

Dijital Baskı Prosesinin Beyaz Eşya Temperli Camlarına Uygulanmasının Araştırılması

Kerem KÖRPE

YORGLASS Cam. San. Ve Tic. A.Ş. Bolu, Türkiye, kerem.korpe@yorglass.com, ORCID: 0000-0001-6652-8244

Cam işleme tesislerimizde mevcutta ipekle serigrafi baskı yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada serigrafi baskı kullanılarak üretilen temperli beyaz eşya camlarının dijital baskı yöntemi ile üretilmesi ve araştırılması amaçlanmaktadır. Mevcuttaki üretimde tasarımda talep edilen her bir renk için bir veya birden fazla baskı prosesinden geçmesi gerekmektedir. Beyaz eşya sektöründeki rekabetin ve inovatif tasarım taleplerinin giderek arttığı günümüzde, özgün tasarımların bazılarını mevcut serigrafi baskı yöntemi karşılayamamaktadır. Dijital baskı yöntemiyle; sadece 6 ana renk kullanılarak yüzlerce renk oluşturulup baskı yapılması, karmaşık desenlerin yarı-saydam, gölgelendirme gibi baskı teknikleriyle basılması, maliyetleri ve ek prosesleri azaltması vb. avantajlar sağlanmaktadır. Bu çalışmada dijital baskı makinesi ile numune çalışmaları yapılmış, üretilen numunelere uygulanan testler ve kalite kontrolleri ile sorunlar belirlenmiştir. Belirlenen sorunların meydana geliş sebepleri ve uygulanabilecek çözümler ortaya konmuştur. Dijital baskının, serigrafi baskı yerine kullanılması durumunda ortaya çıkacak maliyet, verimlilik ve süre avantajları gösterilmiştir. Dijital baskı yönteminin hangi tip ürünlerde ve hangi tasarım aşamalarında kullanılacağı belirlenerek dijital baskının uygulanabilirliği araştırılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Dijital Baskı, Temperli Cam, Cam İşleme, Serigrafi Baskı

© 2022 Published by AInteliala

1. Giriş

İşletmelerimizde mevcutta serigrafi baskı yöntemi kullanılmaktadır. Metal bir çerçeveye gerilen polyester türdeki ipek kumaşın pozlama yapılarak istenilen bölgeleri boşaltılır ve böylece bir kalıp haline gelir. Bu kalıba bir ragle (ağzı keskin bir kauçuk) yardımı ile baskı yapılması sonucu üründe istenilen yüzeyin boyanması yöntemine serigrafi baskı yöntemi denir. Bu projede serigrafi baskı kullanılarak üretilen temperli beyaz eşya camlarının dijital baskı yöntemi ile üretilmesi, karşılaşılan problemlerin çözümü, analizi ve geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Mevcuttaki üretimde tasarımda talep edilen her bir renk için bir veya birden fazla baskı prosesinden geçmesi gerekmektedir. Her bir baskı prosesi bir baskı makinesi ve ipek kasmağını içermektedir. Beyaz eşya sektöründe rekabetin ve yaratıcı tasarımların giderek arttığı günümüzde farklılaşan tasarımların bazılarını mevcut serigrafi baskı karşılayamamaktadır. Dijital baskı yöntemiyle; sadece 6 ana renk kullanılarak RAL ve çeşitli kataloglardaki yüzlerce renk oluşturulup baskı yapılması, tasarımdaki çok ince detayların dahi baskıda net çıkması, maliyetleri ve ek prosesleri azaltması gibi avantajlar sağlanmaktadır.

Bu projede dijital baskı makinesi ile tasarımsal kısıtlar ve yapılabilirlik seviyeleri belirlenecek. (Minimum çizgi kalınlığı, baskı yapılacak camların ebat kısıtları, opaklık değeri, çizilme direnci, kimyasal test sonuçları vb.) Kalite riskleri ve hataların tespiti yapılacak. Ortaya çıkan problemlerin detaylı analizinden sonra kök sebep tespitleri yapılarak problemlerin çözülmesi hedeflenmektedir. İleride yapılacak çalışmalarda yapılan prototip çalışmalarına göre işletme içerisine dijital baskı prosesinin devreye alınmasının maliyet ve kâr analizinin yapılması, çevrim sürelerinin ve verim hesabının yapılması amaçlanmıştır. Dijital baskı makinesi ile hangi tip ürünlerde ve hangi tasarım aşamalarında kullanılacağı belirlenerek dijital baskının uygulanabilirliği araştırılacaktır. Ayrıca mevcut durum ile olması gereken durum tespit edilecek ve prosesin geliştirilmesi sağlanacaktır. Bu amaç doğrultusunda dijital baskı boyaları ile serigrafi baskıda kullanılan emaye boyaların kıyaslaması yapılacaktır. Kıyaslama yapılırken boyalara kimyasal (XRF), mineralojik (XRD) ve mikroyapısal analizler (SEM_EDX) yapılacaktır. Mürekkeplerin tane boyutu (PSD), katı oranı ve yoğunlukları, reolojik özelliklerinin ölçümleri gerçekleştirilecektir. Aynı zamanda mürekkebin ve cam altlığın genleşme katsayıları ve ısı mikroskobu ile ergime davranışları tespit edilecektir.

2. Araştırma

Dijital baskı tekniği, serigrafi tekniğinde kullanılan film, kalıp, pozlama, yıkama gibi unsurların ortadan kaldırılmasıyla dijital çekilmiş bir fotoğrafın ya da taranmış bir resmin, bilgisayar yardımı ile uygun programlarda metin, grafik, çizim vb. görselin hazırlandıktan sonra dijital baskı makineleri yardımıyla doğrudan baskı malzemeleri üzerine basılması işidir.

Günümüzün baskı teknolojisinde yaygın olarak kullanılan kontinü ink jet baskı yöntemi 1965'te Sweet tarafından bulunmuştur. 1967'de Hertz tarafından daha da geliştirilmiştir. Bu alanda diğer bir önemli adım da 1979 yılında HP ve Canon firmalarının aynı yıl içinde DOD teknolojilerini bulmaları ile atılmıştır. Bu buluş istenilen noktaya istenilen renkte nokta basılmasını sağlamıştır.

Baskıyı; şablon kullanılanlar ve kullanılmayan gruplar olarak ayırdığımızda serigrafi, çıkartma, rotatif ve tampon baskı gruplarını şablon ve çerçeve kullanılarak yapılan baskı grubuna alabiliriz. Diğer grupta ise toner transfer, laser çıkartma, inkjet ve UV baskıları da dijital uygulamalar diye adlandırılır.

Günümüzde Avrupa'da yaygınlaşmaya başlamış bir teknoloji olmasına rağmen, ülkemizde seramik endüstrisinin aksine halen cam endüstrisinde yaygın olarak kullanılmamaktadır. Geleceğin tekniği olacak olan düz cam üzerine yapılan dijital baskı tekniği Türkiye'de henüz yeni bir tekniktir.

Dijital baskı teknolojisi sanayi uygulamalarında büyük ölçüde önemli avantajlar getirmektedir. Inkjet teknolojisi 'ekran baskısı' (screen printing) prensibiyle gerçeğe en yakın görüntüler cam ve seramik yüzeylere kolaylıkla basılabilmektedir. Günümüz teknolojisinin hızla gelişmesiyle beraber yıllardır kullanılan serigrafi artık yerini dijital baskı yöntemlerine bırakmaktadır.

Cam endüstrisinde dijital baskı teknolojisinin gelişimi, sanayi ve sanatsal uygulamaları da olumlu yönde etkilemektedir. Dijital baskının diğer baskı tekniklerinden farkı ilk olarak bilgisayarda hazırlanan bir işi kalıp çekimsiz, montajsız, renk ayrımı ve film hazırlamaksızın doğrudan almasıdır. Bu hem zaman hem de ekonomik olarak kazanç sağlar.

Dijital cam baskı teknolojisi ile daha kısa zamanda teslimat, maliyet, zamandan tasarruf, müşteriye özel çözümler, sınırsız renk ve tasarım özgürlüğü, hızlı üretim, sınırsız ölçekli tasarımlar yapılabilir. [1]

Dijital baskı teknolojisi denildiğinde akla tek bir yöntem gelmemelidir. Farklı çalışma prensiplerini içeren bir baskı yöntemidir. Dijital baskı yani inkjet baskı yönteminde; malzemenin altlık yüzeyine temas olmadan dekorlama sağlar. Uygulama şekline göre sürekli inkjet baskı (CIJ) ve tercihli damla püskürtme (Drop on demand-DOD) olmak üzere iki temel baskı yöntemi mevcuttur. Sürekli inkjet dekorlamada öncelikle belirli bir elektriksel iletkenliğe sahip mürekkebin, elektromanyetik dalga altında yüklenmeleri sağlanır. Bu yüklenme sonucunda mürekkep damlaları oluşur ve tekrar elektromanyetik dalga uygulanarak damlalar belirlenen koordinatlara yönlendirilir. Bu yöntem dekorasyondan ziyade barkod uygulamalarında tercih edilmekte ve yalnızca siyah renkte mürekkep kullanılmaktadır. Drop on demand yöntemi dekorasyonda tercih edilen yöntemdir ve elektromanyetik dalga yerine basınçla mürekkep damlaları oluşturulur. Piezoelektrik malzemeden yapılan uçlar basınç değişimi sonrası hacimsel değişim gösterir ve mürekkep damlalar halinde yüzeye püskürtülür. [2,3,4,5,6,7,8]

Dijital baskı tekniğinin baskı işleminin uygulanmasında, öncelikli olarak baskı yapılacak görsel, baskı makinesine entegre olan program ara yüzünde montajı yapılmalıdır. Dijital baskı makinelerinde kullanılan bu yazılımlar, tasarım yapmak amacıyla değildir. Tasarımı yapılmış görsellerin montajlanmaları ve basılabilir hale gelmesi için gerekli olan detaylar için kullanılmaktadır. Programda görselin ölçülendirme, aynalama vb. ayarlamalarının ardından baskı makinesinin ana bilgisayarına dosya olarak gönderilerek görsel baskıya hazır hale gelmektedir.

