



Sıcak Cam Biçimlendirme Tekniklerinde Bakır Telin Camla Etkileşimi Üzerine DeneySEL Bir İnceleme

Interaction of Copper Wire and Glass in Hot Glass Forming: Experimental Study

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet AYDIN

0000-0002-9249-6183 ♦ Anadolu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Cam Bölümü ♦
maydin9@anadolu.edu.tr

Özet



Cam, yüksek sıcaklıkta akışkan davranış gösterebilmesi sayesinde farklı malzemelerle deneysel birlikteliklere olanak tanıyan önemli bir sanatsal üretim alanı sunmaktadır. Ancak sıcak cam uygulamalarında metal tel kullanımının camın biçimsel davranışı, yüzey karakteri ve optik yapısı üzerindeki etkilerine odaklanan çalışmalar literatürde oldukça sınırlıdır. Bu araştırma, sıcak cam üfleme ve sıcak cam serbest biçimlendirme teknikleri kapsamında bakır telin camla etkileşimini deneysel bir yaklaşımla incelemeyi amaçlamaktadır.

Stüdyo camı (COE 98) ile gerçekleştirilen çalışmada elektrik kablolarından elde edilen 0,24 mm çapındaki bakır teller hem küçük parçalar hâlinde hem de 30-100 cm uzunluklarda cam yüzeyinde ve cam kütlesi içerisinde kullanılmıştır. Deneysel süreç üfleme yöntemiyle oluşturulan içi boş formlar ve kütsel cam formlar üzerinde yürütülmüş, bakır telin yüzey ve cam içi uygulamalarda oluşturduğu yapısal, optik ve biçimsel etkiler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca şeffaf ve opak cam zeminler üzerinde yapılan tekrar uygulamalarla bakırın cam içindeki davranışının görsel algıya etkisi incelenmiştir. Örnekler tavlama işlemi sonrasında polariskop cihazı ile analiz edilerek cam bünyesindeki olası iç gerilimler gözlemlenmiştir.

Bulgular bakır telin yüzey uygulamalarında yüksek sıcaklık ve atmosferle doğrudan temas sonucu siyahlaşma, yanık tel görünümü ve belirgin dokusal etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Buna karşılık cam kütlesi içerisinde hapsedilen bakır tellerin büyük ölçüde kendi rengini koruduğu ve tellerin etrafında turkuaz, yeşilimsi ve petrol mavisi tonların oluştuğu belirlenmiştir. Uzun bakır tellerin sıcak cam üfleme sürecinde camın genişleme davranışını kısmen sınırladığı, cidar kalınlığının homojen dağılımını zorlaştırdığı ve form kontrolünü güçleştirdiği tespit edilmiştir. Opak beyaz cam zemin üzerinde elde edilen sonuçlar, renk oluşumlarının ve cam-metal etkileşim sınırlarının daha net gözlemlenmesine olanak sağlamıştır. Polariskop incelemeleri ise bakır tel kullanımının uygun tavlama koşullarında cam bünyesinde kritik düzeyde iç gerilim oluşturmadığını ortaya koymuştur.

Elde edilen sonuçlar bakır telin sıcak cam uygulamalarında yalnızca dekoratif değil, camın akışkan davranışı, form gelişimi ve yüzey-kütle ilişkisi üzerinde etkili deneysel bir bileşen olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, cam sanatında metal katkılı uygulamalara ilişkin teknik bilgi birikimine deneysel veriler sunarak alan yazına ve atölye pratiğine katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sıcak cam üfleme, bakır tel, cam-metal etkileşimi, deneysel cam sanatı, iç gerilim.

Extended Abstract



Glass has long been recognized as a versatile material in both technological and artistic production due to its amorphous structure and its capacity to be shaped within a broad temperature range. In hot glass techniques, the viscous behavior of molten glass allows artists to intervene directly in the forming process, creating a dynamic relationship between material, heat, gravity, and movement. This characteristic makes hot glass an ideal field for experimental combinations of materials. While various metal oxides and powders have been extensively studied for glass coloration and surface effects, the use of solid metal wires, specifically copper wire, in hot glass-forming processes has received limited attention in the existing literature. This study addresses this gap by experimentally investigating the interaction between copper wire and glass in hot glass blowing and hot glass free-forming techniques, focusing on both aesthetic and material outcomes.

The study's theoretical framework is grounded in glass science and studio glass practices, emphasizing the relationships among temperature, viscosity, and material compatibility. Glass, lacking a discrete melting point, gradually softens and becomes formable within a specific temperature interval known as the glass transition temperature (T_g). In hot glass forming, maintaining the glass within its working range is essential for controlling shape, wall thickness, and surface quality. Introducing a secondary material, such as copper wire, into this sensitive thermal and mechanical system creates complex interactions influenced by heat exposure, oxidation conditions, and the metal's physical resistance within the flowing glass. Understanding this interaction is crucial not only for aesthetic experimentation but also for ensuring structural stability and safe annealing conditions.

The primary aim of this study is to examine the behavior of copper wire when applied to the surface of hot glass and when embedded within the glass mass. It further seeks to determine how these applications influence visual qualities, behavioral patterns, and internal stress levels. To address these questions, an experimental methodology was adopted using copper wires (0.24 mm diameter) obtained from electrical cables. These were prepared in two forms: small fragments (1 mm to 1 cm) and continuous wires (30 to 100 cm). The experiments utilized COE 98 compatible studio glass melted at 1190 °C. Applications were carried out on both hollow forms produced via glass blowing and solid forms shaped through free-forming techniques. Additionally, experiments were repeated on both transparent and opaque white glass bases to enhance the observation of color and surface interactions.

During the experimental process, copper wire was applied in three principal ways: as fragments attached to the glass surface, as fragments encapsulated within the glass mass by gathering additional layers of molten glass, and as long wires wrapped around or embedded within the form. After shaping, all samples underwent a controlled annealing schedule, soaking at approximately 510 °C to stabilize molecular stress, followed by gradual cooling. Selected samples were subsequently analyzed using a Nortel polariscopic strain viewer to evaluate internal stress patterns.

The findings reveal distinct differences between surface and internal applications. In surface applications, direct exposure to high temperatures and atmospheric oxygen led to significant oxidation, resulting in a blackened, "burnt-wire" appearance and pronounced textural contrasts. Conversely, when copper wire was encapsulated within the glass mass, it largely retained its metallic luster. Furthermore, localized color transitions, including turquoise, greenish, and petrol-blue tones, emerged in the surrounding glass. These effects are attributed to chemical interactions between copper and the alkali-rich glass environment under restricted oxygen conditions. The intensity of these colors was notably higher in solid glass forms than in thin-walled blown forms, suggesting that optical depth is a key factor in visual perception.

Regarding mechanical behavior, long copper wires were found to partially restrict the natural expansion of the glass bubble during blowing. This resistance hindered achieving uniform wall thickness and symmetrical expansion, necessitating advanced form control. Polariscopic examinations demonstrated that, under proper annealing conditions, the copper wire did not induce critical internal stress. The observed stress patterns were soft and diffuse, indicating that the glass-metal combination remained structurally stable.

In conclusion, this study demonstrates that copper wire serves as an active experimental component influencing surface texture, internal coloration, and forming dynamics. By providing detailed observations on both aesthetic and structural aspects, the research expands the material vocabulary of studio glass practice.

These results provide a foundation for future studies exploring different metal types, wire gauges, and controlled furnace atmospheres.

Keywords: Hot glass blowing, copper wire, glass–metal interaction, experimental glass art, internal stress.

Giriş

Cam, insanlık tarihinin bilinen en eski yapay malzemelerinden biri olarak hem teknolojik hem de sanatsal üretimlerde önemli bir rol üstlenmiştir. Camın erken dönem kullanımları ağırlıklı olarak süs eşyaları ve küçük kaplarla sınırlı kalmış, üretim tekniklerinin gelişmesiyle birlikte cam, gündelik yaşamın vazgeçilmez bir malzemesi hâline gelmiştir (Rasmussen, 2012, ss. 11-18; Araz Eskinazi, 2017, ss. 12-16). Bu dönüşüm, camın fiziksel özelliklerinin daha iyi anlaşılması ve sıcak biçimlendirme yöntemlerinin gelişmesiyle doğrudan ilişkilidir.

Camın amorf yapısı, onu kristal malzemelerden ayırmakta, belirli bir erime noktasına sahip olmaması, geniş bir sıcaklık aralığında yumuşayarak biçimlendirilebilmesine olanak tanımaktadır. Bu özellik camın sıcak cam teknikleri kapsamında el aletleri, yerçekimi ve hava basıncı gibi etkenlerle biçimlendirilmesini mümkün kılar (Kohler, 1998, ss. 21-31). Özellikle sıcak cam üfleme tekniği, pota içerisinde ergitilmiş camın fırın ortamında üfleme piposu aracılığıyla biçimlendirilmesi sayesinde, camın yüksek sıcaklıktaki viskoz davranışından yararlanarak üç boyutlu formların doğrudan ve hızlı şekilde üretilmesini mümkün kılmaktadır (Branam, 1998, ss. 7-12; Kılıç, 1995, s. 57).

