

ISIL İŞLEMİN SARI RENKLİ SANATSAL CAM ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ*

• Doç. Dr. Göktuğ GÜNKAYA** • Ayşenur SARI***

ÖZET

Cam, yapısı gereği birçok farklı teknikle şekillendirilebilen bir malzemedir. Füzyon, çöktürme ve kalıpla şekillendirme bu teknikler arasındadır. Günümüzde, cam üretim sürecinde uygulanan ısı işlemleri sayesinde gerilimi giderilmiş, büyük ölçeklerde ve istenilen formlarda üretim gerçekleştirilmektedir. Isıl işlem sürecinde kullanılan hammaddeler ve bileşenler, camın fiziksel ve optik özelliklerini doğrudan etkileyerek farklı renk ve ton geçişlerinin elde edilmesine olanak tanımaktadır.

Bu çalışmada, ticari olarak temin edilen sarı renkli camın ısı işlem sonucunda turuncu renge dönüşümü incelenmiştir. Kalıpla cam şekillendirme tekniği kullanılarak, fırın içinde uygulanan ısı işlem sürecinde camın geçirdiği renk değişimlerine odaklanılmıştır. Çalışmanın temel amacı, camdaki renk değişimlerini analiz ederek bu değişimlerin sanatsal cam eser üretim sürecine etkilerini değerlendirmektir. Isıl işlem tepe sıcaklıklarının belirlenmesinde Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) analizi uygulanmış; renk geçişlerinin daha ayrıntılı bir şekilde incelenebilmesi amacıyla $L^ a^* b^*$ değerleri ölçülmüştür.*

* Bu çalışma Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından kabul edilen 1910E147 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir. Proje Adı: Fırında Kalıpla Cam Şekillendirme Tekniğinde Kullanılan Farklı Renkteki Ticari Camlarda Sıcaklık Etkisiyle Oluşan Renk Değişikliğinin Araştırılması

Bu makale, Ayşenur SARI / Anadolu Üniversitesi / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü / Cam Anasanat Dalı / Danışman Göktuğ GÜNKAYA / "Fırında Kalıpla Cam Şekillendirme Tekniğinde Kullanılan Farklı Renkteki Ticari Camlarda Sıcaklık Etkisiyle Oluşan Renk Değişikliğinin Araştırılması" başlıklı yayınlanmış yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

** Anadolu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Cam Bölümü, Cam Anasanat Dalı, ggunkaya@anadolu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0821-7170

Anadolu Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Uygulama ve Araştırma Merkezi, ggunkaya@anadolu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0821-7170

*** Anadolu Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Cam Anasanat Dalı, aysenur.sari@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9200-5009

Çalışmada, sıcaklığın kontrollü bir şekilde değiştirilmesiyle farklı cam renkleri ve tonlarının elde edilebileceği tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, tek bir cam kompozisyonu ile çeşitli renk ve ton değişimlerinin sağlanabileceğini ortaya koymaktadır. Sonuçlar, ısıl işlemin cam eser üretiminde hem estetik hem de teknik açıdan önemli bir değişken olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Deneysel sürecin ardından elde edilen bulgular doğrultusunda bir sanatsal uygulama gerçekleştirilmiş, yapılan değerlendirmelere bu uygulama da dahil edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Camda ısıl işlem, Sarı renkli cam, Sanatsal camda renk değişimi, Cam şekillendirme teknikleri, Kalıpla cam şekillendirme.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF HEAT TREATMENT ON YELLOW-COLORED ARTISTIC GLASS*

• Assoc. Prof. Dr. Gökтуğ GÜNKAYA** • Ayşenur SARI***

ABSTRACT

Glass is a material that can be shaped using various techniques due to its inherent properties. Fusion, slumping, and molding are among these techniques. Today, thanks to thermal treatments applied during the glass production process, stress is relieved, enabling large-scale production in desired forms. The raw materials and components used in the thermal treatment process directly influence the physical and optical properties of the glass, allowing for the creation of different color and tonal transitions.

In this study, the transformation of commercially available yellow glass into an orange hue because of thermal treatment was examined. Using the glass molding technique, the color changes undergone by the glass during the thermal treatment process in the furnace were analyzed. The primary objective of the study was to evaluate the effects of these color changes on the artistic glass production process by analyzing the shifts in glass color. Differential Scanning Calorimetry (DSC) analysis was applied to determine the peak temperatures of the thermal treatment, while L a b* values were analyzed to examine the color transitions in greater detail.*

* This article has been produced from the published master's thesis "Ayşenur SARI" / Anadolu Üniversitesi / Graduate Education Institute / "Department of Glass" / "Supervisor Gökтуğ GÜNKAYA" " Exploring Color Changes Arising From Temperature Effects In Different Colored Commercial Glasses Used In Kiln-Formed Glass Shaping Technique".

This study was supported by Anadolu University Scientific Research Projects Commission under the grant no: 1910E147. Name of the Project: Exploring Color Changes Arising From Temperature Effects In Different Colored Commercial Glasses Used In Kiln-Formed Glass Shaping Technique

** Anadolu University, Faculty of Fine Arts, Department of Glass, ggunkaya@anadolu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0821-7170
Anadolu University, Art and Design Application and Research Center, ggunkaya@anadolu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0821-7170

*** Anadolu University, Institute of Graduate Education, Department of Glass, aysenurr.sari@gmail.com,
ORCID: 0000-0001-9200-5009

The study found that by controlling the temperature, different glass colors and tones could be achieved. The findings demonstrate that a single glass composition can yield a variety of color and tonal variations. The results indicate that thermal treatment can be considered a significant variable in glass artwork production, both aesthetically and technically. An artistic practice was carried out based on the findings obtained after the experimental process, this application was also included in the evaluations made.

Keywords: *Heat treatment in glass, Yellow colored glass, Color transformation in artistic glass, Glass forming techniques, Mold-forming of glass.*

