

Işığa duyarlı soda-kireç camlarının sentezi ve karakterizasyonu

Arca İYİEL*, Süheyla AYDIN, Onuralp YÜCEL

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Işığa duyarlı camlar, özel bir bileşime sahip olup mor ötesi (UV-ultraviolet) ışın yardımıyla çeşitli renklerin elde edildiği camlardır. Işığa duyarlı cam, cam harmanının hazırlanması, elde edilen camın geleneksel yöntemlerle şekillendirilmesinin ardından içeriğinde bulunan elementlerin UV ışınının aktinik özellik göstererek camın mikroyapısında değişikliklere neden olmasıyla elde edilmektedir. Cam içeriğinde bulunan kolloid metal olan gümüşün, cam içerisindeki boyut ve dizilimine bağlı olarak, camın saydam ya da opak olması sağlanabilmektedir. Bu çalışmada daha önce patenti alınan ana cam kompozisyonu olarak sodyum silikat yerine, soda-kireç camı seçilmiş ve camın ticari olarak üretilme olanağı incelenmiştir. Ayrıca, ışığaduyarlı camların kompozisyonunda ana camı renklendirmeyecek miktarda Ho_2O_3 eklenmesinin etkileri irdelenmiştir. Mevcut ticari kompozisyonuna gümüş, alkali oksit, florür ve klorür, bromür ve iyodür grubundan en azından birini içeren ve Ce_2O_3 kullanımıyla 2000 W gücünde UV ışın kaynağı kullanılarak bu ışının aktinik radyasyon etkisi gösterdiği camın üretilmesi ve farklı oranlarda holmiyum oksit eklenmesiyle cam üzerindeki ve fotokimyasal süreç sonrası spektrometrik etkisi incelenmiştir. Ho_2O_3 eklenmesi ile cama fotokimyasal proses uygulaması ardından numunelerde beklendiği gibi, görünür bölgede fazla değişim olmamasına karşın yapıda değişim olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada, cam kompozisyonunun sodyum silikat matrisinden soda-kireç-silis cam matrisine modifiye edilmesi ve fotokimyasal proses aşaması için geliştirilen UV lamba sisteminin kullanımı ile Ho_2O_3 içeren camlara ışığa duyarlılık özelliği verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Işığa duyarlı cam, renklendirme, optik karakterizasyon.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Arca İYİEL. aiyiel@siseecam.com; Tel: (212) 459 55 33.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Işığa duyarlı soda-kireç camlarının sentezi ve karakterizasyonu" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 30.01.2009 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 10.03.2009 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.11.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Synthesis, production and characterization of soda-lime photosensitive glasses

Extended abstract

For centuries, as an attractive feature in glass design, colour is one of the most important factors in glass production. Coloured glasses have always taken a special place in the assortment of every glass producer and for their production different methods have been developed. Photosensitive glasses, which have special compositions, can be produced in a variety of colours with the help of UV (ultraviolet) radiation. After preparing the glass batch, the melting and glassification are carried out by applying conventional methods. In a second step, with the help of special materials in the recipe, the actinic radiation applied changes the microstructure of the glass. The resulting glass becomes photosensitive. Depending on the size, shape and orientation of colloidal metal particles, such as silver, the transparency of glass can be controlled and even opaque materials can be obtained. Photosensitive glasses have sodium silicate base glass composition, are known in various colors in opal or transparent form for many years ever since they were patented in 1977. These have been produced by applying conventional methods. They contain alkali halide silver (AgX), alkali oxide, fluorine, and at least one of the following substances: chlorine, bromine or iodine. Later on they are exposed to high energy or actinic radiations followed by a unique heat treatment. However, because of the instability within the end product and having a slow reaction rate, this product has never been commercially feasible, its applications have always been limited.