Bu araştırmada, sıcak cam üfleme ve camın kütsel olarak biçimlendirilmesine dayanan sıcak cam serbest biçimlendirme teknikleri bağlamında, bakır telin camla etkileşimi deneysel olarak ele alınmaktadır. Deneysel uygulamalara geçmeden önce camın tanımı, cam sanatında kullanılan temel teknikler, cam tarihine kısa bir bakış ve sıcak cam üfleme tekniğinin gelişimi literatür destekli olarak sunulmaktadır.

Camın Tanımı ve Fiziksel Özellikleri

Cam, başlıca silika (SiO_2) esaslı bir yapıdan oluşan, alkali ve toprak alkali oksitlerin eklenmesiyle ergime sıcaklığı düşürülen, kristal olmayan (amorf) bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Atomik düzeyde düzensiz bir yapıya sahip olan camda bu özellik, malzemenin belirli bir erime noktası yerine geniş bir sıcaklık aralığında değişen viskozite değerleri sergilemesine neden olur. Bu yapısal karakter, camın mekanik ve termal davranışları ile sanatsal biçimlendirme süreçleri üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır (Kohler, 1998, ss. 22-23).

Camın en belirgin özelliklerinden biri, katı ve sıvı hâller arasında kristal malzemelerde görülen türden kesin bir faz geçişi göstermemesidir. Sıcaklık arttıkça cam, sert bir yapıdan viskoelastik ve ardından viskoz bir hâle geçmekte; bu değişim cam dönüşüm bölgesi (glass transformation region) olarak adlandırılan belirli bir sıcaklık aralığında gerçekleşmektedir. Bu karakteristik özellik, camın ısı kontrolü altında karmaşık formlara dönüştürülmesini ve sanatsal açıdan biçimlendirilmesini mümkün kılmaktadır (Shelby, 2005, ss. 3-6). Camın bu özelliğinin, sıcak cam üfleme ve serbest biçimlendirme tekniklerinin temelini oluşturduğu söylenebilir.

Ayrıca cam optik geçirgenliği, kimyasal dayanımı ve yüksek sıcaklıklara karşı gösterdiği direnç nedeniyle hem işlevsel hem de estetik üretimlerde yaygın olarak tercih edilen bir malzemedir (Shelby, 2005, ss. 7-12). Bu özellikler camın farklı malzemelerle birlikte denenmesine ve deneysel uygulamalara açık bir üretim alanı oluşturmaya zemin hazırlamıştır.

Cam Sanatında Kullanılan Temel Teknikler

Camın fiziksel özellikleri, sanatsal üretim sürecinde kullanılan tekniklerin temelini oluşturur. Bu doğrultuda cam biçimlendirme yöntemleri literatürde; yüksek ısıda viskoz akışkanlıktan yararlanan sıcak cam teknikleri, camın fırın içerisinde kontrollü ısıtma ve soğutma evreleriyle biçimlendirildiği fırın teknikleri (kiln-forming) ve fırın dışı işlemleri kapsayan soğuk cam teknikleri olarak üç ana grupta ele alınmaktadır (Kohler, 1998, ss. 18-22; Hendekcigil, 2019, ss. 8-12).

Sıcak cam teknikleri arasında cam üfleme, serbest biçimlendirme, döküm ve kalıplama yer almaktadır. Bu tekniklerde cam, yüksek sıcaklıkta viskoz hâlde biçimlendirilir. Soğuk cam teknikleri ise kesme, taşlama, oyma ve yüzey işlemlerini kapsar ve genellikle form tamamlandıktan sonra uygulanır.

Bunlara ek olarak, fırın teknikleri (kiln-forming) kapsamında (füzyon, fırında cam biçimlendirme ve pâte de verre gibi yöntemlerde) cam, tabaka, iri parça, granül veya toz hâlinde kullanılarak biçimlendirilebilmektedir. Füzyon tekniklerinde tabaka camlardan granül camlara geniş bir boyut aralığı kullanılırken, kiln casting uygulamalarında cam, genellikle kütsel büyük parçalar hâlinde kalıplar içerisinde ergitilmektedir. Pâte de verre yönteminde ise ince öğütülmüş cam parçacıklarının kullanımıyla türe özgü yarı saydam ve grenli bir yüzey dokusu elde edilmektedir (Haunstein ve Wycheck, 2012, ss. 1-5; Cummings, 2001, ss. 72-5).

Cam Tarihine Kısa Bir Bakış ve Cam Üfleminin Ortaya Çıkışı

Cam üretiminin kökenleri Mezopotamya ve Antik Mısır uygarlıklarına kadar uzanmaktadır. Erken dönem cam nesnelerin büyük bir bölümünün iç kalıp ve döküm yöntemleriyle üretildiği, bu tekniklerin ise biçim çeşitliliğini önemli ölçüde sınırladığı arkeolojik ve tarihsel veriler ışığında ortaya konulmaktadır. Bu dönemlerde cam üretim sürecinin zorluğu, teknik sınırlılıklar ve sınırlı erişilebilirlik nedeniyle değerli ve ayrıcalıklı bir malzeme olarak değerlendirilmiştir (Olçay Uçkan, 2008, ss. 97-100; Taştēmür, 2017, ss. 69-73).

Cam üfleme tekniğinin gelişimi, cam üretiminde hız ve verimliliği artırmış, bu durum cam eşyaların daha geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşmasını sağlamıştır. Üfleme tekniği, Roma Dönemi'nden itibaren camın hem gündelik kullanım nesneleri hem de estetik ve sanatsal formlar kapsamında yaygın biçimde üretilmesine olanak tanıyan belirleyici bir yöntem hâline gelmiştir (Olçay Uçkan, 2008, ss. 100-102).

Sıcak Cam Üfleme Tekniği

Sıcak cam üfleme tekniği, camın pota içerisinde ergitilerek üfleme borusu ucunda toplanması ve hava basıncı yardımıyla biçimlendirilmesine dayanan temel sıcak cam biçimlendirme yöntemlerinden biridir. Bu teknikte cam, yüksek sıcaklıkta viskoz hâlde iken üfleme borusu üzerinde sürekli olarak döndürülmekte ve biçimlendirme süreci boyunca belirli aralıklarla yeniden ısıtılmaktadır. Camın döndürülmesi ve yeniden ısıtılması, malzemenin yerçekimi etkisiyle sarkmasını önleyerek form bütünlüğünün korunmasını sağlamaktadır (Branam, 1998, ss. 7-12; Kılıç, 1995, ss. 55-58).

Bu süreç pota fırını, yeniden ısıtma fırını (glory hole) ve tavlama fırını arasında “cam üfle-yici üçgeni” olarak adlandırılan, süreklilik arz eden disiplinli bir atölye düzeni içerisinde yürütülmektedir. Camın viskozite aralığında tutulması, biçimlendirme süresinin uzatılmasını ve form üzerindeki kontrolün korunmasını mümkün kılmaktadır. Sıcak cam üfleme pratiği bu yönüyle zamana, hassas ekip koordinasyonuna ve adeta bir dansı andıran bedensel farkındalığa dayalı bir üretim süreci olarak öne çıkmaktadır (Tulane University, 2017, ss. 7-18).

Üfleme sürecinde camın, yalnızca hava basıncıyla değil, aynı zamanda çeşitli el aletleri yardımıyla da yönlendirilmesi gerekmektedir. Bu aşamada sıcaklık kontrolü, camın davranışını belirleyen en kritik unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Camın aşırı soğuması kırılma ve çatlak oluşumuna yol açarken, aşırı ısınması ise kontrolsüz akma ve form kaybına neden olabilmektedir. Bu nedenle sıcak cam üfleme, camın viskozite aralığının sürekli olarak izlenmesini ve ısı-zaman dengesinin dikkatle yönetilmesini gerektiren bir süreçtir (Küçükerman, 1985, ss. 14-86; Hendekcigil, 2019, ss. 7-22).

Camın viskoz hâlde biçimlendirildiği bu süreç, aynı zamanda farklı malzemelerin cam yüzeyinde ya da cam kütlesi içerisinde kullanılabilmesine olanak tanımaktadır. Literatürde sıcak cam üfleme sırasında cam yüzeyine metal bazlı maddelerin ve farklı partikül yapıların uygulanabildiği, bu uygulamaların camın optik ve yüzeysel özelliklerini dönüştürdüğü belirtilmektedir (Özsolak ve Yeşilay, 2017, ss. 21-28). Benzer şekilde, camın kütleli olarak biçimlendirildiği aşamalarda ek malzemelerin form içerisinde hapsedilmesi, sıcak cam üflemenin deneysel potansiyelini artıran bir unsur olarak değerlendirilmektedir (Özkaya ve Yeşilay, 2018, ss. 196-202).