1. GİRİŞ

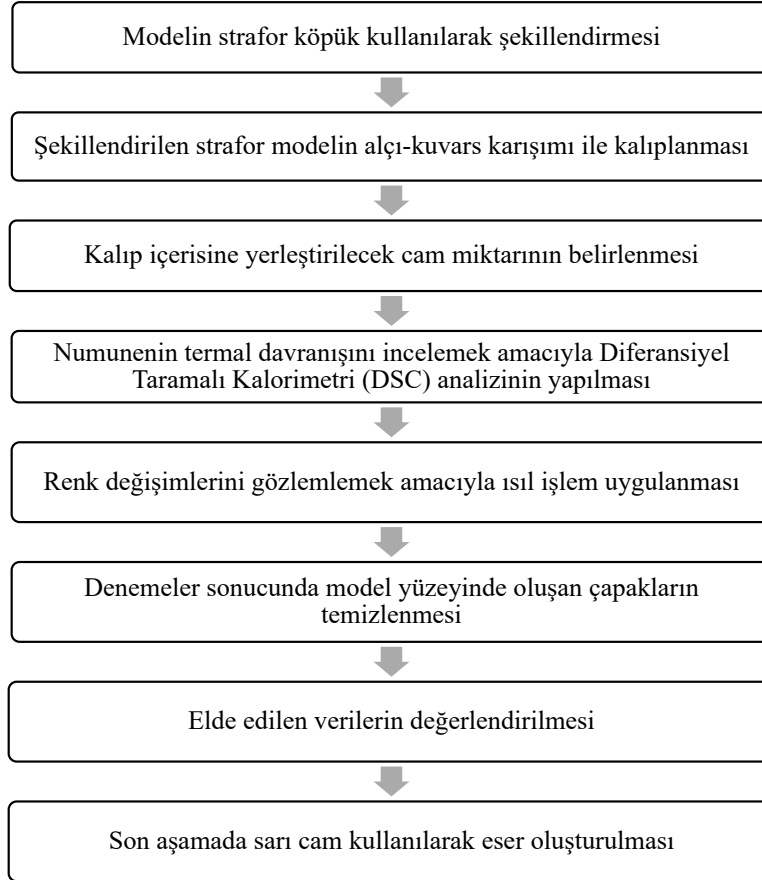
Cam, tarihsel süreçte pek çok kültür ve medeniyet için hem işlevsel hem de estetik bir malzeme olmuştur. Zamanla camın işlenişindeki teknikler evrimleşerek sanatsal ifade biçimlerini çeşitlendirmiştir. Etkili bir kompozisyon için form, biçim ve renk gibi unsurların birbirini tamamlaması, anlatım dilinin oluşumunda belirleyici rol oynar. Bu unsurların uyumu, sanatçının ifade etmek istediği duygu ve düşünceleri izleyiciye başarılı bir şekilde iletmesine olanak tanımaktadır. Kullanılacak teknik ise anlatılmak istenen ifadeyle doğrudan ilişkilidir ve her teknik kendine özgü bir anlatım diline sahiptir (Çiftçi ve Ağatekin, 2019: 177). Fırın ortamında gerçekleştirilen cam şekillendirme yöntemleri; düşük sıcaklıkta yapılan boyama işlemlerinden başlayarak, yüksek sıcaklıkta uygulanan döküm tekniklerine kadar uzanan geniş bir uygulama aralığına sahiptir (Cummings, 2011: 193). Kalıpla cam şekillendirme tekniği bunlardan birisidir. Bu teknik, cam malzemenin şekillendirilmesinde özgün bir yöntem olup, sanatçının estetik ve anlatım amacına göre biçimlenen formlar oluşturmaya olanak tanımaktadır. Kullanılan tekniğin ve biçimlendirilen formun görsel etkisini arttıran ya da azaltan bir diğer etken, tercih edilen cam rengidir. Belirlenen form ile beraber düşünüldüğünde cam renginin, saydam, yarı saydam veya opak olması hem görsel hem de anlam düzeyinde önemli bir rol oynamaktadır (Brachlow, 2019: 2-5). Çünkü sanatçı, duygu ve düşüncelerini renk aracılığı ile esere aktarma fırsatı bulmaktadır. Özellikle belirli renklerin tercih edilmesi, sanatçının tarzını ortaya koymasına ve eserlerinden üslubunun incelenmesine olanak tanır (Mutlu ve Geçen, 2024: 1). Fakat fırın içerisinde kalıpla cam şekillendirme tekniği için özel olarak üretilen ve farklı özelliklere sahip birçok cam türüne ulaşabilmek her zaman mümkün olmamaktadır. Genel olarak Amerika ve Çek Cumhuriyeti'nde üretilen camların Türkiye'de tedarik süreci, lojistik nedenlerle zaman almakta ve maliyet açısından yüksek olmaktadır. Bu durum, Türkiye'de cam sanatçıları ve uygulayıcıları için hem ekonomik hem de üretim süreçleri açısından belirli kısıtlamalar yaratmaktadır. Türkiye'de ulaşılabilir olan ve kalıp içi cam şekillendirme tekniğinde kullanılan tek cam türü, geleneksel Çek camıdır (Paktur, 2019: 1). Böylece camda istenilen renge ulaşma süreci, pratik ve teorik birikimin uygulamaya dönüştürülmesinden ziyade, mevcut tedarik imkânlarıyla sınırlı kalmaktadır. Aynı zamanda, ticari olarak temin edilebilen camların reçeteleri, üretici firmalara özgü kompozisyonlar olduğundan, cam üretimi firmalar arasında belirli farklılıklar göstermektedir. Bu durum, hem kimyasal bileşenlerde hem de renk oluşumunda değişikliklere yol açarak, aynı rengin farklı üreticiler tarafından üretilen camlarda ton farklılıkları göstermesine neden olmaktadır. Dolayısıyla, farklı reçetelere dayalı olarak üretilen camlar, dünyanın farklı bölgelerinde aynı renk adıyla anılsa da belirgin ton farklılıkları içerebilmektedir. Bu durum, cam sanatçıları ve uygulayıcıları için renk

seçiminde öngörülebilirliği zorlaştırmakta ve camın estetik ifadesini doğrudan etkileyen bir unsur haline gelmektedir. Bu çalışmada incelenen sarı renkli camın en önemli özelliği, ısıtma işlemleri sonucunda turuncuya doğru renk değişimi göstermesidir. Bu bağlamda, camın işlem öncesi ve işlem sonrası renk özellikleri karşılaştırılarak, ısıtma süreçlerinin cam rengindeki dönüşüm üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Dolayısıyla camın ısıtma işlem sıcaklığına bağlı olarak sarıdan turuncuya değişen renk aralığının belirlenmesi, bu ticari camı kullanan cam sanatçılarına, uygulayıcılara ve cam alanında eğitim alanlara elde edecekleri renge dair öngöründe bulunma olanağı sunmaktadır.

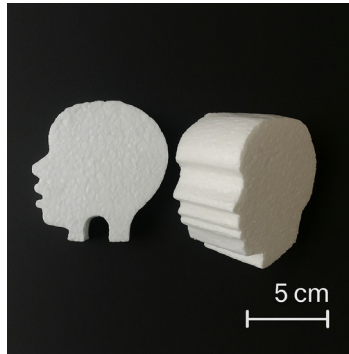
2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada kalıpla şekillendirme tekniği tercih edilmiştir. Bu teknik, ekonomik, hızlı ve istenilen şeklin cama verilebilmesini sağlayan bir yöntem olması nedeniyle tercih edilmiştir. Örnek çalışmalarda istenen modelin oluşturulması için strafor köpük kullanılmıştır. Bu malzeme, düşük yoğunluğu ve kolay şekillendirilebilir yapısı sayesinde modelleme sürecinde mum, plastilin ve kil gibi malzemelere göre avantaj sağlamaktadır. Ayrıca kalıp içerisinden zahmetsizce temizlenmesi, maliyet açısından erişilebilir olması ve hızlı temin edilmesi üretim sürecinin verimliliğini arttıran unsurlar arasında yer almaktadır (Aydın, 2016: 34).

Şekillendirilen model üzerine alçı döküm yapılarak kalıplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Basit formlara sahip, fazla detay içermeyen modellerin kalıplanmasında doğrudan model üzerine döküm yöntemi yaygın olarak tercih edilmektedir. Kalıbı alınacak modelin, boyutu, yüzey detaylarının karmaşıklığı ve girinti derinlikleri gibi faktörlere bağlı olarak, kalıp karışımı daha yoğun veya akışkan kıvamda hazırlanabilir. Kalıp karışımında kullanılacak alçı ve kuvars oranı uygulayıcıya göre değişiklik göstermektedir. Çoğu uygulayıcı, bağlayıcı ve refrakter malzemeyi eşit oranlarda (1/1) kullanmakta; su/refrakter oranı ise genellikle 1/1.5 olarak tercih edilmektedir. Bu tür uygulamalarda bağlayıcı olarak alçı, refrakter malzeme olarak ise kuvars yaygın şekilde kullanılmaktadır (Thwaites, 2011: 99). Sorunsuz bir döküm alınabilmesi için ABS kartonpiyer alçısı kullanılmıştır. Kalıp mukavemetini arttırmak amacıyla 5-7 mikron tane boyutuna sahip kuvars kullanılmıştır. Bu kuvars, Çine-Milas bölgesindeki yataklardan çıkarılmış olup Kaltun Madencilik tarafından temin edilmiştir ve %99 saflık oranına sahiptir. Kalıp karışımında alçı ve kuvars, 1/1 oranında kullanılmıştır. Çalışmalarda Presiosa Ornella marka 9001 kodlu Çek Camı incelenmiştir. Çalışma süreci aşağıdaki akım şemasında gösterilmiştir (Tablo 1).

Tablo1. Uygulama akış şeması (Yazarlar tarafından hazırlanmıştır).

Modelleme için strafor kullanılmıştır. El ile strafor istenilen forma göre şekillendirilmiştir (Görsel 1).



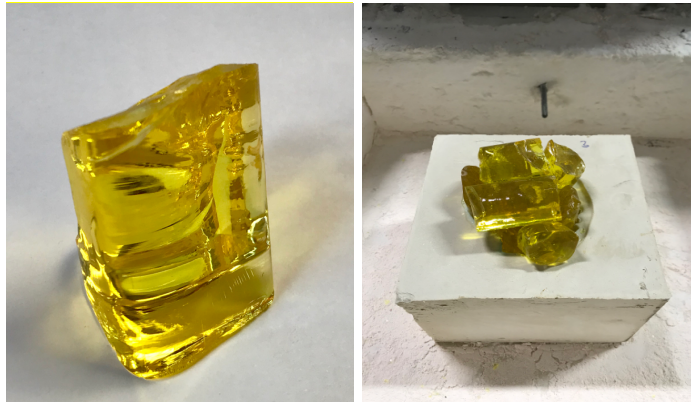
Görsel 1. Renk denemelerinde kullanılmak üzere strafor köpükten oluşturulmuş modeller (Yazarın kişisel arşivinden).