At the beginning of the experiments, the glass batches to produce photosensitive glass were prepared by adding glass forming oxides, silver, alkali oxides, cerium oxide, antimony oxide, tin oxide, fluoride, chloride, bromide and iodide. These batches were then melted following the conventional method of glass production. The glass samples were exposed to UV (ultraviolet) radiation at room temperature. This was followed by a first heat treatment and a second UV exposure. Finally, a second heat treatment was applied after which samples were left in the furnace to cool down to room temperature. This photochemical process was carried out in a specially designed temperature-controlled box that was equipped with a UV lamp. Depending on the UV

exposure time and the heat treatment temperature, a variety of colours can be produced with this photochemical process.

The present study shows the effects of addition of Ho_2O_3 , for the first time in literature. Optical characterization has been also performed before and after UV exposure. In this study, a soda lime silica glass composition was chosen instead of sodium silicate in order to produce a commercially more feasible glass. The photosensitive glasses were designed by adding the following substances: silver as sensitizer and colorant, Sb_2O_3 as thermal sensitizer, SnO as redox and refining agent, CeO_2 as optical sensitizer, and compounds of alkali halides with Na and Ag ions to form a crystalline structure. Photosensitive glasses have been produced in laboratories for over 30 years but at very high costs and without having been able to achieve the necessary stability. The aims of this study can therefore be described as; the modification of base glass in soda lime silica glass matrix, the optical characterization of the final product, the development of a new system for the photochemical process to be used in mass production, evaluating the effect of Ho_2O_3 , on glass in visible range. Beside these, gaining knowledge on nature of photosensitivity before and after photochemical process studied. Despite its low absorption in the UV region, the effect of Ho_2O_3 , on the properties of photosensitive glasses was also studied. The amount of holmium oxide was chosen so as to keep base glass colourless and was determined experimentally. The effects of changing the amount of holmium oxide on the photosensitivity of glass composition were also determined. Furthermore, the relationship between the photochemical process and the time and temperature of the heat treatments were examined for all compositions that were used in this study. By modifying chemical composition and using inhouse UV lamp system, photosensitivity can be reached in soda lime silica glass matrix.

The results showed that modification of soda-lime-silica composition with doping minor amount of holmium oxide cause small change in resultant color. However, result of solar degradation can be minimized by the help of applied photochemical process. It is expected that with increasing amount of Ho_2O_3 above 0.06 % level this effect is predominant.

Keywords: Photosensitive glass, colored glass, optical characterization.

Giriş

Günlük yaşantıda yoğun kullanımı olan camın kompozisyonunda ve yapısında değişiklik yapılarak gereksinim duyulan özelliklerine göre farklılaştırılması sağlanabilmektedir. Geleneksel camlar, soda-kireç camlarıdır ve bu camlara farklı özellikler kazandırmak amacıyla ana cam matrisinin değiştirilmesi yanısıra özellik katıcı minör elementlerin eklenmesi, farklı ısıl rejimlerden geçirilmesi, cam mikro yapısının değiştirilmesi gibi yöntemler kullanılmaktadır.

Yüzyıllardır üretilen ve insanlığın hizmetine sunulan cam ürünlerinde en göz alıcı özellik olan renk, aynı zamanda ürüne çekicilik kazandıran bir faktör olarak da ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle renkli camlar her zaman üreticilerin ürün yelpazesi içinde bulunmuş ve çeşitli prosesler uygulanarak üretilmeye çalışılmıştır. Günümüzde ve geçmişte sıklıkla uygulanan renksiz camın ana tank fırınında renklendirilmesi özellikle büyük miktarlarda üretim söz konusu olduğu zaman ya da indirgen koşullar gerektiren camlar için devam ederken son onlu yıllarda gelişen teknolojilerle cam üretiminin son aşamasında, henüz sıcak ve akışkan iken, forehearth'da renklendirme de uygulama bulmuştur. Ana tank içinde, harmandan renklendirme çoğu zaman metal oksitlerle yapılırken, forehearth'ta farklı yöntemlerle üretilmiş renklendiriciler yardımıyla (renk konsantresi ya da frit) camın renklendirilmesi üretim prosesinin son aşamalarında yapılmaktadır. Harmandan renklendirme yöntemine göre gerek üretim esnekliği gerekse verimlilik yanısıra düşük hacimli üretim yapılabilmesi sonucunda stok maliyetlerindeki azalma ve daha düşük enerji tüketimleri gibi avantajları bulunan forehearth'ta renklendirme ticari üretimlerde sıklıkla uygulanmaktadır.