Düz cam yüzeylere uygulanan dijital baskı tekniğinde, basılacak olan görsel seçildikten sonra bir seri işlemden geçmektedir. Şöyle ki; basılacak olan cam yüzey temizlenerek baskı makinesindeki taşıyıcı tablaya yerleştirilir. Makine açıldıktan sonra baskıya başlamadan önce taşıyıcı kafadaki 6 adet boya kafası uygun çözücüsüyle dikkatlice silinmelidir. Sonrasında boyaların ve baskı kalitesinin kontrolünü 'Nozzle Test' aracılığıyla yaparak baskı kafasındaki deliklerin tıkanıklık durumu kontrol edilmelidir. Ardından program ara yüzündeki uygun ve istenilen boya modlarından biri seçilerek baskı işlemine başlanmaktadır. Basım sırasında 125 °C'lik ısıyla UV kurutma yapılır. Baskı işlemi bittikten sonra cam ürün 650-700 °C sıcaklıktaki fırın ortamında pişirmeye (temperlemeye) hazır hale

gelmektedir. Düz cam yüzeyler üzerine uygulanan dijital baskının tüm uygulama ve basım süresi, 1 m² 'lik alanda ortalama 12 ile 17 dakika arasında sürmektedir.

Dijital baskı tekniği uygulanırken işlem basamakları özetlenecek olursa uygulanan işlemler aşağıdaki gibidir:



Şekil 1. Dijital Baskı Tekniği Uygulama Aşamaları

Dijital baskıda kullanılan mürekkeplerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile renkleri serigrafi baskıda kullanılan seramik boyalardan farklıdır.

Renk seçenekleri arasında 6+2 (opsiyonel renk) mevcuttur. Mavi, kırmızı, Sarı, Siyah, Yeşil, Beyaz renklerin yanı sıra kumlu ve aşındırma rölyef efekti veren renk, altın ve platin gibi renkler de kullanılabilir. Özel karıştırılmış renk katalog çeşitleri (RAL, NCS, PANTONE), patentli dijital baskı için metalik etkili boya sistemi, mor ve pembe seramik renkler, asit etkili boya çeşitleri de esas kartelasından farklı olarak sunduğu seçenekler arasında bulunmaktadır. [1]

Dijital baskı, cam, seramik ve metallerin markalanması ve dekorasyonu gibi ticari olarak çekici ancak teknik olarak zorlu bir süreçtir. Bu pazarlar, çok yüksek sıcaklık direnci veya kimyasal direnci olan mürekkepler gerektirebilir. Mevcut mürekkep püskürtmeli mürekkeplerde yaygın olarak kullanılan organik pigmentler ve bağlayıcılar, bu tür uygulamalar için yeterince dirençli değildir. Bu nedenle, yoğun inorganik pigmentlerin ve toz haline getirilmiş cam fritlerin stabil dağılımlarına dayalı dijital baskı mürekkeplerine ihtiyaç vardır. Bu tür mürekkepler, mürekkep formülasyonunun yeni bir anlayışını gerektirir.

Dijital dekorlama mürekkepleri genel olarak faz değiştiren, solvent bazlı, su bazlı ve UV-kürlenebilir olmak üzere dört farklı mürekkep çeşidi mevcuttur. Diğer türler yağ bazlı ve sıvı toner olarak adlandırılmaktadır. Ancak çok yaygın olarak kullanılan mürekkep çeşitleri değildir. Aynı zamanda hibrit türler de mevcuttur.

Faz değiştiren (sıcak eriyik) mürekkepler katı halde baskı makinesinde bekletilir, uygulama sırasında uygun bir ısıtıcı parça ile ertilir ve hemen sonrasında püskürtülür. Oldukça hızlı soğumaları, çevre dostu olmaları ve yüksek opaklık sağlamaları sebebiyle tercih edilmektedirler. Aynı zamanda yayılma daha az olduğundan baskı kalitesi daha kolay kontrol edilir. En önemli sorun dayanıklılıklarının az olması ve aşınma dirençlerinin düşük olmasıdır. Daha çok barkot uygulamalarında ve gözenekli olmayan altlıklarda tercih edilirler.

Solvent bazlı mürekkepler en yaygın kullanılan mürekkeplerdir ve dekor dayanıklılığı, kabul edilebilir baskı kalitesi ve geniş aralıkta altlık çeşidine uygun olması sebebiyle tercih edilir. Pigment ve boya olmak üzere her iki renklendirici

türüyle de hazırlanabilmektedir. Farklı altlıklara tutunabilmekte ve hızla kuruyabilmektedir. Ancak çevresel faktörler, bakım ihtiyacı ve kısa raf ömrü sebebiyle kullanım alanı sınırlandırılabilir.

Su bazlı mürekkepler daha çok masa üstü baskı makinelerinde tercih edilir ve ekonomik ve çevre dostu olmaları en büyük avantajlarıdır ancak endüstriyel uygulamalarda belli sebeplerden ötürü çok fazla tercih edilmemektedir. Su bazlı mürekkepler gözenekli ya da özel işleminden geçmiş yüzeylerde tercih edilmektedir. Ek olarak, birçok piezoelektrik kafa su bazlı sistemler için uygun değildir.

UV-kürlenebilir mürekkepler, belli dalga boyunda ve şiddetindeki UV ışını uygulanmasından önce kararlı halde bekletilen mürekkeplerdir. Geleneksel uygulamaların yanında ambalajlama, ürün kaplama, yeni tasarım ürünler gibi farklı alanlarda uygulanmaktadır. Diğer yandan pahalı olmaları, ilave donanım ihtiyacının olması (güç kaynağı, boş alan vb.) sebebiyle kullanımı zorlaşmaktadır.

Tüm mürekkep türlerinde ortak olan özellik, hepsinin püskürtme sırasında sıvı olmaları, içeriklerinde de taşıyıcı sıvı ve fonksiyonel moleküller olmak üzere iki temel bileşenlerinin olmasıdır. Taşıyıcı sıvı olarak su; solvent, yağ, çapraz bağlı monomerler gibi farklı sıvı türlerinden biri tercih edilirken, fonksiyonel moleküller olarak renklendiriciler, iletkenlik sağlayıcılar gibi moleküller kullanılır. İlave olarak yüzey aktif madde, köpük giderici, bakteri ve küf önleyici, dağıtıcı gibi katkı maddeleri tercih edilebilmektedir.

Dijital dekorlamada kullanılan mürekkeplerden beklenen temel özellikler Tablo 1.'de görülmektedir. [2,3,4,5,6,7,8]

Tablo 1. Dijital dekorlamada mürekkep özellikleri ve mürekkep gerekliliklerinin sebep olabileceği durumlar

Durum	Mürekkep özelliği	Mürekkep gerekliliği
Nozzle tıkanması	Pigment tane boyutu	$R < 1\mu$
Pigmentlerin çökmesi	Zeta potansiyeli (elektrostatik satabilizasyon)	
Mürekkebin damlaması	Yüzey gerilimi	$20-45\text{mN.m}^{-1}$
Mürekkebin nozzleda yayılması		
Mürekkebin altlıkta yayılması		
Damla şekli ve boyutu	Reolojik özellikler (vizkozite)	Vizkoelastik davranış (4-40mPa.s)
Damlacık-altlık uyumu		
Damlacığın yönlendirilmesi	Yoğunluk	$1.1-1.5\text{g.cm}^{-3}$
Nozzle korozyonu	pH	$5 < \text{pH} < 10$
Pigment çözünürlüğü	Organik medyumlarda çözünürlük	Çok düşük
Elektriği iletme	Elektriksel iletkenlik	(1) $> 1000 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (2) $< 100 \mu\text{S.cm}^{-1}$

(1) Su bazlı mürekkepler (2) solvent bazlı mürekkepler

Bahsedilen mürekkep gerekliliklerinin yanında yine kullanılan mürekkebe bağlı olarak değişen ve beyaz eşya cam sektöründe önemli bir kriter olarak yer tutan, boyanın opaklık ve parlaklık gereklilikleri mevcuttur.

Opaklığı pigment oranı ve ıslak boya kalınlığı olmak üzere iki parametre belirlemektedir.

Pigment oranı, serigrafi baskı boyaları ile aynı olarak fritin koruyabileceği veya kapsülleyebileceği miktardan fazla olamaz. Bu sebeple pigment ve frit arasında optimum bir oran bulunması gerekmektedir.

Islak boya kalınlığı arttıkça opaklık artarken azaldıkça azalmaktadır. Ancak ıslak boya kalınlığının artırılması aynı şekilde proses süresini de artırmaktadır. Dijital baskı boyasının nozzle ile püskürtme yöntemi ile uygulanmasından dolayı viskozitesi düşük olmalıdır. Bunu sağlamak için içeriğinde bulunan medyum oranının emaye baskı boyasına göre fazla olması gerekmektedir. Bu oranın fazla olması pigment ve frit oranlarını düşürmekte dolayısıyla opaklığı azaltmaktadır. TDS verilerine göre serigrafi baskı boyası ile dijital baskı boyasının viskoziteleri aşağıdaki gibidir:

Serigrafi baskı boyası viskozite: ~17000 cP

Dijital baskı boyası viskozite: ~150 cP



Şekil 2. Pigment miktarına bağlı olarak opaklık ve parlaklık ilişkisi

Boyaların içinde bulunan frit; zincli veya bizmutlu olarak ikiye ayrılır. Bizmutlu olan kimyasallara ve fiziksel aşındırmaya karşı daha dayanıklıdır. Ayrıca örtücülüğü daha yüksektir. Örnek alınan dijital baskı boyası ve muadil boyaların çoğu bizmutlu frit içerdiğinden ötürü kimyasal bileşik olarak isteneni karşılamaktadır ve bu konunun opaklığı etkileyen parametreler arasında değerlendirilmesine lüzum yoktur.