Strafor model, çift taraflı bant ile zemine sabitlenmiş ve kalıp tahtaları uygun şekilde konumlandırılmıştır (Görsel 2). Öncelikle alçı ve kuvars homojen bir şekilde karıştırılmış, ardından bu karışım, su dolu bir kap içerisine su yüzeyini tamamen kaplayacak şekilde serpilerek eklenmiştir. Alçının suyu çekmesinin ardından, karışım homojen bir harç oluşturacak şekilde karıştırılmıştır. Elde edilen harç, sabitlenen modelin üzeri tamamen kaplanıncaya kadar dökülerek kalıplama işlemi tamamlanmıştır (Thwaites, 2011: 40).



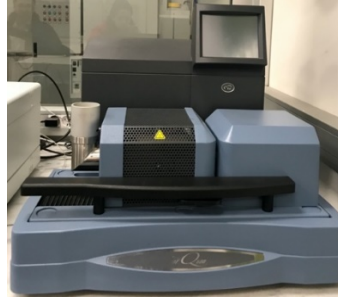
Görsel 2. Strafor model kalıp alma aşaması (Yazarın kişisel arşivinden).

Kalıpta şekillendirmede kullanılan camın ısı işlem görmemiş önceki rengi sarıdır (Görsel 3).



Görsel 3. Kullanılan ticari sarı cam (Yazarın kişisel arşivinden).

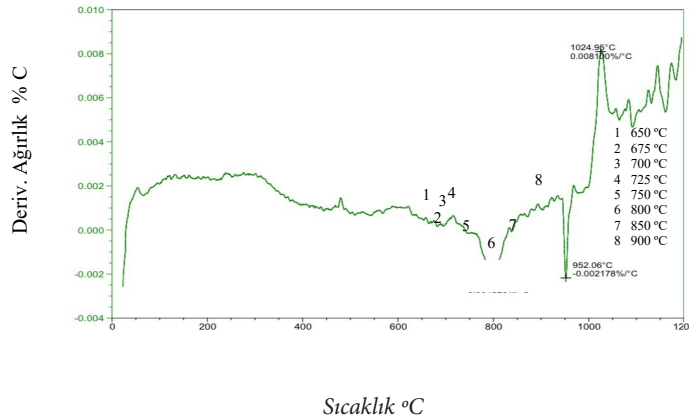
Fiziksel ve kimyasal olarak kontrol edilemeyen ortamlardaki değişimleri belirlemek amacıyla, diferansiyel kalorimetrik analiz SDT Q600 cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Kabaer, 2010: 29) (Görsel 4). Bu analizde, sıcaklığın sabit tutulması ya da kontrollü biçimde artırılıp azaltılması yoluyla numune belirli bir sıcaklıkta tutarak veriler elde edilmesini sağlamaktadır (O'Neill, 1966: 1331).



Görsel 4. SDT (Eş Zamanlı DSC) Q600 Cihazı (Yazarın kişisel arşivinden).

Camın eritme sıcaklığına bağlı olarak renk değerlerinde meydana gelen değişimleri, malzemenin yapısal dönüşümünü ve optik özelliklerini doğru bir şekilde yorumlamak adına L a*b* renk uzayı analizi yapılmıştır. İnsan gözüne en yakın renk algısını sayısal olarak ifade eden uluslararası bir standart niteliğindedir, cam gibi yarı saydam ya da opak malzemelerin yanı sıra, boyama veya tekstil endüstrisinde renk karakterizasyonu için önemli bir ölçüt olarak kabul edilmektedir (Mokrzycki ve Tatol, 2009: 2-8). Bu sistemde; L değeri, açıklık-koyuluk ekseninde ışıklılığı (0=siyah, 100=beyaz), a* değeri, yeşil-kırmızı ekseninde renk yönünü (-a*=yeşil, +a*=kırmızı), b* değeri ise mavi-sarı ekseninde renk tonunu (-b*=mavi, +b*=sarı) temsil eder (Odak Kimya, t.y.). Dolayısıyla L a*b* ölçümleri, camın estetik ve teknik performansını analiz etmek ve farklı sıcaklıklarda elde edilen sonuçları karşılaştırma açısından önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir.

3. BULGULAR



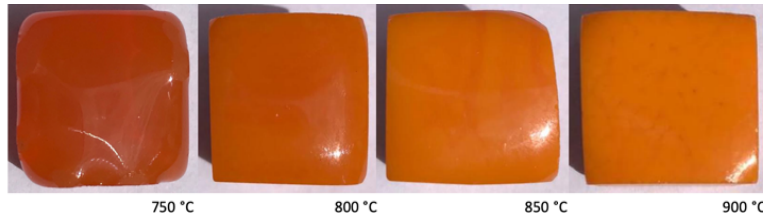
Görsel 5. Diferansiyel kalorimetrik analiz grafiği

Kalıpla cam şekillendirme tekniğinde, sarı camın turuncu renge dönüşümünü sağlayan ısı işlem sırasında uygulanacak tepe sıcaklıklarını (maksimum sıcaklık değerlerini) belirlemek amacıyla diferansiyel kalorimetrik analiz gerçekleştirilmiştir (Görsel 5). Analiz sonucundaki piklere bakılarak camın şekillendirilebileceği sıcaklık aralığındaki ve alçı kalıbın dayanabileceği 8 farklı tepe sıcaklığı ve bir sabit bekleme süresi belirlenmiştir (Kervin ve Fenton, 2000: 74). Görsel 5'te de görülebileceği üzere, bu doğrultuda belirlenen tepe sıcaklıkları; 1-2-3-4-5-6-7 ve 8 numaralı örnekler için sırayla 650-675-700-725-750-800-850 ve 900 °C'dir. Analiz sonucunda 600 °C'de bir pik gözlemlenmiş olsa da, bu sıcaklık kalıpla cam şekillendirme için uygun olmadığından, denemelere 650 °C'den itibaren başlanmıştır. Benzer şekilde 950 °C'de de belirgin bir pik gözlemlenmiştir. Ancak bu sıcaklıkta alçı kalıp mekanik mukavemetini kaybedeceği için, 950 °C'de kalıpla şekillendirme denemesi yapılmamıştır (Tablo 2).

Tablo2. Renk değişiminin gözlemlenmesinde kullanılan fırın diyagramı (Yazarlar tarafından hazırlanmıştır).

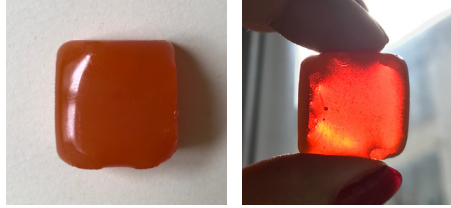
Süre (Dk)	Sıcaklık (°C)	Dakika (Dk)
360	590	30
180	650/675/700/725/750/ 800/850/900	300
9999	550	300
300	425	30
180	275	15
210	30	SON

Sarı renkli ticari cam kullanılarak yapılan deneylerin gözlem yöntemi ile yapılan tespitleri sonucunda farklı etkiler elde edilmiştir (Görsel 6).



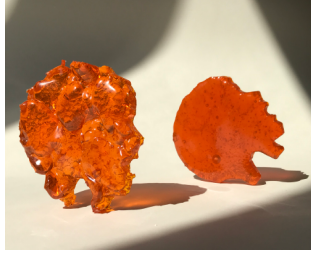
Görsel 6. Sırayla 750 °C, 800 °C, 850 °C ve 900 °C tepe sıcaklıklarında yapılan ergitme sonrası numunelerin üstten görünümü (Yazarın kişisel arşivinden).

750 °C'de yapılan ergitme denemesi sonucunda elde edilen cam rengi doğal ışığın gelme açısına bağlı olarak yarı saydam görünüme sahiptir (Görsel 7) ve numunenin alçı kuvars kalıba temas eden kısımlarında opaklaşma görülmektedir.



Görsel 7. Yapılan ilk denemelerden 750 °C'de ışığın gelme açısına bağlı olarak görülen renk değişimi (Yazarın kişisel arşivinden).