Bu özellikleriyle sıcak cam üfleme tekniği, bir üretim yöntemi olmasının yanı sıra cam sanatında malzemeyle doğrudan ilişki kurmayı mümkün kılan temel bir ifade alanı olarak değerlendirilmektedir. Üfleme sürecinin uygulama aşaması sanatçının pipo (üfleme borusu) aracılığıyla hem el hünerini hem de nefes gücünü kontrol etmesini gerektirir. Bu durum teknik bilgi ile sanatçının camın davranışlarını doğrudan deneyimlediği sezgisel karar verme süreçlerini bir araya getirmektedir. Bu yönüyle sıcak cam üfleme, cam sanatında zanaatın ötesine geçen, teknik ve düşünsel üretimin merkezinde yer alan köklü ve sürekliliği koruyan bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Erdal, 2023, ss. 34-36).

Amaç

Araştırmanın temel amacı, sıcak cam biçimlendirme teknikleri kapsamında bakır telin camla etkileşimini deneysel uygulamalar üzerinden incelemektir. Çalışmada, bakır telin cam yüzeyinde ve cam kütlesi içerisinde kullanılması durumunda ortaya çıkan görsel, yapısal ve biçimsel etkilerin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda çalışma, cam-metal etkileşiminin sanatsal üretim süreçlerindeki teknik ve estetik sonuçlarını ortaya koyarak hem cam sanatçılarına hem de malzeme temelli deneysel çalışmalara katkı sunmayı hedeflemektedir.

Yöntem

Bu çalışma, sıcak cam biçimlendirme süreçlerinde bakır tel kullanımının camın görsel, yapısal ve biçimsel özellikleri üzerindeki etkilerini inceleyen uygulama temelli (practice-based) bir araştırmadır. Süreçte nicel ölçüm odaklı istatistiksel analizler yerine malzeme davranışına dayalı gözlem, karşılaştırma ve süreç analizi yöntemleri benimsenmiştir (Candy, 2006, ss. 1-4). Sanat ve tasarım alanlarında kabul gören bu yaklaşım doğrultusunda bilgi üretimi yalnızca teorik analizlerle değil, doğrudan malzeme ile gerçekleştirilen uygulamalar ve süreç odaklı deneyimler aracılığıyla gerçekleştirilmiştir (Smith ve Dean, 2009, ss. 1-20). Bu bağlamda sıcak cam ile bakır telin etkileşimi atölye ortamında kontrollü deneysel uygulamalarla incelenmiş, elde edilen bulgular gözlemsel ve karşılaştırmalı yöntemle değerlendirilmiştir.

Araştırmanın uygulama aşaması sıcak cam üfleme ve sıcak cam serbest biçimlendirme teknikleri kullanılarak deneysel olarak yürütülmüştür. Deneylerin temel amacı, elektrik kablolarından elde edilen bakır tel parçalarının sıcak cam ile etkileşimini ve cam yüzeyinde ile cam kütlesi içerisinde

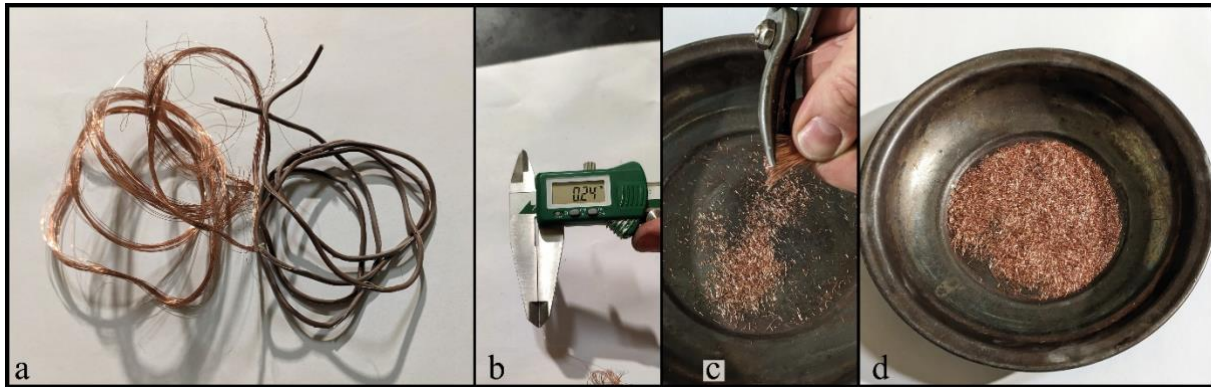
oluşturduğu yapısal, görsel ve malzeme temelli sonuçları incelemektir. Deneysel süreçte bakır tel, sıcak cam uygulamalarında granül cam kullanım prensiplerine benzer bir yaklaşımla uygulanmıştır.

Kullanılan Malzemeler

Bu araştırma kapsamında gerçekleştirilen deneysel uygulamalarda, sıcak cam üfleme ve sıcak cam serbest biçimlendirme tekniklerine uygun malzeme ve donanımlar kullanılmıştır. Deneylerin temel malzemesini, elektrik kablolarından elde edilen bakır teller ile sıcak cam üfleme uygulamalarına uygun Glasma marka COE 98 uyumlu stüdyo camı oluşturmaktadır.

Sıcak cam uygulamalarında Pika marka elektrikli cam ergitme fırını kullanılmaktadır. Isıya dayanıklı bir pota içerisinde 1190 °C sıcaklıkta ergitilen cam, üfleme ve serbest biçimlendirme çalışmaları için hazır halde bekletilmektedir. Biçimlendirme sürecinde camın yeniden ısıtılması amacıyla tromel (glory hole) fırını kullanılmıştır. Tromel fırınında sıcaklık dağılımının uç bölgelerde yaklaşık 1000 °C, derin bölgelerde ise 1300 °C düzeylerine ulaşabildiği bilinmekle birlikte camın 1300 °C'ye ulaşma sürecinin anlık olarak kontrol edilebilmesi mümkün değildir. Deneysel uygulamaların biçimlendirme sürecinde cam, 1000-1300 °C aralığında tromel fırınında ısıtılarak kullanılmaya devam edilmiştir.

Deneylerde kullanılan bakır tel, standart elektrik kablolarının yalıtkan kaplamaları soyularak elde edilmiştir (Görsel 1-a). Yalıtım malzemesinden arındırılan bakır tellerin çapı 0,24 mm'dir (Görsel 1-b). Bakır teller deneysel uygulamalarda kullanılmak üzere ince metal malzemelerin kesimine uygun bir teneke (sac) kesme makasıyla kesilerek (Görsel 1-c), 1 mm ile 1 cm arasında değişen uzunluklarda küçük parçalara ayrılmıştır (Görsel 1-d). Ayrıca 30 cm ile 100 cm arasında değişen uzun bakır tellerde cam yüzey ve cam içi uygulamalarında kullanılmıştır.



Görsel 1. Deneylerde kullanılan bakır tel, (Yazar kişisel fotoğraf arşivi).

Sıcak cam biçimlendirme sürecinde ayrıca üfleme borusu (pipo), çeşitli el aletleri (makas, maşa, cımbız vb.), tromel fırını ve tavlama fırını kullanılmıştır. Tüm deneysel uygulamalar, camın viskozite aralığında kontrol altında tutulmasını sağlayacak şekilde yürütülmüştür.

Deneysel Uygulama

Deneysel uygulamalarda sıcak cam üfleme ve sıcak cam serbest biçimlendirme teknikleri kullanılmıştır. Bakır telin sıcak cam ile etkileşimi, yüzeyde oluşturduğu dekoratif etkiler ve kütle içerisindeki etkileri bağlamında ele alınmıştır. Araştırma üfleme yoluyla biçimlendirilen içi boş formlar ile dolu cam kütleler üzerinden yürütülmüştür.

Sıcak eriyik cam, fırın potasından pipo yardımıyla alınarak biçimlendirme sürecine dâhil edilmiştir. Gerekli durumlarda cam tromel fırınında yeniden ısıtılarak viskozite aralığında tutulmuş ve biçimlendirmeye uygun akışkanlıkta olduğu süre boyunca yerçekimi etkisine bağlı form kayıplarını önlemek amacıyla ritmik döndürme hareketi sürdürülmüştür. Bu aşamada camın form bütünlüğünün korunması ve bakır tel uygulamalarının kontrollü şekilde gerçekleştirilebilmesi hedeflenmiştir. Üfleme uygulamalarında pipo ucuna alınan cam üzerinde öncelikle küçük bir baloncuk oluşturulmuş, formun büyüklüğüne bağlı olarak birden fazla cam alma aşamasıyla cidar kalınlığı artırılmıştır. Tasarıma bağlı olarak bakır tel cam katmanları arasına ya da yüzeye sabitlenmiştir.

Çalışmanın bir bölümü de pipo ucuna alınan camın çeşitli el aletleri yardımıyla biçimlendirildiği sıcak cam serbest biçimlendirme yaklaşımıyla üfleme yapılmadan gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda “kâğıt ağırlığı” olarak adlandırılan kütleli cam formlarda denemeler yapılmıştır. Kütle cam formlarda üretim süreci, pipo ucuna cam alınması, camın akışkanlığını yitirmeye başladığı aşamalarda tromel fırınında yeniden ısıtılması ve üretilecek formun büyüklüğüne bağlı olarak bu işlemin tekrarlanarak biçimlendirilmesi esasına dayanmaktadır.