Belirtilen avantajları yanısıra cam kütlelerinin renklendirilmesinde her iki metodun yetersiz kaldığı durumlar vardır. Örneğin ağır metallerin oksitleriyle (cama kırmızı renk veren CdO gibi) üretilen camların insan sağlığı açısından tehlikeli olması nedeniyle bu ürünlerde yiyecek-içecek saklanamamaktadır. Bunun yanısıra çok oksidan ya da indirgen koşul gerektiren renklerin üretimi

geleneksel yöntemlerle ya çok zor elde edilebilmekte ya da kararlılığını sağlamada problem yaşanmaktadır. Söz konusu renklendirme metodlarının diğ er yetersizliği ise tek kütle içerisinde farklı renklerin bir araya getirilmesi sırasında görülmektedir. Bu camların ısıl genişleme katsayılarının yakın değerlere getirilmesi ve hızlıca birleştirilmesi gerekmektedir. Bu da, seri üretimde pek olanaklı olmamakta, zamanlamanın iyi yapılamaması durumunda ürün kaybına neden olmaktadır.

Yukarıda sıralanan nedenler ve problemlere çözüm olarak ışığ a duyarlı camların kompozisyonunun soda kireç camlarına modifiye edilerek ticari anlamda kullanılabilmesi düşünülmüştür. Bilinen anlamda ışığ a duyarlı camlar, özel bir kompozisyona sahip olup mor ötesi (UV-ultraviolet) ışın yardımıyla renk değiştiren camlardır. Söz konusu cam, geleneksel yöntemlerle hazırlanıp şekillendirilmesinin ardından içeriğinde bulunan elementlerin UV ışınının aktinik özellik göstererek camın mikroyapısında değişikliklere neden olmasıyla elde edilmektedir. Burada, cam içeriğinde bulunan kolloid metal olan gümüşün cam içerisindeki boyut ve dizilimine bağlı olarak da camın saydam ya da opak olması sağlanabilmektedir.

Genel olarak ışığ a duyarlı cam üretiminde kullanılan cam bileşimi Tablo 1'de verilmiştir. Sodyum silikat cam matrisine duyurgaç (sensitizer) ve renklendirici olarak gümüş; ısıl duyurgaç olarak antimontrioksit, redoks ve afinyasyon ajanı olarak kalayoksit, optik duyurgaç olarak seryum oksit yanısıra sodyum ve gümüş ile kristal yapının oluşmasında rolü olan halojenürler eklenerek ışığ a duyarlı cam kompozisyonu tasarlanabilmektedir, (Stookey vd., 1978; Pierson vd., 1977). Ancak, cama verilen renk kalıcı olmakla beraber renkte kararlılık sağlanamaması ve reaksiyon hızının yavaşlığı nedeni ile bu tip camlar ticari anlamda kullanım alanı bulamamıştır.

Işığ aduyarlı camların kullanım alanları dekoratif cam ev eşyası, renkli ve renksiz opal cam, şerit ya da plaka camda renklendirme, gökkuşağı efektli camlar, çeşitli sanatsal uygulamalar, veri

saklama amaçlı olarak optoelektronik endüstrisinde ve yüksek sıcaklık ile aşınma dayanımı gereken koşullarda, örneğin füze radomu olarak ön görülmektedir. Işığa duyarlı cam tanımında yeralan aşındırılabilir, yontulabilir dantelimsi yapıdaki camlar daha çok sanatsal amaçla ve elektronik devrelere altlık (substrate) olarak üretilmektedir (Trotter, 1991).