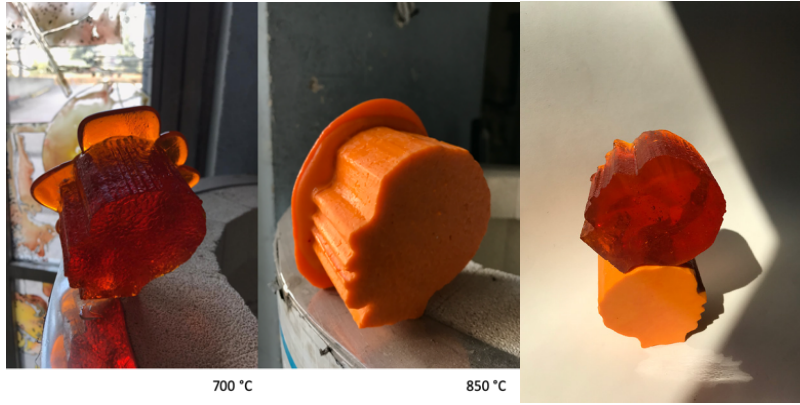
Tepe sıcaklığının 750 °C olduğu denemede yarı saydam ve şeffaflığın oluşması, daha düşük sıcaklıklarda oluşabilecek renk değişimini gözlemlemeye yönlendirmiştir. 750 °C'de yarı saydamlık gözlemlenirken, 800-850 ve 900 °C'lerde renk değişimleri opaklaşma eğilimindedir. 850 °C'de gerçekleştirilen ergitme denemesinde, açık turuncu tonun daha yoğun olduğu; koyu turuncu renk geçişlerinin ise daha sınırlı ve çizgisel biçimde ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. 900 °C'de elde edilen yüzey renk geçişleri, 850 °C'de gözlemlenenlere kıyasla daha belirgin biçimde çizgiseldir. Daha sonra renk değişimi ve et kalınlığına bağlı farklılıkları daha iyi gözlemleyebilmek amacıyla 3 boyutlu bir form seçilmiş ve sonraki tüm denemelerde bu form kullanılmıştır (Görsel 8).



Görsel 8. Solda, tepe sıcaklığı 650 °C olan; sağda ise 700 °C'de gerçekleştirilen ergitme denemeleri (Yazarın kişisel arşivinden).

650 °C ve 700 °C'de yapılan denemelerde de renk ve saydamlıkta belirgin değişiklikler gözlemlenmiştir. 650 °C'de yapılan ergitme işlemi sonucunda, camın yarı füzyon karakteri gösteren bir kaynaşma ile şekillendiği tespit edilmiştir (Görsel 8). Yarı füzyon, camın kısmi erimesiyle başlayan, ancak tamamen homojen bir yapının oluşmadığı bir süreçtir. Camın keskin kenarlarının yuvarlak hatlara dönüşmesi yaygın olarak gözlemlense de bu süreçte cam kalınlığında anlamlı bir yayılma ya da yüksekliğinde azalma meydana gelmemektedir. 700 °C'de gerçekleştirilen ergitme işlemi, 650 °C'de yapılan ergitmeye kıyasla daha homojen bir dağılım sergilemekte ve cam şekillendirme tekniklerinden tam

füzyon yöntemine benzer bir etki ortaya koymaktadır. Tam füzyon, camın tamamen erimesi ve homojen bir yapıya dönüşmesi sürecidir (Watkins-Baker, 2010: 75). 700 °C'deki ergitme ile daha koyu ve opak bir etki elde edilmiştir. Ayrıca, 700 °C'deki ergitme ile keskin köşelerin yerine daha yumuşak geçişler ve dönüşler gözlemlenmiştir (Görsel 8). Bu durum, denemeler sonucunda camda yumuşamanın (camın kendi ağırlığını taşıyamadığı sıcaklık) başladığı sıcaklığa çok yakın bir seviyeye ulaşıldığını göstermektedir. Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda, et kalınlığının arttırılmasıyla oluşabilecek değişimlerin daha belirgin hale gelebilmesi için aynı formda daha yüksek et kalınlığına sahip denemeler yapılmıştır (Görsel 11).



Görsel 9. 700 °C'de ergitme sonrası numunenin görünümü

Görsel 10. 850 °C'de ergitme sonrası numunenin görünümü

Görsel 11. Et kalınlığı 5 cm olan ve 700 °C'de (üst kısım şeffaf) ile 850 °C'de (alt kısım opak) gerçekleştirilen ergitme denemeleri (Yazarın kişisel arşivinden).

700 °C'de ergitilerek elde edilen numune için kalıba konulan cam parçaları 850 °C'de ergitilen numuneye göre daha küçük olacak şekilde hazırlanmıştır. Buradaki amaç düşük sıcaklık ve et kalınlığına bağlı olarak camın ergimesini kolaylaştırarak, kalıp şeklinin alınmasını sağlamaktır. 700 °C ve 850 °C tepe sıcaklıklarında yapılan ergitme sonrasında kalıptan çıkartılan camlar farklı uçlu makineler kullanılarak temizlenmiştir (Görsel 9). 700 °C'de yapılan ergitmede camın ışık geçirgenliği bulunurken, 850°C'de yapılan ergitmede camda opaklık elde edilmiştir (Görsel 10). İşlem gören ve kalıba temas eden yüzeyler farklı zımpara pedleri kullanılarak parlatılmıştır. Daha sonra cam sergilemeye uygun hale (işlem görmüş ve parlatılmış) getirilmiştir (Görsel 11).

Tepe sıcaklığının 650 °C olduğu denemede belirlenen form elde edilmiş gibi gözükse de kalıp duvarına temas eden kısımlardaki cam parçaları kalıba tutunarak, keskin köşeler oluşturmuştur. Bu durum tepe sıcaklığının cam ergitmesinde yeterli olmadığını göstermektedir. Renk oluşumunda ise reaksiyon gerçekleşmiştir. Cam parçaları birbirine

kaynaşmıştır ve yüzeyde pürüzlülük oluşmuştur. Bu durum, sanatsal uygulamalarda renk ve yüzey etkisinin kullanımı açısından olanak sağlayabilmektedir (Görsel 12).

650 °C'de ergitme işlemine tabi tutulmuş numuneye, L a*b analizi yapılmıştır. Bu sistemde elde edilen değerler sırayla L:28.05, a*:3.70, b*:3.95 şeklindedir. Bu değerler, camın renk özelliklerini nicel olarak ortaya koyarken, görsel gözlemle desteklendiğinde daha bütüncül bir değerlendirme yapılabilmektedir. L değeri, numunenin ışık yansıtma-soğurma kapasitesine bağlı olarak renk parlaklığını ifade etmektedir. Sayısal olarak düşük bir değer olmasına karşın, şeffaf ve canlı bir görünüm sergilemesi, ışığın cam içerisinde nispeten iyi bir şekilde iletilildiğini ve numunenin yoğun renkli fakat geçirgen bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, L değerinin camın kalınlığı ve yüzey yapısındaki girinti-çıkıntılarla birlikte değerlendirildiğinde optik derinlik algısını etkileyebileceğini düşündürmektedir. a* ve b* eksenlerindeki pozitif değerler, camın kırmızımsı (a*) ve sarımsı (b*) tonlarda bir renk dağılımına sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle a*:3.70 ve b*:3.95 değerleri, renk tayfında turuncuya yakın sıcak tonların oluştuğunu ortaya koymaktadır. Bu da gözlemlenen numune ile uyumludur; camın amber-turuncu arası sıcak ve parlak bir renk sergilediği görülmektedir. Sonuç olarak, 650 °C'de ergitilen camın hem sayısal hem de görsel analizi, camın yarı saydam olup sıcak renk tonlarında bir optik etki oluşturduğunu göstermektedir. Renk yoğunluğu camın kalınlığı, kabarcıklı yapısı ve ışık kaynağına göre farklı algılar oluştursa da L a*b* verileri bu yapıyı destekler niteliktedir (Görsel 12).



Görsel 12. 650 °C'de ergitme sonrası numunenin görünümü (Yazarın kişisel arşivinden).