Bir diğer önemli gereklilik olan parlaklığın sebebi boya uygulaması sonrası yüzeyin pürüzlülüğü ile ilgilidir. Serigrafi boyalarında bulunan fritin boyutları dijital baskıda bulunan fritlerin boyutlarından 7-8 kat daha büyük olduğu için cam yüzeyinde daha pürüzlü bir yapı oluşturmaktadır. Bu yapı ışığı kırarak parlaklığı azaltmaktadır. Ancak dijital baskıda bulunan küçük (1 mikrometre) fritler sebebiyle pürüzsüz bir yüzeye sahip olan cam yüzeyinde parlaklık yüksek çıkmaktadır.

Geleneksel baskı yöntemlerine göre oldukça az atık mürekkep oluşması, yalnızca altı renkle çok geniş aralıkta desen çeşitliliğine ulaşılabilmesi, görüntü çözünürlüğünün yüksek olması, ek prosesleri ve maliyetleri azaltması gibi üstünlükler bu yönetime olan talebi gün geçtikçe artırmaktadır.

Ancak öncelikle yeni olması ve teknolojinin yaygın olmaması sebebiyle, dijital baskı makineleri pahalıdır. Dolayısıyla her eğitim kurumunun veya sektörel ticari firmaların bu makineyi bünyesinde barındırması mümkün olmayabilir. Bunun yanı sıra farklı olan renk skalasının, opaklık, parlaklık, satelite, tırtış gibi görsel kalite problemlerinin müşteri kriterlerini sağlaması için detaylı bir deneme ve tasarım süreci yapılmasının gerekli olduğu anlaşılmıştır. Dijital baskının çevrim süresinin uzun olması sadece tek ya da çift baskı uygulanan camlarda kullanışsız olmasına ve maliyetin artmasına neden olmaktadır. Ancak 3 ya da daha fazla baskı yapılan camlarda kullanışlı hale geleceği öngörülmektedir. Bu şekilde 3 ya da daha çok baskı uygulanan camlarda hem çevrim zamanı hem de maliyet düşürülebilir.

3. Metodoloji

Bu çalışma kapsamında farklı dijital baskı makinesi tedarikçileri ile beraber baskısız camlara inkjet yöntemi ile baskı yapılacaktır. Yapılabilirlikleri görmek adına makinede minimum çizgi ve nokta kalınlıkları, opaklık değişimleri ve çeşitli desen tasarımları denenecektir.

Deneme aşamasında Yorglass tarafından oluşturulan tasarımlar kullanılmış/kullanılacaktır. Bu tasarımlar pano, ön cam, ocak camı ürün gruplarına uygulanacaktır. Numune ürünler temin edildikten sonra mevcutta serigrafi baskı yöntemi ile üretilmiş camlara uygulanan kimyasal dayanım, temizlenebilirlik, çizilme, termal şok, bilye düşürme ve fragmentasyon testleri uygulanacaktır. Bu testler haricinde opaklık, parlaklık, tırtış, kamburluk, dalgalılık ölçümleri ve görsel kalite kontrolleri yapılacaktır. Testler Tablo 2.'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Dijital Baskılı Camlar İçin Gerçekleştirilen Testler ve Hedef Değerler

TEKNİK PARAMETRELER	TEST STANDARTLARI	HEDEF DEĞERLER
Fragmantasyon	Yorglass standartı	Minimum 60 Maksimum 240 parçacık
Termal Şok Testi	IEC/EN 60335 250°C sıcaklıkta ısıtılmış fırında 30 dakika bekletilen cam, fırından çıkarılarak üzerine 65-70 ml/s debi ile oda sıcaklığındaki 1L su dökülür. Bir çevrim test tamamlanmış olur.	5 çevrime kadar kırılma gözlenmemesi
Bilye Düşürme (Ball Drop) Testi	Yorglass Standartı 535 gr ağırlığındaki çelik bilye, bilye düşürme aparatı ile cam üzerine 60 cm mesafeden bırakılır.	Camda kırılma gözlenmemesi
Kimyasal Dayanım Testi	Yorglass Standartı Aşağıdaki kimyasallar oda sıcaklığında camın boyalı yüzeyi üzerine damlatılır ve 20 dakika beklenir. 20 dakika sonunda kimyasallar silinir. Arka ve ön yüzden kontrol yapılır. - Fırın temizleme madde - Kireç çözücü - El kremi - Güneş kremi - Pril (lysoform) 5= Cam yüzeyinde iz kalmaz 4= Sadece özel ışık altında ve belirli bakış açısında iz gözlemlenir 3= Çoğunlukla gözüken lekeler mevcuttur 2= Daima gözüken lekeler cam üzerinde kalır	Görsel kontrol sonucu minimum 4 puan almalıdır.

	1= Sadece renk kaybı gözlemlenir	
Temizlenebilirlik testi	Yorglass Standartı Aşağıda belirtilen maddeler camın boyalı yüzeyine sürülür. Daha sonra camlar önceden ısıtılmış 80°C deki fırına koyulup 30 dk. bekletilir. Aşağıda belirtilen maddeler cam üzerine bir fındık büyüklüğü kadar uygulanmalıdır. 30 dakikanın sonunda fırından çıkarılan camdaki lekeler üzerine sıcak köpüklü su dökülür. Yumuşak temizleme bezi ile 1 kg kuvvet uygulayarak 5 kez silinir. Temizleme işleminden sonra arka ve ön yüzden görsel kontrol yapılır. • Süt (Laktik asit) • Limon suyu (%10 sitrik asit) • Ketçap • Zeytinyağı • Kahve • Hardal • Sirke 5= Cam yüzeyinde iz kalmaz 4= Sadece özel ışık altında ve belirli bakış açısında iz gözlemlenir 3= Çoğunlukla gözüken lekeler mevcuttur 2= Daima gözüken lekeler cam üzerinde kalır 1= Sadece renk kaybı gözlemlenir	Görsel kontrol sonucu minimum 4 puan almalıdır.
Opaklık	Yorglass standardı	Siyah camlar için min. 3 D Beyaz camlar için min. 2,5 D
Parlaklık	Yorglass standardı	Siyah camlar için min. 50-70 GU arası

		Beyaz camlar için min. 15-25 GU arası
Görsel kontrol	Yorglass standardı Tırtış ölçümü yapılır.	Maksimum 0,2 mm
Çizgi kalınlığı	Yorglass standardı	Minimum 0,3 mm
Çizik testi	Erichsen Model 435 Çizik Kalemi	10 Newton yük ile çizilmemeli
Kamburluk	EN 12150	Maksimum %0,2 mm
Dalgallık	Yorglass Temperli Cam Standartı	Maksimum 0,2/100 mm
Food contact	(EC) No 1935/2004	Uyumlu olmalı

A. Tasarım ve testler sırasında hangi araçlar kullanılacak:

Tasarım için CorelDraw, Adobe Illustrator ve Adobe Photoshop programları kullanılacaktır.

Testler için;

- Fragmantasyon ölçüm test aparatları (Camın uygun temperlenip temperlenmediğinin kontrolü için yapılmıştır.)
- Termal şok testi için etüv fırını ve su dökme aparatı
- Bilye düşürme testi için 535 gr'lık çelik bilye ve bilye düşürme aparatı
- Çizgi kalınlığı ve tırtış ölçümü için büyüteç (loupe)
- Çizik testi için Erichsen Model 435 Çizik Kalemi
- Kamburluk ölçümü için Filler çakısı
- Dalgallık ölçümü için ondülasyon komparatörü
- Temizlenebilirlik testini tamamlamak için ilgili mutfak ve temizlik malzemeleri döküldüğünde camın 80 °C ısıtılması için Etüv fırını
- Renk ölçümü için Renk spektrometresi Mitutoya CM 700d
- Parlaklık ölçümü için BYK micro-TRI-Glossmeter
- Opaklık ölçümü için X Rite 361t Densitometer

Bu çalışmanın devamında dijital baskı mürekkeplerinin ve bunların temperli camlara adaptasyonunun detaylı bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Bu gereklilik kapsamında dijital baskı boyası ve işletmede kullanılan standart emaye serigrafi boyalarının ve yapılan çalışmaların karakterizasyon çalışmaları yapılmalıdır. Ticari mürekkeplerin teknik özellikleri belirlenerek literatürdeki teknik özelliklerle karşılaştırılması gerekmektedir.

