklığı % geçirgenlik değerlerinin ve 401-441 nm dalga boyu aralığında değişen 240 °C % geçirgenlik değerlerinin artan WO₃/Li₂O oranı ile artış gösterdiği belirlenmiştir. TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının soğurma veya geçirgenlik sınırı olarak tanımlanan limit dalga boyunun artan sıcaklıkla kırmızı bölgeye ötelendiği gözlemlenmiş olup; TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının termokromik özellik gösterdiği tespit edilmiştir.

TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının Şekil 5.38'de görülen sıcaklığa bağlı % geçirgenlik değerlerine göre, camların % geçirgenlik değerlerinin 369-441 nm dalga boyu aralığında değişim gösterdiği, % geçirgenliğin artan sıcaklıkla azaldığı, oda sıcaklığı % geçirgenlik değerlerinin (369-428 nm) ve 240 °C % geçirgenlik değerlerinin (379-441 nm) artan WO₃ oranı ile artış, artan Na₂O oranı ile ise azalış gösterdiği belirlenmiştir. Buna göre TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının limit dalga boyunun artan sıcaklıkla kırmızı bölgeye ötelendiği ve termokromik özellik gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 5.38 : TeO₂-WO₃-Na₂O camlarının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

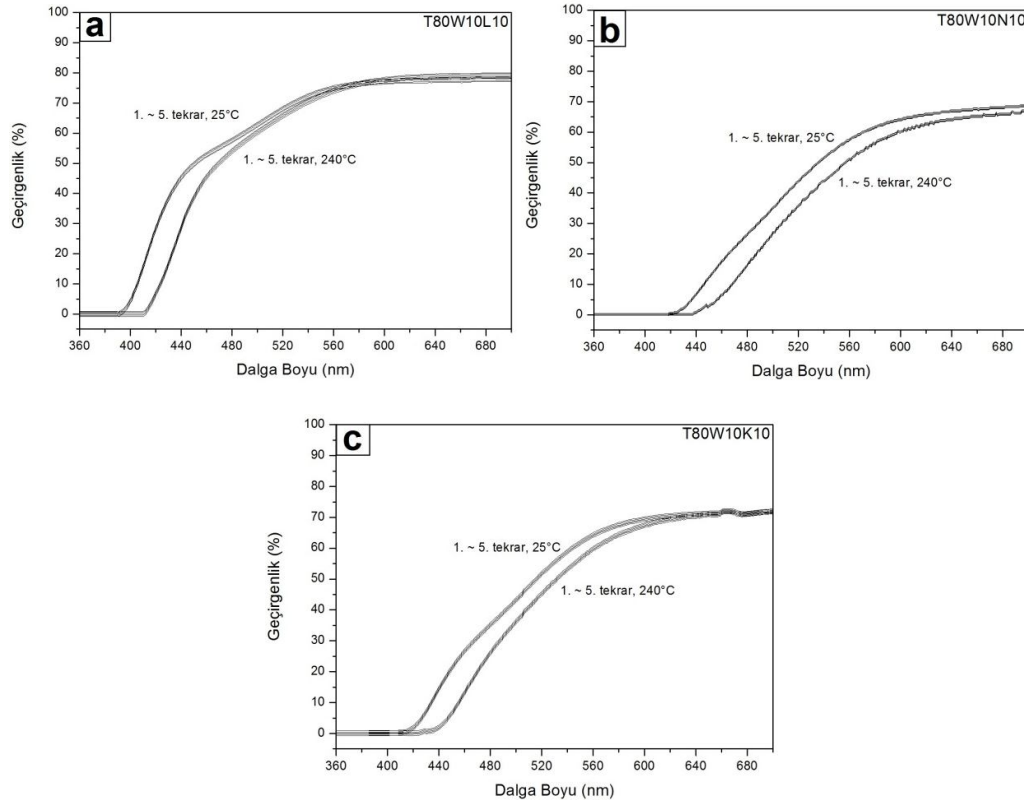


Şekil 5.39 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

$\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarının sıcaklığa bağlı geçirgenlik değerlerinin değişimi Şekil 5.39’da görüldüğü gibi olup; camların 382-441 nm dalga boyu aralığında değişim gösteren % geçirgenlik değerlerinin artan sıcaklıkla azaldığı belirlenmiştir. $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarının oda sıcaklığı % geçirgenlik değerlerinin 382-428 nm, 240 °C % geçirgenlik değerlerinin ise 406-441 nm dalga boyu aralığında değiştiği ve artan $\text{WO}_3/\text{K}_2\text{O}$ oranı ile artış gösterdiği belirlenmiştir. $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarının limit dalga boyunun artan sıcaklıkla kırmızı bölgeye ötelendiği gözlemlenmiş ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarının termokromik özellik gösterdiği tespit edilmiştir.

Termokromik özellik gösterdiği tespit edilen $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının termokromik davranışlarının tersinirliğinin incelenmesi amacıyla, seçilen numuneler için yapılan sıcaklığa bağlı spektroskopik analizler oda sıcaklığı ve 240 °C için tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.40’ta verilmiştir.

Tekrarlı analiz sonuçlarından görüldüğü gibi, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının % geçirgenlik ve soğurma sınırı değerleri gerçekleştirilen beş tekrar sonucunda tersinir olarak değişmiştir. Buna göre $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının tersinir termokromik davranış gösterdiği belirlenmiştir.



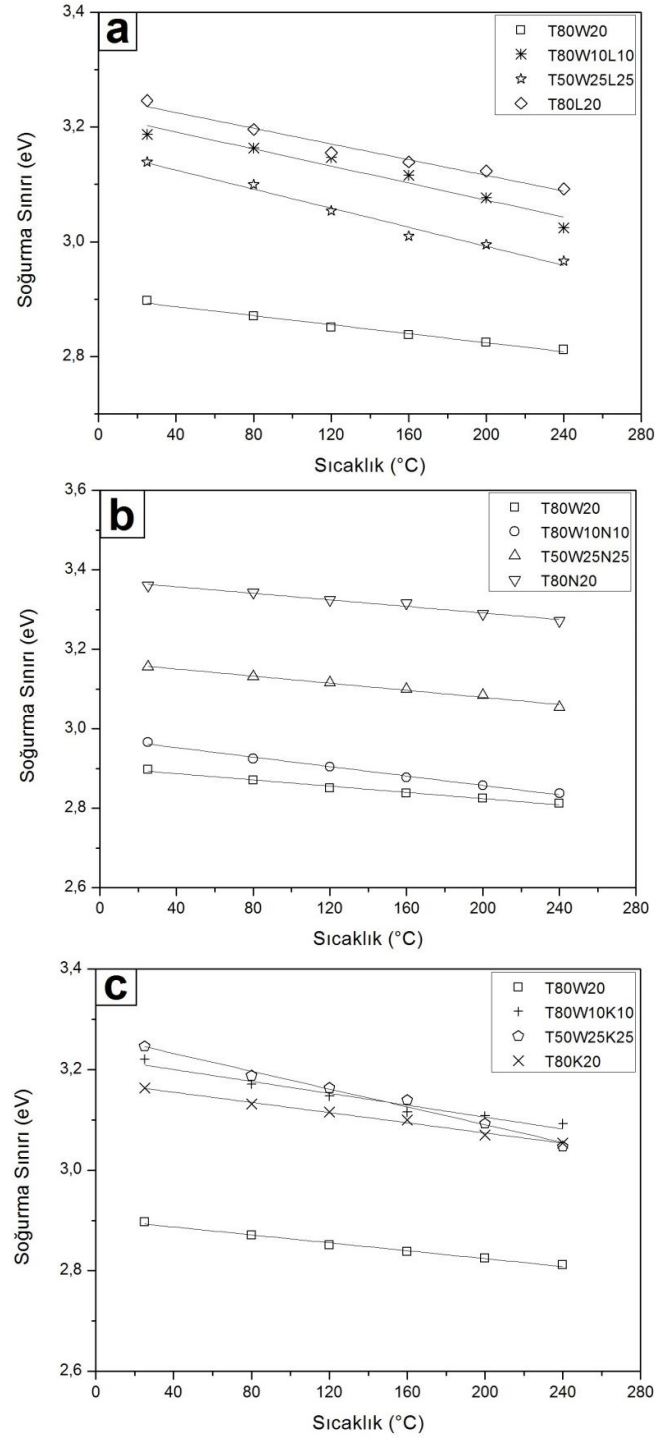
Şekil 5.40 : TeO₂-WO₃-A₂O (A= a) Li, b) Na, c) K) camlarının görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin 25-240 °C sıcaklıklarındaki tekrarlı sonuçları.

Sıcaklığa bağlı olarak gerçekleştirilen spektroskopik analizler sonucu elde edilen spektrumlarda % geçirgenlik değerlerinin sıfırlandığı nokta olarak tespit edilen ve soğurma veya geçirgenlik sınırı olarak adlandırılan değerin (eV) sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 5.41’de görülmektedir.

TeO₂-WO₃-A₂O camlarının soğurma sınırının (eV) sıcaklığa bağlı olarak lineer bir değişim gösterdiği ve artan sıcaklıkla azaldığı görülmektedir. Soğurma sınırının ötelenme oranı, soğurma veya geçirgenlik sınırının sıcaklığa bağlı değişiminin eğiminden belirlenmekte olup; bu değer yarı iletkenlerde bant aralığının sıcaklığa bağlı değişimi ile doğru orantılıdır (Elliot, 1983; Inoue, 1995). Çizelge 5.19’da, TeO₂-WO₃-A₂O camlarının soğurma sınırlarının ötelenme oranları ve 25-240 °C sıcaklıkları için soğurma sınır dalga boyu değerleri verilmektedir.

TeO₂-WO₃-A₂O camlarının soğurma sınırlarının sıcaklığa bağlı ötelenme oranları incelendiğinde, değerlerin -4×10^{-4} ile -9×10^{-4} eV/K arasında değiştiği ve bu değerlerin literatürde tellürit camlar için hesaplanan değerlerle uyumlu olduğu belirlenmiştir (Li ve diğ., 1994). Soğurma sınırlarının ötelenme oranının değişen

bileşimle düzenli bir değişim göstermediği gözlemlenmiştir. $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının ötelenme oranı değerleri yarı iletkenlerin bant aralığı değerlerinin sıcaklığa bağlı değişim oranı ile uyum göstermekte olup; bu durum $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının potansiyel yarı iletken özelliklerinin bir göstergesidir.

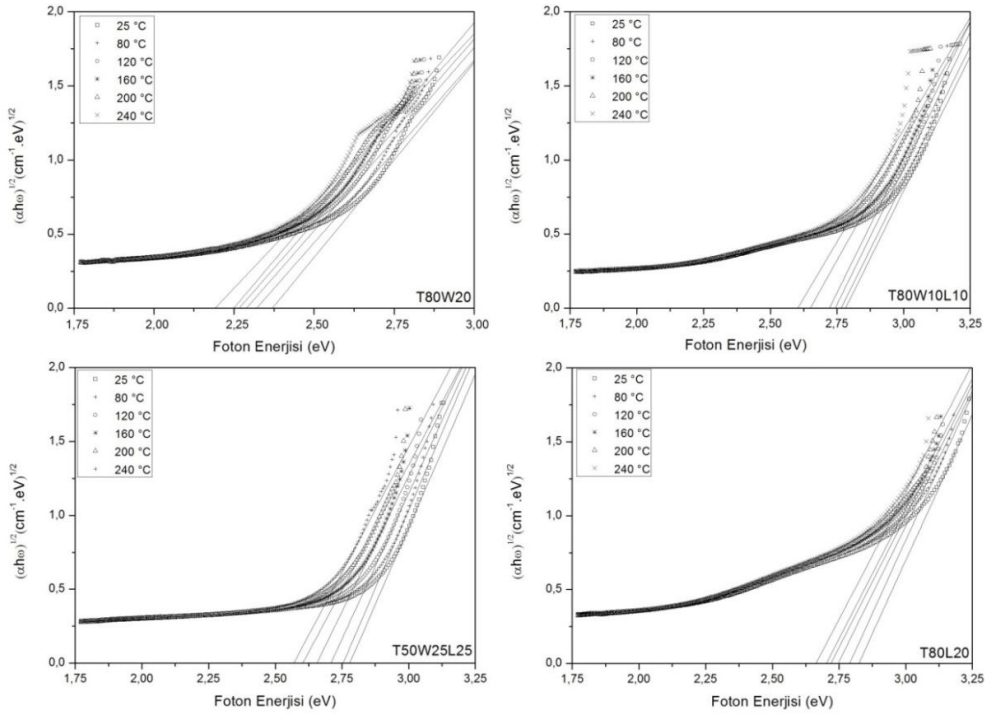


Şekil 5.41 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ (A= a) Li, b) Na, c) K) camlarının soğurma sınırının sıcaklığa bağlı değişimi.

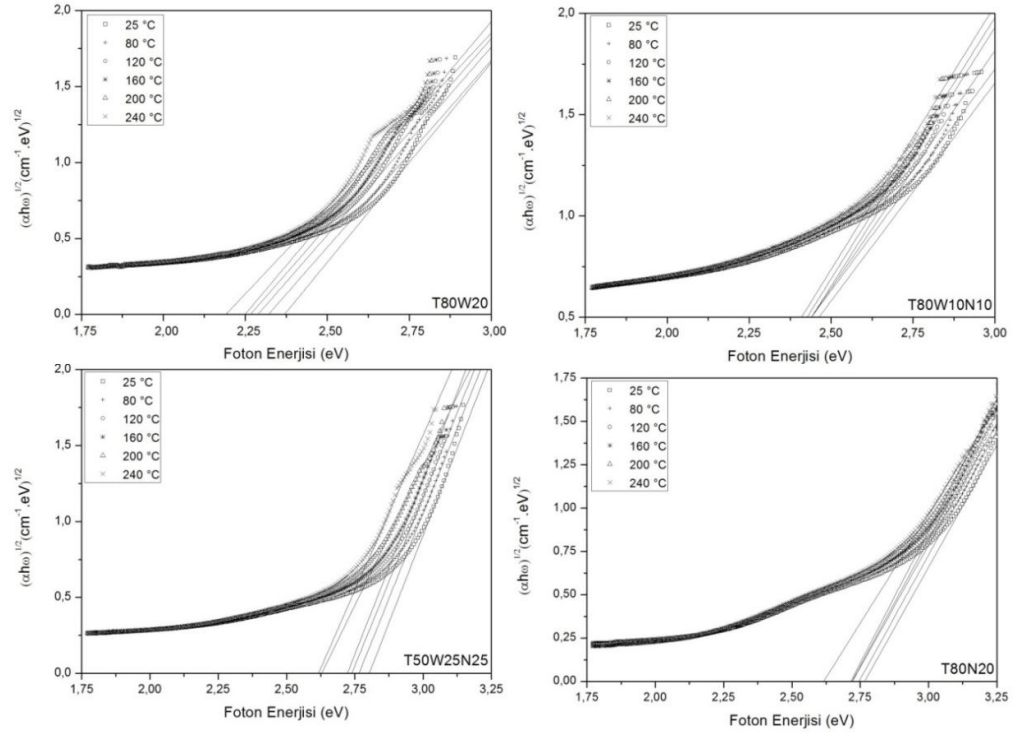
Çizelge 5.19 : TeO₂-WO₃-A₂O (A= Li, Na, K) camlarının soğurma sınırı değerleri ve sıcaklığa bağlı ötelenme oranları.

