TEMPERLİ CAMLARDA FRAGMANTASYONA ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Şevket ÖZKAN
20 14 03 102

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Endüstri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İlkün ORBAK

İstanbul
T.C. Maltepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Şubat,2023

TEMPERLİ CAMLARDA FRAGMANTASYONA ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Şevket ÖZKAN

20 14 03 102

ORCID: 0000-0002-6487-7755

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İlkün ORBAK

İstanbul

T.C. Maltepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Şubat,2023



JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Bu belge, Yükseköğretim Kurulu tarafından 19.01.2021 tarihli "Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge" ile bildirilen 6698 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu kapsamında gizlenmiştir.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI

Bu belge, Yükseköğretim Kurulu tarafından 19.01.2021 tarihli "Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge" ile bildirilen 6698 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu kapsamında gizlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikle beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. İlkün ORBAK' a teşekkürlerimi sunarım.

Dokümantasyon ve bilgi paylaşımı sağlayan Ekrem ÇETİN, Üretim sorumlusu Yolcu ÇUKUR ve Aysun DÖNMEZ' e dokümantasyon ve bilgi paylaşımı sağlayan kalite sorumlusu Ekrem ÇETİN' e testlerde bana gerekli desteği veren Takım Lideri Tahsin ABBAZ' a teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmanın imkanlarının ve koşullarının sağlanıp desteklenmesine olanak sağlayan Tamcam Oto Cam Sanayi A.Ş Planlama Müdürü Murat ZÜLFÜKAR' a teşekkür ederim.

Bu çalışmamda beni destekleyen ve her konuda yardım eden yakın dostum Egemen ÇELİK' e teşekkür ederim.

Her konuda beni destekleyen ve bu çalışma süresince bana gösterdiği ilgi ve güven sayesinde başarıya ulaşmamı sağlayan sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Şevket ÖZKAN

Şubat,2023

ÖZET

TEMPERLİ CAMLARDA FRAGMANTASYONA ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Şevket Özkan
Yüksek Lisans Tezi
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Endüstri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı
Dr. Ögr. Üyesi İlkün Orbak
Maltepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2023

Cam aşırı soğutulmuş alkali ve toprak alkali metal oksitleriyle, diğer metal oksitlerin çözülmesinden oluşan bir sıvı olup ana maddesi silisyumdur. Cam yapısı itibari ile birçok sektörde kullanılmaktadır. Temperlenmiş cam mekanik mukavemeti arttırmak ve darbe sonrası parçalanmasını sağlamak amacıyla özel işleme tutulmuş tek bir tabakadan oluşan camlar olarak adlandırılmaktadır. Otomotivde kullanılan temperli camlar yaklaşık 650-700 derecelik sıcaklık ve 15-25 kPa arası basınçta yapılmaktadır. Fragmantasyon testi otomotiv sektöründeki güvenlik testlerinden biridir. Bu test ile temperlenmiş cam kırılarak standart normlara uygun olarak ölçüm yapılır. Yapılan bu çalışmada iki farklı renk, iki farklı cam kalınlığı, iki farklı fırında kalma süresi ve iki farklı basınç değeri kullanılmıştır. Bu işlemler GLASSTECH marka yatay temper fırınında yapılmıştır. Cam kalınlıkları aynı seçilip sıcaklık, basınç, renk ve fırında kalma süreleri koordineli olarak değiştirilerek camın parça adetleri incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: 1. Cam; 2. Temperli Cam; 3. Temperli Camlarda Fragmantasyon

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF FACTORS AFFECTING FRAGMANTATION IN TEMPERED GLASSES

Şevket Özkan
Master Thesis
Department Of Industrial Engineering
Indurtrial Engineering Master Programme With Thesis
Dr. Ögr. Üyesi İlkün Orbak
Maltepe University Graduate School, 2023

Glass is a liquid formed by the dissolution of subcooled alkali and alkaline earth metal oxides and other metal oxides, and its main material is silicon. It is used in many sectors due to its glass structure. Tempered glass is called glass consisting of a single layer that has been subjected to special treatment in order to increase the mechanical strength and to ensure that it shatters after impact. Tempered glasses used in automotive are made at a temperature of approximately 650-700 degrees and pressures between 15-25 kPa. Fragmentation test is one of the safety tests in the automotive industry. With this test, the tempered glass is broken and the measurement is made in accordance with the standard norms. In this study, two different colors, two different glass thicknesses, two different oven residence times and two different pressure values were used. These processes were carried out in a GLASSTECH brand horizontal tempering furnace. By choosing the same thickness of glass and changing the temperature, pressure, color and residence time in the oven in a coordinated manner, the number of glass pieces was examined.

Keywords: 1. Glass; 2. Tempered Glass; 3. Fragmantetion in Tempered Glasses

İÇİNDEKİLER

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI ii
ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI iii
TEŞEKKÜR iv
ÖZET v
ABSTRACT vi
İÇİNDEKİLER vii
TABLOLAR LİSTESİ x
ŞEKİLLER LİSTESİ xi
KISALTMALAR xi
BÖLÜM 1. GİRİŞ 1
1.1. Problem 2
1.2. Amaç 2
1.3. Önem 2
1.4. Varsayımlar 3
1.5. Sınırlıklar 3
1.6. Tanımlar 4
BÖLÜM 2. YÖNTEM 5
2.1. Araştırma Modeli 6
2.2. Veriler ve Toplanması 6
2.3. Verilerin Çözümlenmesi ve Yorumlanması 6
BÖLÜM 3. Otomobil camlarının üretim aşamaları ve güvenlik testleri 7
3.1. Lamineli Otomobil Camı Üretimi 7
3.2. Lamineli Otomobil Camı Üretiminde Kesim 7
3.2.1. Lamineli otomobil camı üretiminde baskı 7
3.2.2. Lamineli otomobil camı üretiminde fırın 8
3.2.3. Lamineli otomobil camı üretiminde yıkama ve birleştirme 8
3.2.4. Lamineli otomobil camı üretiminde vakum 9

3.2.5. Lamineli otomobil camı üretiminde otoklav 9
3.2.6. Lamineli otomobil camı üretiminde zımpara 9
3.3. Temperli Otomobil Camı Üretimi 9
3.3.1. Temperli otomobil camı üretiminde kesim 9
3.3.2. Temperli otomobil camı üretiminde baskı 15
3.3.3. Temperli otomobil camı üretiminde temper fırını 16
3.3.3.1. Mold 16
3.3.3.2. Pres ring 18
3.3.3.3. Quench 19
3.3.3.4. Nozul 22
3.3.3.5. Gabari 24
3.4. Otomotiv Camlarına Uygulanan Güvenlik Testleri 26
3.4.1. Fragmantasyon (parçalanma) testi 26
3.4.2. 227 Gram bilye testi 27
3.5. Lamineli Otomobil Camlarına Uygulanan Güvenlik Testleri 27
3.5.1. 2260 gram bilye testi 27
3.5.2. Manken kafa testi 27
3.5.3. Yüksek sıcaklık testi 28
3.5.4. Neme karşı dayanım testi 28
3.5.5. Işık geçirgenliği testi 28
BÖLÜM 4. MATERYAL VE YÖNTEM 29
BÖLÜM 5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME 31
BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER 38
KAYNAKÇA 39
EKLER ..... **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
Ek 1. Parça Sayısı 30 Adet ..... **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
Ek 2. Parçacık Sayısı 41 Adet 42
Ek 3. Parçacık Sayısı 180 Adet 43
Ek 4. Parçacık Sayısı 195 Adet 44

Ek 5. Parçacık Sayısı 207 Adet 45
Ek 6. Parçacık Sayısı 193 Adet 46
Ek 7. Parçacık Sayısı 117 Adet 47
Ek 8. Parçacık Sayısı 98 Adet 48
Ek 9. Parçacık Sayısı 120 Adet 49
Ek 10. Parçacık Sayısı 128 Adet 50
Ek 11. Parçacık Sayısı 55 Adet 51
Ek 12. Parçacık Sayısı 68 Adet 52
Ek 13. Parçacık Sayısı 156 Adet 53
Ek 14. Parçacık Sayısı 141 Adet 54
Ek 15. Parçacık Sayısı 183 Adet 55
Ek 16. Parçacık Sayısı 160 Adet 56
Ek 17. Parçacık Sayısı 152 Adet 57
Ek 18. Parçacık Sayısı 146 Adet 58
Ek 19. Parçacık Sayısı 186 Adet 59
Ek 20. Parçacık Sayısı 183 Adet 60
Ek 21. Parçacık Sayısı 183 Adet 61
Ek 22. Parçacık Sayısı 221 Adet 62
Ek 23. Parçacık Sayısı 182 Adet 63
Ek 24. Parçacık Sayısı 175 Adet 64
Ek 25. Parçacık Sayısı 109 Adet 65
Ek 26. Parçacık Sayısı 110 Adet 66
Ek 27. Parçacık Sayısı 56 Adet 67
Ek 28. Parçacık Sayısı 44 Adet 68
Ek 29. Parçacık Sayısı 74 Adet 69
Ek 30. Parçacık Sayısı 69 Adet 70
Ek 31. Parçacık Sayısı 158 Adet 71
Ek 32. Parçacık Sayısı 162 Adet 72

ÖZGEÇMİŞ 73

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Lamine Cam Üretim Aşamaları 7

Tablo 2. Temper Fırını Parametreleri 30

Tablo 3. Değişken Parametre Ve Değerleri 30

Tablo 4. Elde Edilen Sonuçlar 31

Tablo 5. Cam Kalınlık Sonuçları 32

Tablo 6. Cam Rengi Sonuçları 33

Tablo 7. Hava Basınç Değeri Sonuçları 33

Tablo 8. Fırında Kalma Zamanı Sonuçları 34

Tablo 9. Minitab Program Sonuçları 35

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.Camın Robot Yardımıyla Vakumlanıp Taşınması 10

Şekil 2. Board Firesinin Camdan Ayrılması 11

Şekil 3.C Rodaj 12

Şekil 4. Delik Açma İşlemi 13

Şekil 5. Camın Yıkama Makinesi Gönderilmesi 14

Şekil 6. Yıkama Makinesinde Çıkan Camlar 15

Şekil 7. Baskı İşlemi 16

Şekil 8. Moldun İç Kısmı 17

Şekil 9. Moldun Dış Kısmı 17

Şekil 10. Pres Ring 19

Şekil 11. Pres Ringin Araba Üzerindeki Konumu 19

Şekil 12. Quench 21

Şekil 13. Camın Quench Üzerindeki Konumu 21

Şekil 14. Üst Nozul 23

Şekil 15. Alt Nozul 23

Şekil 16. Gabari 25

Şekil 17. Gabariden Alınan Değerlerin Ekrana Yansıtılması 25

Şekil 18. Fragmantasyon Testinin Yapılacağı Alanın Belirlenmesi 26

Şekil 19. R Program Çıktısı 34

Şekil 20. Minitab Yöntem 36

Şekil 21. Minitab Regresyon Denklemi 36

Şekil 22. Minitab Katsayılar 36

Şekil 23. Minitab Model Özeti 36

Şekil 24. Minitab Varyans Analizi 37

KISALTMALAR

kPa : Kilopascal

SiO_2 : Silika

Na_2CO_3 : Soda

CaCO3 : Kireç Taşı

CaMg (CO3)2: Dolomit

M.Ö : Milattan Önce

°C : Celcius Derece

mm : Milimetre

UV : Ultraviyole

gr : Gram

PVB : Polivinil Butiral

sn : Saniye

Hz : Hertz

Dk : Dakika

Kg : Kilogram

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Cam ani soğutulmuş alkali ve toprak alkali metal oksitleriyle diğer kimi metal oksitlerin çözülmesinden oluşan akışkan bir malzeme olarak tanımlanabilir. (Wikipedia, 2022). Yapısında bulunan malzemeler silika (SiO_2) soda (Na_2CO_3) kireç taşı (CaCO3) dolomit (CaMg (CO3)2) olarak sıralayabiliriz. (Guardianglass, 2022). Camın ilk olarak ne zaman üretildiği net olarak bilinmese de mevcut en eski cam eşyalar yaklaşık olarak M.Ö. 2500 yıllarına ait Antik Mısır boncuklarıdır. Daha geç dönem Mısır bulgularında ise tüye benzer renkli zikzak paternleri olan cam kaplara rastlanmaktadır. Bilinen ilk cam reçetesi M.Ö. 650 yılında Mezopotamya'da bulunan kil tablete yazılmıştır. 15.yüzyıl civarında Venedik'te ilk kristal cam icat edilmiştir. 1675 yılında George Ravenscroft adlı cam ustası, cama kurşun oksit ilave ederek kurşunlu camın icadını yapmıştır. Büyük cam levhaların icadı ise günümüze yakın bir tarihte,1902 yılında yapılmıştır. Camdan yapılmış kavanozlar ve şişeler 1904 yılının ağustos ayında, Mıchael Owen'ın icat ettiği bir makine ile yapılmaya başlanmıştır. (Camsiseambalaj, 2017). Camın hammaddesi olan silisyum en çok kumda bulunmaktadır ve bilgisayar kontrollü ortamda maddeler ayrıştırılmaktadır. Gerekli hammaddeler karıştırıcılara alınıp, fırınlara aktarılmaktadır. Fırında 1500 santigrat derecelik sıcaklıkta ergiyen karışıma, kireç karıştırılarak saydam hale getirilmektedir. (Saygın, 2019). Şekillendirmenin yapılabilmesi için 800 santigrat derecenin üzerinde ısı gerekmektedir. Camların kalitesi ve dayanıklığı içerisinde bulunan silis ve alüminyum maddelerinin kullanım oranına göre farklılık göstermektedir.

Temperleme işlemi, yatay hat üzerinde camın dış yüzeylerine basınç gerilimi, camın ortasına ise dolaylı bir çekme gerilimi kazandırmak için ısıtma ve ani soğutma işlemi olarak tanımlanabilir. Temperleme emniyet camı üretme yöntemi olarak uygulanmaktadır. Otomotiv, inşaat, beyaz eşya, sektörlerinde camların mekanik dayanımı arttırma yöntemidir. Temperli cam tempersiz cama oranla yaklaşık 5 kat daha dayanıklı olup, kırıldığı zaman ufak parçalara ayrıldığından yaralanma riskini minimum seviyeye çektiği için güvenlik camı olarak kullanıma uygundur. Teknik olarak temperleme, camın özel bir fırında yaklaşık 650-750 °C kadar ısıtılması ve sonrasında camın her iki yüzeyine hava üflenerek hızlıca soğutulması ile oluşmaktadır.