Yapılması gereken testler ve analizler:

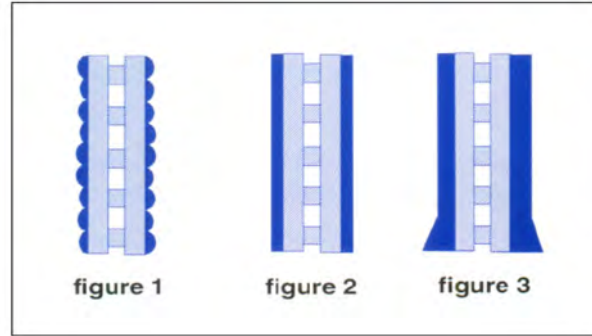
- Kimyasal analizleri (XRF)
- Mineralojik analizleri (XRD)
- Pigmentlerin tane boyutu, çalışmalar sonucunda elde edilen ürünlerin mikroyapısal analizler (SEM_EDX)
- Mürekkeplerin tane boyutu (lazer yöntemi ile)
- Mürekkeplerin yoğunlukları ve katı oranları
- Mürekkeplerin reolojik özellikleri (Reometre ile- 1)Akma noktası ölçümleri 2.)Tiksotropi ölçümleri 3)LVE ölçümleri 4)Sabit kayma hızındaki ölçümler (0,1 1/saniye, 100 1/saniye) 5)Sabit kayma hızı ve sabit deformasyon/frekans altında (salınım yöntemi ile) değişen sıcaklık ölçümleri (30°C den 50 °C ye kadar) 6)Osilasyon-Rotasyon-Osilasyon ölçümleri
- Yüzeyde oluşacak katmanın (mürekkebin) ve cam altlığı termal genleşme katsayıları

- Mürekkeplerin ergime davranışlarının belirlenmesi (ısı mikroskobu)

Testleri yapılarak sonuçlar karşılaştırılıp, sistematik oluşturulmalıdır.

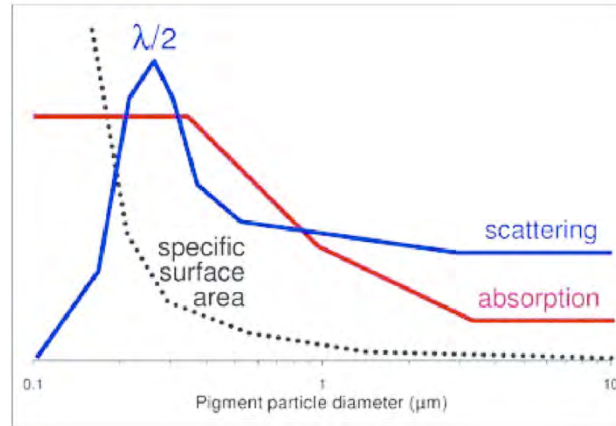
B. Ticari ürün karakterizasyonu: Hedef ürünün karakterizasyonu yapılarak nihai ürünlerin optik özelliklerine etki edebilecek (parlaklık, dekorlama kalınlık) nihai bazı özellikler belirlenmelidir. Proje sonucunda elde edilen yüzeyler ile, ticari ürünün karşılaştırması yapılmalıdır.

C. Mürekkep Özelliklerinin Optimizasyonu: Mevcut mürekkeplerin özelliklerinin detaylı karakterizasyonu sonucunda elde edilen hedef mürekkep özellikleri (özellikle reolojik özellikler) belirlenmelidir. Uygulama/ürün bekleme sırasında yaşanan problemlerin kök sebepleri araştırılmalı, mürekkeplere gerekli proses ilaveleri vb. ile istenilen özelliklere ulaşılması için çalışılmalıdır.



Şekil 3. Reolojik özelliklere bağlı uygulanan katmanın nihai ürünlerdeki etkisinin şematik gösterimi

D. Tane Boyut Optimizasyonu: Mürekkeplerin tane boyut dağılımları ve tane şekilleri gerek uygulama gerek nihai kalitesi gerekse cihaz kullanım ömründe önemli bir yere sahiptir. Mürekkeplerin tane boyut dağılımının beklenen değerden büyük olması halinde görüntü kalitesi düşecek aynı zamanda nozzle ların tıkanmasına sebep olacaktır. Diğer yandan mürekkep tane boyut dağılımının beklenen değerin çok altında olması halinde renk şiddeti değişerek nihai ürünlerde tasarım ve optik hatalara sebep olabilecektir. Bu sebeple saçılım ve absorpsiyon değerinin optimum olduğu tane boyut değerinde mürekkeplerle çalışılması gerekmektedir.



Şekil 4. Pigmentlerin, partikül boyutunun ve spesifik yüzey alanının bağımlılığının fonksiyonu olarak optik özellikler (görünür ışığın absorpsiyonu ve saçılması)

Bu bilgilere dayanarak gerek olması halinde mürekkeplerin tane boyut çalışmaları nano-öğütücülerde gerçekleştirilmelidir.

E. Termal Özelliklerin Optimizasyonu: Pişirme sürecinde termal uyumsuzluklardan kaynakların hataların giderilmesi için hammadde ve proses ilaveleri belirlenerek reçete çalışmaları yapılmalıdır.

4. Deneysel Çalışmalar

Dijital baskı teknolojisi yeni bir teknoloji olmakla birlikte temperlenebilir beyaz eşya camlarında dijital baskının uygulanması çok daha yenidir. Sektörde temperli beyaz eşya camlarını dijital baskı yöntemi ile üreten herhangi bir firma bulunmamaktadır. Bunun sebebi hem teknolojinin çok yeni olmasından dolayı istekleri tam anlamıyla yerine getirememesi hem de kalıplaşmış üretim alışkanlıklarından vazgeçilme tereddütüdür. Bu çalışma kapsamında ilk olarak prototip imalat çalışmaları için birçok farklı dijital baskı makinesi üreticisi ile görüşülmüş, yapılabirlikleri ve ürün özellikleri incelenmiştir. Ardından üreticilerden numune cam talep edilmiş, standartta uygulanan testler bu camlara da uygulanmıştır.

İlk olarak Tedarikçi_1 ve Tedarikçi_2'den numune camlar talep edilmiş ve hem kendi aralarında hem de serigrafi baskı ile kıyaslanmıştır.

Siyah ve beyaz camlar için 14 farklı boya kalınlık değeriyle ayrı ayrı denemeler yapılmıştır. Yapılan denemeler opaklık ve parlaklık cihazları ile ölçülmüştür. Çıkan değerler sonucunda;

Tablo 3. Tedarikçi_1, Tedarikçi_2 ve Serigrafi Baskı Örneklerinin Kıyaslanması

	SİYAH				BEYAZ		
	Opaklık	Boyanın kalınlığı	Parlaklık		Opaklık	Boyanın kalınlığı	Parlaklık
Serigrafi Baskı	2,7-2,8 D	34 mikron	80 GU	Serigrafi Baskı	0,72 D	38 mikron	19,4 GU
Tedarikçi_2	2,7-2,8 D	25 mikron	129 GU	Tedarikçi_2	0,72 D	80 mikron	120 GU
Tedarikçi_1	2,7-2,8 D	40 mikron	114 GU	Tedarikçi_1	0,72 D	60 mikron	55 GU

Siyah baskıda parlaklık değerinin iki firmada da yüksek olduğu görüldü. Parlaklık değerinin yüksek olması baskıda toz, çöp ve kalite problemlerinin daha fazla belli olmasına neden olmaktadır. Bu sebeple parlaklık değerinin siyah camlarda 50-70 GU arasında olması istenmektedir.

Siyah baskıda opaklık değerinde Tedarikçi_2 hem serigrafi baskıdan hem de Tedarikçi_1'den daha iyi sonuç vermiştir. Opaklık değerinin min. 3,33 D olması istenmektedir. İki firma da yeterli boya kalınlığında bu değere ulaşabilmektedir.

Beyaz baskıda parlaklık değerinin 15-25 GU arasında olması istenmektedir. Ancak iki firmanın da numunelerinin parlaklık değerleri bu toleransın dışında kalmaktadır. Yine de siyah boyaya göre parlaklık açısından daha iyi sonuçlar vermiştir.

Beyaz boyada opaklık değerinin min. 1,1 olmasını istiyoruz. Maalesef iki firma da opaklık değerinin yakalanması konusunda çok geri kalmıştır. İki firmanın da beyaz boyada opaklık değerleri birbirine yakındır ve geliştirilmesi gerekmektedir.

Tedarikçi_3 firmasından 2020 yılında alınan numunelerin test sonuçları aşağıdaki gibidir;

Tablo 4. Tedarikçi_3 Firması ile Yapılan Denemelerin Sonuçları

	Değerlendirme	Olması gereken
Logo baskı kalitesi	tırtış yok, kalite iyi	tırtış yok, kalite iyi
Zemin baskı kalitesi	tırtış yok, kalite iyi	tırtış yok, kalite iyi
Kafa izi	yok	yok
Siyah opaklık	3.75/iyi	min 3.33
Siyah parlaklık	114/yüksek	50-70 arası
Gri/Beyaz opaklık	1.13/iyi	min 1.11
Gri/Beyaz parlaklık	56/yüksek	15-25 arası

Sonuçlara bakıldığında genel olarak opaklık ve kalite açısından kriterleri karşıladığı ancak parlaklığın yüksek olduğu görülmüştür.

Tedarikçi_1 firması ile 7 kez numune çalışması yapılmış ve testler gerçekleştirilmiştir. Her bir numune çalışması sonrası tedarikçi ile iş birliği içinde görüşülmüş, dijital baskı makinesinde ve temperlenebilir dijital baskı boyaları konusunda karşılıklı olarak geliştirmeler yapılmıştır. Çünkü dijital baskı her ne kadar daha önce uygulanan bir teknoloji olsa da temperlenen beyaz eşya camlarına uygulanması yeni ve daha önce uygulanmamış bir yöntemdir.