Numune	Ötelenme Oranı (10 ⁻⁴ eV/K)	Soğurma Sınırı 25 °C (nm)	Soğurma Sınırı 240 °C (nm)
T80W20	-3,94	428	441
T80L20	-6,85	382	401
T80N20	-4,13	369	379
T80K20	-5,07	392	406
T80W10L10	-3,94	389	410
T80W10N10	-5,95	418	437
T80W10K10	-5,92	385	401
T50W25L25	-8,29	395	418
T50W25N25	-4,47	393	406
T50W25K25	-8,86	392	407

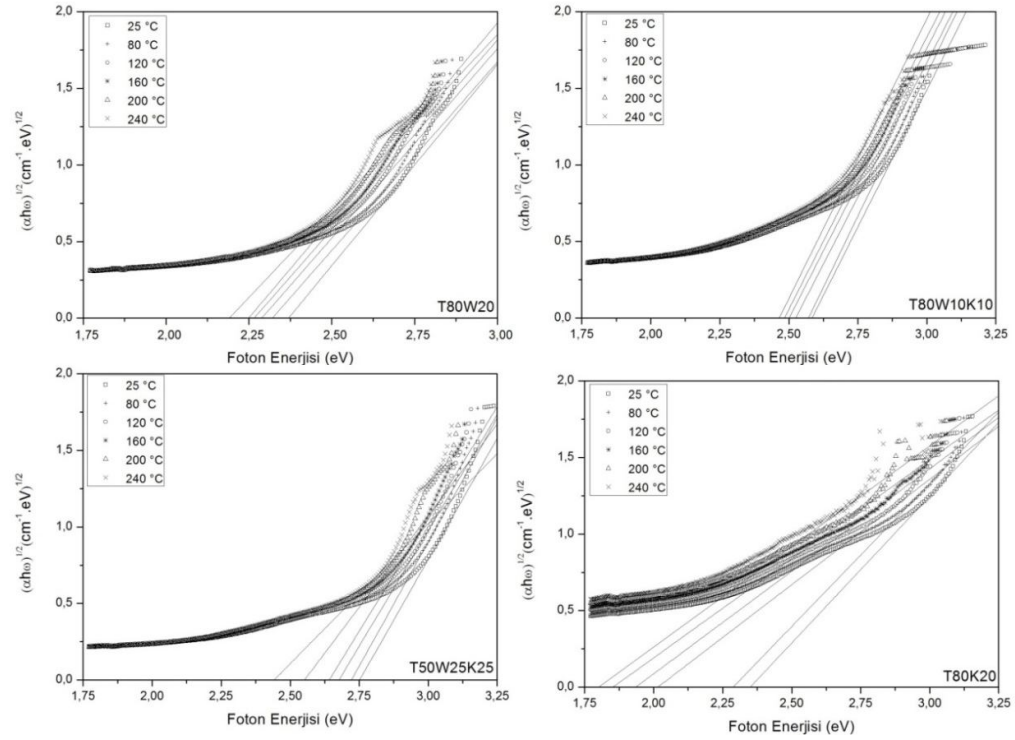
TeO₂-WO₃-A₂O camlarının yarı iletken özelliklerinin tespiti amacıyla soğurma sınırlarının foton enerjisine bağlı değişimi Tauc denklemine göre (Denklem 3.17) uyarlanarak camların bant aralığı enerjisi değerleri belirlenmiştir (Şekil 5.42, Şekil 5.43, Şekil 5.44).



Şekil 5.42 : TeO₂-WO₃-Li₂O camlarının Tauc denklemine göre $(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$ - foton enerjisi değişimi.



Şekil 5.43 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ camlarının Tauc denklemine göre $(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$ - foton enerjisi değişimi.



Şekil 5.44 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarının Tauc denklemine göre $(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$ - foton enerjisi değişimi.

Bant aralığı enerji değerleri, $(\alpha h\nu)^{(1/2)} - h\nu$ değişiminin foton enerjisi eksenini kestiği değerler olarak saptanmış ve Çizelge 5.20’de verilmiştir.

Çizelge 5.20 : TeO₂-WO₃-A₂O (A= Li, Na, K) camlarının sıcaklığa bağlı bant aralığı enerji değerleri.

Numune	Bant Aralığı Enerjisi (eV)					
	25 °C	80 °C	120 °C	160 °C	200 °C	240 °C
T80W20	2,37	2,32	2,29	2,26	2,24	2,19
T80L20	2,83	2,79	2,75	2,72	2,71	2,67
T80N20	2,77	2,75	2,72	2,72	2,71	2,62
T80K20	2,35	2,29	2,01	1,94	1,86	1,81
T80W10L10	2,78	2,77	2,75	2,72	2,65	2,60
T80W10N10	2,46	2,44	2,44	2,44	2,43	2,41
T80W10K10	2,59	2,57	2,53	2,50	2,48	2,46
T50W25L25	2,78	2,75	2,70	2,65	2,60	2,57
T50W25N25	2,80	2,76	2,74	2,72	2,63	2,61
T50W25K25	2,75	2,72	2,68	2,64	2,55	2,44

TeO₂-WO₃-Li₂O, TeO₂-WO₃-Na₂O ve TeO₂-WO₃-K₂O camlarının Tauc yaklaşımı uyarınca hesaplanan bant aralığı enerjisi değerleri sırasıyla Şekil 5.42, Şekil 5.43 ve Şekil 5.44’te verilmiş olup; TeO₂-WO₃-A₂O camlarının oda sıcaklığındaki bant aralığı enerjisi değerlerinin 2,35-2,83 eV aralığında değiştiği ve artan sıcaklıkla 240 °C’de 1,81-2,67 eV değerlerine düştüğü tespit edilmiştir. Bu durum TeO₂-WO₃-A₂O camlarının yarı iletken karakterde olduğunun bir göstergesidir.

Yarı iletken malzemelerin bant aralığı değerleri, bu malzemelerin görünür bölgede soğurduğu enerji değerlerini belirlemekte ve renk oluşumunun nedenini açıklamaktadır. Orta genişlikte bant aralığına sahip bir yarı iletken malzemenin bant aralığı enerjisi görünür bölgenin foton enerjisi (~1,77-3,44 eV) civarındadır. Elde edilen bant aralığı enerjisi değerleri incelendiğinde, TeO₂-WO₃-A₂O camlarının oda sıcaklığında mor, mavi ve yeşil renkleri soğurarak turuncu renkte görüldüğü, artan sıcaklıkla birlikte ise azalan bant aralığı enerjileri nedeniyle kırmızı hariç tüm renkleri soğurarak kırmızı renkte görüldüğü belirlenmiştir.

TeO₂-WO₃-A₂O camlarının görünür bölgede gerçekleştirilen sıcaklığa bağlı spektroskopik incelemeleri sonucu, bu camların gösterdikleri yarı iletken davranış

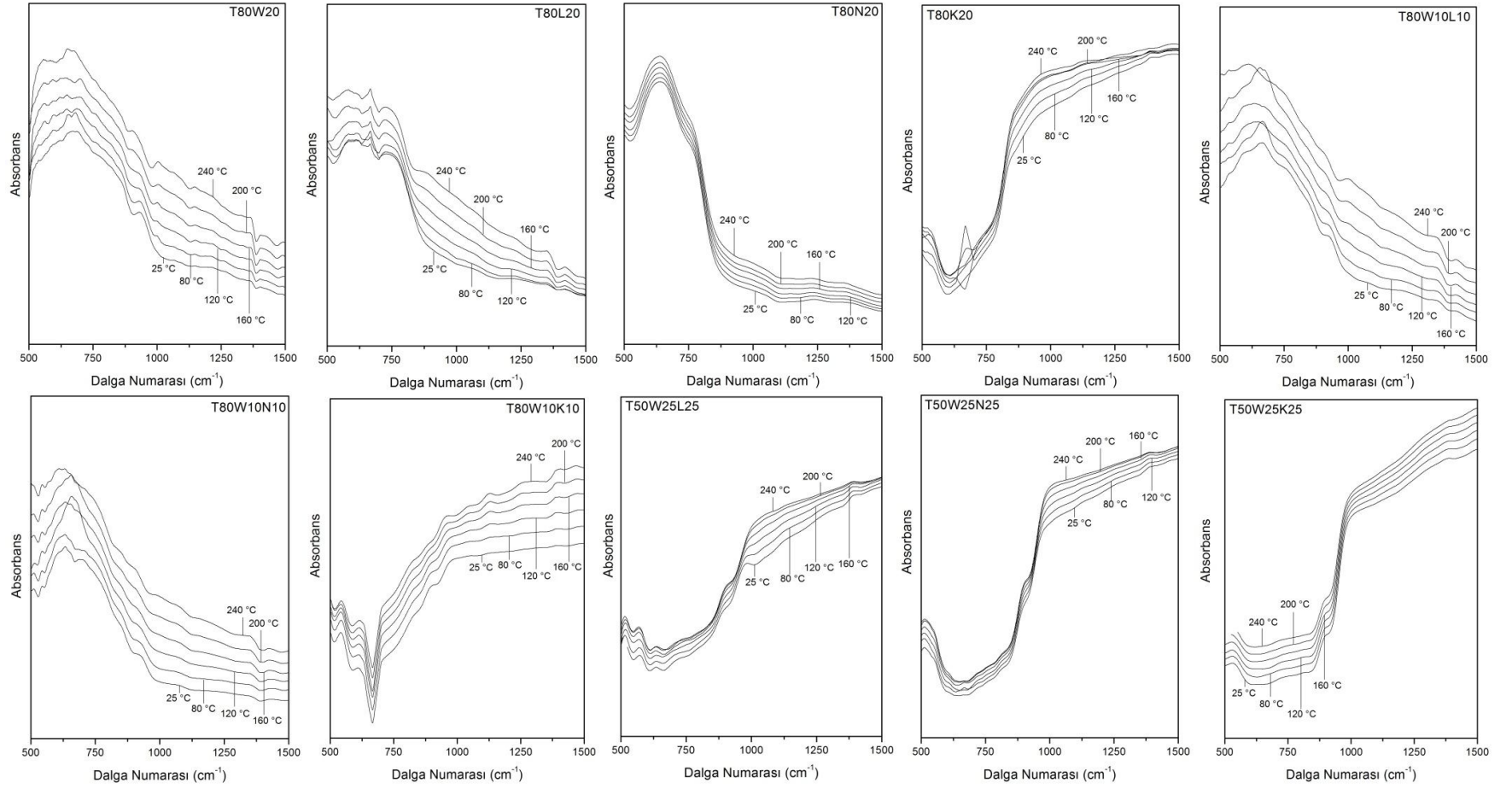
nedeniyle sıcaklığa bağılı olarak optik özelliklerini değıştirdiğı, dolayısıyla tersinir termokromik özellik gösterdiği tespit edilmiştir.

5.2.1.2 TeO₂-WO₃-A₂O camlarının kızılötesi bölgede sıcaklığa bağılı spektroskopik incelenmesi

TeO₂-WO₃-A₂O camlarının kızılötesi bölgede termokromik davranışlarının ve termokromik özelliklerinin incelenmesi amacıyla seçilen camların cam geçiş sıcaklıklarının altındaki altı farklı sıcaklıkta (25 °C, 80 °C, 120 °C, 160 °C, 200 °C, 240 °C) spektroskopik analizleri gerçekleştirilmiştir. Camların soğurma değerlerinin sıcaklığa bağılı değişimi Şekil 5.45'te verilmiştir.

TeO₂-WO₃-A₂O camlarının kızılötesi bölgedeki soğurma değerlerinin sıcaklığa bağılı değişimi incelendiğinde, tüm camların soğurma değerlerinin artan sıcaklıkla arttığı belirlenmiştir. Soğurma değerlerinin bileşime bağılı olarak düzenli bir değişim göstermediğı; ancak tungsten-tellürit camının (T80W20) ve %80 mol TeO₂ içeren camların (T80W10L10, T80W10N10, T80W10K10) soğurma değerlerinin diğer camlara kıyasla sıcaklık değişiminden daha fazla etkilendiğı tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen tekrarlı analizler sonucu TeO₂-WO₃-A₂O camlarının orta kızılötesi bölgedeki soğurma değerlerinin tersinir olarak değiştii gözlemlenmiştir. Buna göre, görünür bölgede tersinir termokromik davranış gösterdiği tespit edilen TeO₂-WO₃-A₂O camlarının orta kızılötesi bölgede de tersinir termokromik davranış gösterdiği; ancak soğurma değişim değerlerinin görünür bölgeye kıyasla daha küçük olduğu tespit edilmiştir.

TeO₂-WO₃-A₂O camlarının kızılötesi bölgede gerçekleştirilen spektroskopik analizleri sonucu elde edilen spektrumlarda gözlemlenen piklerin şiddetlerindeki değişiklikler ve pik pozisyonlarındaki kaymalar ise, artan sıcaklıkla birlikte tellürit cam yapısında bulunan TeO₄ birimlerinin TeO₃ birimlerine dönüşümünden kaynaklanmaktadır (Akagi, 1999; Tatsumisago, 1994, 1995).



Şekil 5.45 : TeO₂-WO₃-A₂O camlarının kızılötesi bölgedeki soğurma değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

5.2.2 TeO₂-WO₃-A₂O camlarının sıcaklığa bağlı elektriksel incelenmesi

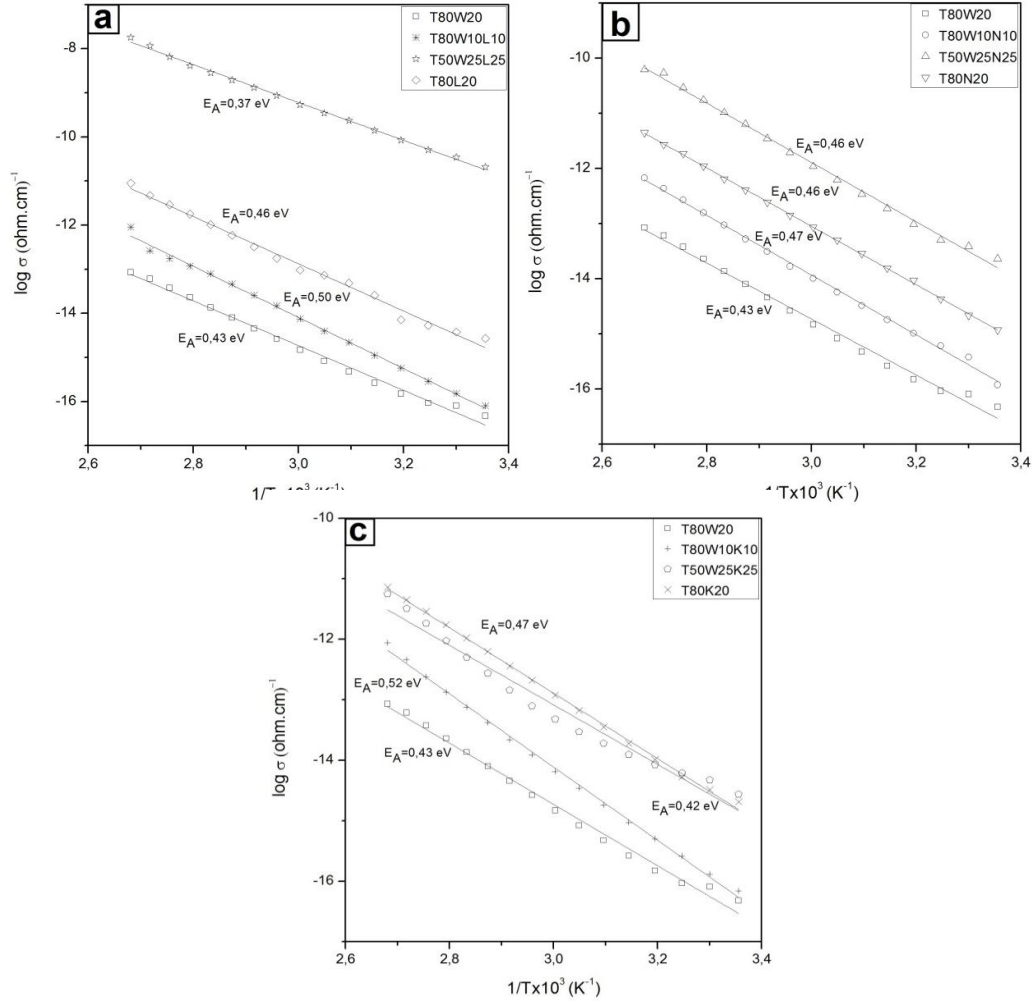
TeO₂-WO₃-A₂O camlarının spektroskopik incelemeleri sonucu gözlemlenen yarı iletken davranışları, sıcaklığa bağlı elektriksel incelemeler ile de detaylı olarak araştırılmıştır. Bu amaçla, camların öz direnç ve elektriksel iletkenlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İletkenliğin sıcaklığa bağlı değişimini incelemek amacıyla, ölçümler oda sıcaklığından 100 °C'ye kadar gerçekleştirilmiş ve iletkenlik aktivasyon enerjisi Denklem 3.22 kullanılarak hesaplanmıştır. Elektriksel ölçümler sonucu elde edilen değerler Çizelge 5.21'de verilmiştir.