Deneysel süreçte bakır telin sıcak cam ile etkileşimi üç temel uygulama aşamasıyla ele alınmıştır. İlk uygulama biçiminde küçük parçalara ayrılmış bakır teller, granül cam kullanım prensiplerine benzer şekilde sıcak cam yüzeyine son katman olarak uygulanmıştır. Bu yöntemde sıcak cam bakır tel parçaları dolu bir kaba daldırılarak cam yüzeyine eklenmiş, ardından cam tromel fırınında yeniden ısıtılarak tel parçalarının yüzeye tamamen tutunması sağlanmıştır (Görsel 2).

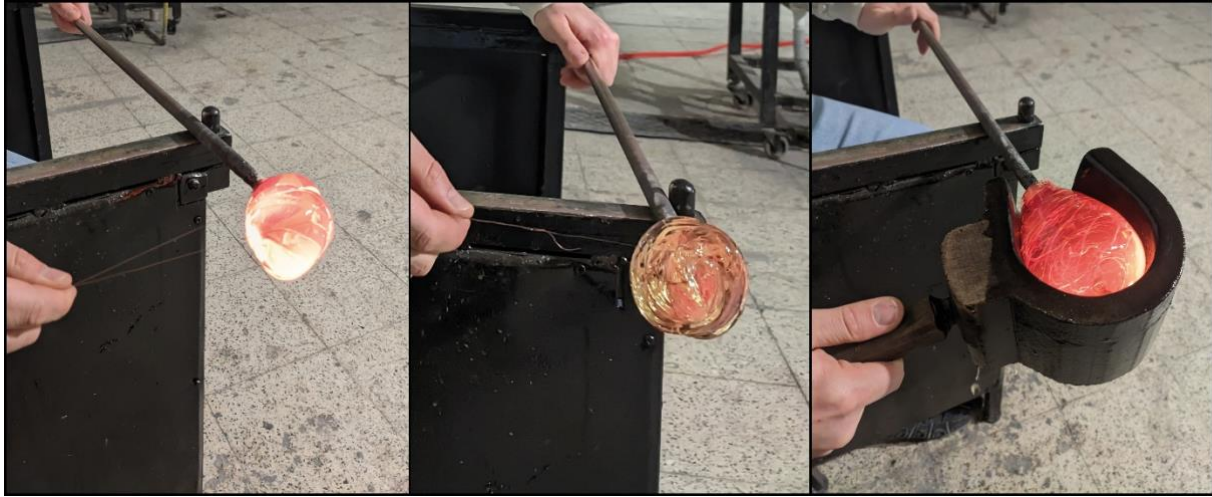


Görsel 2. Bakır tel parçalarının cam yüzeyine uygulanması (a) ve kaynaştırılması (b) (Yazar kişisel fotoğraf arşivi).

İkinci uygulama biçiminde bakır tel, sıcak camın kütlesi içerisine dâhil edilmiştir. Bu yaklaşımda pipo ucuna yeterli miktarda eriyik cam alındıktan sonra tel parçaları dolu bir kaba daldırılarak cam yüzeyi bakır tel parçaları ile kaplanmış tromel fırınında kaynaştırılmıştır. Bu süreci takiben cam, ergitme fırınındaki eriyik cama daldırılarak üzerine yeniden cam sarılmıştır. Böylece bakır tel parçalarının cam kütlesi içerisinde hapsedilmesi amaçlanmıştır. Bu iki uygulama şekli hem kütleli cam formlarda hem de üfleme yöntemiyle oluşturulan içi boş formlarda gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca bu uygulamaların benzeri, bakır tellerin küçük parçalara ayrılmadan, tel formu korunacak şekilde kullanılmasıyla tekrarlanmıştır. Bu uygulamalarda bakır teller, sıcak cam formlar üzerine sarılarak yüzeyde konumlandırılmış ya da biçimlendirme sürecinde cam kütlesi içerisine gömülmüştür (Görsel 3). Bakır teller kütle form uygulamalarında sadece cam içinde kullanılmış olup

üfleme uygulamalarında hem yüzeyde hem de cam içinde kullanılmıştır. Bakır telin yüzeyde kullanıldığı üfleme uygulamalarında, pipo ucuna alınan cam üzerine tel sarımı yapıldıktan sonra cam tromel fırınında yeniden ısıtılmış ve tellerin cama sabitlenmesi sağlanarak form biçimlendirilmesi yapılmıştır. Bakır telin cam içinde kullanıldığı uygulamalarda ise tromel fırınında teller cam yüzeyine sabitlendikten sonra ergitme fırınından tekrar cam alınarak tellerin cam içerisinde sabitlenmesi sağlanmıştır. Tel sarımı sonrasında camın genişleme davranışının kısmen sınırlanmış olup bu durum, üfleme sürecinde biçimlendirme kontrolünü zorlaştıran bir etken olarak değerlendirilmiştir.



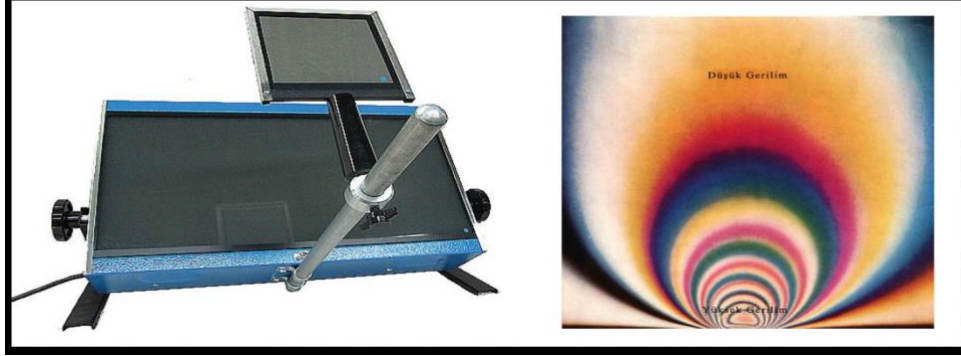
Görsel 3. Bakır tellerin cam üzerine sarılması-uygulanması (Yazar kişisel fotoğraf arşivi).

Bakır telin etkilerini daha net gözlemleyebilmek amacıyla şeffaf camla gerçekleştirilen uygulamaların bir bölümü opak beyaz cam zemin üzerinde tekrarlanmıştır. Bu aşamada pipo ucundaki cam, ilk ya da ikinci cam alma sürecinde opak beyaz camla kaplanmış, bakır tel uygulamaları bu zemin üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bakır tellerin küçük parçalar halinde ve uzun teller halinde kullanıldığı her iki süreçte teller, cam içi uygulamalarda şeffaf cam tabakasıyla kaplanarak sabitlenmiş, yüzey uygulamalarında ise cam yüzeyinde bırakılmıştır.

Deneyisel uygulamalar boyunca camın yeniden ısıtma süreleri, biçimlendirme aşamaları ve bakır tel ekleme zamanları, uygulamanın gerektirdiği koşullara bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Biçimlendirme süreci tamamlanan cam formlar, üretim sırasında oluşabilecek iç gerilimlerin azaltılması amacıyla kontrollü bir tavlama sürecine alınmıştır. Tavlama işlemi, kullanılan COE 98 uyumlu stüdyo camının teknik özellikleri dikkate alınarak planlanmıştır. Bu kapsamda tavlama fırını, cam bünyesindeki moleküler gerilimlerin sönmünebildiği kritik sıcaklık aralığına karşılık gelen yaklaşık 510 °C seviyesinde sabitlenmiştir. Tavlama rejimi belirlenirken, üretilen formlar arasından en büyük ve en kalın kesitli örnek referans alınmış, tüm formların bu örneklerle birlikte termal dengeye ulaşması hedeflenmiştir. Bu sıcaklıkta belirli bir süre bekleme sağlandıktan sonra camın, cam geçiş bölgesinden (T_g) yapısal bütünlüğünü koruyarak geçebilmesi amacıyla sıcaklık kontrollü ve kademeli bir şekilde düşürülmüştür.

Tavlama sürecinin etkinliğini ve bakır tel uygulamalarının cam bünyesinde, malzeme kaynaklı bir iç gerilim oluşturup oluşturmadığını değerlendirmek amacıyla seçilen bazı örnekler Nortel marka polariskop cihazı kullanılarak stres analizine tabi tutulmuştur. Analiz kapsamında, kütleli ve kalın cam formlarda bakır tellerin hem uzun hem de küçük parça hâlinde cam içerisinde kullanıldığı uygulamalar

ile üfleme yöntemiyle biçimlendirilen ve bakır telin hem cam yüzeyinde hem de cam kütlesi içerisinde yer aldığı örnekler tercih edilmiştir. Polariskop incelemelerinde, cam bünyesinde ışık altında oluşan renk bantları ve gerilim desenleri referans stres ölçeği dikkate alınarak görsel olarak değerlendirilmiştir (Görsel 4). Bu yöntem, tavlama sürecinin yeterliliğinin ve bakır tel uygulamalarının cam bünyesindeki olası iç gerilim dağılımlarının karşılaştırmalı olarak incelenmesine olanak sağlamıştır.



Görsel 4. Nortel Marka Polariskop ve stres ölçeği: gerilim şiddetinin renk bantlarıyla temsili düşük-yüksek gerilim (<https://www.nortelglass.com/polariscopes-strain-viewers/>).