Son bir yılda Tedarikçi_1 ile çalışılan ve testleri yapılan numunelerin durumları aşağıdaki gibidir;

Tablo 5. Tedarikçi_1 Firması ile 2019-2020 Yıllarında Yapılan Siyah Ön Kapak Camı Deneme Sonuçları

Siyah Ön Kapak Camı Sonuçları			
Varış Tarihi	08.07.2019	16.12.2019	19.08.2020
Kontrol Yönü	Arka	Arka	Arka
L	27,02	26,94	27,32
a	-0,8	-0,12	-0,1
b	-1,2	-1	-0,84
Opaklık (D)	4,1	5,3	5,2
Parlaklık (GU)	60	29	24,7
Kenar ve Tramlardaki Tırtış	NOK		NOK (0.2 mm)
Logodaki Tırtış	NOK	OK	OK
Logonun Netliği	OK	OK	NOK
Logo	OK	NOK	OK
Çizgi Kalınlığı	min 0.3/OK	OK	OK
Kimyasal Direnç	OK	OK	OK
Çizilme Direnci	NOK	NOK	NOK

Tablo 6. Tedarikçi_1 Firması ile 2019-2020 Yıllarında Yapılan Siyah ve Beyaz Pano Camı Deneme Sonuçları

Baskı Rengi	Siyah Pano Camı Sonuçları			Beyaz Pano Camı Sonuçları	
Varış Tarihi	15.10.2019	16.12.2019	19.08.2020	16.12.2019	19.08.2020
Kontrol Yönü	Arka	Arka	Arka	Arka	Arka
L	L: 26,81	26,53	27,73	64,61	69,79
a	a: -0,06	-0,05	-0,09	-1,53	-0,87
b	b: -1,08	-0,87	-0,9	-1,51	0,11
Opaklık	O: 4,09	4,68	5,16	3,18	1,78
Parlaklık	P:97	98	24,5		–
Logo Tırtış	NOT	OK	OK	NOK	OK
Kenar Tırtış			–	–	NOK
Logo	–		–	–	–
Çizgi Kalınlığı			OK	OK	OK
Çizgi	NOT	NOT	NOK	OK	NOK
Kimyasal Direnç	OK	OK	OK	OK	OK
Çizilme Direnci	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK (20N)

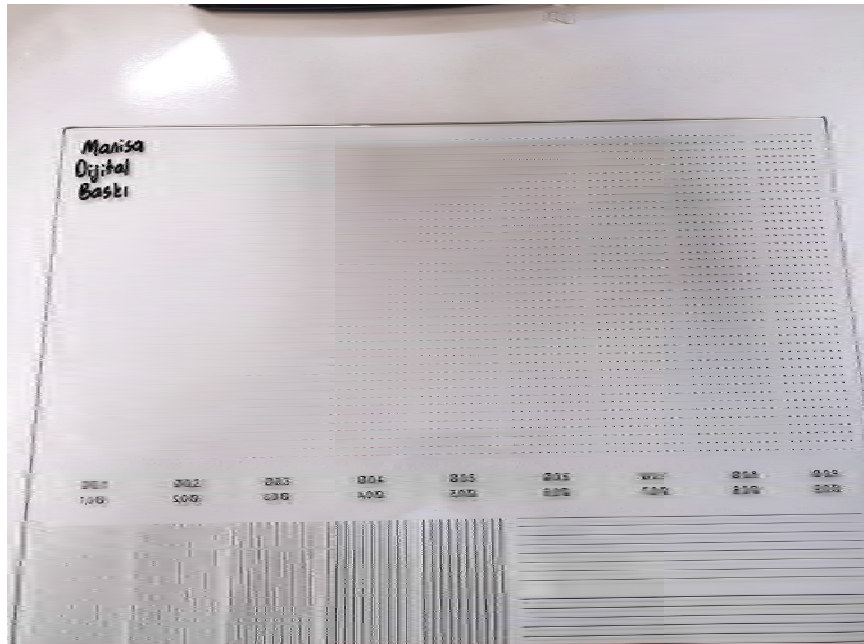
Tedarikçi_1’le yapılan denemeler sonucunda baskı işleminde püskürtme görüntüsü ve dağıtma problemi gözlenmiştir. Makinede kafa hareket yönüne paralel baskılar ile hareket yönüne dik baskılar arasında da farklılık gözlenmiştir. Kafa hareket yönüne paralel olan çizgiler daha net ve tırtış daha az olurken hareket yönüne dik olan çizgilerde tırtışın arttığı ve çizginin bozulduğu gözlenmiştir. Ayrıca birebir aynı desen kullanılmasına rağmen kafa yönüne göre desenin değiştiği görülmüştür.



Şekil 5. Dijital Baskıda Aynı Desenin Kafa Hareket Yönüne Göre Değişimi

Baskı işleminden sonra bazı alanların diğerlerinden daha transparan olduğu görülmüştür. Ayrıca şeffaflık ayarı ile oynandığında renk tonlarında değişimler fark edilmiştir.

Yapılan deneme camında daire tramlarda çapı 0,1 mm olan tramların çıkmadığı ve çizgi tramlara oranla daha fazla dağıtma ve eliptik bir görüntü tespit edilmiştir. 0,9 mm çapındaki tramlarda dahi dağıtmalar ve eliptiklik mevcuttur. Serigrafi baskıda cam üzerinde çıkmayan ya da çok silik çıkan 0,1 mm kalınlığındaki çizgiler dijital baskıda net bir şekilde çıkmıştır.

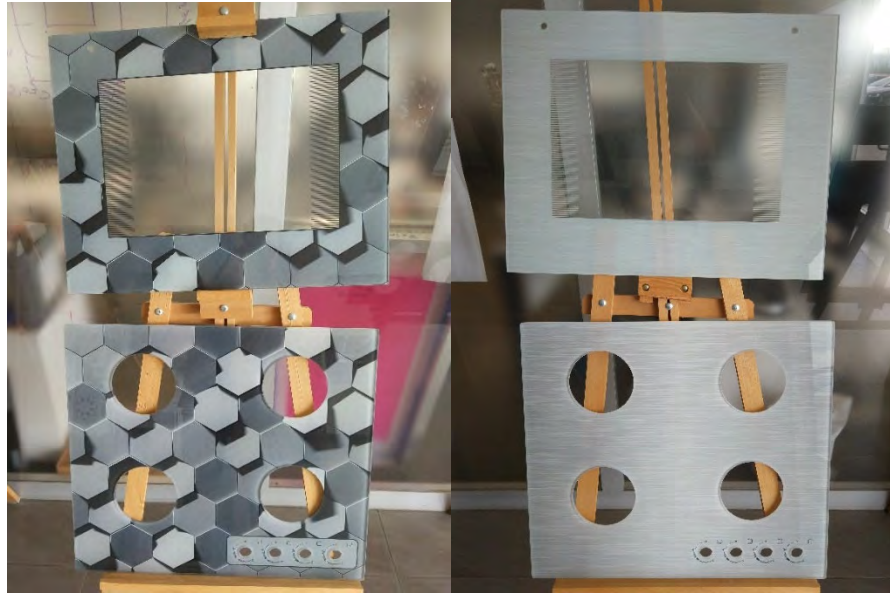


Şekil 6. Dijital Baskı Çizgi ve Nokta Yapılabilirliğini Görmek İçin Basılan Deneme Camı



Şekil 7. Dijital Baskı Opaklık-Transparanlık Yapılabilirliğini Görmek İçin Basılan Deneme Camı

Son olarak TEDARİKÇİ_1 firmasına 4 takım ön cam, pano ve ocak camı dijital baskı için gönderilmiştir. Bu prototiplerdeki amacımız serigrafi baskı ile ortaya çıkaramadığımız inoks ve metalik desenlerin dijital baskı ile üretilip üretilmeyeceğini ve karşımıza çıkan problemleri görmekti.



Şekil 8. Tasarımı Yorglass Tarafından Yapılan TEDARİKÇİ_1 Tarafından Baskı Yapılan 1. Numune Camları



Şekil 9. Tasarımı Yorglass Tarafından Yapılan TEDARİKÇİ_1 Tarafından Baskı Yapılan 2. Numune Camlar

Üretimi yapılan camlar üzerinde test ve analiz çalışmaları yapılmıştır. Metodoloji bölümünde bahsedilen numunelere uygulanacak olan testler ve sonuçları aşağıdaki gibidir:

Tablo 7. Dijital Baskılı Camlar İçin Gerçekleştirilen Testler ve Sonuçları

TEST ADI	DURUM	SONUÇ
Fragmentasyon	Parçacık sayısı istenilen aralıktadır. (ortalama 134)	OK
Termal Şok Testi	Kırılma gerçekleşmedi.	OK
Bilye Düşürme (Ball Drop) Testi	Kırılma gerçekleşmedi.	OK
Kimyasal Dayanım Testi	Görsel kontrol sonucu 5 puan aldı.	OK
Temizlenebilirlik testi	Görsel kontrol sonucu 5 puan aldı.	OK
Opaklık	Bazı beyaz renkli numuneler istenilen değerlerin altında gelmektedir. (~1,15 D)	NOK
Parlaklık	Bazı numuneler istenilen değerlerin üstünde gelmektedir. (~102 GU)	NOK

Görsel kontrol	Bazı numunelerde tırtış istenilen değerin üstündedir. (~0,3 mm)	NOK
Çizgi kalınlığı	0,2-0,1 mm çizgi kalınlıkları dahi yapılabilir durumdadır.	OK
Çizik testi	Çizilme görülmedi.	OK
Kamburluk	İstenilen aralıktadır.	OK
Dalgallılık	İstenilen aralıktadır.	OK
Food contact	Standartlara uygundur.	OK

5. Sonuçlar ve Bulgular

Beyaz eşya sektörü gibi ürünlerin ana konseptinin çok fazla değişmediği sektörlerde yaratıcı tasarımlar ve inovatif ürünler ortaya koyma arzusu giderek daha baskın hale gelmektedir. Bunun sonucu olarak;