Çizelge 5.21 : TeO₂-WO₃-A₂O camlarının öz direnç, ρ , iletkenlik, σ ve iletkenlik aktivasyon enerjisi, E_A değerleri.

Numune	ρ 25 °C (ohm.cm)	σ 25 °C (ohm.cm) ⁻¹	ρ 100 °C (ohm.cm) ⁻¹	σ 100 °C (ohm.cm) ⁻¹	E_A (eV)
T80W20	2,09 10 ¹⁶	4,7 10 ⁻¹⁷	1,17 10 ¹³	8,5 10 ⁻¹⁴	0,43
T80L20	3,70 10 ¹⁴	2,7 10 ⁻¹⁵	1,12 10 ¹¹	8,9 10 ⁻¹²	0,46
T80N20	8,54 10 ¹⁴	1,2 10 ⁻¹⁵	2,24 10 ¹¹	4,5 10 ⁻¹²	0,46
T80K20	4,86 10 ¹⁴	2,1 10 ⁻¹⁵	1,37 10 ¹¹	7,3 10 ⁻¹²	0,47
T80W10L10	1,25 10 ¹⁶	8,0 10 ⁻¹⁷	1,10 10 ¹²	9,1 10 ⁻¹³	0,50
T80W10N10	8,37 10 ¹⁵	1,2 10 ⁻¹⁶	1,49 10 ¹²	6,7 10 ⁻¹³	0,47
T80W10K10	1,44 10 ¹⁶	6,9 10 ⁻¹⁷	1,14 10 ¹²	8,7 10 ⁻¹³	0,52
T50W25L25	4,81 10 ¹⁰	2,1 10 ⁻¹¹	5,53 10 ⁷	1,8 10 ⁻⁰⁸	0,37
T50W25N25	4,31 10 ¹³	2,3 10 ⁻¹⁴	1,61 10 ¹⁰	6,2 10 ⁻¹¹	0,46
T50W25K25	3,64 10 ¹⁴	2,7 10 ⁻¹⁵	1,78 10 ¹¹	5,6 10 ⁻¹²	0,42

TeO₂-WO₃-A₂O camlarının oda sıcaklığında ölçülen öz direnç değerlerinin 10¹⁰-10¹⁶ ohm.cm aralığında değiştiği tespit edilmiş olup; oda sıcaklığında yalıtkan davranış gösterdikleri belirlenmiştir. Camların öz direnç değerleri artan sıcaklıkla, 10⁷-10¹³ ohm.cm mertebelerine azalarak yarı iletken öz direnç değerlerine ulaşmıştır. Buna göre, TeO₂-WO₃-A₂O camlarının elektriksel iletkenliklerinin sıcaklıkla arttığı ve yarı iletken davranış gösterdiği tespit edilmiştir.

TeO₂-WO₃-A₂O camlarının iletkenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 5.46'da verilmiş olup; elektriksel iletkenlik değerlerinin artan sıcaklık ile doğru orantılı artış gösterdiği belirlenmiş ve elektriksel iletkenlik aktivasyon enerjileri, E_A , hesaplanmıştır. Buna göre, TeO₂-WO₃-A₂O camlarının elektriksel iletkenlik aktivasyon enerjisi değerlerinin 0,37-0,52 eV aralığında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.46 : $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ ($\text{A} =$ a) Li, b) Na, c) K) camlarının iletkenlik değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi ve elektriksel iletkenlik aktivasyon enerjisi değerleri.

Literatürde daha önce tellürit camların elektriksel iletkenlik aktivasyon enerjisi değerleri az sayıda sistem için incelenmiş olup; yüksek sıcaklıklarda saf tellürit camının iletkenlik değeri $4,9 \cdot 10^{-3} \text{ (ohm.cm)}^{-1}$, E_A değeri ise 0,35 eV, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3$ camının iletkenlik değeri $7,2 \cdot 10^{-3} \text{ (ohm.cm)}^{-1}$, E_A değeri ise 0,26 eV, $\text{TeO}_2\text{-Na}_2\text{O}$ camının iletkenlik değeri $-1,58 \cdot 10^{-7} \text{ (ohm.cm)}^{-1}$, E_A değeri ise 0,26 eV olarak belirlenmiştir (El-Mallawany, 2002).

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ üçlü oksit sistemlerinin camlaşma davranışları ve cam özellikleri belirlenmiş ve termokromizmin bu sistemlerdeki varlığı ve mekanizması tespit edilmiştir. Camlaşma özellikleri çalışmaları sonucu, ileri teknoloji uygulamalarında kullanım potansiyeline sahip ve literatürde haklarında yeterli bilgi bulunmayan $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarının ısı, fiziksel, termodinamik, kinetik, yapısal, optik ve elektriksel özellikleri hakkında özgün çıktılar elde edilmiş ve bu camların uygulamaya aktarılması konusunda temel bilgi birikimi oluşturulmuştur. Termokromizmin tellürit camlardaki varlığı ve mekanizması konusunda gerçekleştirilen çalışmalar sonucu, alkali-tungsten-tellürit camların termokromik davranış gösterdikleri ve termokromizmin bu sistemlerdeki oluşum mekanizması literatürde ilk kez saptanmış ve böylece bugüne kadar cam yüzeyine yapılan ince film kaplamalar ile camlarda elde edilen termokromik özellik, bulk camlar için ilk defa kapsamlı olarak araştırılmış ve bu konuda literatüre evrensel katkı sağlanmıştır.

1. $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ üçlü oksit sistemlerinin cam oluşum bölgeleri belirlenmeden önce, sistemlere ait alt ikili sistemler olan $\text{TeO}_2\text{-WO}_3$, $\text{TeO}_2\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-Na}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-K}_2\text{O}$, $\text{WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ ve $\text{WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ sistemlerinin cam yapma bileşim aralıkları belirlenmiştir.
2. $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ sistemine ait hazırlanan 27 farklı bileşimde numuneden 14 tanesi döküm sonrası cam olarak elde edilmiş ve sistemin cam yapma bileşim aralığı belirlenerek cam oluşum bölgesi haritalandırılmıştır. Elde edilen camlar artan $\text{WO}_3\text{+Li}_2\text{O/TeO}_2$ oranına bağlı olarak turuncudan beyaza doğru bir renk değişimi göstermiştir.
3. $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ sistemine ait hazırlanan 31 farklı bileşimde numuneden 23 tanesi döküm sonrası cam olarak elde edilmiş ve sistemin cam yapma bileşim aralığı belirlenerek cam oluşum bölgesi haritalandırılmıştır. Elde edilen

camlar artan $\text{WO}_3+\text{Na}_2\text{O}/\text{TeO}_2$ oranına bağılı olarak turuncudan açık sarıya doğru bir renk değişimi göstermiştir.

4. $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ sistemine ait hazırlanan 27 farklı bileşimde numuneden 17 tanesi döküm sonrası cam olarak elde edilmiş ve sistemin cam yapma bileşim aralığı belirlenerek cam oluşum bölgeleri haritalandırılmıştır. Elde edilen camlar artan $\text{WO}_3+\text{K}_2\text{O}/\text{TeO}_2$ oranına bağılı olarak turuncudan açık sarıya doğru bir renk değişimi göstermiştir.
5. $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ sistemlerinin cam oluşum bölgeleri karşılaştırıldığında, üç sisteminde geniş bir bölgede ve benzer bileşim aralıklarında cam oluşturduğu belirlenmiştir.
6. $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ ($\text{A}=\text{Li}, \text{Na}, \text{K}$) camlarının cam özelliklerinin ısı, fiziksel, termodinamik, kinetik, yapısal, optik ve elektriksel açıdan incelenmesi sonucu:
 - Cam geçiş sıcaklığı değerlerinin azalan TeO_2 ve eşit oranda artan WO_3 ve A_2O miktarına göre önce arttığı sonra ise azaldığı ve sabit TeO_2 bileşiminde artan A_2O ve azalan WO_3 oranı ile azaldığı belirlenmiş ve bu davranışın alkali oksit katkısının tungsten-tellürit camların zincir şeklindeki şebeke yapısını gevşetip bozarak bağlanmamış oksijen bölgeleri oluşturmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir.
 - Cam kararlılık değerinin, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarında 50-182 °C aralığında değiştiği ve en yüksek ΔT değerine sahip camın T50W25L25 olduğu, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ camlarında 32-150 °C aralığında değiştiği ve en yüksek ΔT değerine sahip camın T60W30N10 olduğu ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarında 39-167 °C aralığında değiştiği ve en yüksek ΔT değerine sahip camın T60W20K20 olduğu belirlenmiştir.
 - Oda sıcaklığında ölçülen yoğunluk değerlerinin $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarında 4,74-5,88 g/cm³, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ camlarında 4,33-5,86 g/cm³, ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarında 4,50-5,55 g/cm³ aralığında değiştiği belirlenmiştir. Yoğunluk değerlerinin bileşimdeki azalan TeO_2 ve eşit oranda artan WO_3 ve A_2O miktarı ve sabit TeO_2 bileşiminde A_2O 'ın artan ve WO_3 'ın azalan oranı ile düşüş gösterdiği ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının yoğunluk değerlerinin içerdikleri düşük yoğunluğa sahip alkali oksit bileşenler nedeniyle diğer tellürit camlara kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

- Molar hacim değerlerinin $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarında 25,77-28,64 cm^3/mol , $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ camlarında 28,91-32,50 cm^3/mol ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarında 28,36-32,76 cm^3/mol aralığında değiştiği belirlenmiştir. Molar hacim değerlerinin bileşimdeki azalan TeO_2 ve eşit oranda artan WO_3 ve A_2O miktarı ve sabit TeO_2 bileşiminde, artan WO_3 ve azalan A_2O oranı ile büyük iyonik yarıçapa sahip oksijen iyonlarının yapıdaki sayısının artmasından ötürü arttığı tespit edilmiştir.
- Oksijen molar hacimi değerlerinin $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarında 13,32-16,11 cm^3/mol , $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ camlarında 13,55-19,67 cm^3/mol ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarında 14,11-17,19 cm^3/mol aralığında değiştiği belirlenmiştir. azalan TeO_2 ve eşit oranda artan WO_3 ve A_2O miktarına ve sabit TeO_2 bileşiminde azalan WO_3 ve artan A_2O oranına bağlı olarak yüksek alan şiddetine sahip olan iyonların bileşimdeki azalışı ile oksijen molar hacimi değerlerinin artış gösterdiği tespit edilmiştir.
- Oksijen paketlenme yoğunluğu değerlerinin $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarında 68,31-80,37 mol/L, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ camlarında 57,61-75,45 mol/L ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarında 63,27-72,71 mol/L aralığında değiştiği belirlenmiştir. Bileşimdeki azalan TeO_2 ve eşit oranda artan WO_3 ve A_2O miktarına ve sabit TeO_2 bileşiminde artan A_2O oranına bağlı olarak yapının daha az sıkı paketlenmesi sonucu oksijen paketlenme yoğunluğu değerlerinin azalış gösterdiği tespit edilmiştir.
- Ortalama çapraz bağlanma yoğunluğu değerlerinin $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarında 2,15-2,77, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ camlarında 2,10-2,83 ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarında 2,10-2,92 aralığında değiştiği ve cam yapıdaki bağlanmamış oksijen bölgelerinin artışına bağlı olarak azalan TeO_2 ve eşit oranda artan WO_3 ve A_2O miktarına ve sabit TeO_2 bileşiminde WO_3 'in artan miktarına bağlı olarak artış gösterdiği tespit edilmiştir.
- Birim hacimdeki bağ sayısı değerlerinin $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarında $91,86 \cdot 10^{21}$ - $140,14 \cdot 10^{21}$, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ camlarında $91,14 \cdot 10^{21}$ - $128,24 \cdot 10^{21}$ ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarında $90,29 \cdot 10^{21}$ - $117,03 \cdot 10^{21}$ aralığında değiştiği ve cam yapısındaki katyon sayının artışına bağlı olarak bileşimdeki azalan TeO_2 ve eşit oranda artan WO_3 ve A_2O miktarı ve sabit TeO_2 bileşiminde azalan WO_3 ve artan A_2O oranı ile artış gösterdiği tespit edilmiştir.

- Poisson oranı değerlerinin $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarında 0,25-0,28, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ camlarında 0,24-0,28 ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarında 0,24-0,27 aralığında değiştiği ve bileşimdeki azalan TeO_2 ve eşit oranda artan WO_3 ve A_2O miktarına ve sabit TeO_2 bileşiminde azalan WO_3 ve artan A_2O oranına bağlı olarak artan çapraz bağlanma yoğunluğu ile azalış gösterdiği belirlenmiştir.
- Cam geçiş aktivasyon enerjisi değerlerinin $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarında 444-597 kJ/mol, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ camlarında 344-522 kJ/mol ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarında 398-509 kJ/mol aralığında değiştiği ve sabit TeO_2 bileşiminde artan A_2O ve azalan WO_3 oranı ile koordinasyon sayısının 1/6 oranında azalmasından dolayı düşüş gösterdiği belirlenmiştir.
- Kırılgenlik değerlerinin $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarında 91,5-118,9, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ camlarında 74,5-104,9 ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarında 88,2-106,4 aralığında değiştiği ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının sert-kırılgen karakter arasında bir özellik göstererek artan A_2O oranı ile sert karakter gösterme eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.
- Ortalama C parametresi değerlerinin, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarında 2,2, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ camlarında 2,17 ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarında 2,23 değerinde olduğu, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının viskozite değerlerinin 11,25-11,27 Pa.s mertebesinde olduğu ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının viskozite azalma faktörü değerlerinin 6,2-12,8 aralığında olduğu ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının cam geçiş bölgesi boyunca akışkanlık özelliklerinin çok fazla değişikliğe uğramadığı belirlenmiştir.
- Isı kapasitesi değişimi ve oransal ısı kapasitesi değerlerinin, azalan TeO_2 ve eşit oranda artan WO_3 ve A_2O miktarına bağlı olarak azaldığı, bileşimde artan A_2O miktarının bağlanmamış oksijen bölgeleri oluşturarak tungsten-tellürit camların zincir şeklindeki şebeke yapısını gevşetip bozarak camların ısı kapasitesi değerlerinin sıcaklıktan etkilenme oranını azalttığı ve cam yapısını daha sert hale getirdiği belirlenmiştir.
- Yapısal incelemeler sonucu, azalan TeO_2 ve eşit oranda artan WO_3 ve A_2O miktarına ve sabit TeO_2 oranında azalan WO_3 ve artan A_2O oranlarına bağlı olarak, TeO_2 cam şebeke yapısında W-O^- , W=O , TeO_3 ve TeO_{3+1} birimleri şeklinde bağlanmamış oksijen bölgeleri oluştuğu tespit edilmiştir.