1.1. Problem

Otomotiv sektöründe kullanılan camların önemli bir kısmı güvenlik amaçlı kullanılmaktadır. Güvenlik kavramı genelde kırılmanın sonucu ortaya çıkabilecek risklere bağlıdır. En yaygın risk türü kişilerin ağır yaralanmasıdır. Camın sıcaklık ve darbeye dayanıklı hale gelmesi için temperleme işleminden geçirilmesi gerekmektedir. Temperleme işlemlerinden geçen cam 300 °C bir ısıl şoka dayanıklı hale gelmekteyken, 30-50 °C' lik bir ısıl şok temperlenmemiş camın kırılmasına neden olmaktadır. (Monnoyer ve Lochegnies, 2008).

Temperli camlardan istenen özellikler, kırıldığında keskin köşelere sahip olmayan küçük parçalara ayrılması, belirli bir mekanik mukavemete sahip olması, optik olarak görüntüyü engellememesi ve gözü yormaması, yüzeyinde dalgalanma olmaması ve zaman içinde optik özelliklerini kaybetmemesidir. İstenen bu koşulları tam anlamıyla sağlayabilmek için temperleme işleminin her aşaması iyi yönetilmelidir. (Gölcü ve Köseoğlu, 2013).

Bu nedenle bu çalışmanın ana noktası temperleme işlemini etkileyen değişkenler üzerinde deneysel çalışmalar yaparak otomotiv sektöründeki kullanımında parçacık sayısının önemini deneysel olarak inceleyip en ideal parçacık sayılarını bulmaya çalışmaktır.

1.2.Amaç

Bu tezin amacı otomotivde kullanılan temperli camlarda parça sayısına etki eden faktörlerin incelenmesidir. Temperli camlarda parçacık sayısına etki eden değişkenler çok olmakla birlikte bu çalışmada incelenecek olanlar şunlardır. Cam kalınlığı, cam rengi, Camın fırında kalma zamanı ve hava basıncı.

Belirtmiş olduğum değişkenlerin parçacık sayısına etkisi deneysel olarak ele alınacaktır. Bu anlamda çalışmanın literatüre deneysel olarak katkı sağlanması beklenmektedir.

1.3.Önem

Otomotiv temperli camlar araçlarda kapı camı, kelebek camı, arka cam ve tavan camı olarak kullanılmaktadır. Temperli camlar güvenlik camı olarak da bilinmektedir. Düz camların ergime sıcaklığı yaklaşık 650 °C'dir. Cam bu sıcaklığa geldikten sonra bombesini pres ya da doğal çöktürme yöntemi ile alır. Şeklini alan camın alt ve üst yüzeyine ani hava

üfleyerek cam soğutulur ve temperli camın üretimi gerçekleştirilir. Temperli camlarda güvenlik testlerinden fragmantasyon testi uygulanır. Fragmantasyon testi sonucunda elde edilen parça sayısı 40'dan az veya 400'den fazla olması durumunda kaza anında ciddi yaralanmalara sebep olacaktır. Bu durumun yaşanmaması için üretim esnasında emniyet sınırları içinde kalmak gerekmektedir.

Bu tez çalışmasının objektif ve doğru sonuçlar vermesini sağlamak için deneylerin aynı şartlar altında yapılarak analiz yöntemi ile bir sonuca ulaşılmasına çalışılmaktadır.

1.4.Varsayımlar

1980'li yıllara kadar otomotiv kapı ve arka camlarında düz camlar kullanılıyordu. Kullanılan bu camlar kaza anında yaralanmalara ve ölümlere yol açtığı için yeni fikirler ortaya çıktı. Yapılan araştırma ve incelemeler sonucunda temperli camlar kullanılmaya başlandı. Temperli camlar boyutsal olarak ve hacimsel olarak olarak küçük parçalara ayrıldığı için insan sağlığına minimum zarar verdiği gözlemlendi. Temperli camlarda ki fragmantasyon testinden elde edilen parçacık sayıları kalite standartlarında belirlenmiş olmaktadır. Camın bombesine ve belirlenen referans bölgesine göre fragmantasyon işleminin yapıldığı bölge değişkenlik göstermektedir.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte otomotiv sektöründe güvenlik sürekli olarak iyileştirilmeye çalışıldı ve çalışılmaya devam etmektedir. Camlar otomotiv sektörünün en önemli parçalarının başında gelmektedir. Yolculuk esnasında camdaki bozukluklar sürücünün dikkatini dağıtacağından ve kazaya sebebiyet vereceğinden minimum hata toleransıyla üretilmek istenmektedir.

1.5.Sınırlıklar

Tez çalışması kapsamında, ikincil kaynaklardan istifade edilmek suretiyle, konuya ilişkin basılı eserler, kitaplar, akademik tezler, makaleler, analizler ve internet yayınlarından da faydalanılacaktır. Yapılacak olan deneyler ve testler fabrika ortamında ki üretim alanında ve laboratuvarında gerçekleştirilecektir. Test ve deneylerde fabrikada bulunan mühendis, takım lideri, operatör ve kalite personellerinden destek alınacaktır.

Fragmantasyon testi temperli otomobil camlarına uygulanan dünya standartlarında ki güvenlik testidir.

1.6.Tanımlar

Temperli cam bir tür güvenlik camı olarak kullanılmaktadır. Camın mukavemetini arttırmak için ergime noktasına kadar ısıtılır ve ani soğutma uygulanarak camın yapısı kuvvetlendirilir.

Lamine cam da bir tür güvenlik camı olarak kullanılmaktadır. İki plaka cam arasına polivinil butiral (PVB) yerleştirilir. Bu plakalara ısı ve basınç uygulanarak lamine cam haline getirilir.

Fragmantasyon testi temperli otomobil camlarına uygulanan dünya standartlarında ki güvenlik testidir.

BÖLÜM 2. YÖNTEM

Deneysel araştırma tekniğinin kullanıldığı tez çalışması kapsamında konuya ilişkin deneyler çalışmakta olduğum kurumda yapılacaktır.

Deneysel araştırma yönteminde bir araştırma için gerekli bilgiler belirli bir konu ile ilgili yapılan deneyler yardımı ile elde edilmektedir. Deney sözlük anlamı itibari ile bilimsel bir gerçeği göstermek, bir yasayı doğrulamak, bir varsayımı kanıtlamak amacıyla yapılan işlem olarak tanımlanmaktadır. Deneysel araştırmalar oluşturulan ortamda kontrollü şekilde neden-sonuç ilişkilerinin anlaşılmasına olanak sağlamak olarak tanımlanmaktadır. Deneysel araştırmalar neden-sonuç ilişkisinin kurulabildiği en iyi yöntem olarak kabul edilir. Dış değişkenlerin maksimum düzeyde kontrol edilmesini sağlaması ve bağımsız değişken üzerinde değişiklik yapma şansı deneysel araştırmaların güçlü yönlerindendir. İncelenen faktör araştırmacının kontrolündedir ve araştırmacı istediği taktirde değiştirebilir. İncelenen faktör dışındaki tüm değişkenler sabit tutulabilir.

Faktöriyel tasarım; Deney sonuçlarına etki edebilecek faktörlerin belirlenmesi, kontrol edilemeyen faktörlerin etkisini en aza indirebilecek şekilde deneyin tasarlanması, faktörlerin etkisini değerlendirmek için istatistiksel analiz yapılması amaçlarıyla kullanılır. (Bulut P. ve Özer Y.A. 1990)

Faktöriyel tasarım pahalı araştırma giderlerini azaltmak için tercih edilmektedir. Bununla birlikte faktöriyel tasarım kullanılarak emek ve zamandan tasarruf edilmektedir. Deney oluştururken n değişken sayısı olsun. 2n faktöriyel tasarımında 2n sayıda değişke kombinasyonu bulunmaktadır. Değişken sayısı arttırıldığında deney sayısı da artacaktır. İkiden fazla deney yapılması hem zaman hem de emek açısından zahmetli olacaktır. Bu yüzden değişken kombinasyonları özel bir sıralama ile yapılmaktadır. Faktöriyel tasarım istenilen sonuca ulaşmak için en az deney yapma ilkesine sahip bir deney tasarım yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntem kullanılarak biden fazla değişkenle en az sayıda deney yaparak incelenen olay üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Faktöriyel tasarım birçok avantaj sağlamaktadır. Faktöriyel tasarım deneylerin düzenlemesi, sonuçlara ulaşmanın kolay olması, sonuca ulaşmak için çok az sayıda deney yapılması ve sonuçlara

en yüksek duyarlılıkta ulaşmak, deney sırasında deney hatasını belirleyebilme imkanı, karmaşık modellerde önceden bulunmuş olan deney sonuçlarını bir sonraki deney sonuçlarıyla birleştirilmesi gibi avantajlar sağlamaktadır. (Dinç S. 2008)

2.1. Araştırma Modeli

Bu tez çalışması araştırma konusuna temel oluşturan bilgilerin literatürden alınıp deneysel kısımları ve analizleri deneme metoduyla yapılacaktır. Bilimsel araştırmalarda verilerin sistematik bir şekilde toplanması ve analiz edilmesi büyük önem arz etmektedir. Dünya üzerinde cam sektöründe tez, makale ve deneme yazmış kişiler ile cam sektöründe bulunan firmaların kaynaklarından yararlanılacaktır.

2.2. Veriler ve Toplanması

Araştırma amaçlarına uygun olarak çalışma yapacağım deneylerin ve önceden kabul görmüş şartnamelerin harmanlanması ile oluşacaktır. Teorik kısımlar tez, makale, internet ortamı, mühendisler, operatörler tarafından edinilecek bilgi ile açıklanacaktır. Deneysel kısımlar üretim alanında bulunan temper fırını ve laboratuvar ile sağlanacaktır. Elde edilen sonuçlar kalite standartları gereği otomotiv firmalarının istemiş olduğu değerler ile karşılaştırılarak analiz edilecektir.

2.3. Verilerin Çözümlenmesi ve Yorumlanması

Toplanan veriler bilgisayar programları yardımı ile analiz edilecektir. Excel yardımıyla veriler tablo ve grafik olarak aktarılacaktır. Elde edilen değerler incelenerek genel bir yargıya varılacaktır. Verilerin çözümlenmesinde ve Minitab ve R programları kullanılarak elde edilen değerlerin anlamlı bulunup bulunmadığı irdelenecektir.

BÖLÜM 3. OTOMOBİL CAMLARININ ÜRETİM AŞAMALARI VE GÜVENLİK TESTLERİ

3.1. Lamineli Otomobil Camı Üretimi

Lamine cam, polivinil butiral (PVB) tabakalar ile iki camı sıcaklık ve basınç yardımıyla birbirine bağlayan güvenlik camı olarak adlandırılır. PVB cam kırılsa dahi iki camı birbirinden ayırmadığı için yaralanma riskini en aza indirmektedir. Lamine camın üretim aşaması aşağıdaki tablo ifade edilmiştir. Tablo 1'de lamine cam üretim aşamaları gösterilmiştir.

Tablo 1. Lamine Cam Üretim Aşamaları

KESİM → BASKI → FIRIN(BÜKME) → PVB İLE BİRLEŞTİRME → VAKUM → OTOKLAV

3.2. Lamineli Otomobil Camı Üretiminde Kesim

Plaka halinde gelen camlar elmas uçlar yardımıyla kesilmektedir. Elmas uçlar cama istenen şekillerde çizikler atmaktadır ancak camı ayıramamaktadırlar. İstenilen şeklin dışında kalan alanda kırma tekeri gezerek camları birbirinden ayırmaktadır. Şeklini alan cama rodaj yapılır ve camın kenar keskinliği giderilmektedir. Rodaj işleminden sonra cam yüzeyinde kalan cam tozu, leke ve yabancı maddelerin temizlenmesi için yıkama işlemi gerçekleştirilmektedir. Yıkama işleminden sonra cam kurutma fırınına gönderilerek üzerinde bulunan sudan arındırılarak baskı odasına gönderilmektedir.

3.2.1. Lamineli otomobil camı üretiminde baskı

Baskı iç cama yapılmaktadır. Baskı masasına gelen cam gönyelenmektedir. İpekten yapılmış elek cama göre referanslamaktadır. Baskı işlemi gerdirilmiş ipek içerisinden camın yüzeyine seramik boyanın ragle yardımıyla cam yüzeyine işlenmesi için gerçekleştirilmektedir. Baskı işleminin yapılmasının sebebi camın araç yüzeyine yapışmasını sağlayan kimyasal UV ışınlarından etkilenmesini engellemek ve estetik açıdan güzel görünmesini sağlamaktır.

Baskı işleminde markalama yapılmaktadır. Marka kısmında üretici firma bilgileri, üretim tarihi, standartlar gibi bilgiler bulunmaktadır. Baskı işlemi yapılan cam kurutma fırınına gönderilmektedir. Boyanın içeriğine göre değişmekle birlikte ortalama 140-170 °C'de 70 sn bekletilen cam yüzeyinde bulunan boya kurutulmaktadır.

3.2.2. Lamineli otomobil camı üretiminde fırın

Baskısız cam pudra makinesine girmektedir. Camın üst yüzeyine homojen olarak kuru pudra serpilmektedir. Dış cama pudra serpilmesinin amacı fırına girecek camların birbirine yapışmasını engellemektir. Kurutma fırınından çıkan iç cam ile pudra makinesinden çıkan dış cam robot yardımıyla eşlenmektedir.

Her şekilli camın kendi şekline göre yapılmış özel kalıpları bulunmaktadır. Bu kalıplara yerleştirilen camlar büküm fırınına doğru gönderilmektedir. Büküm fırınında ön ısıtma, ön büküm ve büküm bölümleri bulunmaktadır. Bu bölümlerde altta, üstte ve yan taraflarında rezistanslar bulunmaktadır. Camların bombe değerlerine göre programlar seçilir ve cam fırın içine gönderilmektedir. Büküm bölümüne yaklaşık 650-670 °C gelen cam pres yardımıyla nihai şeklini almaktadır. Fırından çıkan camın yüzeyine tansiyon fanları 20 Hz hızla 5 sn boyunca hava üflemektedir. Bu işlemin amacı camın basınç gerilimini belirli sınıflar içinde tutmaktır. Cam fanlar yardımıyla soğutulmaya devam eder ve bombe kontrolü yapılan alana gelene kadar sıcaklığı 55-60 C°' ye kadar düşmektedir.