- Müşterilerden gelen farklı tasarım taleplerini karşılarken aynı zamanda sürekli (continuous) bir hat üzerinden ham camların işlenerek mamul olarak ortaya çıkarılma ihtiyacı
- Gelişen teknoloji temperli cam üzerine dijital baskı uygulanması alanında da her geçen gün yenilikler ortaya koymaktadır. Bu yenilikler karşısında, çok daha eski bir yöntem olan serigrafi baskı yöntemi ile çağı yakalama konusunda tereddütler giderek artması
- Endüstri 4.0'ın yaygınlaşması ve kendi kendini yöneten/işleten otonom üretim tesisleri çağına adım adım yaklaştığımız günümüzde serigrafi baskı makinelerinde kod değişimleri sırasında ipek kasnakların operatörler vasıtasıyla değiştirilmek zorunda olması ve yine kasnak değiştirildikten sonra manuel ayar yapılarak 4-5 cam üzerinden deneme sonucu seri üretime başlanma zorunluluğu, seri üretim sırasında kasnakta azalan boyanın ilave edilmesi, ipek temizleme gibi sebepler baskıların otomatikleşmesinde büyük engeldir. Aynı zamanda ipek ve kasnak hazırlamak ve pozlama yapmak için de insan gücü kullanılması gerekmektedir. Bu sebeplerle serigrafi baskı çağımızı yakalama konusunda geride kalmakta, dijital baskı ise bu potansiyeli sebebiyle geleceğin teknolojisi olma yolunda ilerlemektedir. Dijital baskının getirdiği otomatikleşme ile birçok bölümde insan gücüne gerek kalmayacak ve işçi giderleri azaltılacaktır.
- Üretim süresi, verimlilik, üretim miktarları ve hata analizleri daha doğru ve sık yapılabilecek ve baskı prosesi uzaktan kontrol edilebilecektir. Gerek ulusal ve uluslararası arenada rekabet gücünü artırma hedefi doğrultusunda yaratıcı tasarımlar ortaya çıkarma isteği gerekse teknoloji trendlerini takip ederek çağı yakalama vizyonu bu çalışma fikrini doğurmuştur.

Yapılan testler ve analizler sonucunda dijital baskı birçok avantajının yanında birçok çözüme muhtaç problemi de beraberinde getirdiği de görülmüştür. Bunlar:

A. Opaklık: Yapılan ölçüm sonuçlarında görüldü ki dijital baskılı camların serigrafi baskılı camlara kıyasla opaklık değerleri daha düşüktür. Tedarikçi firma ile yapılan karşılıklı çalışmalar sonucunda son numunelerin opaklık değerlerinde yükselme gözlenmiş ancak hala yeterli seviyede olmadığı görülmüştür. İlerleyen safhalarda yapılması gereken ölçüm ve analizlerle opaklık sorununun kök nedeni tespit edilerek çözümlenmesi gerekmektedir.

B. Renklerin LAB değerlerinin tolerans dışına çıkması: Her renk için tanımlı olan L,A,B değerleri bulunmaktadır. L,A,B değeri bir rengin renk skalası içindeki koordinatını göstermektedir. L: parlaklık yani siyah ve beyaz renk, A kırmızı ve yeşil renk, B sarı ve mavi rengi belirtmektedir. Müşteriler ürünlerinde kullanmak istedikleri renklerin uygunluğunu ya görsel olarak ya da L,A,B değerini renk ölçüm cihazları ile kontrol ederek tespit ederler. Dijital baskı bilgisayar ortamında istenen renklerin CMYK ve RGB değerlerine göre ana renkleri karıştırarak baskı yapmaktadır.

Bunun sonucunda her zaman istenilen L,A,B değerleri yakalanamamakta ve ayrıca üretim sırasında boyaya müdahale (L,A,B toleransı dışına çıkan rengin temper şartlarına, son çare olarak da boyasının reçetesinde yapılan küçük değişiklikler) edilememektedir.

C. Parlaklık: Parlaklık değeri için istenilen tolerans siyah cam için 50-70 GU arası, beyaz cam için 15-25 GU arasındadır. Dijital baskı ile basılan camların parlaklık değeri bazı makinelerde 100-120 GU arası gelirken bazılarında ise 20-30 GU arasında gelmektedir. İlerleyen süreçte yapılacak olan ölçüm ve analizlerle parlaklık sorununun kök nedeni tespit edilerek çözümlenmesi, parlaklık değerinin belirli aralıklarda, istenilen toleransın dışına çıkmayacak şekilde baskı yapılması amaçlanmalıdır.

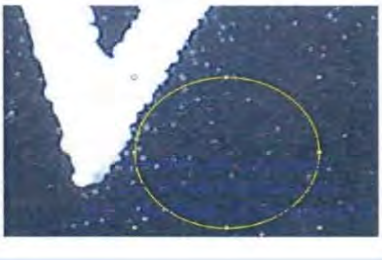
D. Tırtış: Dijital baskının doğası gereği oluşan önemli bir problemdir. Dijital baskıda nozzleden çıkan damlalar cam yüzeyine düşerek boya katmanı oluşturmaktadır. Bu da püskürtme görüntüsü oluşturup baskı kenarlarında tırtışa neden olmaktadır. Tırtış serigrafi baskıda da ipeğin mesh değerine göre ortaya çıkan bir durumdur. Mesh değeri arttıkça tırtış azalırken, mesh değeri azaldıkça tırtış artar. Amaçlanan tırtışı tamamen ortadan kaldırmak değil müşteri kriterlerine göre kabul edilebilir seviyeye çekmektir.

Control description	Control image	Control tolerance
Sharpness of the edges		Max. deviation from a straight line of 0,14 mm

Şekil 10. Dijital Mikroskop ile Görüntülenen Dijital Baskıdaki Tırtışlar

E. Logo ve desenlerde dağıtma: dijital baskının wet on wet prensibe göre çalışması (ıslak boya üzerine kurumadan tekrar boya damlatılması) sebebiyle ortaya çıkmaktadır. Serigrafi baskıda her baskı işleminden sonra boya kurutulduğu için dağıtma ortaya çıkmaz. Bu sebeple dijital baskının eksik kalan bu noktasının iyileştirilmesi gerekmektedir.

F. Satellite (boya sıçraması): Nozzle ucundan ana damlacığın çıkarken beraberinde çok küçük damlaların da çıkarak alana saçılması olayıdır. Bu olay serigrafi baskıda gerçekleşmez çünkü serigrafi baskıda raglenin geçtiği kısımda ipek cama tam olarak yapışır ve ipekten boya cama direkt olarak geçer. Herhangi bir mesafe olmaması ve nozzle gibi bir püskürtme ucundan boya çıkmaması sebebiyle satellite olayı serigrafi baskıda ortaya çıkmamaktadır. Dijital baskıda ortaya çıkan bu sorunun minimum seviyeye indirilmesi gerekmektedir.

Control description	Control image	Control tolerance
Satellite drops		Max. 30 drops per mm ² at maximum distance of 40 mm from the printed area

Şekil 11. Dijital Mikroskop ile Görüntülenen Dijital Baskıdaki Satellite Hatası

G. Dijital baskı boyalarının yüksek maliyeti: Serigrafi boyalarında bulunan frit 7-8 mikrometre büyüklüğündeyken, dijital baskı boyalarında bulunan frit akışkanlığın sağlanması ve nozzleden geçebilecek düzeyde olması için 1 mikrometreye kadar düşürülmektedir. Bu boyut küçültme işlemi için kuru öğütmeden sonra ıslak öğütme işlemi uygulanır. Bu prosedür yüksek enerji tüketimi ve süre almaktadır.

Ayrıca dijital baskı boyasının akışkanlığını stabil tutmak için eklenen katkı maddeleri de maliyetini artırmaktadır. Dijital baskı boyasının maliyetinin fazla olması ancak bunun yanında ipek, kasnak, pozlama, baskı makineleri gibi

birçok giderin ortadan kalkması sebebiyle kurulacak uygun bir hat ile maliyet avantajı sağlanabilir. Bunun için optimum dijital baskı makinesi ve optimum üretilecek ürün çeşidi belirlenmelidir. Cycle time hesabı yapılarak dijital baskı ile bir vardiyada üretilecek cam sayısı hesaplanmalı ve serigrafi baskı ile kıyaslanarak maliyet avantajı ortaya konmalıdır.

Sonuç olarak dijital baskının getirdiği kalite ve hız problemleri çözüldüğünde dijital baskının serigrafi baskıda karşımıza sorun veya eksiklik olarak çıkan ek prosesler (ipek, kasnak, pozlama, ragle vb.), uzun baskı-kurutma hatları ve elektrik giderleri, işçilik maliyetleri, otomatikleşememe ve uzaktan kontrol edilememesi, karmaşık renkli tasarımların üretilmemesi gibi durumları ortadan kaldırması hedeflenmektedir.