Tablo 1. Işığa duyarlı cam üretiminde kullanılan cam bileşimi (%) (Rawson, 1991)

| | Ağırlıkça % | Fonksiyonu |
|--------------------------------|-------------|---------------------------|
| SiO ₂ | 60-70 | |
| Na ₂ O | 14-18 | |
| ZnO | 1-10 | cam matrisi |
| Al ₂ O ₃ | 1-10 | |
| F ⁻ | <5 | kristal yapıcı |
| Br ⁻ | 1-2 | (Na ve Ag ile) |
| Ag ⁺ | <1 | Duyurgaç ve renklendirici |
| CeO | <1 | Optik duyurgaç |
| Sb ₂ O ₃ | <1 | Isıl duyurgaç |
| SnO | 0-0.10 | Redoks ve afinasyon ajanı |

Bu çalışmada, cam bileşiminin ticari soda kireç cam matrisine uyarlanarak Ho₂O₃ eklenmesiyle camın ışığa duyarlılığının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Deneysel çalışmalar

Deneysel çalışmalarda ticari cam bileşimi kullanılarak ışığa duyarlı cam üretimi ve cam harmanına holmiyum kaynağı olarak Ho₂O₃ eklenerek camda görünür ve UV bölgede meydana gelen etkisi incelenmiştir.

Çalışma süresince cam üretiminde kullanılan hammaddeler ve kimyasallar aşağıda verilmiştir:

AgI: BDH Laboratory Reagent, >%98 Ag
NaBr, CeO₂, Sb₂O₃, SnO, ZnO: Merck kalitede,
Ho₂O₃: Merck kalitede,
Kuars, kriyolit, kalker, dolomit, soda, NaCl: Düşük demiroksitli, ticari kalitededir.

Deneylerde kullanılan ticari hammaddelerden kuvars, kriyolit (Na₃AlF₆), kalker ve dolomit

cam harmanında demiroksitin düşük olması amaçlanarak cam ev eşyası hammaddelerinden seçilmiştir. Saflıkları ticari kullanım için olabildiğince yüksektir.

Holmiyum oksit, kristal oluşturuçular, optik ve ısı duyarğaçlar ile redoks ve afinasyon ajanları Merck kalitede, duyurgaç olan Ag ise yine laboratuvar kullanımını saflığındadır (Ag>%98).

Camın hazırlanması

Deneysel çalışmalar iki farklı temel cam harmanını kullanarak yapılmıştır. İlk harman daha önce üzerinde çalışılan sodyum silikat cam matrisi, ikincisi ise soda kireç cam matrisine sahip ticari cam bileşimidir. Bu harmanlara ışığa duyarlılık özelliği sağlayan bileşikler eklenerek cam numuneleri hazırlanmıştır.

Bu çalışmada değerlendirilen soda kireç silis cam numunelerin teorik kimyasal bileşimleri Tablo 2’de yer almaktadır.

Tablo 2. Ho₂O₃ içeren soda kireç silis cam numunelerin teorik kimyasal bileşimleri (%Ağ.)

| Bileşen | SLS-1 Ho ₂ O ₃ : %0.02 | SLS-2 Ho ₂ O ₃ : %0.04 | SLS-3 Ho ₂ O ₃ : %0.06 |
|------------------------------------|--|--|--|
| SiO ₂ | 63.09 | 63.07 | 63.05 |
| Al ₂ O ₃ | 1.86 | 1.86 | 1.86 |
| CaO | 8.21 | 8.21 | 8.21 |
| MgO | 4.31 | 4.31 | 4.31 |
| Na ₂ O | 14.01 | 14.01 | 14.01 |
| ZnO | 4.80 | 4.80 | 4.80 |
| Ag ⁺ | 0.0100 | 0.0100 | 0.0100 |
| I ⁻ | 0.0390 | 0.0390 | 0.0390 |
| F ⁻ | 1.30 | 1.30 | 1.30 |
| Br ⁻ | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Cl ⁻ | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Sb ₂ O ₃ | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| SnO | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| CeO ₂ | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
| Ho₂O₃ | 0.02 | 0.04 | 0.06 |