3.2.3. Lamineli otomobil camı üretiminde yıkama ve birleştirme

Fırından çıkan camlar birleştirme öncesi yıkama makinesine gönderilmektedir. Yıkama makinesinin içinde bulunan fıskiyeler yardımı ile tazyikli su camın üzerine gelerek cam yüzeyinde bulunan pudrayı ve tozları temizlemektedir. Yıkanan camlar kurutma fırınına gönderilmektedir. Cam yüzeyinde bulunan su hava yardımı ile sıyırılarak kurutulmaktadır. Kuruyan cam soğuk odaya gönderilmektedir. Cam yüzey sıcaklığı düşürülerek birleştirme bölümüne gönderilmektedir. Bu işlemin yapılış amacı 2 camın arasına giren PVB sıcak cam yüzeyine temas ederek kesilememesinin önüne geçmek için yapılmaktadır. Soğuk odadan konveyörler yardımı ile birleştirme odasına iç ve dış olarak ayrılarak gelen camlardan iç camın üzerine PVB yerleştirilmektedir. Dış cam da PVB

üzerine yerleştirilerek köşe noktalarından birbirini örtecek şekilde referanslanmaktadır. 4 kenardan kalan fazlalık PVB bıçak yardımıyla kesilmektedir. Birleştirme odasından çıkan cam vakum bölümüne gönderilmektedir.

3.2.4. Lamineli otomobil camı üretiminde vakum

Vakum bölümünde laminasyon işleminin ilk aşaması başlatılmaktadır. Camın ebadına göre vakum ringleri takılır. Vakum ringleri takılan cam, vakum fırını kollarına yerleştirilmektedir. Vakum ringinin vakum yapacak kanalı vakum musluğuna takılır. Vakum fırını 3 odadan oluşmaktadır ve sıcaklık kademeli olarak arttırılmaktadır. Oda 1 85 °C, oda 2 115 °C oda 3 145 °C'dir. Vakumda yapılan işlemin amacı PVB' nin kanallarında bulunan havayı çekerek PVB' yi 2 cama yapıştırmayı sağlamaktır. Camın vakum fırınında ortalama kalış süresi 55 dakikadır.

3.2.5. Lamineli otomobil camı üretiminde otoklav

Laminasyon işleminin gerçekleştiği bölümdür. Sıcaklık ve basınç kademeli olarak artıp ve azalmaktadır. Sıcaklık 0 °C'den 140 °C'ye geldiğinde, basınç 0'dan 1.5 bar'a geldikten sonra kademeli soğuma başlamaktadır. Camın çıkış sıcaklığı 50 °C'ye basınç 0 bar' a ulaştığında laminasyon tamamlanmış olmaktadır.

3.2.6. Lamineli otomobil camı üretiminde zımpara

Otoklavda yüksek basınç ve sıcaklık uygulanan camın içindeki PVB yumuşayarak camın dışına çıkmaktadır. Trim makinesine gönderilerek fazlalık olan PVB zımparalanmaktadır. Trim makinesinden sonra camın araç yüzeyine monte edilmesini sağlayan mastiğin tutması için primer çekilir ve camın şaseye oturmasını sağlayan gerekli alt parçalar takılarak işlem sonlandırılmaktadır.

3.3. Temperli Otomobil Camı Üretimi

3.3.1. Temperli otomobil camı üretiminde kesim

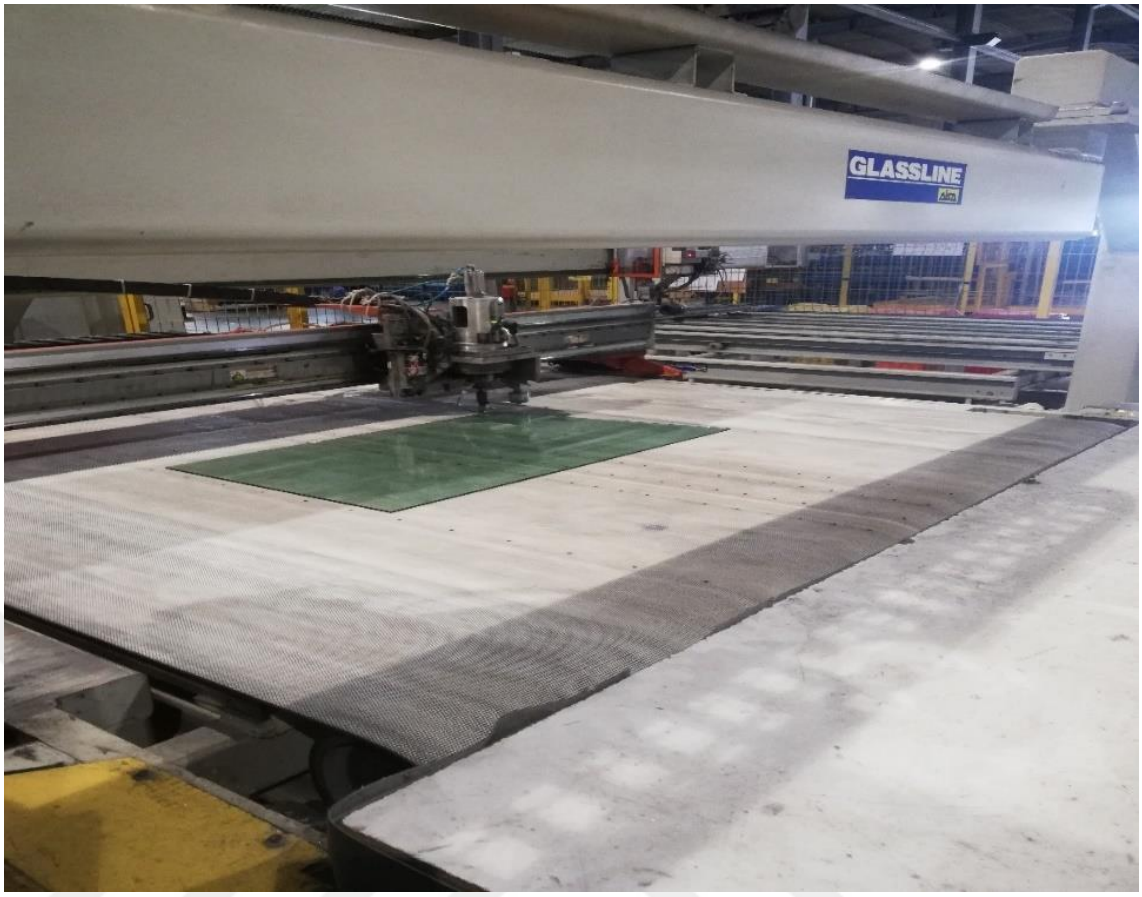
Üretilecek camın hammaddesinin ölçüsüne cutsize denir. Cutsize olarak gelen camlar, camın en uzun ve en yüksek kenarlarından 15 mm pay verilerek yeni bir dikdörtgen cutsize oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu cutsizelar simetriktir. Cutsizeları oluşturulan

camlar, robot yardımıyla vakumlanarak kesim tablasına gönderilmektedir. Şekil 1'de robot yardımıyla camın vakumlanıp taşınması gösterilmiştir.



Şekil 1. Camın Robot Yardımıyla Vakumlanıp Taşınması

Kesim tablasında istenilen ölçülerde elmas uçlarla kesimi yapılan camlar kırım tekerlekleri yardımı ile board firesini camdan ayırmaktadır. Şekil 2'de board firesinin ayrılma işlemi gösterilmiştir.



Şekil 2. Board Firesinin Camdan Ayrılması

Board firesi, istenilen ölçünün dışında kalan kesim esnasında oluşan firedir. Kesim işlemi yapıldıktan sonra cam shuttle yardımıyla rodaj tablasına taşınmaktadır. Rodaj tablasında camın sivri kenarlarına rodaj diski yardımıyla C rodaj yapılmaktadır. Şekil 3 ‘de C rodaj işlemi gösterilmiştir.



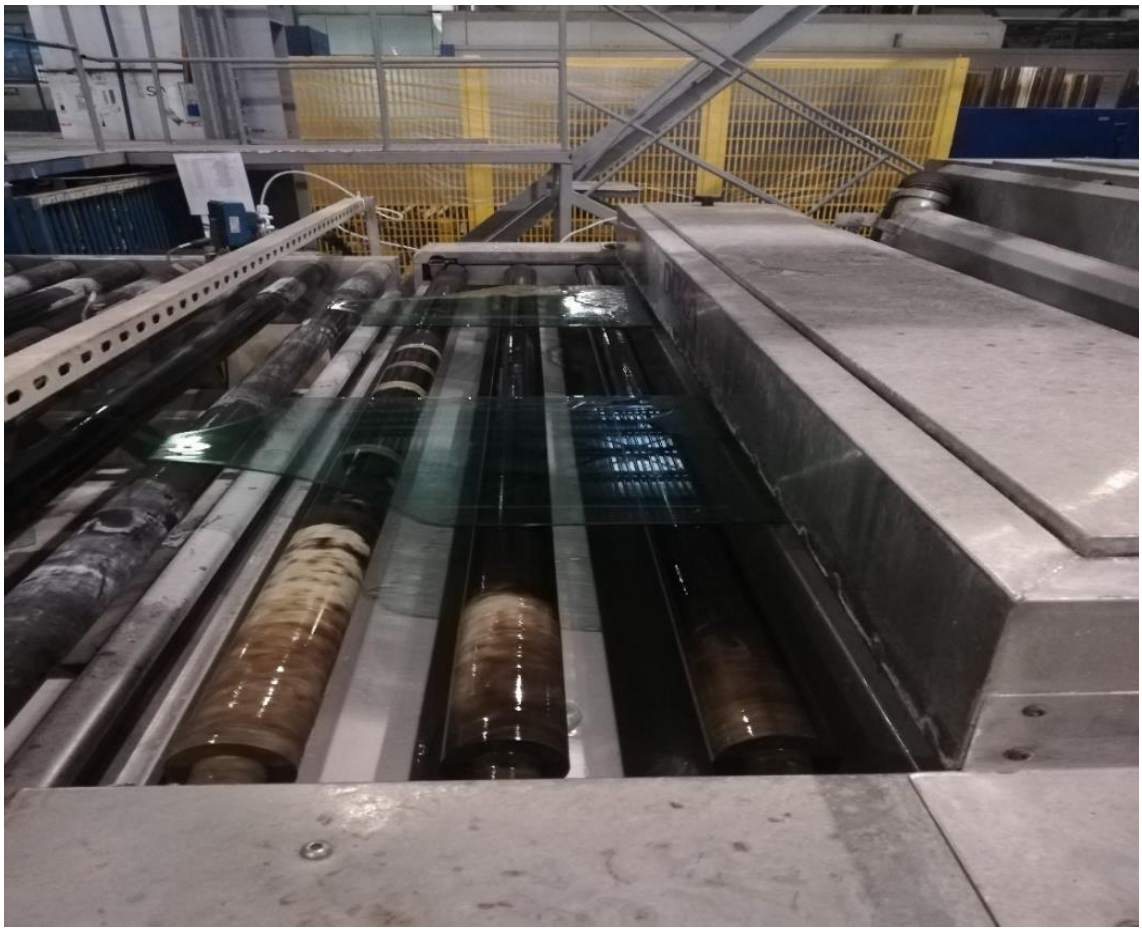
Şekil 3.C Rodaj

Rodajı yapılan cam delik açma masasına gönderilmektedir. Cama delik açma işlemi pinol denilen kesici elmas uçlar yardımıyla yapılmaktadır. Şekil 4'de delik açma işlemi gösterilmiştir.



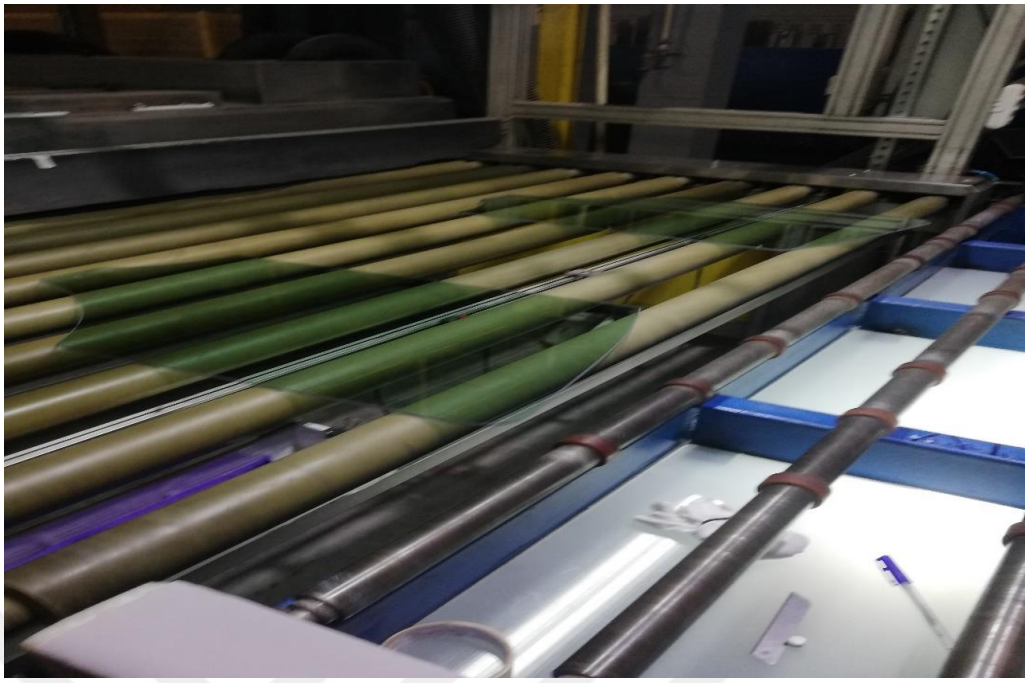
Şekil 4. Delik Açma İşlemi

Cam tek taraflı delinmesi zor bir maddedir. Bu yüzden delme işlemi alttan ve üstten ayrı olacak şekilde gerçekleştirilmektedir. 3.5 mm kalınlığındaki bir camı delmek için alttaki pinol 2 mm, sonra üstteki pinol 2.5 mm ilerleyerek delme işlemini gerçekleştirmektedir. Bu mesafeler pinolün havşa boyutuna göre değişkenlik göstermektedir. Bu işlemlerden geçen cam yıkama makinesi gönderilmektedir. Şekil 5'de camın yıkama makinesine girişi gösterilmektedir.