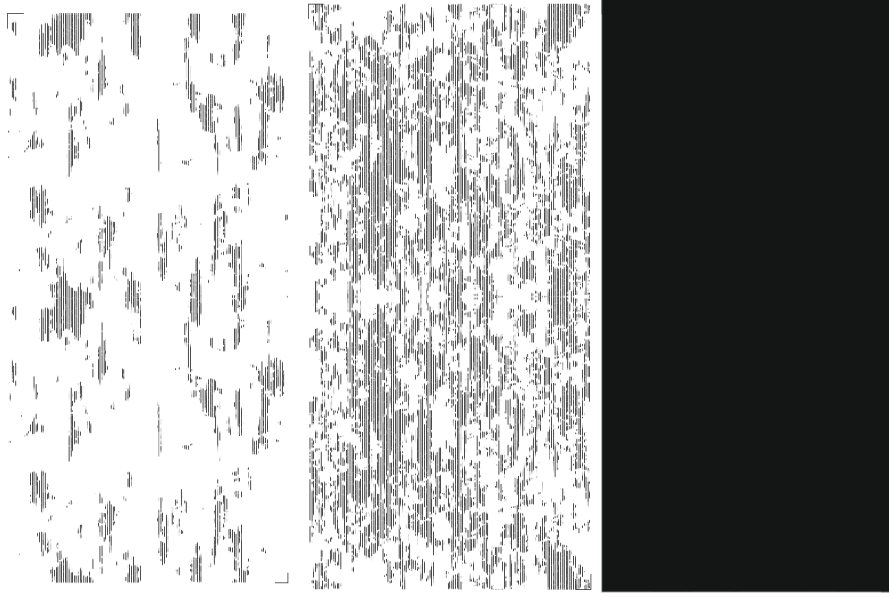
6. Tartışma

Yapılan araştırmalar, deneneler ve testler sonucunda işletmemizde dijital baskı prosesinin temperli beyaz eşya camlarına uygulanmasının birçok avantajı olduğu görülmüştür.

- ✓ Proje beyaz eşya sektöründe bir ilktir. Sektörde ağırlıklı olarak kullanılan ipekle serigrafi baskı yönteminin yerini alarak hem firmamızda hem de sektörde yeniliğin öncüsü olacaktır.
- ✓ Dijital baskı vektör çizimlerine ihtiyaç duymadan JPG formatındaki görselleri dahi baskı yapabilmektedir. Bu özelliği oldukça yaratıcı tasarımların önünü açmaktadır.
- ✓ Aynı zamanda tasarım süresini de oldukça kısaltır. Farklı renkler ve şekiller içeren bir deseni serigrafi baskı yöntemi ile uygulayabilmek için desenin her rengi bir katman olacak şekilde bölümlere ayırmamız gerekir. Bunun için ise en doğal görünümü verecek şekilde katmanların vektör formatında çizilmesi ve yaklaşık olarak en iyi ihtimalle 3-4 farklı katman tasarımı yapılması gerekmektedir. Bu katmanların tasarımı için desenlerin karmaşıklığına göre değişmekle beraber 6-8 saat arası CorelDraw programı üzerinde tasarım aşaması sürmektedir. Bu tasarım aşamasından sonra ise üretim denemeleri başlar ve bu süre 2-3 gün arasında devam edebilir. Üretim denemelerinin uzun sürmesinin sebebi katmanların birbiri üzerinde uyumunun ve her katman için seçilecek olan renklerin birbiri ile uyumunun bilgisayar ortamında görüldüğü gibi pratikte gözükmemesidir. Arzu edilen görüntüyü yakalamak için üretim aşamasında tasarıma ve boyaya müdahaleler yapılarak final görüntü oluşturulur. Dijital baskı tüm bu aşamaları ortadan kaldırarak yalnızca ortalama 15 dakikalık kısa bir sürede baskı yapılacak görselin makine ara yüzünde cama görsel montaj yapılarak direkt olarak üretim aşamasına geçilmesini sağlar.



Şekil 12. Dijital Baskı ile Üretilcek Eskieme Desen Camın Baskı Görseli



Şekil 13. Aynı Eskitme Desenin 3 Katman (Baskı) a İndirgenmiş İpek Çizimleri

- ✓ Serigrafi baskı var veya yok prensibi ile çalışır. Pozlanan ipeklerin emisyon kaplı bölümlerinden boya geçmezken emisyon olmayan tüm bölümlerinden aynı miktar boya geçmektedir. Dijital baskıda ise yarı saydam, gölgelendirme, koyu-açık baskı gibi seçenekler mevcuttur. Serigrafi baskıda her bir baskı prosesinde tek renk basılırken, dijital baskıda ana renklerin karışımıyla yüzlerce renk elde edilip aynı ürün üzerine uygulanabilir. Bu özellikleri dijital baskının özgün ve yaratıcı tasarım konusunda serigrafi baskıya oranla çok ileride olmasını sağlamaktadır.



- ✓ Dijital baskı görüntüleri gerçeğe en yakın olacak şekilde cam yüzeylere uygulayabilmektedir. Nozzleden çıkan damlacık boyutları ayarlanabilmekte ve 6 pl ile 240 pl (pikolitre) arasında değişmektedir. Damlacık hacimlerinin ayarlanması çözünürlüğü de değiştirmektedir. İnce detayları olan bir tasarımda çözünürlük 2880 dpi'a kadar çıkarken zemin/büyük boyutlu baskılarda 360 dpi'a kadar düşürülerek proses zamanından tasarruf sağlanmaktadır.

Dijital baskı serigrafi baskıda bulunan birçok prosesi elimine ederek zaman ve maliyetten tasarruf sağlamaktadır. Serigrafi baskı tasarım aşaması ile başlar. Her bir katman için tasarım yapılır ve her bir katman tek renk olacak şekilde baskı yapılmak zorundadır.

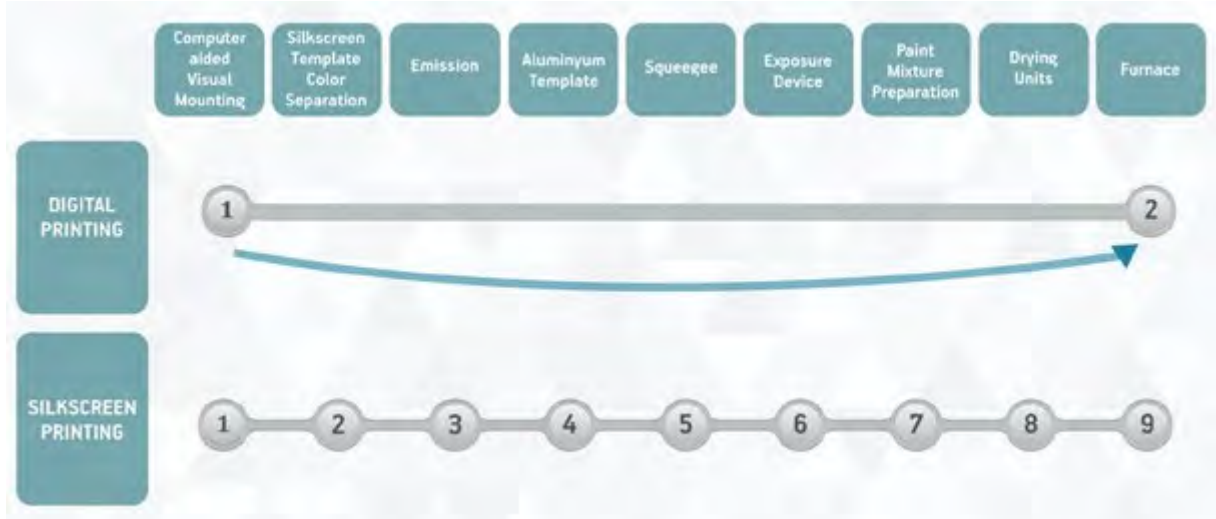
- ✓ Serigrafi baskıda bilgisayar destekli görsel montaj ürün bitene kadar mümkün olmazken dijital baskıda bitmiş ürün montajı öncesinde görülebilmektedir. Bu da dijital baskının diğer bir avantajı olarak sayılabilir.

Şekil 14. Üretime Hazır Pozlanmış Bir İpek Kasknak

- ✓ Serigrafi baskı için yapılan tasarımlar kaç baskı olacak ise o kadar kalıp hazırlanır. Kalıp için metal bir kasknak (frame) ve kaskağın içine gerilip yapıştırılan ipekten oluşur. Bu ipek tamamen emisyon boya ile kaplanarak pozlama cihazına girer. Pozlama cihazı boyanın geçmesi istenmeyen yerlerini yakarak ipek üzerine sabitler. Geri kalan emisyon boya yıkama makinesinde yıkanarak ipek üzerinden uzaklaştırılır. Yıkanan kasknakların her biri birer baskı makinesine bağlanır. Her baskı makinesinden sonra bir adet boya kurutma makinesi bulunur. Baskı öncesi her bir baskı makinesindeki kasknak ile hangi renk basılacaksa o renk önceden hazırlanarak baskı makinelerindeki operatörlere verilir. Yapılan baskı ve boya kurutma proseslerinden sonra camlar temper fırınına girer.

Dijital baskı serigrafi baskı için mecburi olan yukarıdaki tüm prosesleri elimine ederek görsel montajın ardından tek bir dijital baskı makinesi ile baskı yapıp eş zamanlı UV kurutma yaparak camları temper prosesi için hazır hale getirir.