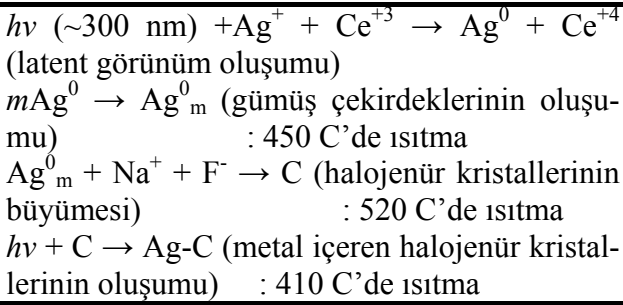
Tablo 2’den görüleceği üzere cam bileşimi soda-kireç-silis matrisindedir. Tüm numunelerin ana cam kompozisyonu sabit tutularak yalnızca Ho₂O₃ miktarında değişim yapılmıştır. Deneysel çalışmada teorik alınan Ag kalıcılığı %30 olup F ve Br için %50 kalıcılıkla reçete hazırlanmıştır.

Hazırlanan harmanın 2 saat 1450 °C’de ergitilmesi ardından cam şekillendirilir ve bu aşamada içerisinde oluşan gerilimlerin uzaklaştırılması amacıyla tavllanır.

Fotokimyasal proses

Ergitme ve şekillendirme ardından gerilimi uzaklaştırılmış numune UV pozlamaya hazır duruma getirilir. Ce^{+3} iyonundan uzaklaştırılan elektronun Ag^+ tarafından tutulması ilk 20-200 saniye arasındaki UV pozlama süresinde gerçekleşir. Daha sonra yaklaşık 450 °C’de 15 dakika ve 520 °C’de 1 saat ısıtılır. Isıl işlemin ilk aşamasında gümüş metali aglomere olur. İkinci aşama ısıl işlem, çekirdeklenerek oluşan gümüş sodyum halojenür kristallerinin büyümesinin ısıl işlemin süresiyle kontrol edilebilmesi açısından önemlidir (Stookey vd., 1978) İkinci pozlama ve ısıl işlem aşamasında, kalan gümüş biraz daha indirgenir ve sonra NaF kristalleri içerisine girer ve bu kristalleri kaplar. Bu çalışmada 2.UV pozlama süresi için belirlenen optimum süre 6 dakika olmuştur. Isıl işlem ise 410 °C’de gerçekleştirilir. Ag^+ iyonunun indirgenme ve büyüme mekanizması Tablo 3’te verilmiştir (Stookey vd., 1978)

Tablo 3. Fotokimyasal reaksiyonlar (Stookey vd., 1978)



* C=NaF kristali ve Ag-C=Ag ile dolu NaF kristalidir.

Fırının ön kısmına kuvars bir pencere yerleştirilerek camdaki Ag^+ iyonunun indirgenmesi için uygulanan I.UV pozlama sırasında tavlama fırından yayılan ısıdan yüksek basınçlı UV lambanın daha az etkilenmesi sağlanmıştır. Ayrıca, fan yardımıyla soğutma yapılmaktadır. Osram firmasının ürünü olan HBO 2001 W/CIL isimli doğrusal akımlı civa kısa arkına (direct current mercury short arc) sahiptir. Söz konusu lamba-