Şekil 5. Camın Yıkama Makinesi Gönderilmesi

Yaklaşık olarak 40-60 °C arasındaki su kimyasal asitlerin bulunduğu makineden geçen cam fırçalar yardımıyla yüzeyinde bulunan maddelerden temizlenerek baskı odasına gönderilmektedir. Şekil 6'da yıkanmış camlar gösterilmiştir.



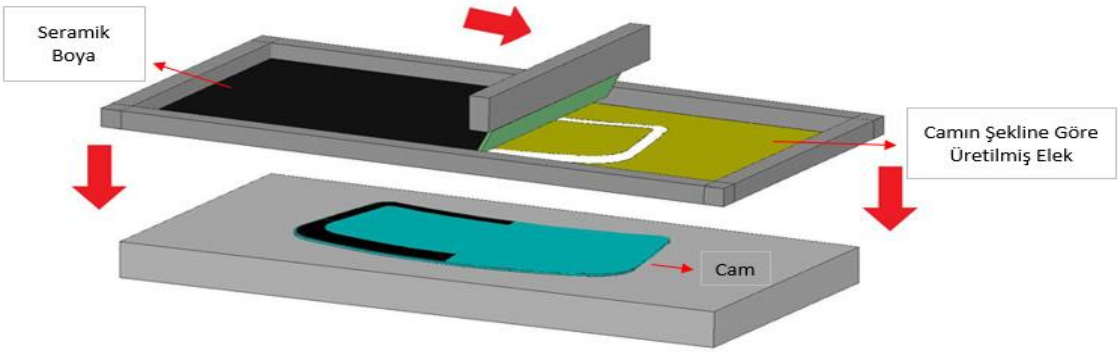
Şekil 6. Yıkama Makinesinde Çıkan Camlar

3.3.2. Temperli otomobil camı üretiminde baskı

Baskı odasına gelen cam hat üzerinde bulunan gönyeleme pistonları üzerinde konumlandırılmaktadır. Gönyeleme işleminden sonra gerdirilmiş ipek içerisinden camın yüzeyine seramik boya ragle yardımıyla işlenmektedir. Şekil 7'da baskı işlemi gösterilmiştir. Elekten camın yüzeyine geçen boya miktarı camın boyutuna ve kullanım alanına göre değişkenlik göstermektedir. Temperli camlarda farklı gramajlarda boya kullanılmaktadır. Baskının amacı estetik açıdan uygun olması, görsel kusurları kapatmak ve camın araç üzerine yapışmasını sağlayan kimyasalların UV ışınlarından korunmasını sağlamaktır.

Baskı işleminden sonra camlara müşteri özel istekleri doğrultusunda markalama yapılmaktadır. Marka bölümünde üretici firma bilgisi, standart isimler ve üretim tarihi gibi bilgiler bulunmaktadır. Ürün takip ve izlenebilirliği için marka gerekmektedir. Baskı ve marka işlemlerinden sonra cam kurutma makinesine gönderilmektedir. Boyanın kimyasal yapısı ve kurutma fırını özelliklerine göre her camda farklı süreler ve sıcaklıklar kullanılmaktadır. Genel olarak ortalama 140-190 °C arasında sıcaklık tercih edilmektedir. Kurutma fırınının kullanım amacı camın temper fırınına taşınması esnasında ıslak olan

baskı ve marka üzerine toz, yabancı madde vb. diğer cisimlerin yapışmasını engellemektir.

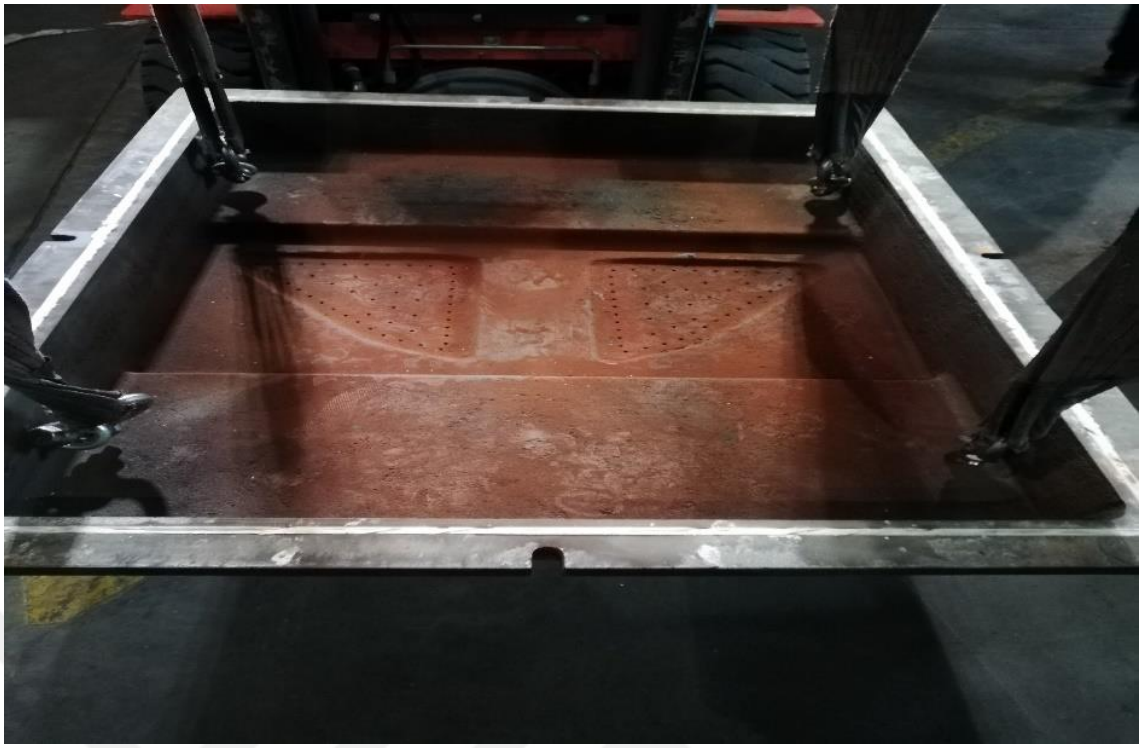


Şekil 7. Baskı İşlemi

3.3.3. Temperli otomobil camı üretiminde temper fırını

3.3.3.1. Mold

Mold dökümden yapılan ve camın şeklini almasını sağlayan kalıptır. Camın hem boyutuna hem de bombesine göre özel tasarım olarak yapılmaktadır. Mold istenen camın ters formunda oluşturulmaktadır. Şekil 8 ‘de moldun iç kısmı gösterilmiştir. Moldda camın geleceği yüzeylerde hava delikleri bulunmaktadır ve bu delikler eşit boyutlardadır. Moldun yüzeyinde bulunan delikler cama vakum yapılmasını sağlamak için oluşturulmuştur. Şekil 9 ‘de moldun dış kısmı gösterilmiştir. Moldun cama yapışan yüzeyinde kevlar bez kullanılmaktadır. Bu bezler yanmaz özelliktedir. Kullanım amacı camın döküm ile temasını engelleyip kırılmamasını sağlamaktır.



Şekil 8. Moldun İç Kısmı



Şekil 9. Moldun Dış Kısmı

3.3.3.2. Pres ring

Pres ring demirden yapılan 1-1 boyutunda olan camı molda iletmeyi sağlayan yardımcı teçhizattır. Şekil 10'de pres ring gösterilmiştir. Pres ring fırın ile nozul arasında bulunan araba üzerinde konumlandırılmıştır. Şekil 11'de pres ringin konumu gösterilmiştir. Camın şekil almasını sağlamak için kullanılmaktadır. Presin yüzeyinde de özel yapım bezler kullanılmaktadır. Bu bezler camın metal ile temasını engellemek için tercih edilmektedir.



Şekil 10. Pres Ring

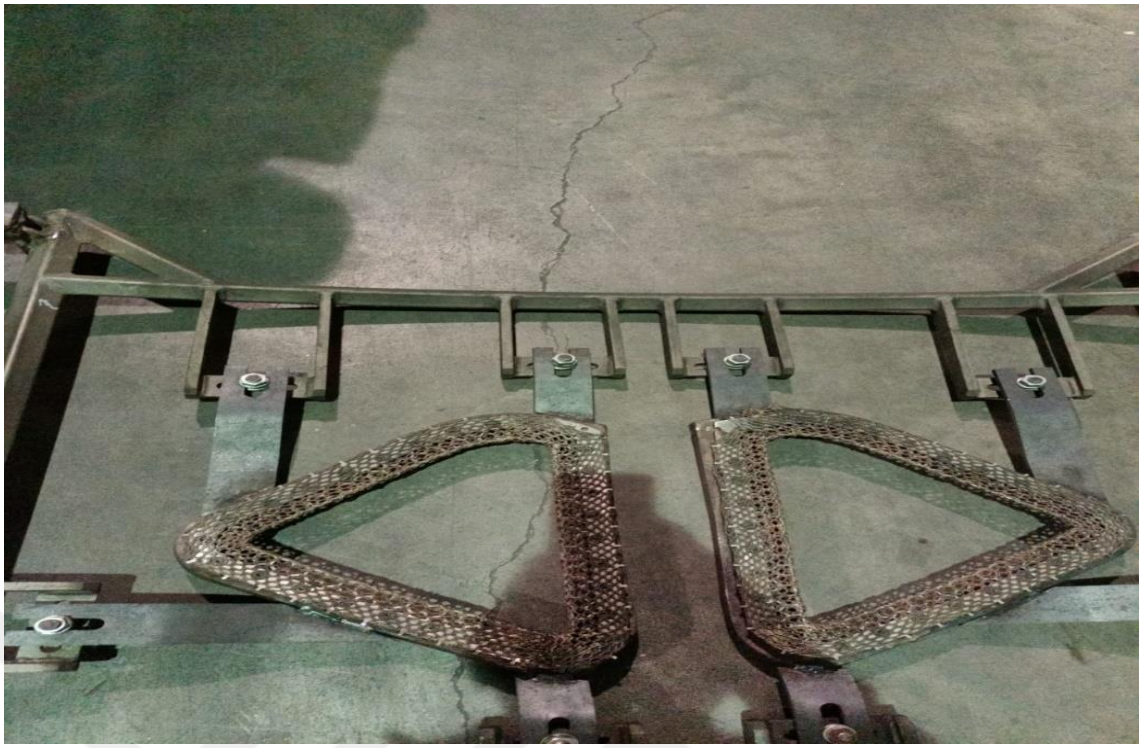


Şekil 11. Pres Ringin Araba Üzerindeki Konumu

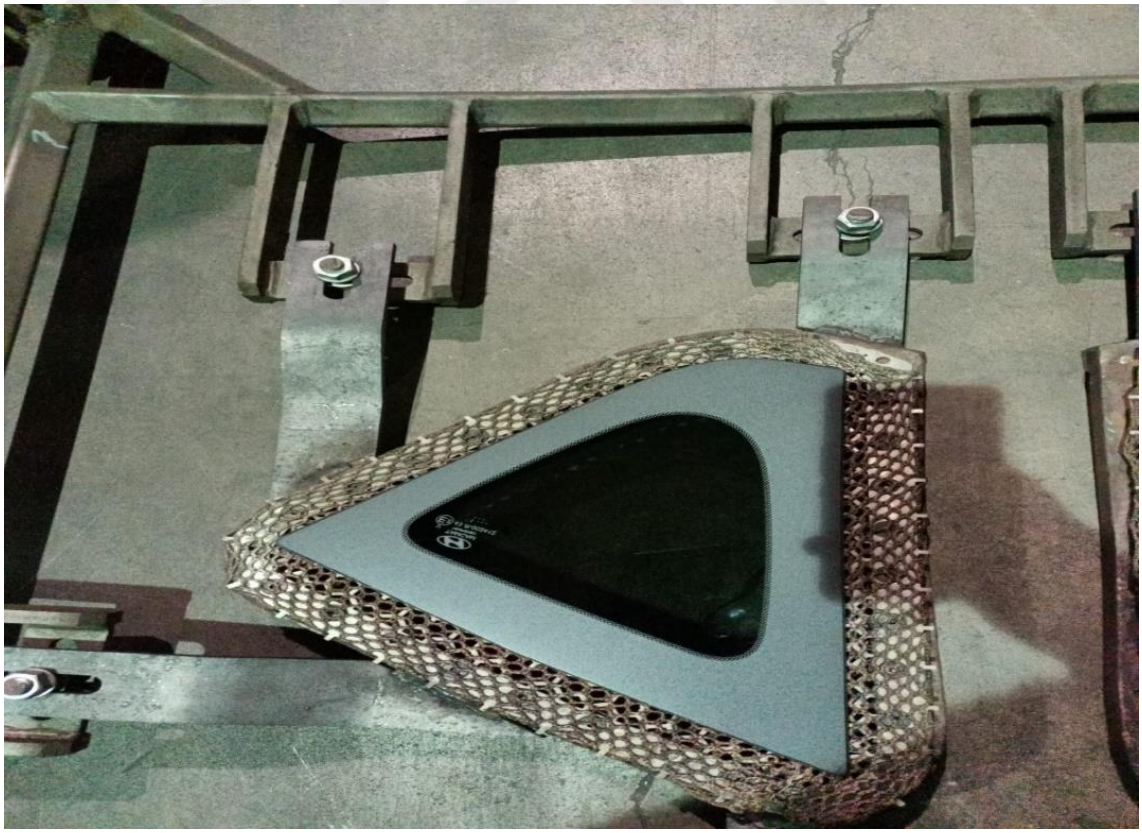
3.3.3.3. Quench

Quench demirden yapılan camın boyutundan yaklaşık 30 mm daha büyük olan yardımcı teçhizattır. Şekil 12'de quench gösterilmiştir. Quench camın kenar noktasında 8 mm tutacak şekilde ayarlanmaktadır. Şekil 13'da camın quench üzerindeki konumu

gösterilmiştir. Quench ile cama temas eden yerde hava delikleri bulunmaktadır. Bu deliklerin olmasının amacı fragmantasyonu arttırmaktadır. Camı quenche eşit mesafede düşürüp camda gerilim olmasını engellemek gerekmektedir.