- Görünür bölgedeki geçirgenlik değerlerinin $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarında %65-78, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ camlarında %65-76 ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarında %61-83 aralığında değiştiği, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının geçirgenlik sınırlarının genel olarak 369-428 nm dalga boyu aralığında değişim gösterdiği ve geçirgenlik sınırının artan WO_3 oranı ile yüksek dalga boylarına ötelendiği belirlenmiştir.
 - Özdirenç değerlerinin, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarında $10^{10}\text{-}10^{16}$ ohm.cm, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ camlarında $10^{13}\text{-}10^{16}$ ohm.cm ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarında $10^{14}\text{-}10^{16}$ ohm.cm aralığında değiştiği, artan A_2O oranı ile camların iletkenliklerinin arttığı tespit edilmiştir.
 - Dielektrik sabiti değerlerinin, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ camlarında 13-26, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ camlarında 20-30 ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ camlarında 10,5-26 aralığında değiştiği ve bileşimdeki artan WO_3 oranının camların yük taşıma kapasitelerini arttırdığı tespit edilmiştir.
7. $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ (A=Li, Na, K) camlarının termokromik davranışlarının ve termokromik özelliklerinin sıcaklığa bağlı optik ve elektriksel açıdan incelenmesi sonucu:
- $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının geçirgenlik değerlerinin değişen sıcaklıkla morötesi ve yakın kızılötesi bölgede önemli bir değişim göstermediği tespit edilmiştir.
 - $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının görünür bölgedeki % geçirgenlik değerlerinin artan sıcaklıkla azaldığı ve sabit TeO_2 bileşiminde artan $\text{WO}_3/\text{A}_2\text{O}$ oranı ile artış gösterdiği belirlenmiştir.
 - $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının soğurma veya geçirgenlik sınırı olarak tanımlanan limit dalga boyunun artan sıcaklıkla kırmızı bölgeye ötelendiği ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının termokromik özellik gösterdiği tespit edilmiştir.
 - $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının % geçirgenlik ve soğurma sınırı değerlerinin tersinir olarak değiştiği ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının görünür bölgede gösterdiği termokromik davranışın tersinir karakterde olduğu yapılan tekrarlı analizlerle belirlenmiştir.
 - $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının soğurma sınırının (eV) artan sıcaklıkla lineer şekilde değiştiği, ölçülen soğurma sınırlarının sıcaklığa bağlı ötelenme oranlarının -4×10^{-4} ile -9×10^{-4} eV/K arasında değiştiği ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$

- camlarının ötelenme oranı değerlerinin yarı iletkenlerin bant aralığı değerlerinin sıcaklığa bağlı değişim oranı ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.
- $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının oda sıcaklığında 2,35-2,83 eV aralığında değişen bant aralığı enerjisi değerlerinin artan sıcaklıkla 240 °C'de 1,81-2,67 eV değerlerine düştüğü, artan sıcaklıkla bant aralığı enerjisi değerlerinin azalması sonucu $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının yarı iletken karakter gösterdiği belirlenmiştir.
 - $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının genel olarak oda sıcaklığında mor, mavi ve yeşil renkleri soğurarak turuncu renkte göründüğü, artan sıcaklıkla birlikte ise azalan bant aralığı enerjileri nedeniyle kırmızı hariç tüm renkleri soğurarak kırmızı renkte göründüğü tespit edilmiştir.
 - $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının görünür bölgede gösterdikleri yarı iletken davranış nedeniyle sıcaklığa bağlı olarak optik özelliklerini tersinir olarak değiştirerek termokromik özellik gösterdiği belirlenmiştir.
 - $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının kızılötesi bölgedeki soğurma değerlerinin artan sıcaklıkla arttığı ve bileşime bağlı olarak düzenli bir değişim göstermediği tespit edilmiştir.
 - $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının orta kızılötesi bölgede de termokromik özellik gösterdiği saptanmıştır.
 - Tekrarlı analizlerle $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının orta kızılötesi bölgedeki soğurma değerlerinin tersinir olarak değiştiği, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının orta kızılötesi bölgede gösterdiği termokromik davranışın tersinir karakterde olduğu ve orta kızılötesi bölgedeki soğurma değişim değerlerinin görünür bölgeye kıyasla daha küçük olduğu belirlenmiştir.
 - Seçilen camların elektriksel incelemeleri oda sıcaklığı ile 100 °C aralığında gerçekleştirilmiştir.
 - $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının oda sıcaklığında $10^{10}\text{-}10^{16}$ ohm.cm olan özdirenç değerlerinin artan sıcaklıkla $10^7\text{-}10^{13}$ ohm.cm mertebelerine azaldığı buna göre elektriksel iletkenliklerinin sıcaklıkla arttığı ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının yarı iletken davranış gösterdiği tespit edilmiştir.
 - $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-A}_2\text{O}$ camlarının elektriksel iletkenlik aktivasyon enerjisi değerlerinin 0,37-0,52 eV aralığında olduğu belirlenmiştir.

8. $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ sistemlerinin ısı, fiziksel, termodinamik, kinetik, yapısal, optik, elektriksel ve sıcaklığa bağlı spektroskopik ve elektriksel özellikleri karşılaştırıldığında, alkali oksitlerin benzer fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle, tüm sistemlerin cam özellikleri ve termokromik davranışlar açısından benzer değişimler gösterdiği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Abe, Y., Kawashima, K. ve Suzuki, S.** (1981). Thermochromism in reduced phosphate glasses. *Journal of the American Ceramic Society*, 64, 206-209.
- Akagi, R., Handa, K., Ohtori, N., Hannon, A.C., Tatsumisago, M. ve Umesaki, N.** (1999). High-temperature structure of K_2O - TeO_2 glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 256-257, 111-118.
- Al-Ani, S., Hogarth, C. A. ve El-Mallawany, R. A. H.** (1985). A Study of optical absorption in tellurite and tungsten tellurite glasses. *Journal of Materials Science*, 20, 661-667.
- Allen, S. M. ve Thomas, E. L.** (1998). *The Structure of Materials*. Cambridge: MIT Series.
- Angell, C. A.** (1988). Perspective on the glass transition. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 49, 863-871.
- Angell, C. A.** (1991). Relaxation in liquids, polymers and plastic crystals - strong/fragile patterns and problems. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 131-133, 13-31.
- Ansari, G. F., Mahajan, S. H. ve Parashar, J.** (2011). Intense upconversion luminescence of Yb^{3+} - Er^{3+} in Li_2O content tungsten-tellurite glasses. *Journal of Fluorescence*, 21, 1337-1342.
- Arutjunjan, R. E., Markova, T. S., Halopenen, I. Y., Maksimov, I. K., Tutunnikov, A. I. ve Yanush, O. V.** (2003). Thermochromic glazing for "Zero Net Energy" house. *Glass Processing Days*, 299-301.
- Bahgat, A. A., El-Samanoudy, M. M. ve Sabry, A. I.** (1999). Optical and electrical properties of binary WO_3 - Pb_3O_4 glasses. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 60, 1921-1931.
- Bamfield, P. ve Hutchings, M. G.** (2010). *Chromic Phenomena: Technological Applications of Colour Chemistry*. Cambridge: RSC.
- Batista, C., Ribeiro, R. M. ve Teixeira, V.** (2011). Synthesis and characterization of VO_2 -based thermochromic thin films for energy-efficient windows. *Nanoscale Research Letters*, 6, 301-307.
- Blanchandin, S., Marchet, P., Thomas, P., Champarnaud-Mesjard, J. C., Frit, B. ve Chagraoui, A.** (1999). New investigations within the TeO_2 - WO_3 system: phase equilibrium diagram and glass crystallization. *Journal of Materials Science*, 34, 4285-4292.
- Bouas-Laurent, H. ve Durr, H.** (Eds.). (2003). *Photochromism: Molecules and Systems*. Amsterdam: Elsevier.

- Brüning, R. ve Sutton, M.** (1996). Fragility of glass-forming systems and the width of the glass transition. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 205, 480-484.
- Carter, C. B. ve Norton ve M. G.** (2007). *Ceramic Materials Science and Engineering*. New York: Springer.
- Champarnaud-Mesjard, J. C., Blanchandin, S., Thomas, P., Mirgorodsky, A., Merle-Mejean, T. ve Frit, B.** (2000). Crystal structure, Raman spectrum and lattice dynamics of a new metastable form of tellurium dioxide: γ -TeO₂, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 61, 1499-1507.
- Charton, P., Gengembre, L. ve Armand, P.** (2002). TeO₂-WO₃ Glasses: Infrared, XPS and XANES structural characterizations. *Journal of Solid State Chemistry*, 168, 175-183.
- Chen, D., Miura, Y., Nanba, T. ve Osaka, A.** (1996). Thermochromism and temperature dependence of the energy gap in cadmium aluminum bismuthate glasses. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 104, 79-83.
- Chen, D. P., Jiang, X. W. ve Zhu, C. S.** (2001). Study on the thermochromic properties of Bi₂O₃-Li₂O glasses. *Acta Physica Sinica*, 50, 1501-1506.
- Chikh-Bled, B., Benyoucef, B. ve Aillerie, M.** (2012). Experimental measurement of electric conductivity and activation energy in congruent lithium niobate crystal. *Journal of Active and Passive Electronic Devices*, 7, 261-270.
- Ciardelli, F., Ruggeri, G. ve Pucci, A.** (2013). Dye-containing polymers: methods for preparation of mechanochromic materials. *Chemical Society Reviews*, 42, 857-870.
- Cohen, M. H., Fritzsche, H. ve Ovshinsky, S. R.** (1969). Simple band model for amorphous semiconducting alloys. *Physical Review Letters*, 22, 1065-1068.
- Çelikkilek, M., Ersundu, A. E., Solak, N. ve Aydın, S.** (2010). Effect of cooling conditions on the glass forming ability of the TeO₂-WO₃ system. MS&T'10 Konferans ve Sergisi, Houston, Texas, ABD, 17-21 Ekim.
- Çelikkilek, M., Ersundu, A. E., Solak, N. ve Aydın, S.** (2011). Investigation on thermal and microstructural characterization of the TeO₂-WO₃ system. *Journal of Alloys and Compounds*, 509, 5646-5654.
- Çelikkilek, M., Ersundu, A. E. ve Aydın, S.** (2012). Crystallization kinetics in amorphous materials. In Yitzhak Mastai (Ed.), *Advances in Crystallization Processes*, (Chapter 6, pp. 127-162). Croatia: Intech.
- Davis, E. A. ve Mott, N. F.** (1970). Conduction in non-crystalline systems V. Conductivity, optical absorption and photoconductivity in amorphous semiconductors. *Philosophical Magazine*, 22, 0903-0922.
- Day, J. H.** (1963). Thermochromism. *Chemical Reviews*, 63, 65-80.
- Day, J.H.** (1968). Thermochromism of inorganic compounds. *Chemical Reviews*, 68, 649-657.

- Doremus, R. H.** (1973). *Glass science*. New York: Wiley.
- Dutton, W. ve Cooper, W.** (1966). Oxides and oxyacids of tellurium, *Chemical Reviews*, 66, 657-675.
- Elabbar, A. A.,** (2009). Kinetics of the glass transition in $\text{Se}_{72}\text{Te}_{23}\text{Sb}_5$ chalcogenide glass: Variation of the activation energy. *Journal of Alloys and Compounds*, 476, 125-129.
- El-Desoky, M. M. ve Ragab, H. S.** (2005). Ionic conductivity and conductivity relaxation of potassium tellurite glasses. *Physica Status Solidi*, 202, 1088-1095.
- Elliot, S.R.** (1984). *Physics of Amorphous Materials*. New York: Longman.
- El-Mallawany, R. A. H.** (1994). Theoretical analysis of the electrical properties of tellurite glasses. *Materials Chemistry and Physics*, 37, 376-381.
- El-Mallawany, R. A. H.** (2002). *Tellurite Glasses Handbook Physical Properties and Data*. Boca Raton: CRC Press.
- El-Mallawany, R. A. H. ve Ahmed, I. A.** (2008). Thermal properties of multicomponent tellurite glass. *Journal of Materials Science*, 43, 5131-5138.
- El-Mallawany, R. A. H., Abdel-Kader, A., El-Hawary, M. ve El-Khoshkhany, N.** (2010). Volume and thermal studies for tellurite glasses. *Journal of Materials Science*, 45, 871-887.
- Ersundu A. E., Karaduman G., Çelikbilek M., Solak N. ve Aydın S.** (2010a). Formation of the $\delta\text{-TeO}_2$ phase in the ternary $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-CdO}$ System, ICC'3 Kongresi, Osaka, Japan, 14-18 Kasım.
- Ersundu, A. E., Karaduman G., Çelikbilek M., Solak N. ve Aydın S.** (2010b). Stability of the $\delta\text{-TeO}_2$ phase in the binary and ternary TeO_2 glasses. *Journal of the European Ceramic Society*, 30, 3087-3092.
- Ersundu, A. E., Çelikbilek, M., Solak, N. ve Aydın, S.** (2011). Glass formation area and characterization studies in the $\text{CdO-WO}_3\text{-TeO}_2$ ternary system. *Journal of the European Ceramic Society*, 31, 2775-2781.
- Ersundu, A. E., Çelikbilek, M. ve Aydın, S.** (2012). Characterization of B_2O_3 and/or WO_3 containing tellurite glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 358, 641-647.
- Feinleib, J. ve Paul, W.** (1967). Semiconductor to metal transition in V_2O_3 . *Physical Review*, 155, 841-850.
- Fernandes, N. I., Poirier, G. ve Nalin, M.** (2010). Thermo and photochromic properties of $\text{Na}_2\text{O-WO}_3\text{-SbPO}_4$ glasses. *Solid State Ionics*, 181, 1125-1130.
- Granqvist, C. G., Green, S., Niklasson, G. A., Mlyuka, N. R., Von Kraemer, S. ve Georen, P.** (2010). Advances in chromogenic materials and devices. *Thin Solid Films*, 518, 3046-3053.
- Hager, I. Z. ve El-Mallawany, R.** (2010). Preparation and structural studies in the $(70-x)\text{TeO}_2\text{-}20\text{WO}_3\text{-}10\text{Li}_2\text{O-xLn}_2\text{O}_3$ glasses. *Journal of Material Science*, 45, 897-905.