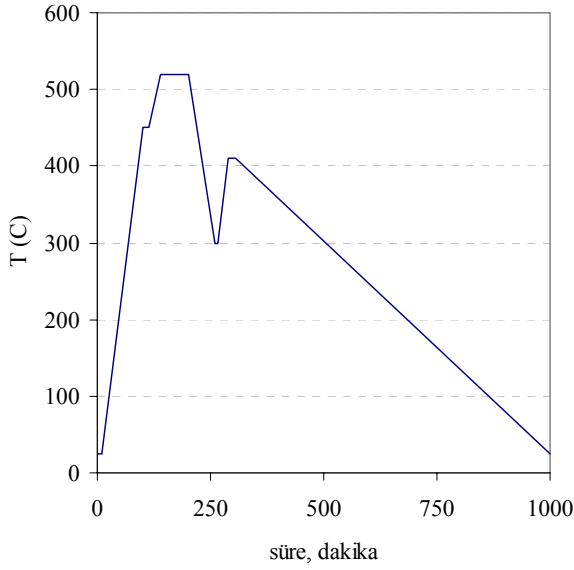
nın, UV ve görünür dalgaboyu bölgelerinde çok yüksek yoğunlukta radyasyon yayması ve yüksek basınçlı olması nedeniyle özel bir kutu içerisinde kullanılması gerekmektedir. Kurulan sisteme ait fotoğraf Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Fotokimyasal proseste kullanılan yüksek akımlı Hg lamba sistemi

Fotokimyasal proseste uygulanan ısıl rejim Şekil 2’de özetlenmiştir. Şekil 2’de verilen fotokimyasal prosesin sıcaklık ve süre grafiğinde görüldüğü gibi ilk 10-200 sn arası, oda sıcaklığında, I. UV pozlama yapılmıştır. Daha sonra içerisinde bulunan numune ile yaklaşık 100 dakikada 450 °C sıcaklığa ısıtılan fırın 15 dakika burada bekletilmiş, ardından yaklaşık yarım saatte 520 °C’ye çıkarılmıştır.

İçerisinde numune bulunan fırın bu sıcaklıkta 1 saat bekletildikten sonra fırın kapatılarak 300°C’ye düşürülmüş ve II.aşama pozlama bu sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Bu son pozlama ardından fırın 410 °C’ye yükseltilecek 15 dakika bu sıcaklıkta bekletilmiş ve fırın kapatılarak serbest soğuma ile oda sıcaklığına düşmesi için yaklaşık 11-12 saat bekletilerek sonrasında numune fırından alınmıştır.