Şekil 12. Quench



Şekil 13. Camın Quench Üzerindeki Konumu

3.3.3.4. Nozul

Nozul temper fırınlarının sonunda yer alan havanın taşınmasına yardımcı olan makine parçasıdır. Nozulun kullanım amacı camın alt ve üst yüzeylerine yüksek basınçta şoklama havasını iletmektir. Nozul 1300*850 mm boyutlarında iki parça halinde bulunmaktadır. Altta ve üstteki parçalara 11 eşit kanal açılmıştır. Şekil 14 ve 15'te gösterilmiştir. Bu kanalların üstünde yaklaşık 5 mm çapında delikler bulunmaktadır. Bulunan bu delikler birbiri ile eşlenmemektedir. Bunun amacı camın bütün yüzeylerine eşit miktarda hava sağlamaktır.



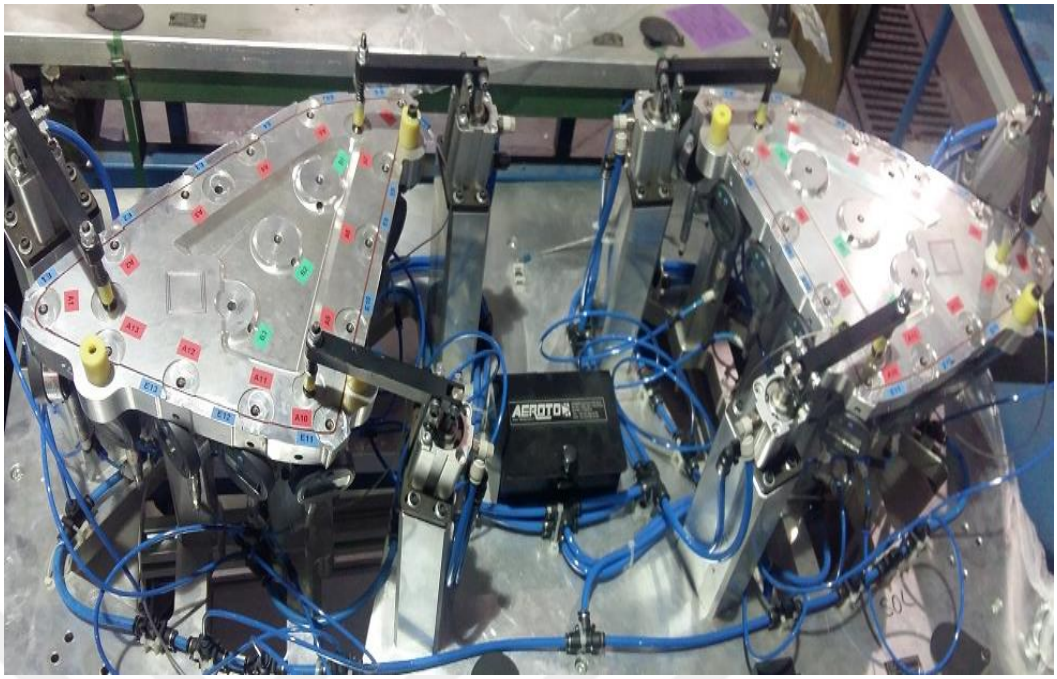
Şekil 14. Üst Nozul



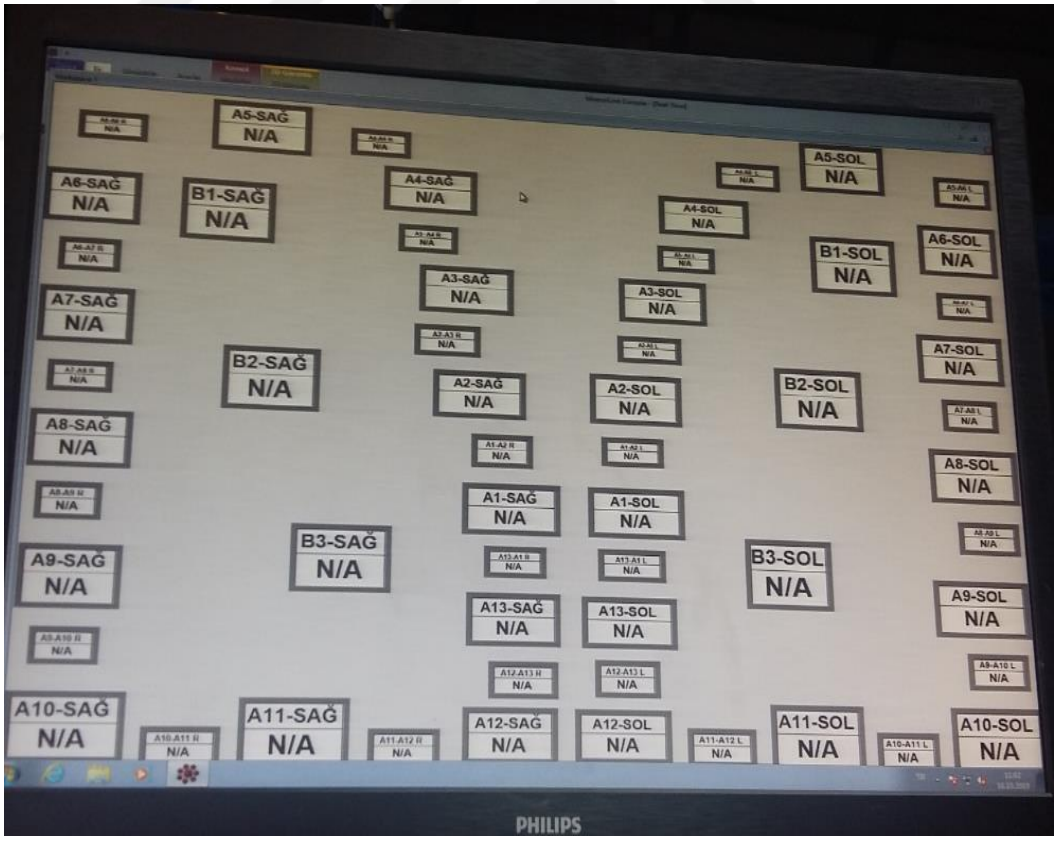
Şekil 15. Alt Nozul

3.3.3.5. Gabari

Gabari müşteri tarafından oluşturulan teknik resim ve dataya göre alüminyum-döküm malzemeden yapılan ölçüm aletidir. Şekil 16'da gabari gösterilmiştir. Gabari üzerinde camın atıklık ve yüzeyindeki bombe noktaları komparatör yardımı ile ölçülmektedir. Bu işlem özel bir yazılımla komparatörden gelen verinin ekrana yansıtılması ile camın kabul veya ret olmasını sağlamaktadır. Şekil 17'de ekran görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 16. Gabari



Şekil 17. Gabariden Alınan Değerlerin Ekrana Yansıtılması

3.4. Otomotiv Camlarına Uygulanan Güvenlik Testleri

Temperli otomobil camlarında ECE R43 güvenlik testleri uygulanmaktadır. Bu testler fragmantasyon testi, 227 gram bilye testi olarak sınıflandırılabilir.

3.4.1. Fragmantasyon (parçalanma) testi

Fragmantasyon testi emniyet cam malzemesinde önemlidir. Testin amacı camın moleküler yapısının istenilen yapıya geldiğinin kontrolünü sağlamaktır. Temperli camlarda fragmantasyon testi camın en riskli bölgesini kontrol etmek için yapılırsa camın geometrik merkezi seçilmektedir. Deney yapılacak yer sabit olmalıdır. Cam punç ya da ucu sivri yardımcı bir ekipman ile kırılmaktadır. Ölçüm yapılacak alan kırılan bölgenin 75 mm dışından ve kenarlardan 20 mm içeriden yapılmaktadır. Kırılan bölge 50*50 mm'lik herhangi bir kare alanda en az 40 adet en fazla 400 adet olmalıdır. Kırılan bölgede ki parçaların boyutları 100 mm'den uzun olmamalıdır. Şekil 18'de fragmantasyon testinin yapılacağı alan gösterilmiştir. Bu koşullar sağlanamaz ise emniyet parçası olan cam kaza anında ciddi yaralanmalara yol açacaktır.



Şekil 18. Fragmantasyon Testinin Yapılacağı Alanın Belirlenmesi

3.4.2. 227 Gram bilye testi

227 gram ağırlığında ve 38 mm çapındaki bilye kalınlığı 3,5 mm'den ince camlar için 2 metreden, kalınlığı 3,5 mm'den fazla camlar için 2,5 metreden serbest düşme hareketi ile bırakılmaktadır. Deney parçasının düzlemi, topun hareket yönüne en fazla 3°'lik bir sapma içinde, dik olmalıdır. Bilye, deney parçasının araç üzerine monte edildiğinde emniyet camının dış yüzünü temsil eden yüzüne çarpmalıdır. Deneyin yapılacağı cam 300*300 mm olmalıdır. Serbest bırakılan bilye camın üzerine düştüğü zaman camın kırılmaması gerekmektedir. Bu test ile camın mukavemeti test edilmektedir. Camın araç seyir halinde iken çok küçük etkenler sebebiyle kırılarak dağılması istenmemektedir.

3.5. Lamineli Otomobil Camlarına Uygulanan Güvenlik Testleri

Lamineli otomobil camlarında ECE R43 güvenlik testleri uygulanmaktadır. Bu testler 2260 gram bilye testi, manken kafa testi, yüksek sıcaklık testi, neme karşı dayanım testi, ışık geçirgenliği testi olarak lamine camlarında gruplandırılabilir.

3.5.1. 2260 gram bilye testi

Testin amacı camın direncini değerlendirmek için ağır bir cismin cama gelmesi durumunda oluşabilecek hasarı tespit etmek ve PVB' nin tutuculuğunu ölçmek için yapılmaktadır. Testin yapılacağı camın ebatları 300*300 mm olarak seçilmektedir. Cam kendi boyutlarında özel kauçuk malzemeden yapılmış çerçeveye yerleştirilir ve sabitlenir. 2260 gram ve 80 mm çapındaki çelik bilye 4 metre yükseklikten 3 derecelik sapma payı ile dik olarak serbest bırakılmaktadır. Çelik bilye 5 sn içinde camın içinden geçmediği takdirde deney başarılı kabul edilmektedir.

3.5.2. Manken kafa testi

Testin amacı kaza anında camın kırılıp kişinin dışarıya çıkmamasını sağlamak için yapılmaktadır. Testin yapılacağı lamine camın ebatları 1100*500 mm olarak seçilmektedir. Cam kendi boyutlarında özel kauçuk malzemeden yapılmış çerçeveye yerleştirilir ve sabitlenir. 10 kg ve 90 mm çapındaki küresel ahşaptan yapılan keçe ile kaplanan sert malzeme 1,5 m yükseklikten 3 derecelik sapma payı ile dik olarak serbest

bırakılmaktadır. Manken kafa camı delip geçmemelidir. Kırılan cam parçaları PVB' den ayrılmamalıdır.

3.5.3. Yüksek sıcaklık testi

Testin amacı camın yüksek sıcaklığa maruz kaldığı zaman iki cam arasında hava kabarcığı oluşmasının gözlemlenmemesi için yapılmaktadır. Testin yapılacağı 300*300 mm olarak seçilmektedir. Numune cam dikey olarak kaynayan suya bırakılır ve 2 saat süreyle 100°C de kaynama işlemi devam ettirilir. İşlem süresi tamamlandığında test bitmiş olur ve cam oda sıcaklığında soğumaya bırakılmaktadır. Cam yüzey sıcaklığı oda sıcaklığına ulaştığında iki cam arasında hava kabarcığı oluşmuyor ise testin pozitif sonuçlandığı söylenebilmektedir.

3.5.4. Neme karşı dayanım testi

Testin amacı yüksek sıcaklık testi ile aynıdır. Cam uzun bir süre neme maruz kaldığında camın yüzeyinde bozulmaların oluşmaması gerekmektedir. Testin yapılacağı lamine cam 300*300 mm olarak seçilmektedir. Numune cam dikey olarak nem kabinine yerleştirilmektedir. Cam sıcaklığı 50 ± 2°C'de bağıl nemi %95 ± 4'te tutulan bir nem kabininde 360 saat boyunca bekletilmektedir. İşlem süresi tamamlandıktan sonra cam laboratuvar ortamında 1 saat soğumaya bırakılmaktadır. Cam yüzeyinde hava kabarcığı görülmez ise testin pozitif sonuçlandığı söylenebilmektedir.

3.5.5. Işık geçirgenliği testi

Testin amacı camın ışık geçirgenliğinin ölçülmesi için yapılmaktadır. Testin yapılacağı lamine cam 300*300 mm olarak seçilmektedir. Numune cam yüzeyleri alkol yardımı ile temizlenmekte ve daha önceden %100 ışık geçirgenliğine sahip cam küre yüzeyine yerleştiriliyor ve ışık kaynağından cam yüzeyine ışık gönderilmektedir. Cihazdan okunan yaklaşık 10 değerin ortalaması alınmaktadır. Sonuç %70 den fazla ise testin pozitif sonuçlandığı söylenebilmektedir.

BÖLÜM 4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde deney işlemlerinin gerçekleştirileceği temper fırını ve deneyin uygulanması hakkında bilgiler verilecektir. Deney işlemleri GLASSTECH marka sürekli yatay fırında gerçekleştirilmiştir. GLASSTECH fırını elektrik enerjisiyle çalışmaktadır. Fırın için rezistanslar yaprak şeklindedir. Rezistanslar fırının alt ve yüzeyinde farklı kademelerde bulunmaktadır. Temper fırını 7 bölümden oluşmaktadır.

1.bölümün sıcaklığı yaklaşık 700°C'dir. Bu bölümde 30 adet yivli rulo bulunmaktadır. Bu bölümde yivli rulo kullanılmasının sebebi cam oda sıcaklığından çıkıp aniden yüksek sıcaklıklı bir alana geçiş yaptığı için 700°C camın düz ruloya yapışmaması ve camda ruloya temas eden yüzeyinde pus oluşmaması için tercih edilmektedir.