675 °C'de yapılmış olan denemede renk değişimi 650 °C'de ergitilen numuneye göre değişiklik göstermiştir. Daha koyu bir turuncu renk elde edilirken, kalıba temas eden kısımlardaki keskin köşeler görülmeye devam etmektedir. El ile dokunulduğunda görsel 12'de görüldüğü gibi yoğun olan pürüzlülüğün daha az olduğu hissedilmektedir. Hava kabarcığı oluşumu görülmektedir (Görsel 13). Renk değişiminin ve hava kabarcıklarının sebebinin, kompozisyonundan gaz halinde uzaklaşan elementler veya bileşikler olabileceği düşünülmektedir. 675 °C'de ergitme işlemine tabi tutulan numunenin, renk değerleri

sırayla L:29.10, a*:3.70, b*:7.48 olarak ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları ve görsel inceleme ile birlikte değerlendirildiğinde, camın optik özellikleri hakkında kapsamlı bir yorum yapılabilmektedir. L değerli olan 29.10, numunenin açık-koyu skalasında hala koyu tarafa yakın olmakla birlikte, bir önceki 650 °C'de ergitilen numuneye göre (L:28.05) bir miktar daha açık bir renk tonu sunduğunu göstermektedir. Bu durum, ergitme sıcaklığının artmasıyla birlikte camın ışık geçirgenliğinde hafif bir artış meydana geldiğini işaret etmektedir. a* değeri 3.70'ten 6.51'e önemli bir artış göstermiştir. Bu artış, camın kırmızı ekseninde belirgin bir yoğunlaşma olduğunu ifade etmektedir. Bu durum, camın bileşimi içinde kırmızı tonlarını arttıran renk verici iyonların sıcaklıkla birlikte daha aktif hale geldiğini ya da yapısal dönüşümler sonucu kırmızı tonların baskınlaştığını düşündürmektedir. b* değeri ise 7.48 olarak ölçülmüş, yani sarı ekseninde de güçlü bir etki mevcuttur. Hem a* hem b* değerlerinin yüksek ve pozitif olması, camın renginin doymuş, sıcak ve turuncuya yakın (hatta kırmızımsı turuncu) bir ton aldığını göstermektedir. Cam yüzeyindeki mikroskobik kabarcıklar, içyapıdaki ışık kırınımını artırarak optik derinliği ve renk doymunluğunu zenginleştirmiştir. Sonuç olarak, 675 °C'de ergitilen cam numunesi, hem kırmızı (a*) hem sarı (b*) ekseninde önceki numuneye göre artış sergilemiştir. Bu durum, camın renk tonunun sıcaklıkla birlikte daha canlı ve parlak hale geldiğini, rengin turuncu-kırmızıya kaydığını göstermektedir. Bu gözlem, camın termal renk değişimi sürecinin sıcaklık artıkcı belirginleştğini ortaya koymaktadır (Görsel 13).



Görsel 13. 675 °C'de ergitme sonrası numunenin görünümü (Yazarın kişisel arşivinden).

700 °C'de ergitilen numune 675 °C'de ergitilen numuneye göre yüzey pürüzlülüğü daha az iken, renklerin birbirine çok benzer olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu iki sıcaklık renk eldesi anlamında gözle görülür bir fark oluşturmamaktadır ancak daha yüksek sıcaklık nedeniyle 700 °C'de ısı işlem gören numunede daha düz yüzey elde edilmiştir. Diğer denemelerde olduğu gibi kalıp duvarına temas eden kısımlarda keskin köşe oluşumu devam etmektedir (Görsel 14). 700 °C'de ergitme işlemine tabi tutulan numunenin, renk değerleri sırayla L:30.80, a*:9.12, b*:10.87 olarak ölçülmüştür. Bu değerler, camın

hem parlaklık hem de renk yoğunluğu bakımından önceki sıcaklıklara göre bir değişim gösterdiğini ortaya koymaktadır. L değeri olan 30.80, camın açık-koyu skalasında daha açık tonlara doğru evirildiğini göstermektedir. 650 °C'deki L değeri 28.05, 675 °C'de ise 29.10 idi. Bu artış eğilimi, ısı işlem sıcaklığının yükselmesiyle birlikte camın daha şeffaf ve ışık geçirgenliğinin daha yüksek bir hal aldığını göstermektedir. a* değeri 9.32 ile kırmızı ekseninde belirgin bir artış sergilemiştir. Önceki numunelerde bu değer sırayla 3.70 (650 °C) ve 6.51 (675 °C) olarak elde edilmiştir. Bu artış, camın sıcaklıkla birlikte daha kırmızı tonlara kaydığını göstermektedir. b* değeri de benzer şekilde artarak 10.87 seviyesine ulaşmıştır. Bu da sarı eksenindeki doygunluğun arttığını ve camın sıcak tonlardaki renk yoğunluğunu daha da pekiştirdiğini gösterir. a* ve b* değerlerinin birlikte yüksek olması, cam renginin doymuş bir turuncu-kızıl aralığına kaydığını net bir şekilde ortaya koymaktadır. Görsel olarak incelendiğinde de bu numune, daha önceki denemelerle benzer bir formu korumakla birlikte, daha canlı, parlak ve zengin bir renk etkisi yaratmaktadır (Görse 14).



Görse 14. 700 °C'de ergitme sonrası numunenin görünümü (Yazarın kişisel arşivinden).

725 °C'de ergitilen numunenin cam rengi, 700 °C'de ergitilen numuneye göre daha du-manlı bir etkiye sahiptir. 725 °C'den itibaren camlarda opaklaşma eğilimi görülmektedir. Görse 15'deki yüzey pürüzlülüğü her ne kadar görsel 14'deki yüzey pürüzlülüğüne benzese de görsel 15'de daha düz bir yüzey olduğu görülmüştür. Keskin köşeler yumuşak hatlara dönüşme eğilimindedir. Cam içinde hava kabarcığı mevcuttur (Görse 15).

725 °C'de ergitme işlemine tabi tutulan numunenin, renk değerleri sırayla L:34.28, a*:12.87, b*:16.41 olarak ölçülmüştür. Bu değerler, camın optik ve kromatik karakteristiklerinde yüksek sıcaklıkla birlikte ortaya çıkan dönüşümü açık bir biçimde yansıtmaktadır. L değeri olan 34.28, daha önceki numunelere kıyasla en yüksek parlaklık değerine sahiptir. 650 °C'de 28.05, 675 °C'de 29.10 ve 700 °C'de 30.80 olan L değerleriyle kıyaslandığında, opaklaşma eğilimi olmasına rağmen camın şeffaflığı ve ışık geçirgenliği

bulunmaktadır. a^* değeri 12.87, camın kırmızı eksenindeki en yüksek değeri temsil eder. Bu artış, camın renk yoğunluğunda kırmızı bileşenlerin daha baskın hale geldiğini ve yüksek sıcaklıkta bu tonların maksimum düzeye ulaştığını göstermektedir. b^* değeri 16.41 ile sarı ekseninde de en yüksek doygunluk değerine ulaşmıştır. Bu yükseklik b^* değeri ile birlikte a^* 'daki artış, cam renginin yoğun ve doymuş bir turuncu-kırmızı (amber) tona ulaştığını ortaya koymaktadır. Görsel analizle desteklendiğinde, opaklaşmaya başlayan camın hem geçirgenliği hem de renk derinliği dramatik biçimde artmıştır. Kabarcık yapısı içsel derinlik yaratırken, sıcak tonlardaki doygunluk bu etkileri kuvvetlendirmiştir. Sonuç olarak, 725 °C'de ergitilen cam numunesi, tüm sıcaklıklar arasında en yüksek parlaklık ve en doymuş sıcak renk değerlerine sahiptir (Görsel 15).



Görsel 15. 725 °C'de ergitme sonrası numunenin görünümü (Yazarın kişisel arşivinden).