- Hager, I. Z., El-Mallawany, R. A. H. ve Bulou, A.** (2011). Luminescence spectra and optical properties of $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ glasses doped with Nd, Sm and Er rare earth ions. *Physica B*, 406, 972-980.
- Heller, H. G.** (1999). Dye and Pigment Chemistry. In J. Griffiths (Ed.), *Colour Science'98* (Vol. 1, pp. 147-156). UK: University of Leeds.
- Heo, J., Lam, D., Sigel Jr. G. H., Mendoza, E. A. ve Hensley, D.A.** (1992). Spectroscopic analysis of the structure and properties of alkali tellurite glasses. *Journal of American Ceramic Society*, 75[2], 277-281.
- Inoue, S., Shimizugawa, Y., Nukui, A. ve Maeseto, T.** (1995). Thermochromic property of tellurite glasses containing transition metal oxides. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 189, 36-42.
- Irie, M.** (1999). Main Photochromic Families. In J. C. Crano, R. J. Guglielmetti (Eds.), *Organic Photochromic and Thermochromic Compounds* (Vol. 1, pp. 207-222). New York: Plenum Press.
- Jackson, K.A.** (2004). *Kinetic Processes: Crystal Growth, Diffusion, and Phase Transitions in Materials*. Weinheim:Wiley-VCH.
- Jayabharathi, J., Thanikachalam, V., Perumal, M.V. ve Srinivasan, N.** (2011). Fluorescence resonance energy transfer from a bio-active imidazole derivative 2-(1-phenyl-1H-imidazo[4,5-f][1,10]phenanthroline-2-yl) phenol to a bioactive indoloquinoline system. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 79, 236-244.
- Jeong, E. D., Bae, J. S., Hong, T. E., Lee, K. T., Ryu, B. K., Komatsu, T. ve Kima, H. G.,** (2007). Thermal properties and crystallization kinetics of tellurium oxide based glasses. *Journal of Ceramic Processing Research*, 8, 417-420.
- Kanu, S. S. ve Binions, R.** (2010). Thin films for solar control applications. *Proceedings Royal Society A*, 466, 19-44.
- Karaduman, G., Ersundu, A. E., Çelikkilek, M., Solak, N. ve Aydın, S.** (2012). Phase equilibria and glass formation studies in the $(1 - x)\text{TeO}_2\text{-}x\text{CdO}$ ($0.05 \leq x \leq 0.33$ mol) system, *Journal of the European Ceramic Society*, 32, 603-610.
- Karlessi, T., Santamouris, M., Apostolakis, K., Synnefa, A. ve Livada, I.** (2009). Development and testing of thermochromic coatings for buildings and urban structures. *Solar Energy*, 83, 538-551.
- Kavaklığlu, K. B., Çelikkilek, M., Ersundu, A. E. ve Aydın, S.** (2012). Phase equilibria and glass formation studies in the $\text{TeO}_2\text{-Na}_2\text{O}$ system, MS&T'12 Konferans ve Sergisi, Pittsburgh, Pennsylvania, ABD, 7-11 Ekim.
- Kawashima, K., Ding, J., Hosono, H. ve Abe, Y.** (1989). DTA studies for thermochromism and thermal bleaching in reduced phosphate glasses. *The Ceramic Society of Japan*, 97, 823-827.
- Kiria, P., Hyett, G. ve Binions, R.** (2010). Solid state thermochromic materials. *Advanced Materials Letters*, 1, 86-105.

- Kissinger, H.E.** (1956). Variation of peak temperature with heating rate in differential thermal analysis, *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 57, 217-222.
- Kittel, C.** (2005). *Introduction to solid state physics* (8.bs.). USA: John Wiley&Sons.
- Kobayashi, S., Misawa, M. ve Suzuki, K.** (1987). A structural study of glass formation of a Na₂O-WO₃ system. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 91, 180-190.
- Komatsu, T. ve Mohri, H.** (1999). Raman scattering spectra and optical properties of tellurite glasses and crystalline phases containing PbO and CdO, *Journal of Physics and Chemistry of Glasses*, 40, 257-263.
- Komatsu, T., Noguchi, T. ve Ryuji, S.** (1997). Heat capacity changes at the glass transition in mixed-alkali tellurite glasses. *Journal of American Ceramic Society*, 80 [6], 1327-1332.
- Kosuge, T., Benino, Y., Dimitrov, V., Sato, R. ve Komatsu, T.** (1998). Thermal stability and heat capacity changes at the glass transition in K₂O-WO₃-TeO₂ glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 242, 154-164.
- Kozhukharov, V., Marinov, M. ve Grigorova, G.** (1978). Glass-formation range in binary tellurite systems containing transition metal oxides. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 28, 429-430.
- Kozhukharov, V., Bürger, H., Neov, S. ve Sidzhimov, B.** (1986). Atomic arrangement of a zinc-tellurite glass, *Polyhedron*, 5, 771-777.
- Leroux, C. ve Nihoul, G.** (1998). From VO₂ (B) to VO₂ (R): Theoretical structures of VO₂ polymorphs and in-situ electron microscopy. *Physical Review B*, 57(9), 5111-5121.
- Li, G., Nogami, M. ve Abe, Y.** (1994). Temperature and compositional dependence of optical absorption edge in glasses containing PbO and TeO₂. *Journal of Materials Research*, 9, 2319-2322.
- Lim, J. W., Jain, H., Toulouse, J., Marjanovic, S., Sanghera, J. S., Miklos, R. ve Aggarwal, I. D.** (2004). Structure of alkali tungsten tellurite glasses by X-ray photoelectron spectroscopy, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 349, 60-65.
- Mattarellia, M., Montagna, M., Zampedri, L., Bouazaoui, M., Capoen, B., Turrell, S., Ferrari, M. ve Righini, G. C.** (2007). Effect of Eu³⁺ and Ce³⁺ codoping on the relaxation of Er³⁺ in silica-hafnia and tellurite glasses. *Physica Status Solidi (C)*, 4, 793-796.
- Mirgorodsky, A. P., Merle-Méjean, T., Champarnaud, J. C., Thomas, P. ve Frit, B.** (2000). Dynamics and structure of TeO₂ polymorphs: model treatment of paratellurite and tellurite; Raman scattering evidence for new γ - and δ -phases. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 61, 501-509.
- Moynihan, C. T., Easteal, A. J., Wilder, J. ve Tucker J.** (1974). Dependence of the glass transition temperature on heating and cooling rate. *Journal of Physical Chemistry*, 78, 2673-2677.

- Moynihan C. T.** (1993). Correlation between the width of the glass transition region and the temperature dependence of the viscosity of high- T_g glasses. *Journal of American Ceramic Society*, 76[5], 1081-1087.
- Moynihan C. T., Lee, S. K., Tatsumisago, M. ve Minami, T.** (1996). Estimation of activation energies for structural relaxation and viscous flow from DTA and DSC experiments. *Thermochimica Acta*, 280/281, 153-162.
- Msomi, V. ve Nemraoui, O.** (2010). The influence of deposition temperature on vanadium dioxide thin films microstructure and physical properties. *South African Journal of Science*, 106, 86-89.
- Muñoz-Martín, D., Villegas, M. A., Gonzalo, J. ve Fernández-Navarro, J. M.** (2009). Characterisation of glasses in the $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-PbO}$ system. *Journal of the European Ceramic Society*, 29, 2903-2913.
- Nadeem, M. Y., Sadhana, T. B., Altaf, M. ve Chaudhry, M. A.** (2004). Optical band gap in $\text{MnO-CdO-P}_2\text{O}_5$ glasses. *Journal of Research (Science)*, 15, 245-251.
- Nassau, K.** (Ed.). (1998). *Color for Science, Art and Technology Volume 1*. Amsterdam: Elsevier.
- Nassau, K.** (2001). *The Physics and Chemistry of Color: The Fifteen Causes of Color*, 2nd Edition. Wiley.
- Nishida, T., Saruwatari, S. ve Takashima, Y** (1988). Structural study of $\text{Na}_2\text{O-TeO}_2$ glasses by Mössbauer spectroscopy and differential thermal analysis. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 61, 4093-4097.
- Noguera, O., Merle-Mejean, T., Mirgorodsky, A. P., Smirnov, M. B., Thomas, P. ve Champarnaud, J. C.** (2003). Vibrational and structural properties of glass and crystalline phases of TeO_2 . *Journal of Non-Crystalline Solids*, 330, 50-60.
- Öz, B., Kabalcı, I., Öveçoğlu, M. L. ve Özen, G.** (2007a). Microstructural characterization and crystallization kinetics of $(1-x)\text{TeO}_2\text{-}x\text{K}_2\text{O}$ ($x = 0.05, 0.10, 0.15, 0.20$ mol) glasses, *Journal of the European Ceramic Society*, 27, 3239-3251.
- Öz, B., Kabalcı, I., Öveçoğlu, M. L. ve Özen, G.** (2007b). Thermal properties and crystallization behavior of some $\text{TeO}_2\text{-K}_2\text{O}$ glasses, *Journal of the European Ceramic Society*, 27, 1823-1827.
- Parkin, I. P. ve Manning, T. D.** (2006). Intelligent thermochromic windows. *Journal of Chemical Education*, 83, 393-400.
- Pye L. D., Montenero A., Joseph I.** (Eds.). (2005). *Properties of Glass-Forming Melts*. Boca Raton: CRC Press.
- Qi, J., Ning, G., Qi, X. ve Wang, Q.** (2010). Structure and optical properties of VO_2 film derived from a low temperature sol-gel and facile thermal process. *Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Communications*, 4(2), 194-196.
- Rawson, H.** (1967). *Inorganic glass-forming systems*, Academic Press Inc., London, United Kingdom.
- Rawson, H.** (1980). *Properties and Applications of Glass*, Elsevier, Amsterdam.

- Easton, R.** (2004). Interaction of light and matter: Basic principles of imaging science II, *Rochester Institute of Technology*, New York.
- Ruf, C. ve Barner, K.** (1985). Permanent blue coloration of $(\text{Li}_2\text{Ba}_4\text{O}_7)_{1-x}(\text{WO}_3)_x$ glasses, *Solid State Communications*, 54, 111-114.
- Sabra, A. I.** (1981). *Theories of Light: From Descartes to Newton*. Cambridge University Press.
- Saeli, M., Piccirillo, C., Parkin, I. P., Ridley, I. ve Binions, R.** (2010). Nano-composite thermochromic thin films and their application in energy-efficient glazing. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 94, 141-151.
- Schmelzer, J. W. P. ve Gutzow, I. S.** (2011). *Glasses and the Glass Transition*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Sekiya, T., Mochida, N. ve Ogawa, S.** (1994). Structural study of $\text{WO}_3\text{-TeO}_2$ glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 176, 105-115.
- Sen, A., Kumar, J. ve Chakravorty, D.** (1983). Thermochromism in borate glasses containing bismuth oxide. *Journal of Materials Science Letters*, 2, 677-679.
- Shaltout, I., Tang, Y., Braunstein, R. ve Abu-Elazm, A. M.** (1994). Structural studies of tungstate-tellurite glasses by Raman spectroscopy and differential scanning calorimetry, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 56, 141-150.
- Shelby, J. E. ve Stryland E. W. V.** (2005). *Introduction to Glass Science and Technology*. United Kingdom: The Royal Society of Chemistry.
- Sidel, S. M., Capanema, Jr W. A., Araujo, E. B., Moraes, J. C. S. ve Yukimitu, K.** (2011a). Thermally stimulated crystallization of $(20-x)\text{LiO}_2\text{-}80\text{TeO}_2\text{-}x\text{WO}_3$ glass system. *Journal of Solid State Chemistry*, 184, 1216-1220.
- Sidel, S. M., Santos, F. A., Gordo, V. O., Idalgo, E., Monteiro, A. A., Moraes, J. C. S. ve Yukimitu, K.** (2011b). Avrami exponent of crystallization in tellurite glasses. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 106, 613-618.
- Sidkey, M. A. ve Gaafar, M. S.** (2004). Ultrasonic studies on network structure of ternary $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-K}_2\text{O}$ glass system. *Physica B*, 348, 46-55.
- Tatsumisago, M., Sakono, I., Minami, T. ve Tanaka M.** (1981). Preparation of $\text{R}_2\text{O-WO}_3$ (R: Li, Na, K) glasses by a rapid quenching technique and their electrochromic properties. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 46, 119-123.
- Tatsumisago, M., Sakono, I., Minami, T. ve Tanaka, M.** (1982). Preparation and characterization of rapidly quenched glasses in the systems $\text{R}_2\text{O-WO}_3$ (R: Li, Na, K). *Journal of Materials Science*, 17, 3593-3597.
- Tatsumisago, M., Sang-Ki, L., Minami, T. ve Kowada, Y.** (1994). Raman spectra of TeO_2 -based glasses and glassy liquids: local structure change with temperature in relation to fragility of liquid. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 177, 154-163.

- Tawarayama, H., Utsumo, F., Inoue, H., Hosono, H. ve Kawazoe, H.** (2006). Coloration and decoloration of tungsten phosphate glasses by heat treatments at the temperature far below T_g under a controlled ambient. *Chemistry of Materials*, 18, 2810-2816.
- Thomas, P. ve Varma, K.B.R.** (2012). Structural and dielectric properties of glasses in the system $\text{TeO}_2\text{-CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$. *Journal of Advanced Dielectrics*, 02, 1250020.
- Türhan, İ.** (2008). Vanadyum oksit ve katkılı vanadyum oksit ince filmlerinin hazırlanması ve karakterizasyonu, (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Upender, G., Bharadwaj, S., Awasthi, A. M. ve Mouli, V. C.** (2009). Glass transition temperature-structural studies of tungstate tellurite glasses. *Materials Chemistry and Physics*, 118, 298-302.
- Upender, G., Ramesh, S., Prasad, M., Sathe, V. G. ve Mouli, V. C.** (2010a). Optical band gap, glass transition temperature and structural studies of $(100-2x)\text{TeO}_2 - x\text{Ag}_2\text{O}-x\text{WO}_3$ glass system. *Journal of Alloys and Compounds*, 504, 468-474.
- Upender, G., Vardhani, C. P., Suresh, S., Awasthi, A. M. ve Mouli, V. C.** (2010b). Structure, physical and thermal properties of $\text{WO}_3\text{-GeO}_2\text{-TeO}_2$ glasses. *Materials Chemistry and Physics*, 121, 335-341.
- Url-1** <<http://www.color-theory-phenomena.nl/05.01.html>>, alındığı tarih: 11.07.2013.
- Url-2** <<http://homepage.ntlworld.com/colin.pratt/home.html>>, alındığı tarih: 19.03.2013.
- Vogel, W.** (1994). *Glass Chemistry*. Berlin: Springer-Verlag.
- Voivod, I. S., Poole, P. H. ve Sciortino F.** (2001) Fragile-to-strong transition and polyamorphism in the energy landscape of liquid silica. *Nature*, 412, 514-517.
- Wang, J. S., Vogel, E. M. ve Snitzer, E.** (1994). Tellurite glass: a new candidate for fiber devices, *Optical Materials*, 3, 187-203.
- Warren B. E.** (1934). X-ray determination of the structure of glass, *Journal of the American Ceramic Society*, 17, 249-254.
- Wollenhaupt, M., Ahrens, H., Fröbel, P., Barner, K., Giessinger, E. R. ve Braunstein, R.** (1996). New thermally induced color centers in lithium borate tungstate glasses, $(\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7)_{100-x}(\text{WO}_3)_x$. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 194, 191-197.
- Yakhkind, A. K.** (1966). Tellurite glasses. *Journal of American Chemical Society*, 49, 670-675.
- Yang, G., Gulbitten, O., Gueguen, Y., Bureau, B., Sangleboeuf, J.C., Roiland, C., King, E. A. ve Lucas, P.** (2012). Fragile-strong behavior in the $\text{As}_x\text{Se}_{1-x}$ glass forming system in relation to structural dimensionality. *Physical Review B* 85, 14, 144107-1-8.
- Ye, J., Zhou, L., Liu, F., Qi, J., Gong, W., Lin, Y. ve Ning, G.** (2010). Preparation, characterization and properties of thermochromic tungsten-doped

- vanadium dioxide by thermal reduction and annealing. *Journal of Alloys and Compounds*, 504, 503-507.
- Yokoyama, Y.** (2009). Chiral photochromism based on 6π -electrocyclization. *New Journal of Chemistry*, 33, 1314-1319.
- Yukimitu, K., Oliveira, R.C., Araujo, E. B., Moraes, J. C. S. ve Avanci, L. H.** (2005). DSC studies on crystallization mechanisms of tellurite glasses. *Thermochimica Acta*, 426, 157-161.
- Zhang, Z., Gao, Y., Chen, Z., Du, J., Cao, C., Kang, L. ve Luo, H.** (2010). Thermochromic VO₂ thin films: Solution-based processing, improved optical properties, and lowered phase transformation temperature. *Langmuir*, 26(13), 10738-10744.
- Zhang, Z., Gao, Y., Luo, H., Kang, L., Chen, Z., Du, J., Kanehira, M., Zhanga, Y. ve Wang, Z. L.** (2011). Solution-based fabrication of vanadium dioxide on F:SnO₂ substrates with largely enhanced thermochromism and low-emissivity for energy-saving applications. *Energy & Environmental Science*, 4, 4290-4297.
- Zhu, D., Ray, C. S., Zhou, W. ve Day, D. E.** (2003). Glass transition and fragility of Na₂O-TeO₂ glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 319, 247-256
- Zollinger, H.** (1999). *Color: A Multidisciplinary Approach*. Zürich: Wiley.