2,3,4,5 ve 6. bölümlerinde ortam sıcaklığı kademeli azalmaktadır. Sıcaklık 690-670 °C aralığındadır. Bu bölümlerde camın hızı 120 mm/sn iken 7. Bölümde 1200 mm/sn'dir.

7. bölüm olan index (taşıma) diğer bölümlerde sabit hızla hareket eden cam bu bölüme geldiği zaman 10 kat kadar daha hızlı hareket ederek araba üzerinde bulunan prese gönderilmektedir. Bu işlemin amacı camın daha hızlı prese gelmesi ve hat boyunca hareket eden camların dar boğaz oluşturmaması için gerçekleştirilmektedir. Bir diğer amacı camın havayla temasını engelleyerek ısı kaybının minimum seviyeye çekilip istenilen şekli kolay almasını sağlamak için yapılmaktadır.

Araba üzerinde bulunan preslerin üzerine gelen cam dökümden yapılmış mold kalıbının aşağı yönlü hareketi, presin ise yukarı yönlü hareketi mold üzerinde bulunan hava kanalları yardımıyla vakum işlemi yapılıp camın istenilen formu yakalaması sağlanmaktadır.

Deney prosedürlerinde 4 ve 3 mm'lik kalınlıklar, yeşil ve privacy renkli camlar, basınç değeri olarak 18 ve 25 kPa değerleri ile camın fırında kalma süreleri 154 ve 177 sn olarak seçilmiştir. Bu seçimlerin yapılmasında fabrika şartları etkili olmuştur. Temper fırını parametreleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Temper Fırını Parametreleri

Cam Temperleme İşlemi Fırın Parametreleri
Fırın Hızı (mm/sn)
Fırın Sıcaklığı (°C)
Hava Basınçları (kPa)

Daha önce yapılan çalışmalarda parçacık adetleri ile ilgili veriler olsa da otomotiv sektöründe kullanılan temperli camlar ile ilgili yeterli çalışma yapılmamıştır. Bu yüzden bu çalışmada seçilen değerler otomotiv sektöründe en çok kullanılan cam türleri ve kalınlıkları seçilerek yapılmıştır. Yapılan deneydeki değişkenler cam kalınlığı, cam rengi, hava basıncı ve camın fırında kalma süresi olarak seçilmiştir. Bu parametrelerin dışında kalan değerler sabit tutularak güvenli bir çalışma ortamı oluşturulmuştur.

Değişken olarak seçilen parametreler temper fırınlarında en çok değişkenlik gösterenlerden seçilmiştir. Seçilen parametreler kendi içinde 2'ye ayrılmıştır. 4 ayrı parametrenin birbirinden farklı 2 değeri için bu deneyde 32 adet numune üzerinden çalışma yapılmıştır. Camlar sağ ve sol olarak temper fırınından eşli geldiği için bu sayı kullanılacaktır. Deneyde kullanılacak değişken parametreleri ve değerleri Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Değişken Parametre ve Değerleri

Cam Rengi	**Cam Kalınlığı**	**Fırında Kalma Zamanı**	**Hava Basıncı**
Prıvacy	3 mm	154 sn	18 kPa
Yeşil	4 mm	177 sn	25 kPa

BÖLÜM 5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan testlerde 2 farklı cam kalınlığı, 2 farklı renk, 2 farklı basınç değeri ve 2 farklı fırında kalma zamanı kullanılmıştır. Testler incelenmiş olduğunda elde edilen sonuçlar Tablo 4'de ki gibidir.

Tablo 4. Elde Edilen Sonuçlar

CAM RENGİ	CAM KALINLIĞI	FIRINDA KALMA ZAMANI	FIRINDAN ÇIKIŞ SICAKLIĞI	HAVA BASINCI	PARÇACIK SAYISI
PRIVACY	4 mm	154 sn	663 °C	25 kPa	180 adet
PRIVACY	4 mm	154 sn	663°C	25 kPa	195 adet
PRIVACY	3 mm	154 sn	668°C	18 kPa	30 adet
PRIVACY	3 mm	154 sn	668°C	18 kPa	41 adet
PRIVACY	4 mm	154 sn	662°C	18 kPa	162 adet
PRIVACY	4 mm	154 sn	662°C	18 kPa	158 adet
PRIVACY	4 mm	177 sn	663°C	25 kPa	207 adet
PRIVACY	4 mm	177 sn	663°C	25 kPa	193 adet
PRIVACY	3 mm	154 sn	668°C	25 kPa	117 adet
PRIVACY	3 mm	154 sn	668°C	25 kPa	98 adet
PRIVACY	3 mm	177 sn	670°C	25 kPa	120 adet
PRIVACY	3 mm	177 sn	670°C	25 kPa	128 adet
PRIVACY	3 mm	177 sn	670°C	18 kPa	55 adet
PRIVACY	3 mm	177 sn	670°C	18 kPa	68 adet
PRIVACY	4 mm	177 sn	670°C	18 kPa	156 adet
PRIVACY	4 mm	177 sn	670°C	18 kPa	141 adet
YEŞİL	4 mm	154 sn	647°C	18 kPa	183 adet

YEŞİL	4 mm	154 sn	647°C	18 kPa	160 adet
YEŞİL	3 mm	177 sn	663°C	25 kPa	152 adet
YEŞİL	3 mm	177 sn	663°C	25 kPa	146 adet
YEŞİL	4 mm	154 sn	647 °C	25 kPa	186 adet
YEŞİL	4 mm	154 sn	647°C	25 kPa	183 adet
YEŞİL	4 mm	177 sn	647°C	25 kPa	183 adet
YEŞİL	4 mm	177 sn	647°C	25 kPa	221 adet
YEŞİL	4 mm	177 sn	660°C	18 kPa	182 adet
YEŞİL	4 mm	177 sn	660°C	18 kPa	175 adet
YEŞİL	3 mm	154 sn	647°C	25 kPa	109 adet
YEŞİL	3 mm	154 sn	647°C	25 kPa	110 adet
YEŞİL	3 mm	154 sn	654°C	18 kPa	56 adet
YEŞİL	3 mm	154 sn	654°C	18 Kpa	44 adet
YEŞİL	3 mm	177 sn	670°C	18 kPa	74 adet
YEŞİL	3 mm	177 sn	670°C	18 kPa	69 adet

Aynı şartlar altında kullanılan 2 farklı cam kalınlığından kalın olan 4 mm camın ince olan 3 mm cama oranla daha yüksek parçacık sayısına ulaştığı Tablo 5'de görülmüştür.

Tablo 5. Cam Kalınlık Sonuçları

CAM RENGİ	CAM KALINLIĞI	FIRINDA KALMA ZAMANI	HAVA BASINCI	PARÇACIK SAYISI
PRIVACY	3 mm	154 sn	18 kPa	30 adet
PRIVACY	3 mm	154 sn	18 kPa	41 adet
PRIVACY	4 mm	154 sn	18 kPa	180 adet
PRIVACY	4 mm	154 sn	18 kPa	195 adet

Aynı şartlar altında kullanılan 2 farklı renkten yeşil olanın prıvacye oranla daha yüksek parçacık sayısına ulaştığı Tablo 6'de görülmüştür.

Tablo 6. Cam Rengi Sonuçları

CAM RENGİ	CAM KALINLIĞI	FIRINDA KALMA ZAMANI	HAVA BASINCI	PARÇACIK SAYISI
PRIVACY	4 mm	154 sn	25 kPa	162 adet
PRIVACY	4 mm	154 sn	25 kPa	158 adet
YEŞİL	4 mm	154 sn	25 kPa	186 adet
YEŞİL	4 mm	154 sn	25 kPa	183 adet

Aynı şartlar altında kullanılan 2 farklı hava basınç değerinden yüksek olan değerin 25 kPa' ın düşük olan değer 18 kPa'a oranla daha yüksek parçacık sayısına ulaştığı Tablo 7'da görülmüştür.

Tablo 7. Hava Basınç Değeri Sonuçları

CAM RENGİ	CAM KALINLIĞI	FIRINDA KALMA ZAMANI	HAVA BASINCI	PARÇACIK SAYISI
YEŞİL	3 mm	154 sn	25 kPa	109 adet
YEŞİL	3 mm	154 sn	25 kPa	110 adet
YEŞİL	3 mm	154 sn	18 kPa	56 adet
YEŞİL	3 mm	154 sn	18 kPa	44 adet

Aynı şartlar altında kullanılan 2 farklı fırında kalma zamanından yüksek olan değerin 177 saniyenin düşük olan değer 154 saniyeye oranla daha yüksek parçacık sayısına ulaştığı Tablo 8'de görülmüştür.

Tablo 8. Fırında Kalma Zamanı Sonuçları

CAM RENGİ	CAM KALINLIĞI	FIRINDA KALMA ZAMANI	HAVA BASINCI	PARÇACIK SAYISI
YEŞİL	3 mm	154 sn	18 kPa	56 adet
YEŞİL	3 mm	154 sn	18 kPa	44 adet
YEŞİL	3 mm	177 sn	18 kPa	74 adet
YEŞİL	3 mm	177 sn	18 kPa	69 adet

Bu çalışmanın sonucunda parçacık sayısında en yüksek adetleri yeşil renk, fazla kalınlık, uzun süre fırında kalma zamanı ve yüksek basınçta ulaşılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda parçacık sayısında en düşük adetlere privacy renk, düşük kalınlık, kısa süre fırında kalma zamanı ve düşük basınçta ulaşılmıştır.

Aşağıda R programlama çıktısı Şekil 19'da görülmektedir.

```
> summary(lrmodel)

Call:
lm(formula = parcaciksayisi ~ as.factor(camrengi) + as.factor(camkalinligi) +
    as.factor(firindakalmazamani) + as.factor(havabasinci))

Residuals:
    Min      1Q  Median      3Q     Max
-32.333 -12.500  -0.958  13.677  30.292

Coefficients:
                             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)                    53.875      6.415   8.399 5.21e-09 ***
as.factor(camrengi)1            9.917      6.031   1.644   0.1117
as.factor(camkalinligi)1       88.917      6.031  14.743 1.96e-14 ***
as.factor(firindakalmazamani)1 12.667      6.178   2.050   0.0502 .
as.factor(havabasinci)1        49.958      6.031   8.283 6.84e-09 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 16.92 on 27 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.918,     Adjusted R-squared:  0.9058
F-statistic: 75.55 on 4 and 27 DF,  p-value: 2.913e-14
```

Şekil 19. R Program Çıktısı

Program çıktısından da görülebileceği gibi parçacık sayısını tahminlemede cam rengi, cam kalınlığı, fırında kalma zamanı ve hava basıncı bağımsız değişkenlerini kullanarak çoklu doğrusal regresyon modeli anlamlı bulunmuştur. ($F(4, 27) = 75{,}55$ $p < 0.001$). Yapılan modelleme sonucunda, optimum şartlar olarak cam çalışması için, cam kalınlığı 4 mm olması ve hava basıncının 25 kPa olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Cam

renginin ve fırında kalma zamanın ise etkisinin çok fazla olmadığı görülmüştür. Tablo 9'da Minitab program sonuçları paylaşılmıştır.

Ayrıca bağımsız değişkenler, bağımlı değişkendeki varyansın %90.6'sını açıkladığı bulunmuştur.

Tablo 9. Minitab Program Sonuçları

	Katsayı	**Test istatistiği**	**p**
Sabit	53.875	8.399	<0.001
Cam rengi=Yeşil	9.917	1.644	0.112
Cam Kalınlığı = 4mm	88.917	11.743	<0.001
Fırında Kalma Zamanı = 177 sn	12.667	2.050	0.05
Hava Basıncı = 25 kpa	49.958	8.283	<0.001

Parçacık Katsayısı = 53.875 + 88.917 * (cam kalınlığı = 4 mm) + 49.958 * (hava basıncı = 25kpa)

Aşağıda R programı ile benzer algoritma uygulayan Minitab program çıktısı görülmektedir.

Method

Categorical predictor coding (1, 0)

Şekil 20. Minitab Yöntem

Regression Equation

parcaciksayisi – 53,88 + 0,0 camrengi_0 + 9,92 camrengi_1 + 0,0 camkalinligi_0
+ 88,92 camkalinligi_1 + 0,0 firindakalmazamani_0
+ 12,67 firindakalmazamani_1 + 0,0 havabasinci_0 + 49,96 havabasinci_1

Şekil 21. Minitab Regresyon Denklemi

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	53,88	6,41	8,40	0,000	
camrengi					
1	9,92	6,03	1,64	0,112	1,02
camkalinligi					
1	88,92	6,03	14,74	0,000	1,02
firindakalmazamani					
1	12,67	6,18	2,05	0,050	1,05
havabasinci					
1	49,96	6,03	8,28	0,000	1,02

Şekil 22. Minitab Katsayılar

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
16,9186	91,80%	90,58%	88,42%

Şekil 23. Minitab Model Özeti

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	86504,5	21626,1	75,55	0,000
camrengi	1	773,8	773,8	2,70	0,112
camkalinligi	1	62212,5	62212,5	217,35	0,000
firindakalmazamani	1	1203,3	1203,3	4,20	0,050
havabasinci	1	19639,4	19639,4	68,61	0,000
Error	27	7728,4	286,2		
Lack-of-Fit	10	5649,2	564,9	4,62	0,003
Pure Error	17	2079,3	122,3		
Total	31	94232,9			

Şekil 24. Minitab Varyans Analizi

Bulunan sonuçlar incelendiğinde R programına benzer sonuçların elde edildiği görülmektedir.

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışma sonucunda fragmantasyon testine etki eden fırın parametreleri ve camın ana özellikleri incelenmiştir. Cam kalınlığı fragmantasyon testi için önemli bir değişkendir. Kalın camın ince cama göre aynı şartlar altında her zaman daha iyi parçacık sayısına ulaştığı tespit edilmiştir. Cam renginde ise yeşil rengin aynı şartlar altında privacy renge göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Fırın parametre değerleri incelendiğinde cam fırın içinde ne kadar uzun kalır ise aynı şartlar altında daha az fırında kalma süresine göre daha iyi parçacık değerleri oluştuğu görülmüştür. Hava basıncında yüksek hava basınç değerinin aynı şartlar altında daha düşük hava basınç değerine göre daha iyi parçacık sayısı oluşturduğu gözlenmiştir.

Yapılan deneysel çalışma sonucunda en iyi parçacık sayısının alındığı parametre ve cam seçenekleri yeşil renk, 4 mm kalınlık, 177 sn fırında kalma zamanı ve 25 kPa hava basıncında elde edilmiştir.