Bulgular

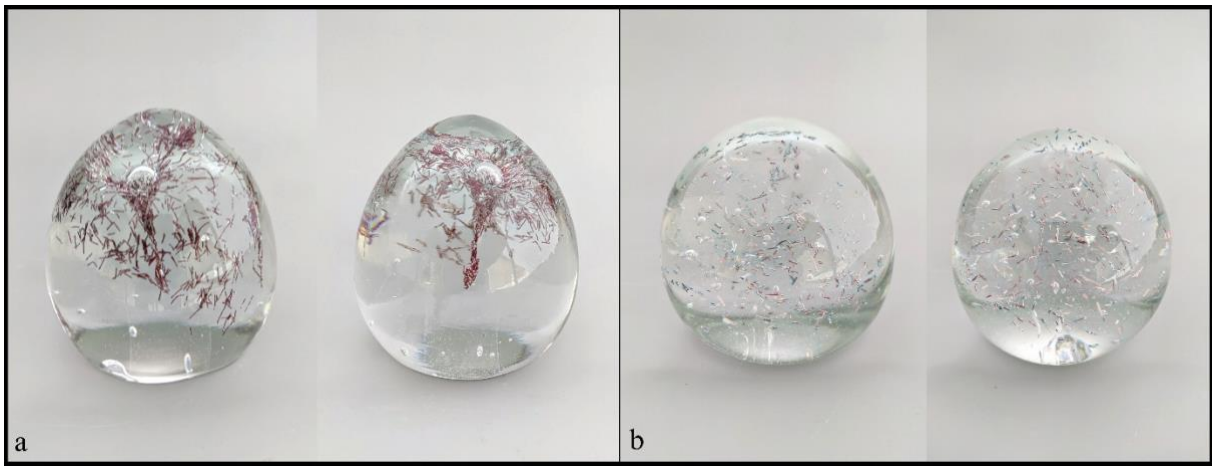
Gerçekleştirilen deneysel uygulamalarda, bakır telin sıcak cam üfleme ve sıcak cam serbest biçimlendirme teknikleriyle birlikte kullanımına ilişkin çeşitli yapısal ve görsel sonuçlar elde edilmiştir. Bulgular, bakır telin küçük parça ve uzun tel biçimlerinde cam yüzeyinde son katman olarak uygulanması ve cam kütlesi içerisinde hapsedilmesi yaklaşımı üzerinden değerlendirilmiştir. Ayrıca uygulamalar üfleme yöntemiyle oluşturulan içi boş formlar ile kütsel (dolu) cam formlar arasında karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Sıcak cam yüzeyine son katman olarak bakır tel parçalarının uygulandığı örneklerde, tel parçalarının cam yüzeyine kaynaşarak görsel etkiler oluşturduğu gözlemlenmiştir. Cam yüzeyinde tel parçalarının uygulayıcının isteği doğrultusunda bölgesel olarak yoğunlaşan ve seyrelen bir dağılım sergilediği, camın viskozite aralığında yeniden ısıtılmasıyla birlikte yüzeye bütünleştiği belirlenmiştir. Yüzey uygulamalarında bakır telin, camın optik özelliklerini etkileyerek yüzeyde belirgin bir doku ve görsel katman oluşturduğu görülmüştür (Görsel 5). Tel parçalarının boyutları, yoğunluğu ve yüzeye eklenme şekli, elde edilen yüzey etkileri üzerinde belirleyici olmuştur.



Görsel 5. Bakır tel parçalarının cam yüzeylerde kullanımı, a- kâğıt ağırlığı h: 7,5 cm, b- vazo h: 12,5 cm (Yazar Kişisel Fotoğraf Arşivi).

Bakır tel parçalarının cam kütlesi içerisine dâhil edildiği uygulamalarda, parçaların cam içerisinde farklı derinliklerde konumlandığı, camın akış yönü ve uygulanan biçimlendirme yöntemine bağlı olarak cam kütlesi içinde farklı yoğunluk ve desenler oluşturduğu gözlemlenmiştir. Camın yeniden ısıtılmasıyla birlikte, başlangıçta cam yüzeyine tutunan bakır tel parçalarının üzerine tekrar cam sarılarak kütle içerisine hapsedildiği ve formun tamamlanmasıyla tel parçalarının cam içinde sabit bir yapı oluşturduğu belirlenmiştir. Kütlesel cam formlarda bakır tel parçalarının, derinlik algısı ve camın optik özellikleriyle birlikte cam içerisinde daha yoğun ve belirgin bir görsel etki oluşturduğu (Görsel 6), boş formlarda ise görsel etkinin dolu formlara kıyasla sınırlı kaldığı tespit edilmiştir (Görsel 7-a). Bu durum, camın kalınlığı ve kütlesel yapısının, görsel etkiler üzerinde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir. DeneySEL çeşitliliği arttırmak adına bakır tel parçaları tek bir formda hem cam içinde hem cam hem de yüzeyinde kullanılarak üfleme uygulaması yapılmış ve olumlu sonuç alınmıştır (Görsel 7-b).



Görsel 6. Bakır tel parçalarının cam içinde kullanımı, a- kâğıt ağırlığı h: 7 cm, b- kâğıt ağırlığı h: 6 cm (Yazar Kişisel Fotoğraf Arşivi).



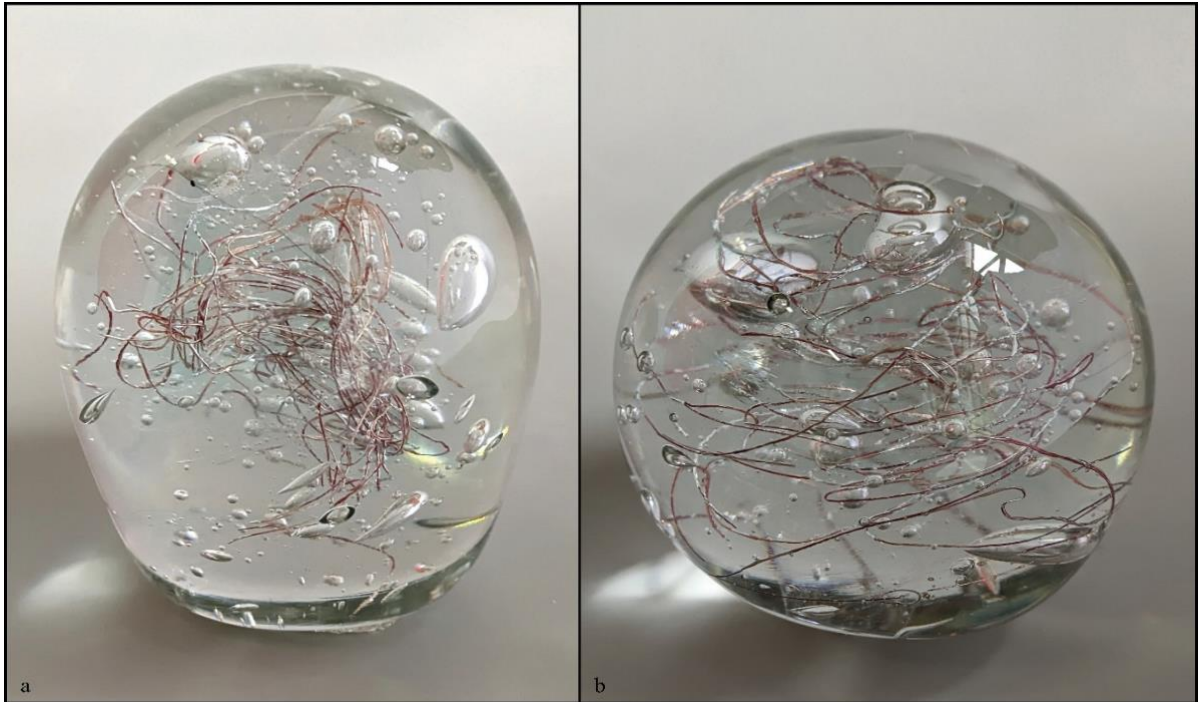
Görsel 7. Bakır tel parçalarının cam içinde kullanımı, a- vazo h: 15,5 cm, bakır tel parçalarının cam içi ve yüzeyinde kullanımı b- vazo h: 14,5 cm (Yazar Kişisel Fotoğraf Arşivi).

Bakır tel parçalarının cam içinde kullanıldığı uygulamalarda, parçaların cam bünyesi içerisinde daha stabil bir yapı sergilediği ve bakırın büyük ölçüde kendi rengini koruduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun, tromel fırını içerisindeki işlemlerde camın kütlesel yapısının bakır telin ve tel parçalarının

alevle ve sıcaklıkla direkt temasını sınırlandırmasıyla ilişkili olduğu değerlendirilmektedir. Buna karşılık yüzey uygulamalarında telin doğrudan yüksek sıcaklık ve atmosferle temas etmesi, siyahlaşma ve yanık tel etkilerinin daha belirgin hâle gelmesine neden olmuştur.