Tepe sıcaklığı 750 °C olan ısıtma işlemi uygulandığında renk görünümünde opaklığın arttığı belirlenmiştir. Genel olarak da yüzeyde iki farklı turuncu tonu hâkimdir. Yüzeye yakın kısımda birkaç tane hava kabarcığı oluşumu görülmektedir. Keskin köşeler bulunmamaktadır, cam tamamen bu sıcaklıkta kalıbın şeklini almıştır (Görsel 16). 750 °C derecede yüzey tamamen pürüzsüz hale gelmiştir böylelikle de tam füzyon sıcaklığına geldiği anlaşılmaktadır. 750 °C'de ergitme işlemine tabi tutulan numunenin, renk değerleri sırayla L:40.83, a^* :18.74, b^* :26.58 olarak ölçülmüştür. Bu değerler, camın görünen renk aralığında yüksek doygunluğa ulaştığını ve sıcaklıkla birlikte renk bileşenlerinin yoğun biçimde arttığını göstermektedir. L değeri 40.83 ile önceki tüm numunelere kıyasla en yüksek parlaklık değeridir. Bu ölçümsel olarak cam yüzeyinin daha açık olduğu izlenimi verse de, görsel olarak ışık geçirgenliğinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, camın iç yapısında meydana gelen yoğun renk oluşumu, artan opaklık ya da küçük-kabarcık yoğunluğu gibi fiziksel özelliklerin ışık iletimini sınırlandığını düşündürmektedir. L değeri sayısal olarak artsa da, camın içsel ışık geçirgenliği azalmıştır. a^* değeri 18.74 ve b^* değeri 26.58 ile kırmızı-sarı eksenlerinde bir artış görülmektedir. Bu kombinasyon,

cam renginin doygun, koyu ve sıcak bir amber-kızıl aralığına ulaştığını işaret etmektedir. Özellikle bu düzeydeki b^* değeri (sarı eksen), camın artık daha koyu tonlarına dönüştüğünü göstermektedir. Görsel analizlerle de bu numunenin, önceki örneklerle kıyasla daha koyu ve daha az geçirgen olduğu fark edilmektedir. Bu durum, camın fiziksel yapısında sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen renk yoğunlaşması, yapısal bozulma ya da kristallenme ile açıklanabilir. Aynı zamanda cam yüzeyinde daha az ışık yansımaları ve iç ışık kırılımı oluşmasına yol açarak opaklaşmaya daha yatkın bir etki yaratmaktadır (Görsel 16).



Görsel 16. 750 °C' de ergitme sonrası numunenin görünümü (Yazarın kişisel arşivinden).

800 °C'de gerçekleştirilen ergitme işlemi, 750 °C'de yapılan ergitmeye kıyasla numune-deki renk geçişlerinin daha belirgin hale gelmesini sağlamıştır. Bu sıcaklık aralığında, cam içerisindeki bileşenlerin daha homojen dağılması ve ergitme sürecinin daha ileri bir aşamaya ulaşması, renk tonlarının kademeli bir şekilde değişmesine neden olmuştur. Bu sıcaklık seviyesinde, camın yarı füzyon ile tam füzyon arasındaki geçiş evresinde bulunduğu gözlemlenmiştir. Yarı füzyon sıcaklıklarında cam parçaları kısmen bütünleşirken, tam füzyon sıcaklığında malzeme tamamen akışkan hale gelerek yüzeyde keskin kenarların kaybolmasına neden olur. 800 °C'de yapılan ergitmede, keskin köşeler belirgin bir şekilde yumuşayarak yuvarlak hatlar oluşmuştur. Buna ek olarak, kalıp duvarlarına temas eden yüzeylerde renk daha koyu iken iç kısımlara doğru renk geçişlerinde açılmalar gözlemlenmiştir (Görsel 17). Bu renk farkının oluşmasının nedeninin kompozisyonun homojen olmayan buharlaşma olduğu düşünülmektedir. Yüzeydeki renk tonundaki değişimlerde bu durumu açıklamaktadır. Bu süreç, ışığın yansıtılma ve soğurulma özelliklerini değiştirerek renklerin daha koyu veya açık görünmesine yol açmaktadır. Bu sıcaklık seviyesi, camın keskin formlarını yumuşatarak, malzemenin optik ve yapısal özelliklerinde belirgin değişiklikler yaratmıştır. 800 °C'de ergitme işlemine tabi tutulan numunenin, renk değerleri sırayla $L:56.03$, $a^*:30.97$, $b^*:48.69$ olarak ölçülmüştür. Bu veriler, numunenin hem renk doygunluğu hem de ışık geçirgenliği bakımından önceki ısı

işlem sıcaklıklarından belirgin bir biçimde farklılaştığını göstermektedir. L değerindeki belirgin artış (56.03), camın daha açık tonlu ve parlak bir görünüme ulaştığını ortaya koymaktadır. Bu parlaklık, yüzeydeki ışık dağılımının daha homojen olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken temel unsur, L değerinin yüksek olmasına rağmen numunenin tamamen opak bir karakter kazanmış olmasıdır. Bu, parlaklık etkisinin iç geçirgenlikten değil yüzey yansımalarından kaynaklandığını göstermektedir. a^* :30.97 ve b^* :48.69 değerleri, numunenin renginin oldukça doygun, sıcak ve canlı turuncu/kiremit tonlarında yoğunlaştığını ifade etmektedir. a^* değerinin 30.97 düzeyine ulaşması, kırmızı tonunun bu sıcaklığa kadar olan denemelerdeki maksimum seviyeye ulaştığını, b^* değerinin 48.69 düzeyine ulaşması ise sarı tonunun da aynı şekilde kuvvetli olduğunu göstermektedir. Bu numunede artık ışık geçirgenliği tamamen ortadan kalkmıştır. Cam, önceki sıcaklıklarda görülen yarı saydam veya geçirgen yapıdan tamamen uzaklaşmış, yüzeyde homojen bir yoğunluk kazanmıştır. Sonuç olarak cam, tam opak bir form kazanmış, ışığı iletmekten çok yüzeyde yansıtmaya başlamıştır (Görsel 17).



Görsel 17. 800 °C'de ergitme sonrası numunenin görünümü (Yazarın kişisel arşivinden).

850 °C'de gerçekleştirilen ergitme işleminde, 800 °C'de ergitilen numuneye kıyasla daha belirgin renk değişimleri gözlemlenmiştir. Formun kenarlarında ve iç kısımlarında farklı renk tonları oluşmuştur. Kalıba temas eden bölgelerde kristalizasyon nedeniyle daha opak ve koyu bir renk elde edilirken, iç kısımlara doğru renk geçişi düzensiz şekilde açık bir tona ulaşmıştır. 800°C'de gerçekleştirilen ergitme işleminde olduğu gibi kompozisyonda buharlaşma meydana geldiği düşünülmektedir. Bu renk farklılıklarının oluşmasının nedeni, camın sıcaklık artışıyla birlikte kimyasal yapısındaki değişimlerdir. Kalıba temas eden yüzeylerde sıcaklığın ve soğuma hızının farklı olması, daha yoğun ve opak renklerin oluşmasına neden olmaktadır. İç kısımlarda ise camın daha homojen bir yapıya sahip olması ve yüzeyden buharlaşmanın kolay olması nedeniyle daha açık tonların ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Bu sıcaklık seviyesinde cam tam füzyona yaklaşarak

maksimum akışkanlığa ulaşmıştır. Yüksek sıcaklık etkisiyle keskin kenarlar tamamen kaybolmuş ve form daha yumuşak hatlara sahip olmuştur. Cam yüzeyindeki opaklık derecesi de bu süreçten etkilenmiş ve renkte açılmaların arttığı gözlemlenmiştir (Görsel 18). 850 °C'de ergitme işlemine tabi tutulan numunenin, renk değerleri sırayla L:64.02, a*:37.05, b*:58.78 olarak ölçülmüştür. L değeri yüksek olmasına rağmen, numune tamamen opak bir yapıya sahiptir. Bu, camın ışık geçirmediğini ancak yüzeyinde yansıma yaptığı anlamına gelmektedir. a*:37.05 ve b*:58.78 değerleri camın oldukça sıcak, canlı ve dikkat çekici opak bir turuncu renge sahip olduğunu göstermektedir. Renk yoğunluğu, 800 °C'ye göre artmış ve daha sıcak tonlara yaklaşmış durumdadır. Yüzey homojenliği ve opaklık açısından en stabil form elde edilmiştir (Görsel 18).



Görsel 18. 850 °C'de ergitme sonrası numunenin görünümü (Yazarın kişisel arşivinden).

900 °C'de gerçekleştirilen ergitme denemesinde, tüm sıcaklık aralıkları içinde en açık tonlu opak turuncu renk elde edilmiştir. Bu sıcaklık seviyesinde camın viskozitesi en düşük seviyeye ulaşarak tam ergime noktasına yaklaşmıştır. Kalıba temas eden bölgelerde, sıcaklık ve soğuma hızındaki farklılıklar nedeniyle renk bozulmaları gözlemlenmiştir (Görsel 19). Bu renk ve yüzey farklılıklarının oluşumu, camın sıcaklığa verdiği tepkiler ve buharlaşma süreçleriyle ilişkilidir. Artan sıcaklıkla birlikte camın bileşenleri daha fazla hareketlilik kazanarak, miktarları farklılaşarak ışığın kırılma özelliklerini değiştirmiştir. Kalıp duvarlarına temas eden kısımlarda, soğumanın daha yavaş gerçekleşmesi ve buharlaşmanın azalması nedeniyle daha koyu opak renkler ve yüzeyde damar oluşumu etkisi gözlemlenmiştir. 900 °C'de ergitme işlemine tabi tutulan numunenin, renk değerleri sırayla L:68.44, a*:40.37, b*:68.16 olarak ölçülmüştür. En yüksek L değeri ile birlikte camın yüzeyi daha açık tonlu ve parlak gözükmektedir. Tamamen opak bir formdadır. Işık geçirgenliği yoktur, fakat yüzeyden güçlü bir ışık yansıması mevcuttur. a*:40.37 ve b*:68.16 değerleri denemelerdeki en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Camın rengi, önceki sıcaklıklara göre daha parlak, canlı ve doygun bir turuncuya evrilmiştir (Görsel 19).