EKLER

EK A: Hazırlanan numune bileşimleri ve gerekli toz miktarları

EK B: UV-Vis spektrofotometresi için tasarlanan ısıtma ünitesi teknik resimleri

EK A: Hazırlanan numune bileşimleri ve gerekli toz miktarları.

Çizelge A.1 : TeO₂-WO₃ sisteminde hazırlanan numune bileşimleri ve gerekli toz miktarları.

Bileşim (% mol)	Kısaltma	TeO ₂ (g)	WO ₃ (g)
0,96TeO ₂ -0,04WO ₃	T96W4	2,8288	0,1712
0,95TeO ₂ -0,05WO ₃	T95W5	2,7870	0,2130
0,90TeO ₂ -0,10WO ₃	T90W10	2,5831	0,4169
0,85TeO ₂ -0,15WO ₃	T85W15	2,3880	0,6120
0,80TeO ₂ -0,20WO ₃	T80W20	2,2009	0,7991
0,75TeO ₂ -0,25WO ₃ -	T75W25	2,0214	0,9786
0,70TeO ₂ -0,30WO ₃	T70W30	1,8491	1,1509
0,65TeO ₂ -0,35WO ₃	T65W35	1,6835	1,3165
0,60TeO ₂ -0,40WO ₃	T60W40	1,5242	1,4758
0,40TeO ₂ -0,60WO ₃	T40W60	0,9438	2,0562
0,20TeO ₂ -0,80WO ₃	T20W80	0,4406	2,5594

Çizelge A.2 : TeO₂-Li₂O sisteminde hazırlanan numune bileşimleri ve gerekli toz miktarları.

Bileşim (% mol)	Kısaltma	TeO ₂ (g)	Li ₂ CO ₃ (g)
0,85TeO ₂ -0,15Li ₂ O	T85L15	2,9041	0,2373
0,80TeO ₂ -0,20Li ₂ O	T80L20	2,8659	0,3317
0,70TeO ₂ -0,30Li ₂ O	T70L30	2,7772	0,5510
0,60TeO ₂ -0,40Li ₂ O	T60L40	2,6671	0,8232
0,55TeO ₂ -0,45Li ₂ O	T55L45	2,6015	0,9854

Çizelge A.3 : TeO₂-Na₂O sisteminde hazırlanan numune bileşimleri ve gerekli toz miktarları.

Bileşim (% mol)	Kısaltma	TeO ₂ (g)	Na ₂ CO ₃ (g)
0,95TeO ₂ -0,05Na ₂ O	T95N5	2,9399	0,1028
0,925TeO ₂ -0,075Na ₂ O	T92,5N7,5	2,9084	0,1566
0,90TeO ₂ -0,10Na ₂ O	T90N10	2,8759	0,2122
0,85TeO ₂ -0,15Na ₂ O	T85N15	2,8076	0,3290
0,80TeO ₂ -0,20Na ₂ O	T80N20	2,7345	0,4540
0,75TeO ₂ -0,25Na ₂ O	T75N25	2,6561	0,5880
0,70TeO ₂ -0,30Na ₂ O	T70N30	2,5719	0,7320
0,65TeO ₂ -0,35Na ₂ O	T65N35	2,4811	0,8872
0,60TeO ₂ -0,40Na ₂ O	T60N40	2,3830	1,0550
0,50TeO ₂ -0,50Na ₂ O	T50N50	2,1607	1,4349
0,40TeO ₂ -0,60Na ₂ O	T40N60	1,8956	1,8883
0,30TeO ₂ -0,70Na ₂ O	T30N70	1,5737	2,4386

Çizelge A.4 : TeO₂-K₂O sisteminde hazırlanan numune bileşimleri ve gerekli toz miktarları.

Bileşim (% mol)	Kısaltma	TeO ₂ (g)	K ₂ CO ₃ (g)
0,925TeO ₂ -0,075K ₂ O	T92,5K7,5	2,9553	0,0656
0,90TeO ₂ -0,10K ₂ O	T90K10	2,8154	0,2709
0,80TeO ₂ -0,20K ₂ O	T80K20	2,6143	0,5660
0,70TeO ₂ -0,30K ₂ O	T70K30	2,3943	0,8886
0,60TeO ₂ -0,40K ₂ O	T60K40	2,1528	1,2429

Çizelge A.5 : WO₃-Li₂O sisteminde hazırlanan numune bileşimleri ve gerekli toz miktarları.

Bileşim (% mol)	Kısaltma	WO ₃ (g)	Li ₂ CO ₃ (g)
0,75WO ₃ -0,25Li ₂ O	W75L25	2,8763	0,3057
0,70WO ₃ -0,30Li ₂ O	W70L30	2,8428	0,3884
0,65WO ₃ -0,35Li ₂ O	W65L35	2,8052	0,4816
0,60WO ₃ -0,40Li ₂ O	W60L40	2,7624	0,5871
0,55WO ₃ -0,45Li ₂ O	W55L45	2,7136	0,7078
0,50WO ₃ -0,50Li ₂ O	W50L50	2,6572	0,8472

Çizelge A.6 : WO₃-Na₂O sisteminde hazırlanan numune bileşimleri ve gerekli toz miktarları.

Bileşim (% mol)	Kısaltma	WO ₃ (g)	Na ₂ CO ₃ (g)
0,80WO ₃ -0,20Na ₂ O	W80N20	2,8120	0,3214
0,75WO ₃ -0,25Na ₂ O	W75N25	2,7545	0,4198
0,70WO ₃ -0,30Na ₂ O	W70N30	2,6915	0,5274
0,65WO ₃ -0,35Na ₂ O	W65N35	2,6224	0,6457
0,60WO ₃ -0,40Na ₂ O	W60N40	2,5461	0,7761
0,55WO ₃ -0,45Na ₂ O	W55N45	2,4614	0,9208

Çizelge A.7 : WO₃-K₂O sisteminde hazırlanan numune bileşimleri ve gerekli toz miktarları.

Bileşim (% mol)	Kısaltma	WO ₃ (g)	K ₂ CO ₃ (g)
0,75WO ₃ -0,25K ₂ O	W75K25	2,6421	0,5251
0,70WO ₃ -0,30K ₂ O	W70K30	2,5550	0,6528
0,65WO ₃ -0,35K ₂ O	W65K35	2,4614	0,7902
0,60WO ₃ -0,40K ₂ O	W60K40	2,3605	0,9382
0,55WO ₃ -0,45K ₂ O	W55K45	2,2514	1,0982

Çizelge A.8 : TeO₂-WO₃-Li₂O sisteminde hazırlanan numune bileşimleri ve gerekli toz miktarları.

Bileşim (% mol)	Kısaltma	TeO ₂ (g)	WO ₃ (g)	Li ₂ CO ₃ (g)
0,90TeO ₂ -0,05WO ₃ -0,05Li ₂ O	T90W5L5	2,7495	0,2219	0,0707
0,80TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,10Li ₂ O	T80W10L10	2,4897	0,4520	0,1441
0,70TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,10Li ₂ O	T70W20L10	2,0808	0,8635	0,1376
0,70TeO ₂ -0,15WO ₃ -0,15Li ₂ O	T70W15L15	2,2200	0,6909	0,2203
0,70TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,10Li ₂ O	T70W10L20	2,3790	0,4936	0,3147
0,60TeO ₂ -0,30WO ₃ -0,10Li ₂ O	T60W30L10	1,7071	1,2396	0,1317
0,60TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,20Li ₂ O	T60W20L20	1,9398	0,9391	0,2994
0,60TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,30Li ₂ O	T60W10L30	2,2460	0,5437	0,5200
0,50TeO ₂ -0,40WO ₃ -0,10Li ₂ O	T50W40L10	1,3640	1,5849	0,1263
0,50TeO ₂ -0,25WO ₃ -0,25Li ₂ O	T50W25L25	1,6485	1,1971	0,3816
0,50TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,40Li ₂ O	T50W10L40	2,0828	0,6050	0,7715
0,40TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,10Li ₂ O	T40W50L10	1,0481	1,9028	0,1213
0,40TeO ₂ -0,40WO ₃ -0,20Li ₂ O	T40W40L20	1,1783	1,7113	0,2728
0,40TeO ₂ -0,30WO ₃ -0,30Li ₂ O	T40W30L30	1,3454	1,4655	0,4672
0,40TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,40Li ₂ O	T40W20L40	1,5678	1,1385	0,7259
0,40TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,50Li ₂ O	T40W10L50	1,8782	0,6820	1,0871
0,30TeO ₂ -0,60WO ₃ -0,10Li ₂ O	T30W60L10	0,7562	2,1966	0,1167
0,30TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,20Li ₂ O	T30W50L20	0,8461	2,0482	0,2612
0,30TeO ₂ -0,35WO ₃ -0,35Li ₂ O	T30W35L35	1,0299	1,7450	0,5563
0,30TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,50Li ₂ O	T30W20L50	1,3155	1,2737	1,0152
0,20TeO ₂ -0,60WO ₃ -0,20Li ₂ O	T20W60L20	0,5411	2,3576	0,2505
0,20TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,30Li ₂ O	T20W50L30	0,6108	2,2176	0,4242
0,20TeO ₂ -0,40WO ₃ -0,40Li ₂ O	T20W40L40	0,7010	2,0363	0,6492
0,20TeO ₂ -0,30WO ₃ -0,50Li ₂ O	T20W30L50	0,8226	1,7921	0,9522
0,10TeO ₂ -0,60WO ₃ -0,30Li ₂ O	T10W60L30	0,2919	2,5440	0,4055
0,10TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,40Li ₂ O	T10W50L40	0,3329	2,4176	0,6166
0,10TeO ₂ -0,45WO ₃ -0,45Li ₂ O	T10W45L45	0,3580	2,3401	0,7460

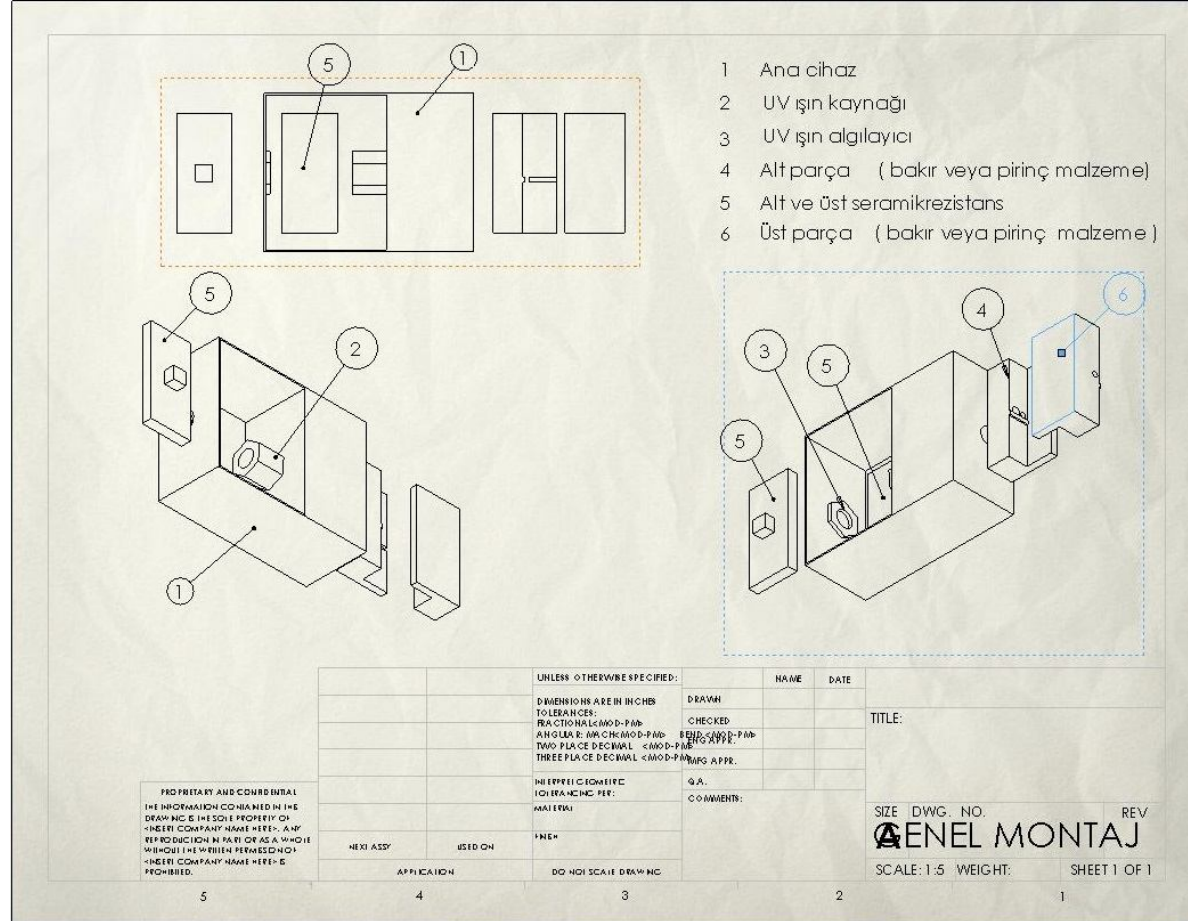
Çizelge A.9 : TeO₂-WO₃-Na₂O sisteminde hazırlanan numune bileşimleri ve gerekli toz miktarları.