Bakır telin 30-100 cm uzunluklarda kullanıldığı üfleme uygulamalarında biçimlendirme sürecini etkileyen bazı veriler elde edilmiştir. Tel sarımı sonrasında camın genişleme davranışının kısmen sınırlandığı, bu durumun özellikle üfleme sürecinde cidar kalınlığının homojen şekilde dağıtılmasını zorlaştırdığı belirlenmiştir. Cam, çeşitli el aletleri yardımıyla biçimlendirilebilmiş olsa da bakır telin bazı bölgelerde cam akışını sınırlandırması, üfleme sırasında formun simetrik ve dengeli biçimde genişlemesini zorlaştıran belirleyici bir etken olarak öne çıkmıştır. Bu durum, uzun bakır tel kullanımının sıcak cam üfleme sürecinde daha dikkatli planlama ve ileri düzey form kontrolü gerektirdiğini ortaya koymaktadır. Uygulama sonuçları önceki uygulamalarla benzerdir. Bakır telin cam içinde kullanıldığı uygulamalarda bakır rengini korumuş yüzeyde kullanıldığı uygulamalarda siyahlaşma gerçekleşmiştir. Sıcak cam serbest biçimlendirme yöntemi ile yapılan uygulamalarda sadece bakırın sadece cam içinde kullanımına yer verilmiş (Görsel 8), sıcak cam üfleme uygulamalarında ise cam içi uygulamanın yanı sıra cam yüzeyinde de uygulama yapılmıştır (Görsel 9). Yüzey uygulamalarında bakır tel cam yüzeyine sarılırken bazı teller cam içine gömülmüştür.

Bakır telin cam yüzeyinde oluşturduğu renk etkileri ile cam kütlesi içerisinde oluşturduğu renk etkileri arasında belirgin farklılıklar gözlemlenmiştir. Yüzey uygulamalarında bakır telin büyük ölçüde siyahlaştığı, yer yer yanık tel görünümü oluşturduğu ve lekesele dokular meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Buna karşın cam içi uygulamalarda bakır tel büyük ölçüde kendi rengini korumuş, telin çevresindeki cam bölgelerinde turkuaz, petrol mavisi ve yeşilimsi tonların oluştuğu belirlenmiştir. Bu renklenmeler, bakırın cam bünyesi içerisinde kimyasal etkileşimler ve sıcaklık farklarına bağlı olarak gerçekleşmiştir. Özellikle tromel fırınının daha derin ve sıcak bölgelerinde bu etkilerin yoğunlaştığı gözlemlenmiştir.



Görsel 8. Bakır tellerin cam içinde kullanımı, a- kâğıt ağırlığı h: 8 cm, b- kâğıt ağırlığı h: 6 cm (Yazar Kişisel Fotoğraf Arşivi).

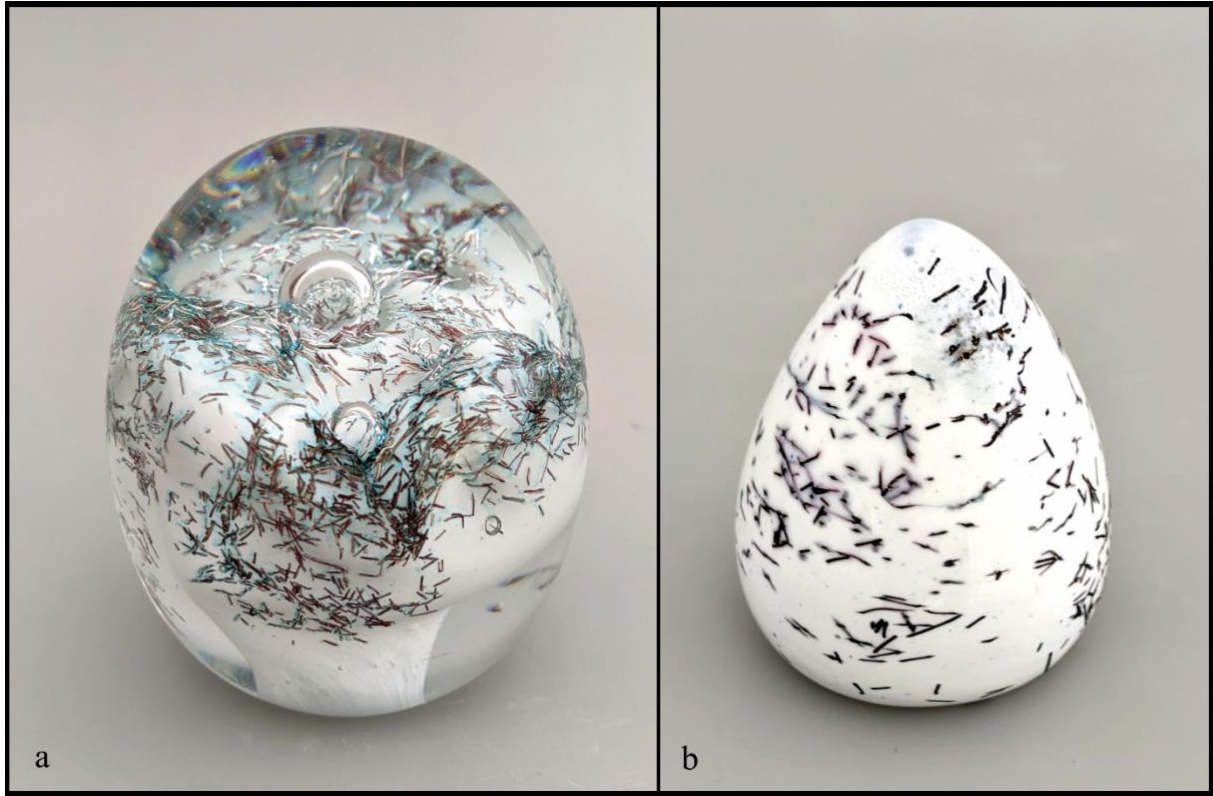


Görsel 9. a- Bakır tellerin cam içinde kullanımı, vazo h: 18,5 cm, b- bakır tellerin cam yüzeyi ve cam içinde kullanımı vazo h: 15 cm (Yazar Kişisel Fotoğraf Arşivi).

Bakır telin görsel etkilerini daha net gözlemleyebilmek amacıyla şeffaf cam ile gerçekleştirilen uygulamalar aynı yöntemlerle opak beyaz cam zemin üzerinde de tekrar edilmiştir. Öncelikle beyaz opak boya ile kaplanan cam üzerinde bakır tel parçalarının cam içinde ve cam yüzeyinde kullanıldığı serbest sıcak cam biçimlendirme yöntemiyle üretilmiş kâğıt ağırlığı uygulamaları gerçekleştirilmiştir (Görsel 10). Sonrasında sıcak cam üfleme tekniğiyle, bakır tel parçalarının ve uzun bakır tellerin cam içinde ve cam yüzeyinde kullanıldığı vazo formları üretilmiştir (Görsel 11-12). Opak beyaz cam kullanımıyla gerçekleştirilen uygulamalarda, bakır telin camla etkileşiminin şeffaf cam uygulamalarına kıyasla daha belirgin hâle geldiği görülmüştür. Bakır telin yüzeyde ve cam kütlesi içerisindeki davranışının camın optik derinliği tarafından maskelenmeden doğrudan gözlemlenebilmesine olanak sağlamıştır. Opak beyaz zemin üzerinde bakır telin oluşturduğu renk değişimleri, oksidasyon etkileri ve cam-bakır etkileşim sınırları daha net şekilde algılanmıştır. Özellikle cam içi uygulamalarda turkuaz ve yeşilimsi renk oluşumları daha net görülmektedir. Görsel 11-b’de görüldüğü üzere vazo formunun alt kısmında yeşilimsi turkuaz renk tonları yoğunluktadır. Bunun tromel fırını içerisinde farklı bölgelerdeki sıcaklık değişimlerinden kaynaklı olarak vazanın alt bölgesinin daha yüksek sıcaklıklara maruz kalması ve bakır tel parçalarının tane büyüklüğünün etkisiyle oluştuğu düşünülmektedir.