Şekil 2. Deneysel çalışmalarda uygulanan fotokimyasal prosesin sıcaklık profili

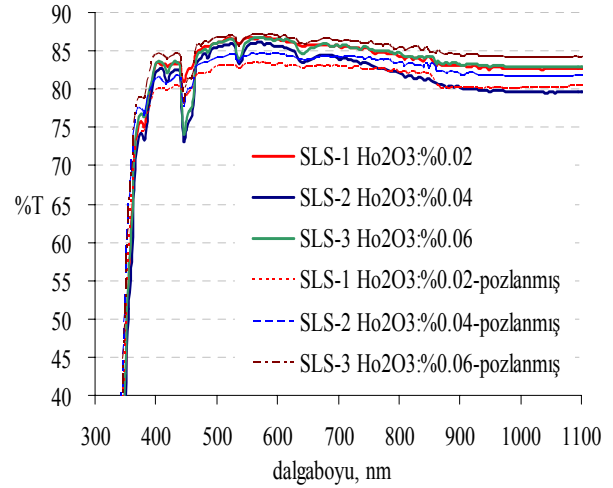
Sonuçlar

UV bölgede düşük de olsa absorpsiyonu olan Ho_2O_3 'ün cama eklenme oranları belirlenirken görünür bölgede renk üzerinde etkisi olmayacak miktarlar belirlenmiş, fotokimyasal proses sonrası numunelerin maskelenen kısmının renksiz ve saydam kalması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada değerlendirilen teorik Ho_2O_3 miktarları %0.02, %0.04 ve %0.06'dır. Şekil 3'te yer alan spektrumda bu camların fotokimyasal proses öncesi ve sonrasına ait 300-1100 nm arası %ışık geçirgenliğinde meydana gelen değişim görülmektedir. Camda holmiyum oksit artışı spektrumda sırasıyla en fazla absorpsiyonunun olduğu 445, 460, 453 ve UV bölgede 361 nm'de net olarak ayırt edilebilmektedir. Ho_2O_3 'ün en yüksek absorpsiyona sahip olduğu 445 nm dalgaboyunda Ho_2O_3 artışına paralel olarak %geçirgenlik grafiği aşağıya kaymış, yani bu noktalarda absorpsiyonu artmıştır.

Fotokimyasal proses öncesi ve sonrasında yukarıda belirtilen dalgaboylarında holmiyum absorpsiyonlarında değişim gözlenmiştir. Ce_2O_3 ve Er_2O_3 'ten sonra spektrumun UV bölgesinde en yüksek absorpsiyona sahip olan Ho_2O_3 bu nedenle incelenmeye değer görülmüştür. Ancak, Ce_2O_3 ve Er_2O_3 'ün UV bölgedeki absorpsiyon

katsayılarının Ho_2O_3 'den yüksek olduğu (UV bölgede lineer absorpsiyon katsayısı, Er_2O_3 'ün (379nm'de) 1.10, Ho_2O_3 'ün (361 nm'de) 0.36), bunun da fotokimyasal proses sonucunu, Tablo 4 ve 5'de verildiği gibi, etkilediği belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Ho_2O_3 içeren numunelerin fotokimyasal proses öncesi ve sonrasına ait spektrumları (standart kalınlık: 10 mm)

Numunelerin ASTM 308-06 ile cam rengi, EN 410 standardı ile de optik performansları standart kalınlık 10 mm baz alınarak hesaplanmıştır. Buna göre, %0.02 ve %0.04 Ho_2O_3 içeren numunelerde ışık geçirgenliği sırasıyla %3.4 ve %0.9 azalırken holmiyum oksitinin %0.6 seviyesine çıkışıyla fotokimyasal proses sonrası ışık geçirgenliği %0.7 kadar yükselmiştir. Buna karşılık güneş enerjisi geçirgenlikleri %0.2 Ho_2O_3 içeren numunede %2.6 azalırken, bu miktarın üzerinde Ho_2O_3 içeren numunelerde (%0.4 ve %0.6) sırasıyla %0.7 ve %0.9 oranında artmıştır. Numunelere ait renk ve optik performans verileri fotokimyasal proses öncesi Tablo 4'te, sonrası ise Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 4 ve 5'te yer alan renk parametreleri karşılaştırıldığında fotokimyasal proses sonrası %0.02 ve %0.04 Ho_2O_3 içeren numunelerde %parlaklık değerinin de ışık geçirgenlik değerine paralel olarak sırasıyla %3.3 ve %1.1 kadar azaldığı, %0.06 Ho_2O_3 içeren numunede ise %geçirgenlik değerinin %0.6 arttığı görülmek-

tedir. Bu numunelerin renk diyagramındaki konumları Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4'ten görüldüğü üzere fotokimyasal proses sonrası tüm numunelerde renk daha nötr pozisyona doğru kaymıştır.