Bileşim (% mol)	Kısaltma	TeO ₂ (g)	WO ₃ (g)	Na ₂ CO ₃ (g)
0,90TeO ₂ -0,05WO ₃ -0,05Na ₂ O	T90W5N5	2,7217	0,2196	0,1004
0,80TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,10Na ₂ O	T80W10N10	2,4388	0,4428	0,2025
0,70TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,10Na ₂ O	T70W20N10	2,0402	0,8466	0,1936
0,70TeO ₂ -0,15WO ₃ -0,15Na ₂ O	T70W15N15	2,1514	0,6696	0,3062
0,70TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,20Na ₂ O	T70W10N20	2,2754	0,4721	0,4317
0,60TeO ₂ -0,30WO ₃ -0,10Na ₂ O	T60W30N10	1,6751	1,2165	0,1854
0,60TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,20Na ₂ O	T60W20N20	1,8592	0,9001	0,4116
0,60TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,30Na ₂ O	T60W10N30	2,0887	0,5056	0,6936
0,50TeO ₂ -0,40WO ₃ -0,10Na ₂ O	T50W40N10	1,3395	1,5564	0,1779
0,50TeO ₂ -0,30WO ₃ -0,20Na ₂ O	T50W30N20	1,4802	1,2899	0,3932
0,50TeO ₂ -0,25WO ₃ -0,25Na ₂ O	T50W25N25	1,5622	1,1344	0,5187
0,50TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,30Na ₂ O	T50W20N30	1,6538	0,9608	0,6590
0,50TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,40Na ₂ O	T50W10N40	1,8736	0,5442	0,9954
0,40TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,10Na ₂ O	T40W50N10	1,0300	1,8700	0,1710
0,40TeO ₂ -0,40WO ₃ -0,20Na ₂ O	T40W40N20	1,1335	1,6463	0,3764
0,40TeO ₂ -0,30WO ₃ -0,30Na ₂ O	T40W30N30	1,2602	1,3727	0,6277
0,40TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,40Na ₂ O	T40W20N40	1,4187	1,0303	0,9422
0,40TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,50Na ₂ O	T40W10N50	1,6228	0,5892	1,3472
0,30TeO ₂ -0,60WO ₃ -0,10Na ₂ O	T30W60N10	0,7436	2,1601	0,1646
0,30TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,20Na ₂ O	T30W50N20	0,8153	1,9736	0,3610
0,30TeO ₂ -0,40WO ₃ -0,30Na ₂ O	T30W40N30	0,9023	1,7473	0,5992
0,30TeO ₂ -0,35WO ₃ -0,35Na ₂ O	T30W35N35	0,9531	1,6150	0,7385
0,30TeO ₂ -0,30WO ₃ -0,40Na ₂ O	T30W30N40	1,0100	1,4669	0,8943
0,30TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,50Na ₂ O	T30W20N50	1,1470	1,1106	1,2695
0,20TeO ₂ -0,60WO ₃ -0,20Na ₂ O	T20W60N20	0,5221	2,2751	0,3468
0,20TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,30Na ₂ O	T20W50N30	0,5754	2,0893	0,5732
0,20TeO ₂ -0,40WO ₃ -0,40Na ₂ O	T20W40N40	0,6408	1,8614	0,8511
0,20TeO ₂ -0,30WO ₃ -0,50Na ₂ O	T20W30N50	0,7230	1,5750	1,2003
0,10TeO ₂ -0,60WO ₃ -0,30Na ₂ O	T10W60N30	0,2757	2,4029	0,5494
0,10TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,40Na ₂ O	T10W50N40	0,3056	2,2195	0,8119
0,10TeO ₂ -0,45WO ₃ -0,45Na ₂ O	T10W45N45	0,3232	2,1120	0,9657

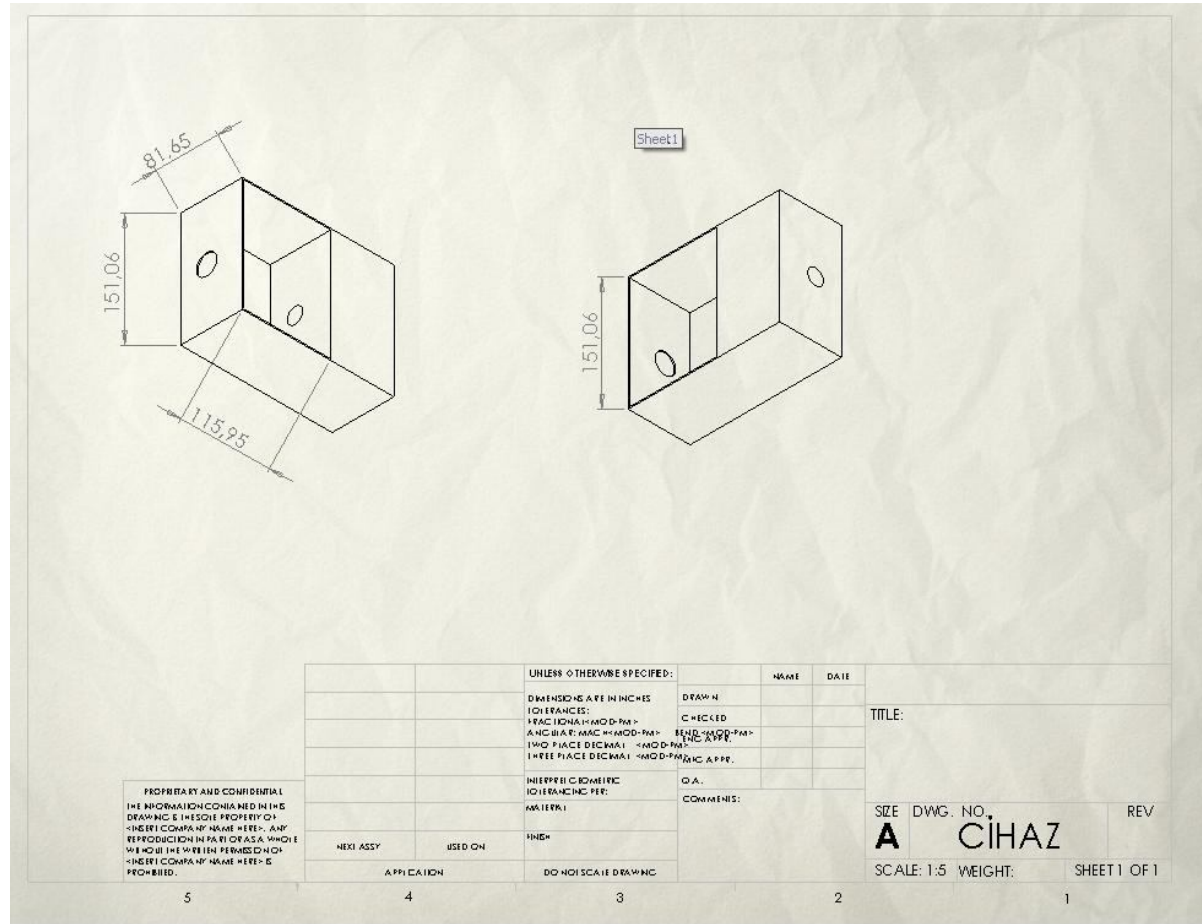
Çizelge A.10 : TeO₂-WO₃-K₂O sisteminde hazırlanan numune bileşimleri ve gerekli toz miktarları.

Bileşim (% mol)	Kısaltma	TeO ₂ (g)	WO ₃ (g)	K ₂ CO ₃ (g)
0,90TeO ₂ -0,05WO ₃ -0,05K ₂ O	T90W5K5	2,6943	0,2174	0,1296
0,80TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,10K ₂ O	T80W10K10	2,3898	0,4339	0,2587
0,70TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,10K ₂ O	T70W20K10	2,0010	0,8303	0,2475
0,70TeO ₂ -0,15WO ₃ -0,15K ₂ O	T70W15K15	2,0867	0,6494	0,3872
0,70TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,20K ₂ O	T70W10K20	2,1800	0,4523	0,5394
0,60TeO ₂ -0,30WO ₃ -0,10K ₂ O	T60W30K10	1,6442	1,1940	0,2373
0,60TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,20K ₂ O	T60W20K20	1,7848	0,8641	0,5152
0,60TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,20K ₂ O	T60W10K30	1,9516	0,4724	0,8450
0,50TeO ₂ -0,40WO ₃ -0,10K ₂ O	T50W40K10	1,3158	1,5289	0,2279
0,50TeO ₂ -0,30WO ₃ -0,20K ₂ O	T50W30K20	1,4235	1,2405	0,4930
0,50TeO ₂ -0,25WO ₃ -0,25K ₂ O	T50W25K25	1,4842	1,0778	0,6426
0,50TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,30K ₂ O	T50W20K30	1,5503	0,9007	0,8055
0,50TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,40K ₂ O	T50W10K40	1,7020	0,4944	1,1790
0,40TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,10K ₂ O	T40W50K10	1,0125	1,8381	0,2192
0,40TeO ₂ -0,40WO ₃ -0,20K ₂ O	T40W40K20	1,0919	1,5859	0,4727
0,40TeO ₂ -0,30WO ₃ -0,30K ₂ O	T40W30K30	1,1849	1,2906	0,7695
0,40TeO ₂ -0,20WO ₃ -0,40K ₂ O	T40W20K40	1,2951	0,9405	1,1214
0,40TeO ₂ -0,10WO ₃ -0,50K ₂ O	T40W10K50	1,4280	0,5185	1,5456
0,30TeO ₂ -0,60WO ₃ -0,10K ₂ O	T30W60K10	0,7314	2,1247	0,2111
0,30TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,20K ₂ O	T30W50K20	0,7866	1,9040	0,4541
0,30TeO ₂ -0,40WO ₃ -0,30K ₂ O	T30W40K30	0,8506	1,6473	0,7366
0,30TeO ₂ -0,35WO ₃ -0,35K ₂ O	T30W35K35	0,8868	1,5026	0,8959
0,20TeO ₂ -0,60WO ₃ -0,20K ₂ O	T20W60K20	0,5044	2,1979	0,4368
0,20TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,30K ₂ O	T20W50K30	0,5438	1,9747	0,7064
0,20TeO ₂ -0,40WO ₃ -0,40K ₂ O	T20W40K40	0,5899	1,7137	1,0217
0,10TeO ₂ -0,60WO ₃ -0,30K ₂ O	T10W60K30	0,2612	2,2763	0,6786
0,10TeO ₂ -0,50WO ₃ -0,40K ₂ O	T10W50K40	0,2824	2,0508	0,9782

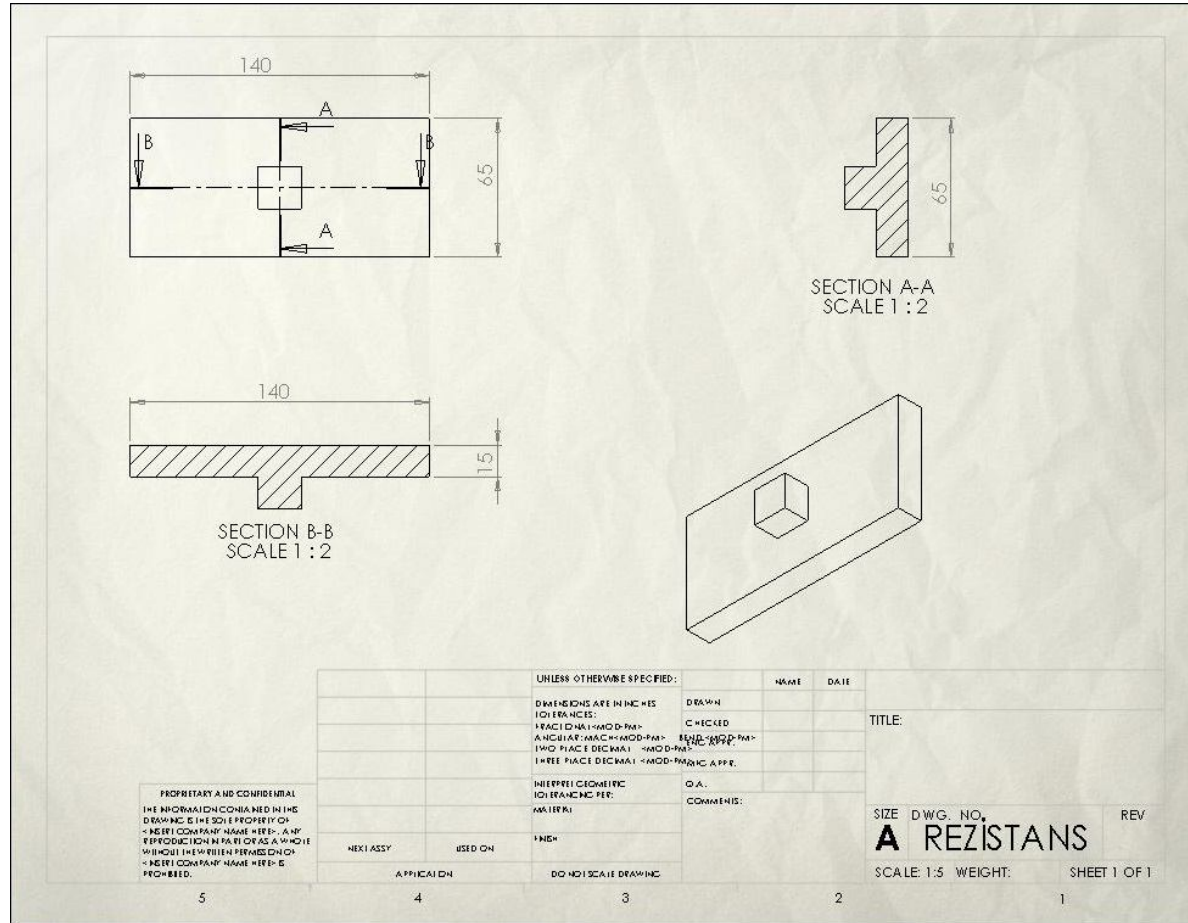
EK B: UV-Vis spektrofotometresi için tasarlanan ısıtma ünitesi teknik resimleri.



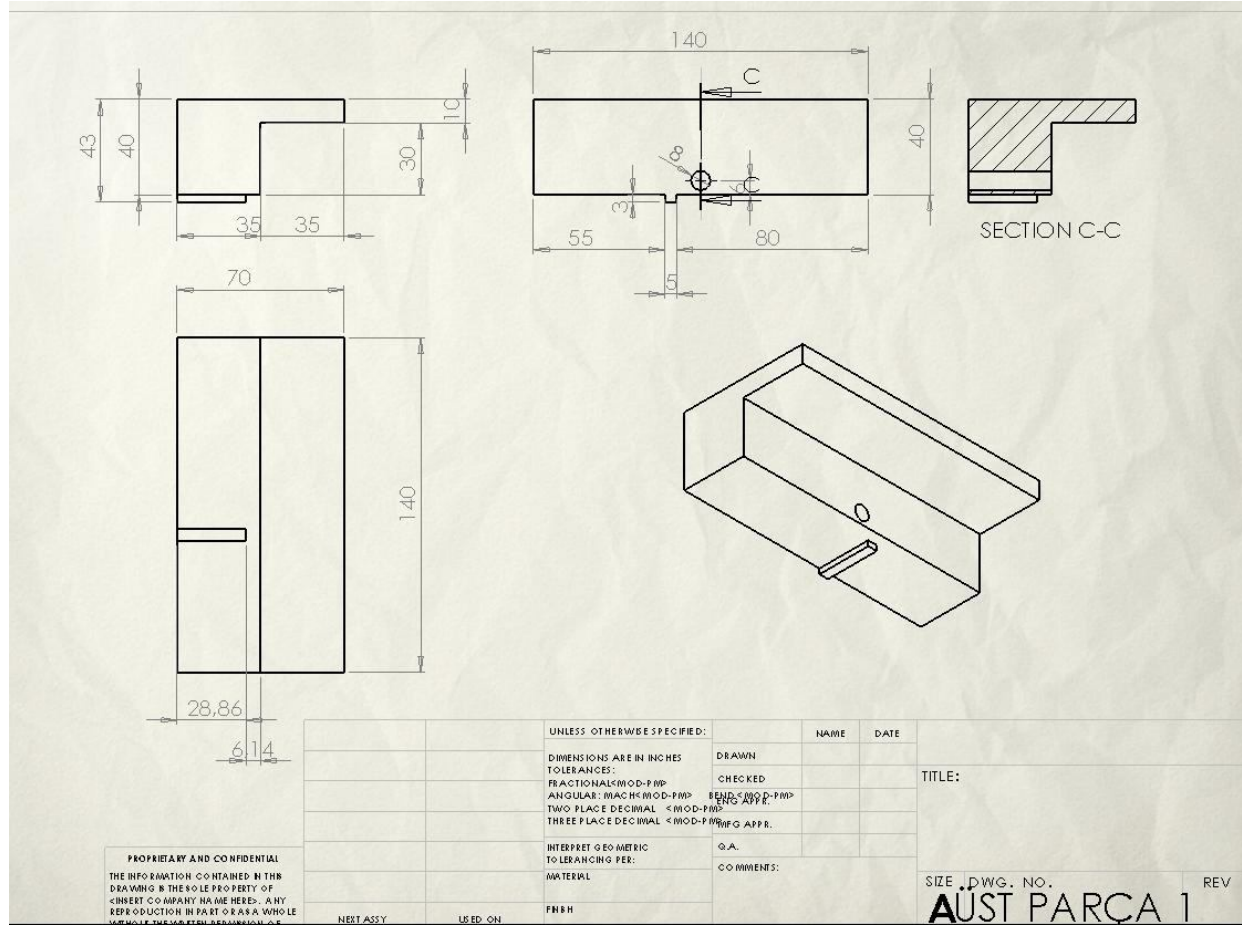
Şekil B.1 : UV-Vis spektrofotometresi için tasarlanan ısıtma ünitesi genel montaj teknik resmi.