Yapmış olduğum bu çalışmada fragmantasyon sonucuna etki eden ana değişkenler belirlenip diğer değişkenler sabit kabul edilmiştir. Çalışma bu doğrulta tamamlanıp yorumlanmıştır. Bu çalışmanın geliştirilip literatüre daha fazla katkı sağlanması mümkündür. Bu çalışmada kullanmış olmadığım parametrelerden nozul mesafeleri ile ilgili çalışma yaparak camın hava ile temas mesafesi yakınlaştırılıp uzaklaştırılarak parçacık sayısına etkisi incelenebilir. Bir başka çalışma ise camın shuttle hızı ile ilgili çalışmalar olabilir. Camın şeklini almasını sağlayan mold malzemesinden camın nozula taşınmasını sağlayan shuttle hızları arttırılıp azaltılarak camın parçacık sayısına etkisi gözlenebilir. Yapılabilecek çalışmalardan bir diğeri ise nozul üzerinde bulunan hava deliklerinin cama göre ayarlanması. Sadece camın yüzeyine gelecek delikler açık bırakılıp diğer deliklerin kapatılması durumunda parçacık sayısına etkisi gözlemlenebilir. Açıklamış olduğum bu çalışmaların yapılması durumunda literatüre cam sektöründe ki en önemli güvenlik testlerinden biri olan fragmantasyon testi için yararlı ve uygulanabilir sonuçlar ortaya çıkabileceğini ön görmekteyim.

KAYNAKÇA

Akçay M. (2014*). Otocam Temperleme İşleminde Farklı Soğutma ve Isıtma Sıcaklıkları İçin Optimum Akış Karakteristiklerinin ve Temper Kalitesinin Belirlenmesi*, (Yayın no. 355458) [Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi], Karabük https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Bilgi Hanem Sitesi (2022), Camın İcadı, Erişim Tarihi: 10.09.2022 https://bilgihanem.com/camin-icadi-cam-nedir/ adresinden alındı.

Bulut P. ve Özer Y.A. Bir Deney Planlama Yöntemi: Faktöriyel Tasarım, *Fabad Farmakoloji Bilim Dergisi* 1990 (16*):* (89-97)

Büyükyıldız A. Plc Kullanılarak Cam Temperleme Fırının Optimizasyonu. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2006 (13): (2), 247-256.

Cam Şişe Ambalaj Sitesi (2022), Camın Tarihçesi, Erişim Tarihi: 12.09.2022 https://www.camsiseambalaj.com/cam-hakkinda/camin-tarihcesi/ adresinden alındı.

Cenikli, M.B. (2019). *Trafik Kazalarına Etki Eden Parametrelerin Faktöriyel Tasarım Yöntemi ile İncelenmesi*, (Yayın no. 556530) [Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi], Kırkkale https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Dinç S. (2008). *Alüminyum Zenginleştirilmesinde Faktöriyel Tasarım ile Optimizasyon*, (Yayın no. 371136), [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi] İstanbul https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Gökdemir S. (2019). *Düz Camın Temperlenmesinde Temper Parametrelerinin Optimizasyonu*, (Yayın no. 581621) [Yüksek Lisans Tezi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi] Bolu https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Gölcü M. ve Köseoğlu M. F. (2013) Konum Kare ve Üçgen Dizilişli Nozul Sistemleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Cam Temperleme İşleminde Parçacık Sayısının Nusselt Sayısına Bağlı Olarak Değişimi, *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*. 5 (3) , 98-115

Guardian Glass İnternet Sitesi (2022), Cam nasıl yapılır, Erişim Tarihi: 5.10.2022 https://www.guardianglass.com/tr/tr/why-glass/understand-glass/how-glass-is-made adresinden alındı.

Juho R. (2018). Deep neural networks for evaluating the quality of tempered glass, Tampereen Teknıllınen Ylıopısto Tampere University of Technology Erişim Tarihi: 25.08.1975. https://trepo.tuni.fi/handle/123456789/2646 adresinden alındı.

Monnoyer F. ve Lochegnies D. (2008). Heat transfer and flow characteristics of the cooling system of an industrial glass tempering unit, Applied Thermal Engineering 28 (17-18), 2166-2177. Erişim Tarihi 14 Eylül 2022. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431108000021 adresinden alındı.

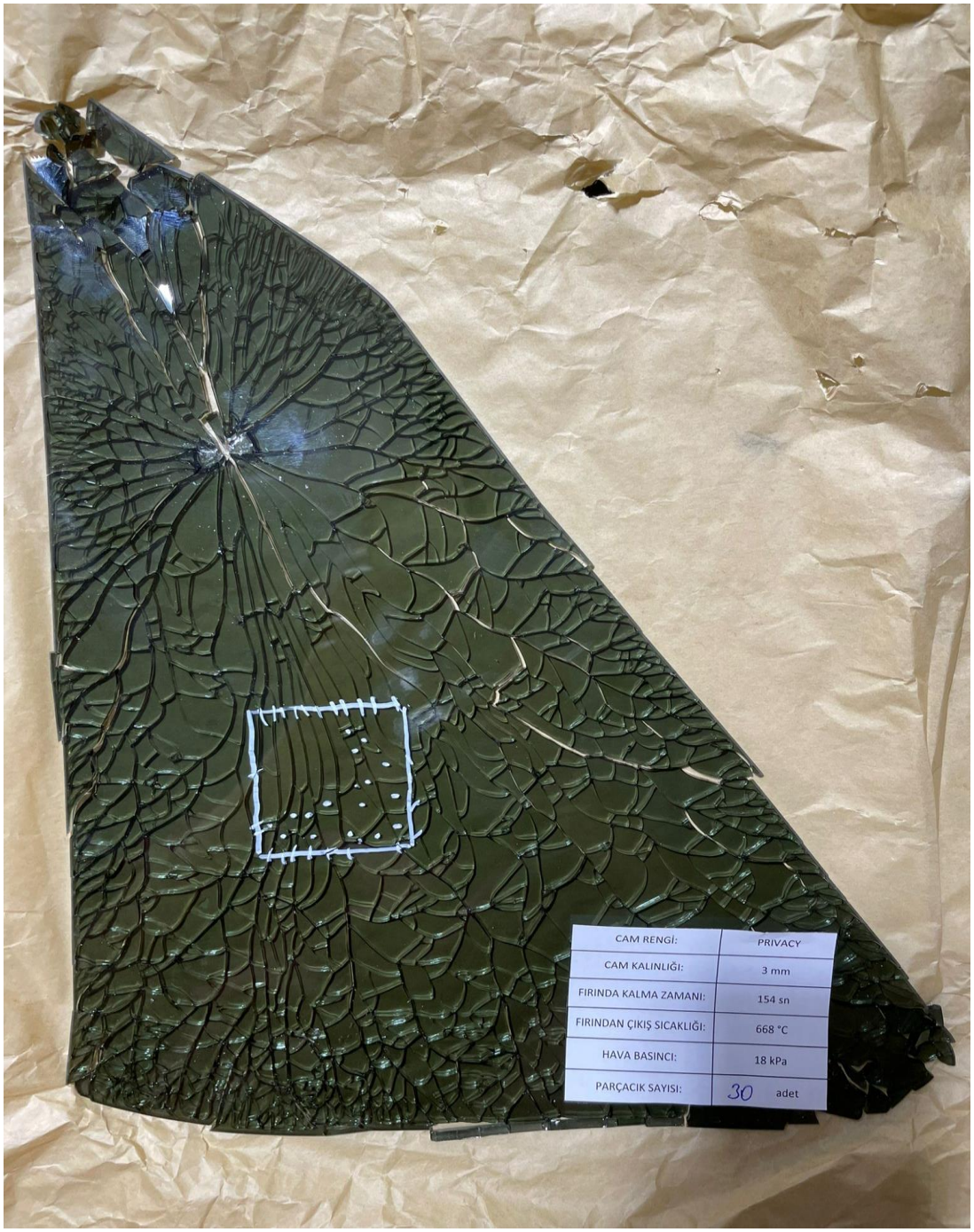
Pyry L. (2020). Analysıs of glass tempering furnace data, Tampere University. Erişim Adresi: 20.11.2022. https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/119866/LampinenPyry.pdf?sequence=2

Şenoğlu B. ve Acıtaş Ş. (2020). İstatistiksel Deney Tasarımı – Sabit Etkili Modeller Baskı (4) (1999) Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık E-ISBN:978-625-406-692-4

Wikipedia İnternet Sitesi (2022), Cam, Erişim Tarihi: 09.09.2022 https://tr.wikipedia.org/wiki/Cam adresinden alındı.