Görsel 19. 900 °C'de ergitme sonrası numunenin görünümü (Yazarın kişisel arşivinden).

4. SONUÇLAR

Deney sürecinde gözlemlenen değişimler, sıcaklık artışına bağlı olarak camın yüzey özellikleri, renk değişimi ve opaklık seviyesi açısından farklılıklar göstermiştir. Bulgular, belirli ana başlıklar altında aşağıda özetlenmiştir:

4.1. Yüzey Pürüzlülüğü

Düşük Sıcaklıklar (650-675 °C): Cam parçaları yeterince akışkan hale gelmediğinden yüzeyde belirgin pürüzlülükler görülmüştür. Kalıba temas eden bölgelerde keskin köşeler oluşmuştur. Cam yüzeyinde hava kabarcıkları gözlemlenmiştir.

Orta Sıcaklıklar (700-750 °C): Yüzey pürüzlülüğü azalırken, cam daha düzgün bir forma ulaşmıştır. Keskin köşeler yumuşamaya başlamış, ancak tamamen kaybolmamıştır. Yüzeyde kabarcık oluşumu devam etmiştir.

Yüksek Sıcaklıklar (800-900 °C): Yüzey geriliminin etkisiyle cam tamamen yuvarlak hatlara sahip olmuştur. 900 °C'de yüzeyde damar oluşumu etkisi gözlemlenmiştir. Kalıba temas eden bölgelerde renk bozulmaları meydana gelmiştir.

4.2. Renk Değişimi ve Opaklık

Düşük Sıcaklıklar (650-675 °C): Isıl işlem öncesinde sarı olan camın rengi açık turuncudan koyu turuncuya doğru değişim göstermiştir. Şeffaflık seviyesi yüksek kalmış, cam ışık geçirgenliğini korumuştur.

Orta Sıcaklıklar (700-750 °C): Isıl işlem öncesinde sarı olan camın rengi opak turuncu eğilimine girmiş, ancak hala belirli seviyede ışık geçirgenliği korunmuştur. Kalıba temas eden bölgelerde renk koyulaşırken, iç kısımlarda daha açık tonlar oluşmuştur.

Yüksek Sıcaklıklar (800-900 °C): Turuncu renge dönüşmüş camın opaklığı belirginleşmiş

ve camın ışık geçirgenliği büyük ölçüde azalmıştır. Kalıba temas eden bölgelerde koyu renkler gözlemlenmiş, iç kısımlarda daha açık tonlar elde edilmiştir. 900 °C'de renk geçişleri daha keskin hale gelmiş ve damar benzeri desenler ortaya çıkmıştır.

Camın ısı ileme verdiği tepki, sıcaklık değişimlerine bağlı olarak belirgin farklılıklar göstermektedir. Düşük sıcaklıklarda cam yüzeyi pürüzlü ve şeffaf kalırken, orta sıcaklıklarda opaklaşma başlamış ve yüzey daha düzgün hale gelmiştir. Yüksek sıcaklıklarda ise cam tamamen akışkan hale gelerek keskin kenarları kaybetmiş, ancak kompozisyonda buharlaşması olduğu düşünülen etki sonucunda renk bozulmaları ve damar benzeri desenler ortaya çıkmıştır. Bu bulgular, camın sanatsal ve endüstriyel uygulamalarda nasıl şekillendirilebileceğini ve renk değişimini anlamak açısından önemli veriler sunmaktadır. Yüzey pürüzlülüğünü azaltmak, renk geçişlerini kontrol etmek veya belirli opaklık seviyeleri elde etmek için sıcaklık parametrelerinin dikkatli şekilde seçilmesi gerekmektedir.

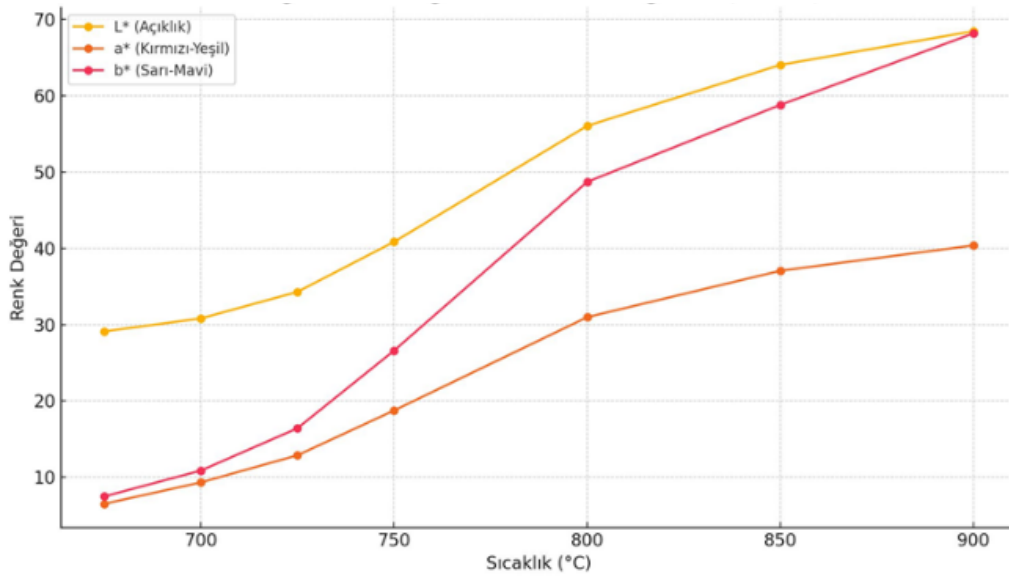
4.3. L a*b* Değerleri

Tablo3. Sıcaklık değişimine göre meydana gelen renk oluşumları ve görünüşleri (Yazarlar tarafından hazırlanmıştır).

Sıcaklık (°C)	L	a*	b*	Görünüm
650	28.05	3.70	3.95	Saydam, çok düşük renk yoğunluğu
675	29.10	6.51	7.48	Yarı saydam, düşük renk yoğunluğu
700	30.80	9.32	10.87	Saydam, renk daha güçlü
750	40.83	18.74	26.58	Azalan ışık geçirgenliği
800	56.03	30.97	49.69	Opak, güçlü turuncu
850	64.02	37.05	58.78	Opak, daha sıcak ve parlak ton
900	68.44	40.37	68.16	En parlak, sıcak ve doygun opak renk

650 °C'de cam, düşük renk yoğunluğu ve saydamlıkla karakterizedir. Bu aşamada cam hala saydam olmasına rağmen, renk değişimleri oldukça zayıftır. 675 °C'de cam, saydamdır ve renk yoğunluğu artmaya başlamaktadır. Bu, camın ısıtılmaya başladığı aşamada

minimal bir renk değişikliği gösterdiğini ortaya koymaktadır. 700 °C'de cam, yoğunluğu daha da belirginleşmeye başlamaktadır ve cam hala saydamlık özelliğini korumaktadır. Bununla birlikte rengin şiddeti artmaktadır. 725 °C'de camda hafif bir turunculaşma görülmektedir. Bu, camın daha yüksek sıcaklıkta ergitildikçe, kimyasal bileşenlerin etkisiyle renk değişiminin güçlendiğine işaret etmektedir. 750 °C'de ışık geçirgenliği azalmaya başlamaktadır. Bu da camın opaklığa doğru ilerlediğini göstermektedir. Renk, güçlü bir turuncu tonuna dönüşmektedir. 800 °C'de cam tamamen opak hale gelmiştir ve renk doygunluğu artmıştır. Artık camın rengindeki turunculuk belirginleşmiştir. 850 °C'de cam, daha parlak ve sıcak tonlar sergileyen opak bir görünüm kazanmıştır. Bu aşama, camın sıcaklıkla birlikte daha güçlü ve derin renkler aldığı noktadır. Son olarak, 900 °C'de cam, en parlak ve en doymuş turuncu tonlarına ulaşmıştır. Tamamen opaktır ve güçlü bir renk yoğunluğuna sahiptir (Tablo 3). Bu değerlendirme, camın renk değişimi ve saydamlık özelliklerinin sıcaklıkla nasıl dönüşüm geçirdiğini anlamamıza olanak sağlamaktadır. Sıcaklık seviyesinin artırılmasıyla beraber L a*b* değerlerinde artış görülmüştür, bu durum camın fiziksel ve kimyasal yapısındaki önemli değişimleri yansıtarak, tasarım ve estetik süreçlerde sıcaklık kontrolünün kritik rol oynadığını göstermektedir (Görsel 20).