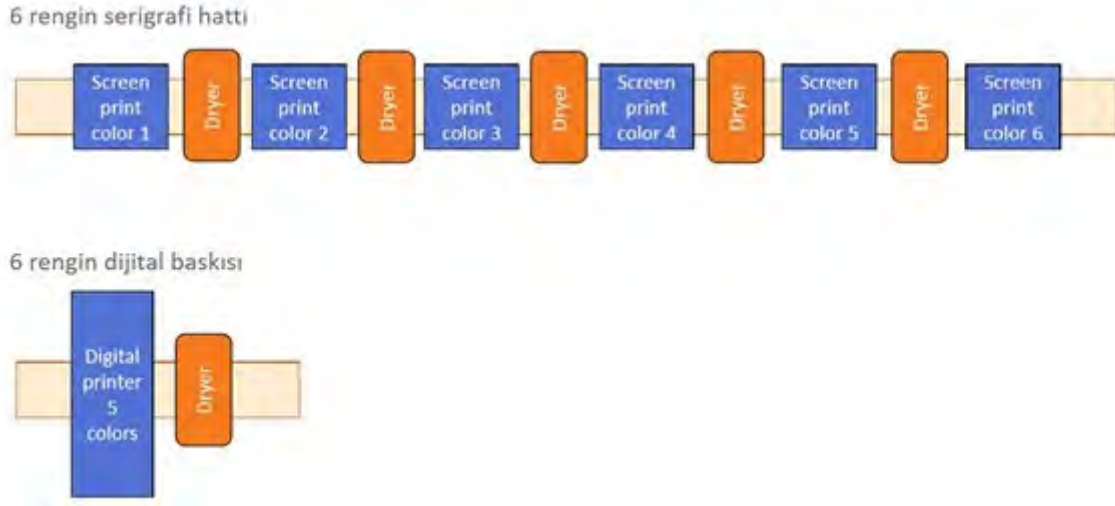
- ✓ Dijital baskının bir diğer önemli maliyet avantajı ise boya (mürekkep) atığını kayda değer şekilde azaltmasıdır. Serigrafi baskıda her bir baskı prosesinde kullanılacak mürekkep, boya bölümünde hazırlanarak ilgili baskı makinesinin operatörüne teslim edilir. Operatör boya kovaşından maşrapa yardımıyla boyayı alarak ipek kasağın içinde döker ve bu şekilde baskı işlemini gerçekleştirir. Ancak ilgili ürünün baskı işlemi sonlandıktan sonra ipekte maşrapada atık boya kalmaktadır. Bu boyalar yıkanarak uzaklaştırılır. Dijital baskı bahsedilen bu atık boya kaybını elimine eder. Haznelerinde sürekli olarak tuttuğu 6+ çeşit boyası ile cam üzerine yalnızca gereken miktarda damlama/püskürtme yöntemi ile boya bırakır.



Şekil 15. Dijital baskı ve serigrafi baskı yöntemiyle üretilen mamulün üretim aşamaları

Dijital baskı prosesi ile artık gerek duyulmayan maliyet kalemleri:

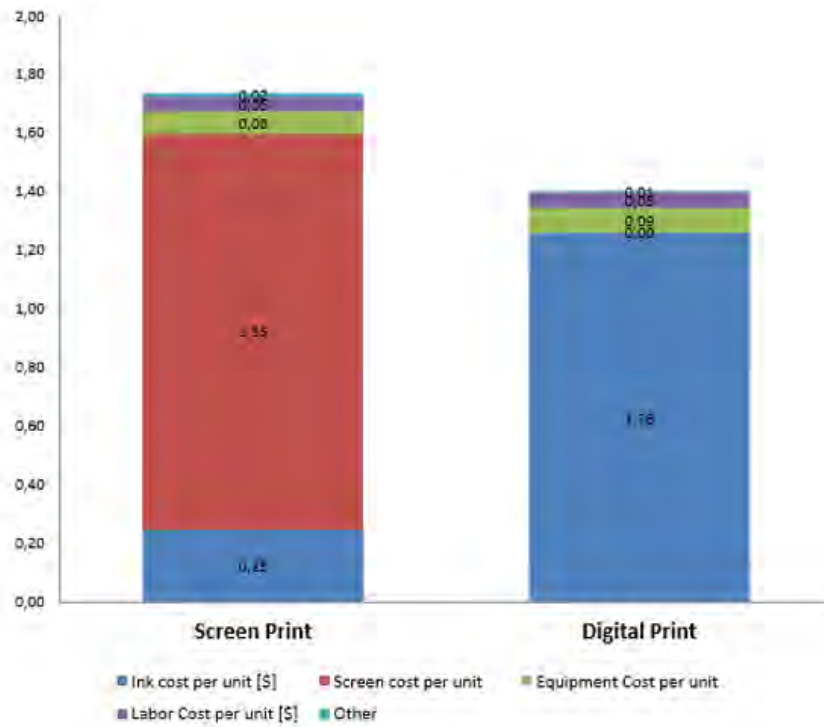
- ✓ Serigrafi maliyetleri (İpek, metal kasa, yapıştırıcı, emisyon)
- ✓ Serigrafi makine maliyetleri (ipek gerdirme tablası, emisyon çekme makinesi, emisyon kütleme cihazı, pozlama cihazı, temiz ve kirli ipek yıkama makinesi)
- ✓ Baskı makineleri (her baskı prosesi için birer tane)
- ✓ Boya-kurutma makineleri (her baskı prosesi için birer tane)
- ✓ Bahsi geçen makinelerin bakımları
- ✓ Baskı prosesinde ihtiyaç duyulan malzemeler (ragle, tiner, ipek silme bezleri, boya karıştırma aparatları vb.)
- ✓ Serigrafi, Boya ve Baskı bölümlerinde çalışan operatörlerin maliyetleri
- ✓ Üretim tesisi içinde serigrafi baskı prosesine bağlı olarak işgal edilen alanlar (boya ve serigrafi hazırlama bölümleri, ipek depolama alanları, uzun baskı ve boya kurutma makinelerini içeren hatlar)



Şekil 16. 6 Renkli bir tasarımın serigrafi ve dijital baskı proses karşılaştırması

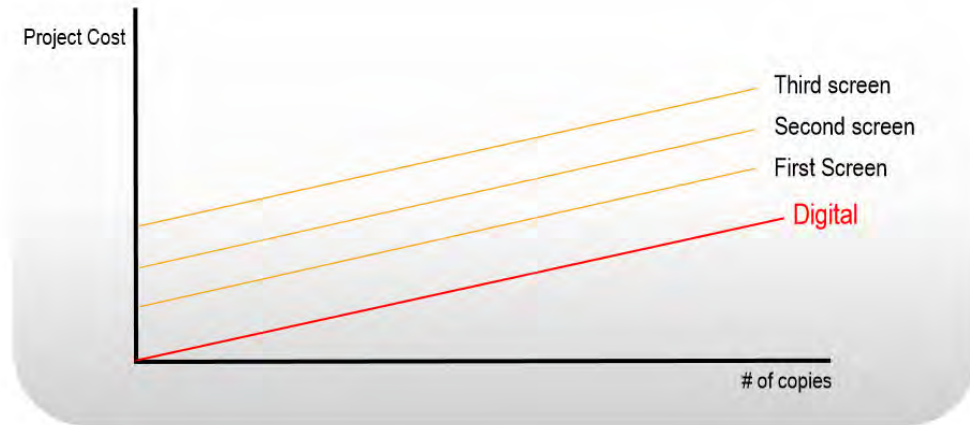
Maliyet avantajlarının yanında dijital baskının çok önemli süre avantajları da bulunmaktadır. Her farklı tasarım için seri üretim başlamadan önce yapılan kalıp bağlama ve ayar süresi tamamen ortadan kalkmaktadır. Ayrıca özellikle çok baskılı ürünlerin üretildiği uzun hatlarda ortaya çıkan konveyör ile taşıma ve her baskı sonrasındaki boya kurutma sebebiyle ortaya çıkan proses süreleri sıfıra inmektedir. Proseste ki süre avantajı ve tasarım süresinin de azalması dijital baskıyı önemli ölçüde verimli kılmaktadır.

Dijital baskı seri üretim hatlarında serigrafi baskı ile üretilen özellikle çok baskılı ve karmaşık ürünlerin üretilmesinde hem maliyet hem de zaman (dolaylı maliyet) avantajı sağlar. Bunun sebebi serigrafi baskıda mecburi olan ipek, kasa, emisyon boyası, ragle vb. materyaller ile her katman için farklı ipek pozlama, baskı ve kurutma işlemlerinin ortadan kalkmasıdır.



Şekil 17. Dijital baskı ile serigrafi baskının maliyet grafiği (USD)

Not: Serigrafi baskıda ürüne fazladan her baskı eklendiğinde maliyet katlanarak artar.



Şekil 18. Dijital baskı ile artan baskı sayısına göre serigrafi baskının maliyet karşılaştırması

Getirdiği maliyet avantajlarının yanında dijital baskı ile karmaşık desen ve renkli özgün/yaratıcı tasarımlara sahip ürünler ortaya konacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] Keskin, B. (2018). Dijital Baskı Teknolojisinin İnorganik Boyalar ile Düz Cam Yüzeylerde Kullanımının Araştırılması . Akdeniz Sanat , 11 (21) , 11-28 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/akdenizsanat/issue/34505/397690>
- [2] Allen, Hugh, 'Pigmentation of inks for emerging inkjet applications on glass, ceramics and metals', NIP & Digital Fabrication Conference, 2008 International Conference on Digital Printing Technologies. Pages 459-931.
- [3] Dondi M. Blosi M., Gardini D., Zanelli C., Ceramic pigment for dijital decoration inks: An overview, Proceedings of Qualicer 2012, Castellón, 2012, 1–12.
- [4] Magdassi S., (2010), Ink requirements and formulation guidelines, The Chemistry of Inkjet Inks, World Scientific Publishing, 19-42.
- [5] Hudd A., (2010), Inkjet Printing Technologies, The Chemistry of Inkjet Inks, World Scientific Publishing, 3-18.
- [6] Kettle J., Lamminmaki T., Gane P., (2010), A review of modified surfaces for high speed inkjet coating, Surface & Coatings Technology, 204, 2103–2109.
- [7] Hutchings I., (2010), Inkjet printing for the decoration of ceramic tiles: technology and oppotunities, QUALICER 2010, 1-17.
- [8] Lazaro V., Mateu A., Reig Y., Breva A., (2012), Beyond colour decoration by Inkjet Technology, Qualicer 2012, 1-12.