Tablo 4. Holmiyum oksit içeren numunelere ait fotokimyasal proses öncesi renk değerleri (standart kalınlık: 10 mm)

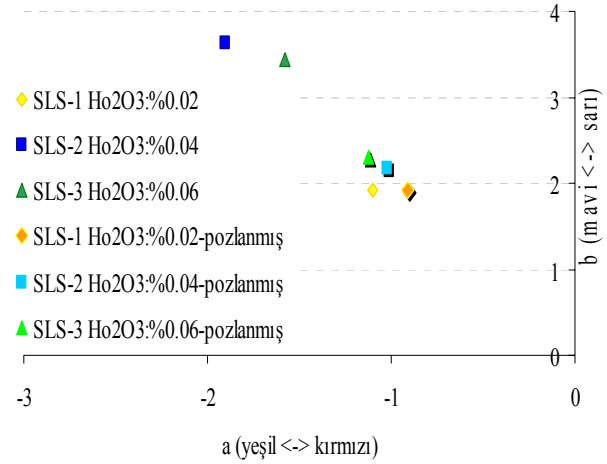
| Ho_2O_3 | SLS-1 | SLS-2 | SLS-3 |
|------------------------------|--------|--------|--------|
| Ho_2O_3 | %0.02 | %0.04 | %0.06 |
| x | 0.3123 | 0.3141 | 0.3142 |
| y | 0.3207 | 0.3242 | 0.3236 |
| %Parlaklık | 86.4 | 85.3 | 86.0 |
| L* | 94.47 | 93.99 | 94.32 |
| a* | -1.10 | -1.91 | -1.58 |
| b* | 2.04 | 3.64 | 3.44 |
| %Işık geçirgenliği | 86.4 | 85.3 | 86.0 |
| %Güneş enerjisi geçirgenliği | 82.7 | 80.7 | 82.5 |
| Fe ²⁺ | 0.0052 | 0.0070 | 0.0050 |

Tablo 5. Holmiyum oksit içeren numunelere ait Şekil 2'de verilen fotokimyasal proses adımları sonrası renk değerleri (standart kalınlık: 10 mm)

| Ho_2O_3 | SLS-1 | SLS-2 | SLS-3 |
|------------------------------|--------|--------|--------|
| Ho_2O_3 | %0.02 | %0.04 | %0.06 |
| x | 0.3124 | 0.3127 | 0.3128 |
| y | 0.3204 | 0.3209 | 0.3212 |
| %Parlaklık | 83.1 | 84.2 | 86.6 |
| L* | 93.06 | 93.55 | 94.58 |
| a* | -0.91 | -1.02 | -1.12 |
| b* | 1.92 | 2.18 | 2.31 |
| %Işık geçirgenliği | 83.0 | 84.3 | 86.7 |
| %Güneş enerjisi geçirgenliği | 80.1 | 81.4 | 83.6 |
| Fe ²⁺ | 0.0066 | 0.0058 | 0.0044 |

Işığa duyarlı camların soda-kireç camı matrisinde ve içerisine az miktarda Ho_2O_3 eklenerek üretimi ve karakterizasyonu çalışmasında UV bölgede çok yüksek absorpsiyonu olmamasına

karşın farklı oranlarda eklenen Ho_2O_3 'in camın özellikle optik performansı üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada camın istenen bölgelerinde renklenme olmaması amaçlandığı için camın ilk üretimi sonrasında da cam renginin olabildiğince yüksek geçirgenlikte olması hedeflenmiştir. Bu nedenle camın rengini etkileyecek seviyede holmiyum oksit kullanımından sakınılmıştır.



Şekil 4. SLS-1-3 numunelerinin a,b renk diyagramındaki konumları (standart kalınlık: 10 mm)

Teorik kullanım miktarının %0.06 seviyesinden artırılması durumunda ışığa duyarlılık etkisinin yalnızca optik performansta değil, renkte de kayda değer değişime neden olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Pierson, J.E. ve Stookey, S.D., (1977) Method for making photosensitive colored glasses, Patent no: US4057408.
- Rawson, H., (1991). Glasses and their applications, The Institute of Metals.
- Stookey D., Beall, G.H. ve Pierson J.E., (1978). Full-color photosensitive glass, *Journal of Applied Physics*, **49**, 10, 511-4 51.
- Trotter, D., (1991). Photochromic and photosensitive glass, *Scientific American*, **4**, 56-61.