Uygulamalar sonucunda, bakır telin sıcak cam üfleme ve sıcak cam serbest biçimlendirme süreçlerinde hem yüzeyde hem de cam kütlesi içerisinde farklı estetik ve yapısal sonuçlar ürettiği görülmektedir. Sıcak cam uygulamalarında kullanılan bakır telinin, camın akışkan davranışı, form kontrolü, yüzey-kütle ilişkisi ve görsel yapısı üzerinde etkili olduğuna dair bulgular gözlemlenmiştir. Şeffaf ve opak cam zeminler üzerinde elde edilen sonuçlar benzerdir. Bakır telin görsel etkileri, opak

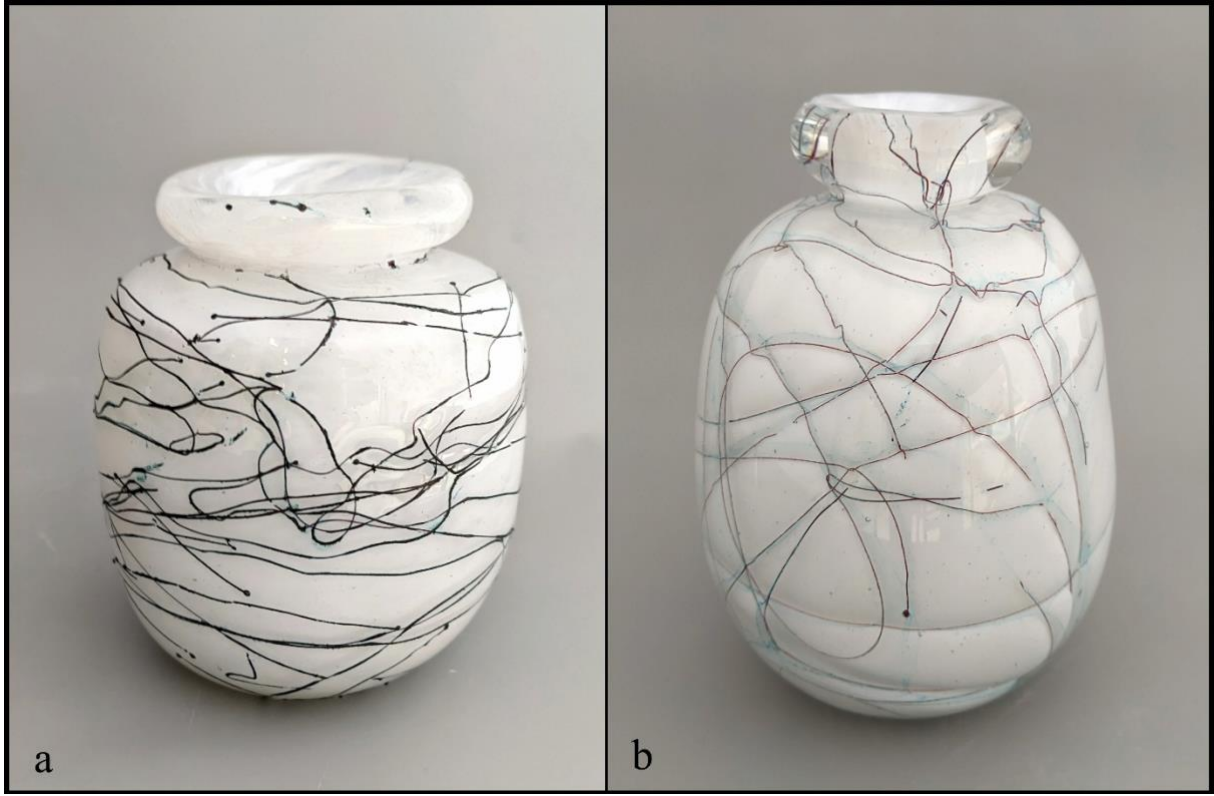
beyaz cam üzerinde daha belirgindir. Bu durum, beyaz opak cam içi uygulamalarda turkuaz-yeşil renk tonu oluşumunun daha yoğun hissedilmesine olanak sağlamıştır.



Görsel 10. Opak beyaz cam üzerinde bakır tel parçalarının kullanımı, a- cam içi uygulama kâğıt ağırlığı h: 9 cm, b- cam yüzeyi uygulama kâğıt ağırlığı h: 5 cm (Yazar Kişisel Fotoğraf Arşivi).



Görsel 11. Opak beyaz cam üzerinde bakır tel parçalarının kullanımı, a- cam yüzeyi uygulama vazo h: 11 cm, b- cam içi uygulama vazo h: 15 cm, Sıcak Cam Üfleme (Yazar Kişisel Fotoğraf Arşivi).

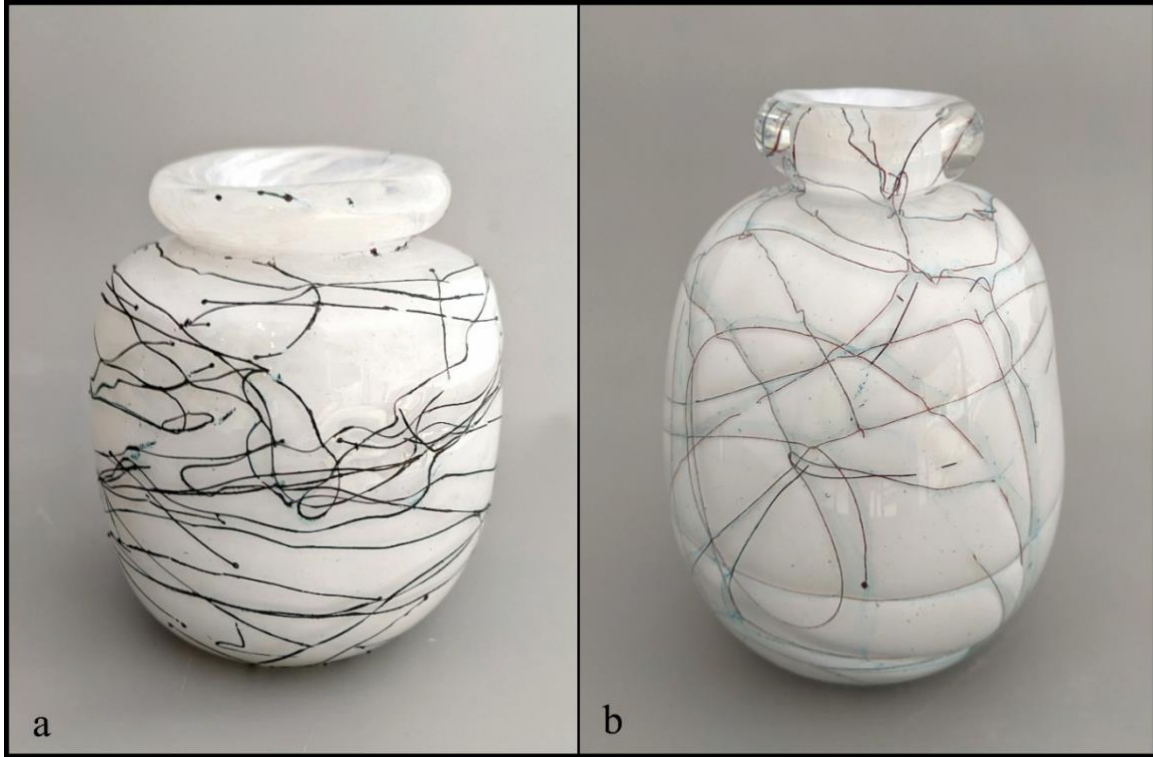


Görsel 12. Opak beyaz cam üzerinde uzun bakır tel kullanımı, a- cam yüzeyi uygulama vazo h: 11 cm, b- cam içi uygulama vazo h: 14 cm, Sıcak Cam Üfleme (Yazar Kişisel Fotoğraf Arşivi).

Bakırın yüksek sıcaklık ortamlarında farklı oksidasyon durumları sergileyebildiği ve bu durumların renk oluşumları üzerinde belirleyici olduğu literatürde belirtilmektedir. Bakır, ortamın oksitleşme koşullarına bağlı olarak bakır (II) oksit (CuO) ve bakır(I) oksit (Cu_2O) formlarına geçiş gösterebilmektedir. Bakır esaslı sistemlerin fırın atmosferi ve sıcaklık değişimlerine karşı duyarlı olduğu, bu değişkenlere bağlı olarak yeşil, mavi, turkuaz, kırmızı ve koyu tonlara uzanan renklenmelerin ortaya çıkabildiği ayrıca özellikle kurşunun yerini alkalilerin aldığı sistemlerde mavi ve yeşil tonlarını oluşturduğu belirtilmektedir (Hacızade, 2019, s. 210). Bu çerçevede, çalışmada bakır telin cam yüzeyinde kullanıldığı uygulamalarda gözlemlenen siyahlaşma ve yanık tel etkileri, metal yüzeyinin yüksek sıcaklıkta atmosferle doğrudan temas ederek oksitlenmesiyle ilişkilendirilebilirken, bakır telin cam kütlesi içerisinde hapsedildiği uygulamalarda ortaya çıkan turkuaz ve yeşilimsi renklenmelerin, alkali yapılı cam bünyesinde daha sınırlı oksijen teması ve yerel kimyasal etkileşimler sonucunda oluştuğu değerlendirilmektedir.

Daha önce de değinildiği üzere elde edilen görsel ve yapısal bulguların cam formların uzun vadeli dayanımı açısından değerlendirilmesi amacıyla uygulamalar arasından seçilen örnekler stres analizine tabi tutulmuştur (Görsel 13). Nortel marka cihazın stres ölçeği esas alınarak yapılan değerlendirmede, bakır tel ilavesine bağlı olarak cam bünyesinde belirgin bir gerilim yoğunlaşması ya da kırılma riski oluşturabilecek keskin, dar ve lokalize ışık kırılmaları gözlemlenmemiştir. İncelenen örneklerde gözlemlenen ışık kırılmalarının düşük düzeyli renk desenlerinin ise lekese ve yumuşak geçişli yapısal bütünlüğü tehdit etmeyen gerilimleri temsil edebilecek nitelikte olduğu, dolayısıyla cam formların kullanım ya da sergileme koşulları açısından yapısal bir risk oluşturmadığı değerlendirilmiştir. Bu bulgu, çalışmada uygulanan tavlama rejiminin cam formların iç gerilimlerini etkin biçimde

sönümlendiğini ve bakır tel kullanımının deneysel koşullar altında cam-metal uyumu açısından malzeme kaynaklı kritik bir stres oluşturmadağını göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, bakır telin sıcak cam üfleme ve sıcak cam serbest biçimlendirme süreçlerinde hem görsel hem de yapısal açıdan güvenli bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.