Görsel 20. Ergitme sıcaklığına göre renk değerlerinin (L a*b*) değişimini gösteren grafik.

Yapılan denemeler sonucunda, üç boyutlu sanatsal bir cam eser üretilmiştir. Üretilen cam eserde, el ve ayakları deforme edilmiş insan formu ele alınarak yorumlanmıştır. Bu

deformasyon, biçimsel bir tercih olmanın ötesinde, eserin anlatım dilini güçlendiren bilinçli bir yaklaşım olarak tasarlanmıştır. Sanatçının yaşadığı duygu durumları, bu sürecin temel ilham kaynağı olmuş ve eserin üretim sürecinin içselleştirilmesini sağlamıştır.

Sanatsal cam eser üretim sürecinde, uygulanan renk tonu, yapılan cam ergitme deneylerindeki renk tonları referans alınarak belirlenmiştir. Uygun görülen cam renk tonu, opaklaşma eğilimi gösteren ve belirli bir seviyede ışık geçirgenliği sunan turuncu renk olarak seçilmiştir (Görsel 16). Ancak, üç boyutlu sanatsal cam uygulamasında elde edilen nihai cam renk tonu ile hedeflenen renk tonu kıyaslandığında, opaklaşmanın beklenenden daha yoğun bir şekilde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bu süreçte, 750 °C tepe sıcaklığında 20 saat bekletilerek yapılan ergitme işlemi sonucunda cam tamamen ergimiş, ancak bekleme süresinin uzaması nedeniyle ışık geçirgenliğini kaybederek opaklaşmıştır (Görsel 21). Bu durum, camın yalnızca sıcaklığa değil, ısı işlem süresine de duyarlı olduğunu göstermektedir. Renk tonunun, 800 °C’lerde ergitilen cam numunelerine benzer bir seviyede olduğu tespit edilmiştir (Görsel 17). Sanatsal cam eserde, kullanılan renk ve biçimsel deformasyonlar, eserin taşıdığı anlam ile bütünleştirilmiş ve yaşam içinde verdiğimiz tepkiler ya da tepkisizlikler üzerinden yorumlanmıştır. Bu bağlamda, camın malzeme olarak sunduğu kırılmalık, dönüşüm, geçirgenlik, kalıcılık ve plastisite gibi özellikler, insan deneyimlerinin metaforu olarak işlev görmüştür. Bu eser, camın şeffaflık, opaklık ve renk değişimi gibi teknik özellikleriyle birleşerek izleyiciye duygusal ve düşünsel bir alan sunmayı hedeflemektedir. Deforme edilen uzuvlar, insan formunun fiziksel bütünlüğünün sorgulanmasıyla birlikte, bireyin ruhsal ve duygusal durumlarını yansıtmak için bir anlatım aracı olarak kullanılmıştır (Görsel 21).



Görsel 21. “Bir Yer Edinme Olarak Kapının Ardı”, 2022, Cam, 40x29x17 cm (Yazarın kişisel arşivinden).

5. SONUÇ

Cam, şekillendirildiği teknik, kullanılan renk ve form ile diğer malzemelerden farklı ve kendine özgü bir karaktere sahiptir. Camla çalışmak, yalnızca fiziksel bir süreç değil, aynı zamanda malzemenin doğasını anlamayı gerektiren çok yönlü bir deneyimdir. Plastik sanatların tüm disiplinlerinde olduğu gibi, cam sanatında da renk seçimi, eserin içeriği ve anlatımı hakkında önemli ipuçları sunmaktadır. Bu çalışmada, camın ısıtma işlemi öncesi ve sonrası renk tonlarındaki değişimlerin belirlenmesi, cam sanatında alternatif malzeme kullanımı açısından önemli bulgular sunmaktadır. Isıtma işlemi uygulanmadan önce belirli bir renkte olan camın, farklı sıcaklıklarda ısıtma işlemine tabi tutulması sonucunda renk ve saydamlık özelliklerinin değiştiği gözlemlenmiştir. Bu durum, sanatçı, uygulayıcı, öğrenci ve atölyelerde çalışanlar için ticari olarak temin edilen renkli camlara alternatif oluşturabilecek bir yöntem sunduğunu göstermektedir. Sanatsal cam uygulamalarında, genellikle önceden renklendirilmiş camlar ticari olarak temin edilmekte ve belirli bir renk paleti ile sınırlı kalmaktadır. Ancak, bu araştırma aynı cam malzemesini kullanarak, ısıtma işlemi süreciyle farklı renk ve görsel etkilerin elde edilebileceğini ortaya koymuştur. Bu yöntem, kullanılan malzeme miktarını optimize ederken, zaman ve maliyet açısından da tasarruf sağlayabilecek potansiyele sahiptir. Bulgular, cam sanatında ısıtma işleminin yalnızca fiziksel biçimlendirme sürecini değil, aynı zamanda renk ve optik özellikleri de önemli ölçüde değiştiren bir faktör olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda, sanatçılar ve uygulayıcılar için mevcut renk seçeneklerini genişletebilecek, eserin anlatım gücünü arttırabilecek ve yaratıcı süreçlere yeni bir yaklaşım önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından kabul edilen 1910E147 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Destekleri için Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Komisyonu'na teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Thwaites, A. (2011). Mould Making for Glass (Glass Handbook), A&C Black Publishers, London, p. 40-99.
- Çiftçi, F. ve Ağatekin, M. (2019). Cam ve Renk, Sanat ve Tasarım Dergisi, 1, 166-177.
- Mutlu, H. S. ve Geçen F. (2024). Sıcak Camda Hacim, Işık ve Form. Plastik Sanatlar Alanında Seramik ve Cam Üzerine Yaklaşımlar 3, (Hikmet Serdar Mutlu ve Fahrettin Geçen, s. 1). Akademisyen Kitabevi Yayınları.
- Brachlow, H. (2019). An Empirical Approach to Colour in Glass. London: Royal College of Art, p. 2-5.
- Watkins-Baker, H. (2010). Kiln Forming Glass, Published by the Crowood Press Ltd. Rumsbury, Marlborough, p. 75.
- Kervin, D., & Fenton, D. (2000). Pate de Verre and Kiln Casting of Glass, Livermore: GlassWear Studios, p. 74.
- Cummings, K. (2011). Çağdaş Cam Sanatı Fırın Teknikleri ve Uygulamaları (Çev; M. Ağatekin) İzmir: Karakalem Kitabevi Yayınları, s. 193.
- Mokrzycki, W. & Tatol, M. (2009). Perceptual Difference in L a* b* Color Space as the Base for Object Color Identification. Conference: 1'st International Conference on Image Processing & Communications, p. 2-8. DOI:10.13140/2.1.1160.2241
- O'Neill, M.J. (1966). Measurement of Specific Heat Functions by Differential Scanning Calorimetry, ACS Publications, Washington, p. 1331.
- Aydın, M. (2016). Cam Sanatında Fırında Cam Biçimlendirme Yöntemlerinde Kullanılan Refrakter Kalıp Karışımları ve Cama Etkileri. (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü.
- Paktur, M. (2019). Fırında Cam Şekillendirme Tekniklerinde Kullanılan Farklı Renk ve Türdeki Camların Birbirleriyle Uyumluluğunun Araştırılması. (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü.
- Kabaer, M. (2010). Hacimli Metal Camların Üretimi ve Manyetik Özellikleri ile Camlaşma Yeteneğinin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Modellenmesi. (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi). Bursa: Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- İnternet Kaynakları
- Odak Kimya Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. <https://www.odakkimya.com.tr/> (Erişim tarihi: 14 Nisan 2025).