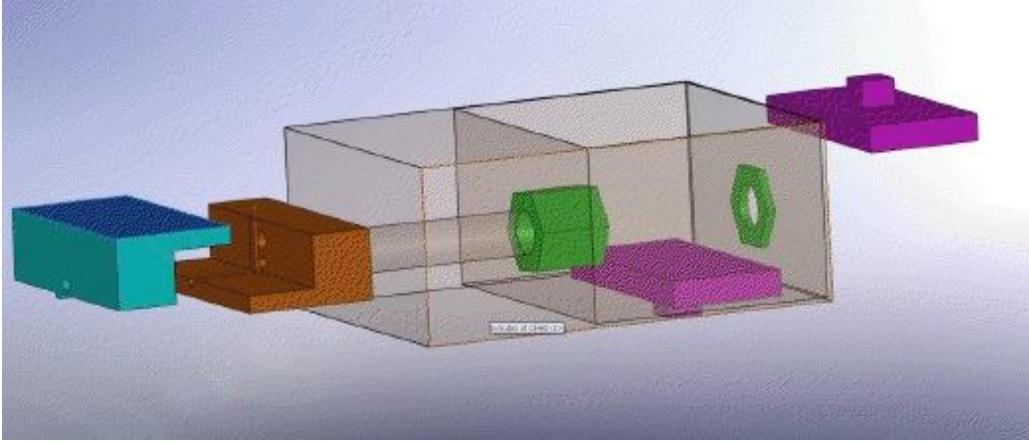
Şekil B.2 : UV-Vis spektrofotometresi için tasarlanan ısıtma ünitesi ana cihaz gövdesi teknik resmi.



Şekil B.3 : UV-Vis spektrofotometresi için tasarlanan ısıtma ünitesi rezistans teknik resmi



Şekil B.4 : UV-Vis spektrofotometresi için tasarlanan ısıtma ünitesi cihaz üst parça teknik resmi



Şekil B.5 : UV-Vis spektrofotometresi için tasarlanan ısıtma ünitesi teknik resmi

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Miray ÇELİKBİLEK
Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 11.09.1984
E-Posta: miraycelikbilek@gmail.com, celikbilek@itu.edu.tr
Lise: Galatasaray Lisesi
Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 2008.
Yüksek Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi, Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Programı, 2009.

Yayın ve Patent Listesi:

Kitap İçi Bölümler

- **Çelikbilek, M.**, Ersundu, A. E. ve Aydın, S. (2012). Crystallization Kinetics in Amorphous Materials. In Yitzhak Mastai (Ed.), *Advances in Crystallization Processes*. (Chapter 6, pp. 127-162), Croatia: Intech.
- Ersundu, A. E., **Çelikbilek, M.** ve Aydın, S. (2012). A Review of Scanning Electron Microscopy Investigations in Tellurite Glass Systems. In A. Méndez-Vilas (Ed.), *Current Microscopy Contributions to Advances in Science and Technology* (Vol. 2, pp. 1105-1114), Spain: Formatex.

Uluslararası Makaleler

- Yardımcı, D., **Çelikbilek, M.**, Ersundu, A. E. ve Aydın, S. (2013). Thermal and microstructural characterization and crystallization kinetic studies in the TeO₂-B₂O₃ system, *Materials Chemistry and Physics*, 137, 999-1006.
- Ersundu, A. E., **Çelikbilek, M.** ve Aydın, S. (2012). Characterization of B₂O₃ and/or WO₃ containing tellurite glasses, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 358, 641-647.
- Karaduman, G., Ersundu, A. E., **Çelikbilek, M.**, Solak, N. ve Aydın, S. (2012). Phase equilibria and glass formation studies in the (1 - x)TeO₂-xCdO (0.05 ≤ x ≤ 0.33 mol) system, *Journal of the European Ceramic Society*, 32, 603-610.

- Ersundu, A. E., **Çelikkbilek, M.**, Solak, N. ve Aydın, S. (2011). Glass formation area and characterization studies in the CdO-WO₃-TeO₂ ternary system, *Journal of the European Ceramic Society*, 31, 2775-2781.
- **Çelikkbilek, M.**, Ersundu, A. E., Solak, N. ve Aydın, S. (2011). Crystallization kinetics of the tungsten-tellurite glasses, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 357, 88-95.
- **Çelikkbilek, M.**, Ersundu, A. E., Solak, N. ve Aydın, S. (2011). Investigation on thermal and microstructural characterization of the TeO₂-WO₃ system, *Journal of Alloys and Compounds*, 509, 5646-5654.
- **Çelikkbilek M.**, Karaduman G., Ersundu A.E., Solak N., Tatar D. ve Aydın S. (2010). Microstructural and thermal characterization of the TeO₂-WO₃ system, *Ceramic Materials*, 62, 556-559.
- Ersundu, A. E., Karaduman, G., **Çelikkbilek, M.**, Solak, N. ve Aydın, S. (2010). Effect of rare-earth dopants on the thermal behavior of tungsten-tellurite glasses, *Journal of Alloys and Compounds*, 508, 266-272.
- Ersundu, A. E., Karaduman, G., **Çelikkbilek, M.**, Solak, N. ve Aydın, S. (2010). Stability of the δ -TeO₂ phase in the binary and ternary TeO₂ glasses, *Journal of the European Ceramic Society*, 30, 3087-3092.

Uluslararası Bildiriler

- Ersundu, A. E., **Çelikkbilek, M.** ve Aydın, S. (2013). Glass formation behavior in different binary and ternary tellurite glass systems, *International Congress on Glass – ICG 2013*, Prag, Çek Cumhuriyeti, 1-5 Temmuz.
- Ersundu, A. E., **Çelikkbilek, M.** ve Aydın, S. (2012). Phase separation in two glass former containing WO₃-TeO₂-B₂O₃ system, *Materials Science and Technology Conference and Exhibition - MS&T'12* (257-261), Pittsburgh, Pennsylvania, ABD, 7-11 Ekim.
- Kavaklığlu, K. B., **Çelikkbilek, M.**, Ersundu, A. E. ve Aydın, S. (2012). Phase equilibria and glass formation studies in the TeO₂-Na₂O system, *Materials Science and Technology Conference and Exhibition - MS&T'12* (237-242), Pittsburgh, Pennsylvania, ABD, 7-11 Ekim.
- Ersundu, A. E., **Çelikkbilek, M.** ve Aydın, S. (2012). Glass formation and structural studies in the TeO₂-WO₃-B₂O₃ system, *16th International Metallurgy & Materials Congress - IMMC 2012* (253-260), İstanbul, Türkiye, 13-15 Eylül.
- Yardımcı, D., **Çelikkbilek, M.**, Ersundu, A. E. ve Aydın, S. (2012). Investigation of phase separation region in the TeO₂-B₂O₃ system, *16th International Metallurgy & Materials Congress - IMMC 2012* (346-351), İstanbul, Türkiye, 13-15 Eylül.

- Kavaklığlu, K. B., **Çelikbilek, M.**, Ersundu, A. E. ve Aydın, S. (2012). Thermal behavior and non-isothermal kinetic studies of lithium-tellurite glasses, *16th International Metallurgy & Materials Congress - IMMC 2012*, İstanbul, Türkiye, 13-15 Eylül.
- Irmak, T., **Çelikbilek, M.**, Ersundu, A. E. ve Aydın, S. (2012). Thermal investigation and crystallization behavior of zinc-tellurite glasses, *16th International Metallurgy & Materials Congress - IMMC 2012* (352-357), İstanbul, Türkiye, 13-15 Eylül.
- Ersundu, A. E., **Çelikbilek, M.**, Solak, N. ve Aydın, S. (2011). Characterization of glasses in the $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-CdO}$ system, *Materials Science and Technology Conference and Exhibition - MS&T'11* (48-51), Columbus, Ohio, ABD, 16-20 Ekim.
- **Çelikbilek, M.**, Yardımcı, D., Ersundu, A. E. ve Aydın, S. (2011). Thermal behavior and kinetics of glass transition in B_2O_3 containing tungsten-tellurite glasses, *Materials Science and Technology Conference and Exhibition - MS&T'11* (55-61), Columbus, Ohio, ABD, 16-20 Ekim.
- **Çelikbilek, M.**, Yardımcı, D., Ersundu, A. E., Solak, N. ve Aydın, S. (2011). Characterization studies on the B_2O_3 containing tungsten-tellurite glasses, *17th International Symposium on Boron, Borides and Related Materials - ISBB 2011* (291), İstanbul, Türkiye, 11-17 Eylül.
- Yardımcı, D., **Çelikbilek, M.**, Ersundu, A. E., Solak, N. ve Aydın, S. (2011). Thermal and microstructural characterization of $\text{TeO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$ system, *17th International Symposium on Boron, Borides and Related Materials - ISBB 2011* (286), İstanbul, Türkiye, 11-17 Eylül.
- Celayir, U., Ceren, M., Gönülhan, B., Jadidi, P., Kavaklıoğlu, K. B., Saraçoğlu, K., **Çelikbilek, M.**, Ersundu, A. E., Solak, N. ve Aydın, S. (2011). Glasses of $\text{TeO}_2\text{-ZnO}$ system for fiber-optic applications, *2nd International Ceramic, Glass, Porcelain, Enamel, Glaze and Pigment Congress - SERES'11*, Eskişehir, Türkiye, 10-12 Ekim.
- **Çelikbilek, M.**, Ersundu, A. E., Solak, N. ve Aydın, S. (2011). Characterization studies in the $\text{WO}_3\text{-CdO}$ system, *12th International Conference and Exhibition of the European Ceramic Society - ECERS 2011*, Stockholm, İsveç, 19-23 Haziran.
- **Çelikbilek, M.**, Ersundu, A. E., Solak, N. ve Aydın, S. (2010). Characterization studies in the $\text{TeO}_2\text{-WO}_3$ system, *15th International Metallurgy & Materials Congress - IMMC 2010* (2166-2174), İstanbul, Türkiye, 11-13 Kasım.
- Yardımcı, D., **Çelikbilek, M.**, Ersundu, A. E., Solak, N. ve Aydın, S. (2010). Thermal and microstructural characterization of B_2O_3 containing tellurite Glasses, *15th International Metallurgy & Materials Congress - IMMC 2010* (2232-2240), İstanbul, Türkiye, 11-13 Kasım.

- Yardımcı, D., **Çelikbilek, M.**, Ersundu, A. E., Solak, N. ve Aydın, S. (2010). Crystallization kinetics of $\text{TeO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$ glasses, *3rd International Congress on Ceramics - ICC'3*, Osaka, Japonya, 14-18 Kasım.
- Karaduman, G., **Çelikbilek, M.**, Ersundu, A. E., Solak, N. ve Aydın, S. (2010). Investigation of the glass formation in the $\text{TeO}_2\text{-CdO}$ system, *3rd International Congress on Ceramics - ICC'3*, Osaka, Japonya, 14-18 Kasım.
- Ersundu, A. E., Karaduman, G., **Çelikbilek, M.**, Solak, N. ve Aydın, S. (2010). Formation of the $\delta\text{-TeO}_2$ phase in the ternary $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-CdO}$ system, *3rd International Congress on Ceramics - ICC'3*, Osaka, Japonya, 14-18 Kasım.
- **Çelikbilek, M.**, Ersundu, A. E., Solak, N. ve Aydın, S. (2010). Effect of cooling conditions on the glass forming ability of the $\text{TeO}_2\text{-WO}_3$ system, *Materials Science and Technology Conference and Exhibition - MS&T'10* (226-232), Houston, Texas, ABD, 17-21 Ekim.
- **Çelikbilek, M.**, Ersundu, A. E., Solak, N. ve Aydın, S. (2010). Kinetic studies on the tungsten tellurite glasses, *Materials Science and Technology Conference and Exhibition - MS&T'10* (146-155), Houston, Texas, ABD, 17-21 Ekim.
- Yardımcı, D., **Çelikbilek, M.**, Ersundu, A. E., Solak, N. ve Aydın, S. (2010). Characterization studies in the glassy region of the $\text{TeO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$ system, *Materials Science and Technology Conference and Exhibition - MS&T'10* (179-184), Houston, Texas, ABD, 17-21 Ekim.
- Ersundu, A. E., **Çelikbilek, M.**, Karaduman, G., Solak, N. ve Aydın, S. (2010). Phase studies in the $\text{TeO}_2\text{-WO}_3$ system, *1st International Ceramic, Glass, Porcelain, Enamel, Glaze and Pigment Congress - SERES'09* (1181-1188), Eskişehir, Türkiye, 12-14 Ekim.
- Karaduman, G., **Çelikbilek, M.**, Ersundu, A. E., Solak, N., Tatar, D. ve Aydın, S. (2009). Experimental phase studies in the $\text{TeO}_2\text{-CdO}$ system, *11th International Conference and Exhibition of the European Ceramic Society - ECERS 2009* (771-774), Krakow, Polonya, 21-25 Haziran.
- **Çelikbilek, M.**, Karaduman, G., Ersundu, A. E., Solak, N., Tatar, D. ve Aydın, S. (2009). Microstructural and thermal characterization of the $\text{TeO}_2\text{-WO}_3$ system, *11th International Conference and Exhibition of the European Ceramic Society - ECERS 2009* (712-715), Krakow, Polonya, 21-25 Haziran.
- Ersundu, A. E., **Çelikbilek, M.**, Karaduman, G., Solak, N. ve Aydın, S. (2009). Experimental phase studies in the $\text{TeO}_2\text{-WO}_3$ system, *TMS 2009 Annual Meeting & Exhibition* (709-715), San Francisco, California, ABD, 15-19 Şubat.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Çelikbilek, M.**, Ersundu, A. E. ve Aydın, S. (2013). Preparation and characterization of $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ glasses, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 378, 247-253.
- **Çelikbilek, M.**, Ersundu, A. E. ve Aydın, S. (2013). Thermodynamic and kinetic investigation of alkali containing tungsten-tellurite glasses, *International Congress on Glass – ICG 2013*, Prag, Çek Cumhuriyeti, 1-5 Temmuz.
- **Çelikbilek, M.**, Ersundu, A. E. ve Aydın, S. (2013). Glass formation and characterization studies in the $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ system, *Journal of the American Ceramic Society*, 96, 1470-1476.
- **Çelikbilek, M.**, Ersundu, A. E. ve Aydın, S. (2011). Effect of Na_2O addition on tungsten-tellurite glasses, *Materials Science and Technology Conference and Exhibition - MS&T'11*, Columbus, Ohio, ABD, 16-20 Ekim.
- **Çelikbilek, M.**, Ersundu, A. E. ve Aydın, S. (2012). Investigation of thermal and structural behavior of alkali oxide containing tungsten-tellurite glasses, *16th International Metallurgy & Materials Congress - IMMC 2012* (339-345), İstanbul, Türkiye, 13-15 Eylül.
- Yardımcı, D., **Çelikbilek, M.**, Ersundu, A. E. ve Aydın, S. (2012). Thermal and structural properties of the $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ glasses, *Materials Science and Technology Conference and Exhibition - MS&T'12* (243-248), Pittsburgh, Pennsylvania, ABD, 7-11 Ekim.
- **Çelikbilek, M.**, Ersundu, A. E. ve Aydın, S. (2012). Investigation of glass formation and structural properties in the $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ system, *Materials Science and Technology Conference and Exhibition - MS&T'12* (229-236), Pittsburgh, Pennsylvania, ABD, 7-11 Ekim.