Görsel 13. Stres analizi, a- bakır tel parçalarının cam içi kullanımı, b- bakır tellerin uzun biçimde cam içi kullanımı, c- bakır tel parçalarının sıcak cam üfleme tekniğinde cam içi ve cam yüzeyinde uygulanmasıyla elde edilen form (Yazar Kişisel Fotoğraf Arşivi).

Sonuç

Bu araştırma, sıcak cam üfleme ve sıcak cam serbest biçimlendirme teknikleri kapsamında bakır telin camla etkileşimini deneysel bir yaklaşımla inceleyerek, cam-metal birlikteliğinin hem estetik hem de yapısal boyutlarını ortaya koymayı amaçlamıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, bakır telin sıcak cam uygulamalarında yalnızca yüzeysel bir dekorasyon unsuru olarak değil, camın akışkan davranışı, form kontrolü ve optik özellikleri üzerinde etkili olan deneysel bir bileşen olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Deneysel uygulamalarda bakır telin küçük parçalar hâlinde ve uzun tel formunda kullanımı, cam yüzeyinde ve cam kütlesi içerisinde farklı sonuçlar üretmiştir. Yüzey uygulamalarında bakır telin yüksek sıcaklık ve atmosferle doğrudan teması sonucu oksidasyonun belirginleştiği, telin büyük ölçüde siyahlaştığı ve yüzeyde lekesel, dokusal etkiler oluşturduğu gözlemlenmiştir. Buna karşılık bakır telin cam kütlesi içerisinde hapsedildiği uygulamalarda, telin büyük ölçüde kendi rengini koruduğu ve çevresindeki cam bölgelerinde turkuaz, yeşilimsi ve petrol mavisi tonlarının ortaya çıktığı belirlenmiştir. Bu renklemelerin, bakırın cam bünyesi içerisindeki lokal kimyasal etkileşimleri ve sıcaklık farklılıklarıyla ilişkili olduğu değerlendirilmektedir.

Üfleme yöntemiyle oluşturulan içi boş formlar ile kütsel cam formlar karşılaştırıldığında, bakır telin cam içi uygulamalarda kütsel formlarda daha yoğun ve derinlikli bir görsel etki yarattığı, içi boş formlarda ise cam kalınlığının sınırlı olması nedeniyle bu etkinin görece daha zayıf kaldığı tespit

edilmiştir. Uzun bakır tellerin kullanıldığı uygulamalarda ise telin camın genişleme davranışını kısmen sınırlandırdığı, özellikle sıcak cam üfleme sürecinde form kontrolünü zorlaştıran bir unsur olarak öne çıktığı belirlenmiştir. Bu durum, bakır telin form verici süreçlerde bilinçli ve önceden planlanmış bir tasarım yaklaşımıyla kullanılmasının önemini ortaya koymaktadır.

Şeffaf ve opak beyaz cam zeminler üzerinde elde edilen sonuçların karşılaştırılması, opak beyaz camın bakır telin camla etkileşimini daha görünür kıldığını göstermiştir. Özellikle cam içi uygulamalarda oluşan renk değişimlerinin beyaz zemin üzerinde daha güçlü bir kontrast yarattığı ve bakır telin görsel etkilerinin daha net şekilde algılanabildiği sonucuna varılmıştır. Bu bağlamda opak cam kullanımı, cam-metal etkileşimlerinin incelenmesine yönelik deneysel çalışmalarda önemli bir gözlem aracı olarak değerlendirilebilir.

Gerçekleştirilen stres analizleri, bakır tel kullanımının uygun tavlama koşulları altında cam bünyesinde kritik düzeyde bir iç gerilim oluşturmadığını ortaya koymuştur. Polariskop incelemelerinde gözlemlenen düşük düzeyli ve yumuşak geçişli gerilim desenleri, cam formların yapısal bütünlüğünü tehdit etmeyen nitelikte olup, uygulanan tavlama rejiminin etkinliğini doğrulamaktadır. Bu bulgu, bakır telin sıcak cam üfleme ve sıcak cam serbest biçimlendirme süreçlerinde yapısal açıdan güvenli bir biçimde kullanılabileceğini göstermesi açısından önemlidir.

Sonuç olarak bu çalışma, bakır telin sıcak cam uygulamalarında estetik, yapısal ve deneysel potansiyelini ortaya koyarak cam sanatında malzeme çeşitliliğine yönelik yeni açılımlar sunmaktadır. Bu bağlamda araştırmamızın, ilerleyen çalışmalarda farklı metal türleri, tel kalınlıkları, atmosfer koşulları ve kontrollü fırın ortamlarında yürütülecek deneysel uygulamalar için bir başlangıç ve referans niteliği taşıdığı düşünülmektedir.

Kaynakça

- Araz Eskinazi, E. G. (2017). Cam üfleminin, cam sanatı eğitimindeki yeri [Yüksek lisans tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. (Tez No: 481323)
- Branam, C. (1998). Glassblowing: Theory and practice [Unpublished senior thesis, Texas Tech University, College of Arts and Sciences].
- Candy, L. (2006). Practice based research: A guide. Creativity ve Cognition Studios, University of Technology, Sydney. <https://www.creativityandcognition.com/wp-content/uploads/2011/04/PBR-Guide-1.1-2006.pdf>
- Cummings, K. (2001). *Techniques of kiln-formed glass*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press.
- Erdal, G. (2023). Camda Sanat, Sanatsal İncelikte Üfleme Tekniği ve Anadolu Medeniyeti. *Uluslararası İnsan ve Sanat Araştırmaları Dergisi (IJARS)*, 8(E.Ş. Özel Sayısı), 27-38. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8256919>
- Hacızade, F. (2019). *Seramiğin kimyası*. Konya: Çizgi Kitabevi.
- Haunstein, L., ve Wycheck, A. (2012). *Basic glass fusing: All the skills and tools you need to get started*. Mechanicsburg, PA: Stackpole Books.
- Hendekcigil, H. F. (2019). Sıcak cam şekillendirme yöntemi ile diğer cam şekillendirme yöntemlerinin birleştirilmesi [Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. (Tez No: 579652)

- Kılıç, A. C. (1995). Cam üretiminde üfleme yöntemiyle biçimlendirme [Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. (Tez No: 41315)
- Kohler, L. (1998). *Glass: An artist's medium*. Iola, WI: Krause Publications.
- Küçükerman, Ö. (1985). *Cam sanatı ve geleneksel Türk camcılığından örnekler*. Ankara: Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları.
- Olçay Uçkan, B. (2008). Cam Tarihine Genel Bir Bakış. *Anadolu Sanat*, (19), 97-110.
- Özkaya, E., ve Yeşilay, S. (2018). Sanatsal camlarda kemik tozu kullanımı. *Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Dergisi (IBAD)*, 3(1), 194-203. <https://doi.org/10.21733/ibad.373826>
- Özsolak, İ., ve Yeşilay, S. (2017). Sıcak cam üfleme tekniğinde lüster etkisinin araştırılması. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 10(4), 21-28. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/393510>
- Rasmussen, S. C. (2012). *How glass changed the world: The history and chemistry of glass from antiquity to the 13th century*. Heidelberg: Springer Science ve Business Media.
- Shelby, J. E. (2005). *Introduction to glass science and technology* (2nd ed.). Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Smith, H. ve Dean, R. T. (Ed.). (2009). *Practice-led research, research-led practice in the creative arts*. Edinburgh University Press.
- Taştemür, E. (2017). Arkeolojik veriler ışığında camın tarihsel süreci. *Trakya Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Dergisi*, 7(13), 67-91.
- Tulane University, (2017). *Tulane University student glass handbook*. New Orleans, LA: Tulane University, School of Liberal Arts.

Görsel Kaynakça

Görseller yazara aittir.

** Önerilen Atıf

- Aydın, M. (2026). Sıcak Cam Biçimlendirme Tekniklerinde Bakır Telin Camla Etkileşimi Üzerine Deneysel Bir İnceleme. *Uluslararası İnsan ve Sanat Araştırmaları Dergisi*, 11(1), 160-177. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18806321>

Çatışma Beyanı

Makalenin herhangi bir aşamasında maddi veya manevi çıkar sağlanmamıştır.

Yayın Etiği Beyanı

Bu makalenin planlanmasından uygulanmasına, verilerin toplanmasından analizine kadar tüm süreçlerde “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında belirtilen kurallara uyulmuştur. Yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında tanımlanan eylemlerden hiçbiri gerçekleştirilmemiştir. Araştırmanın yazım sürecinde bilimsel, etik ve alıntı kurallarına riayet edilmiş, veriler üzerinde herhangi bir tahrifat yapılmamıştır. Ayrıca bu çalışma, başka bir akademik yayın ortamına değerlendirilmek üzere gönderilmemiştir.