EKLER

Ek 1. Parça Sayısı 30 Adet



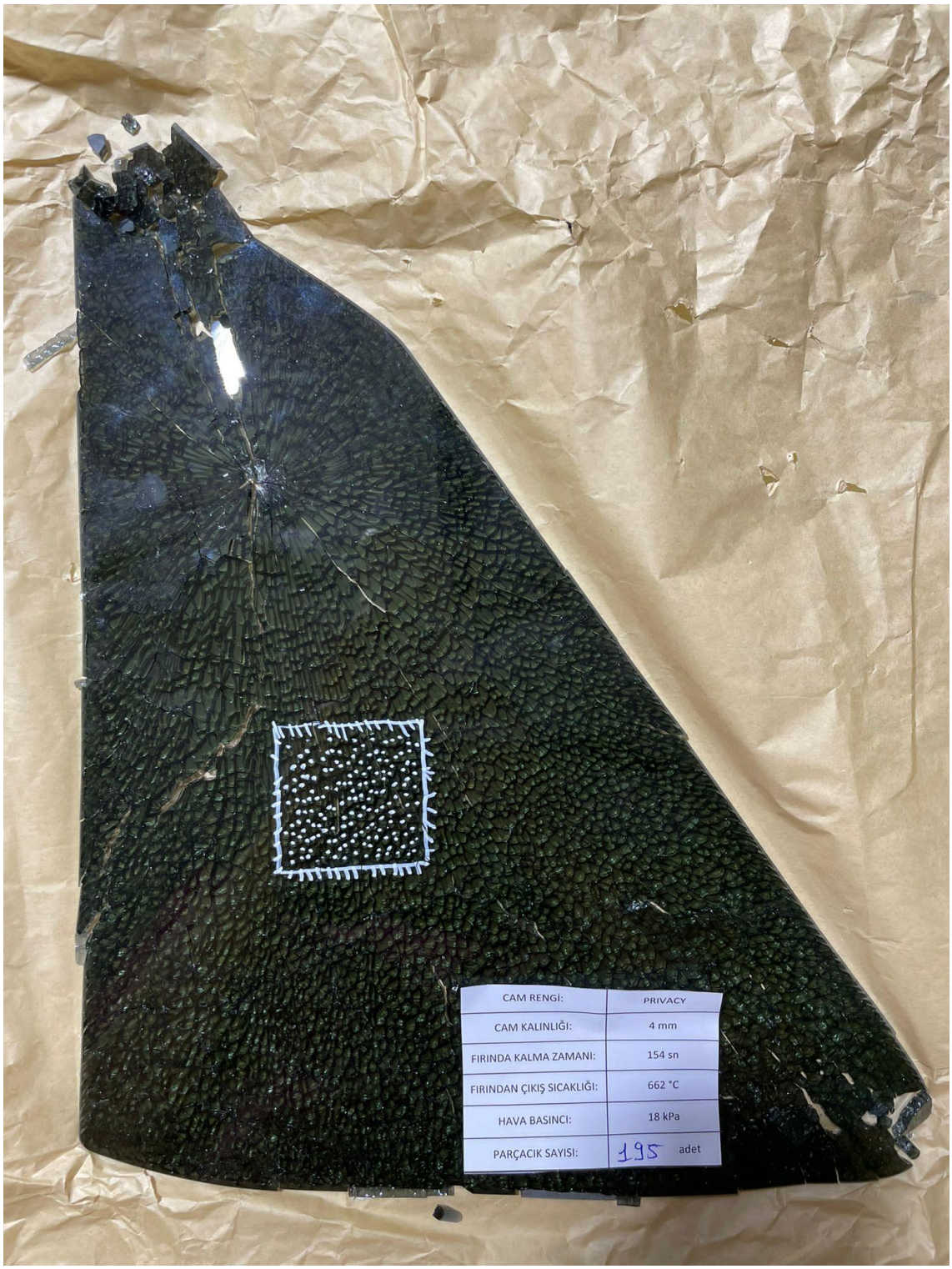
Ek 1. Parçacık Sayısı 41 Adet



Ek 2. Parçacık Sayısı 180 Adet



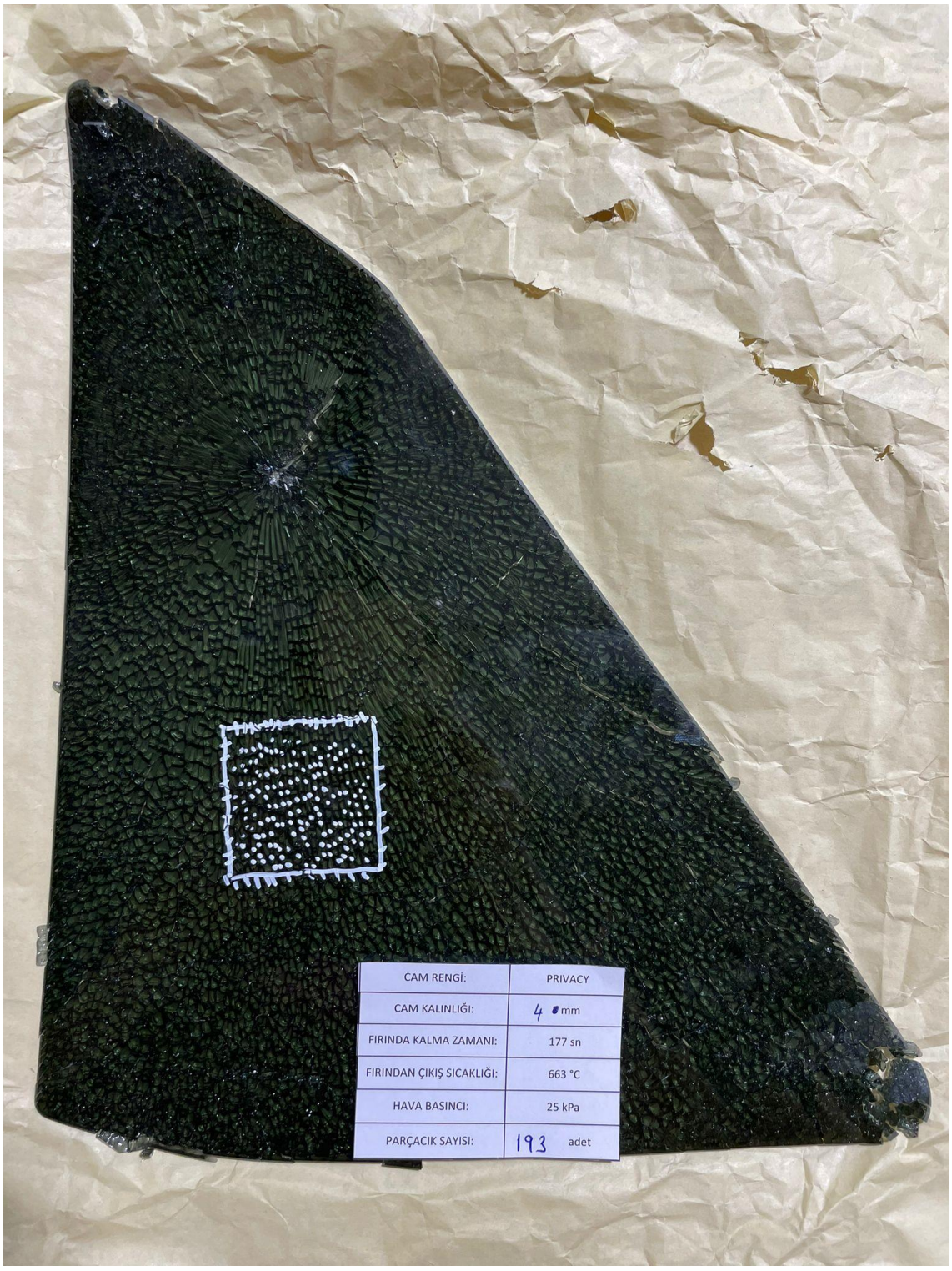
Ek 3. Parçacık Sayısı 195 Adet



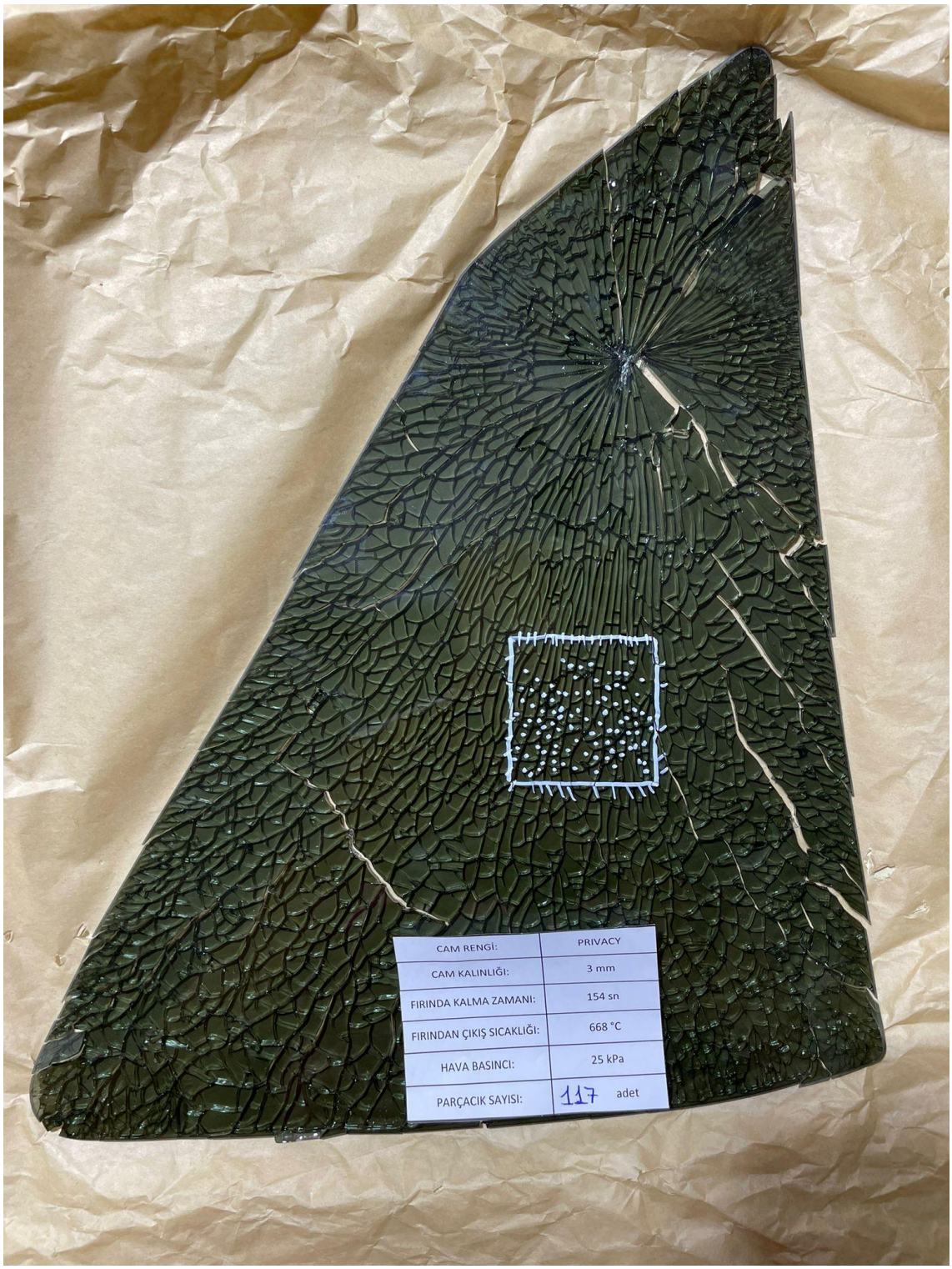
Ek 4. Parçacık Sayısı 207 Adet



Ek 5. Parçacık Sayısı 193 Adet



Ek 6. Parçacık Sayısı 117 Adet



Ek 7. Parçacık Sayısı 98 Adet



Ek 8. Parçacık Sayısı 120 Adet



Ek 9. Parçacık Sayısı 128 Adet



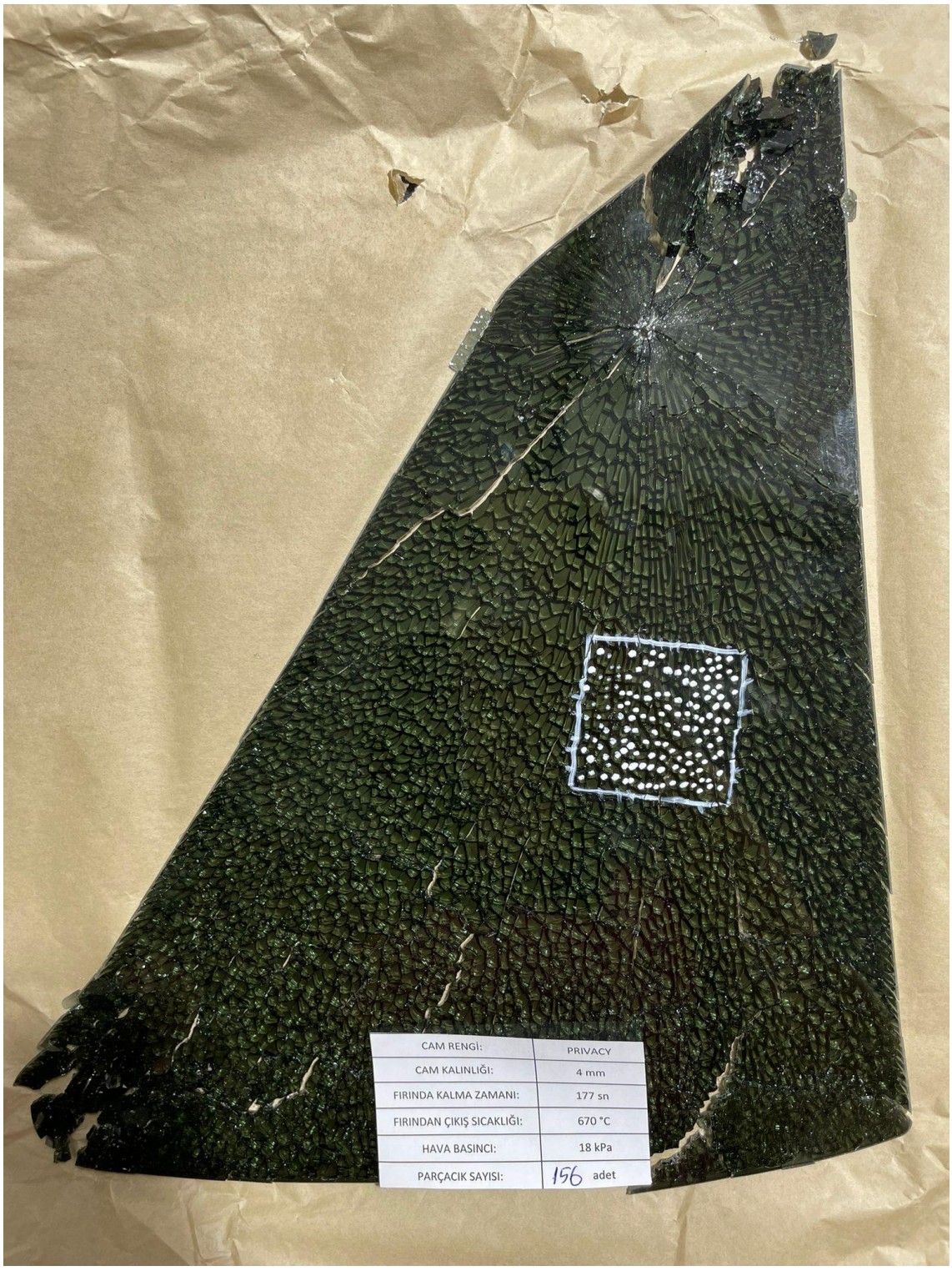
Ek 10. Parçacık Sayısı 55 Adet



Ek 11. Parçacık Sayısı 68 Adet



Ek 12. Parçacık Sayısı 156 Adet



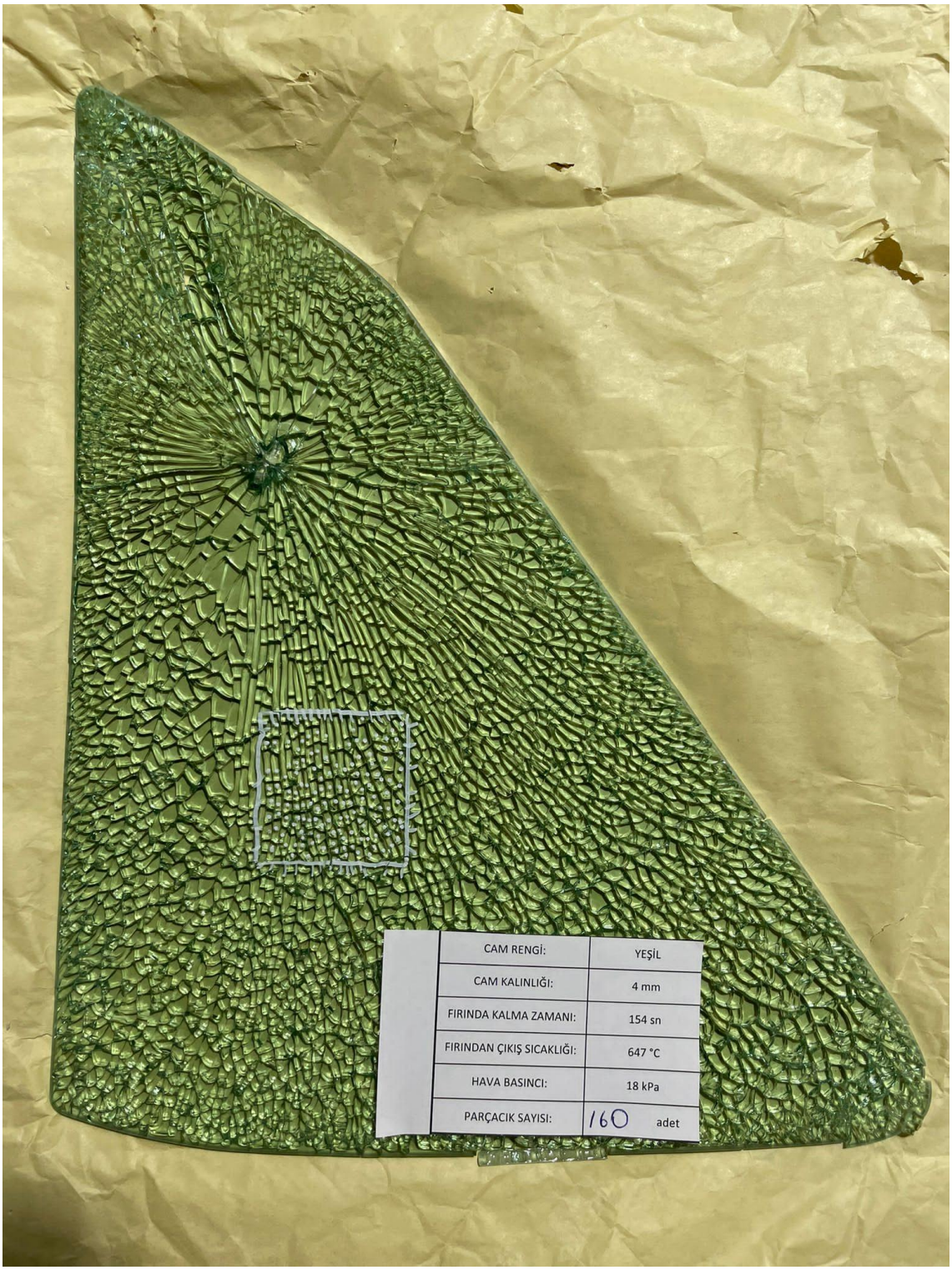
Ek 13. Parçacık Sayısı 141 Adet



Ek 14. Parçacık Sayısı 183 Adet



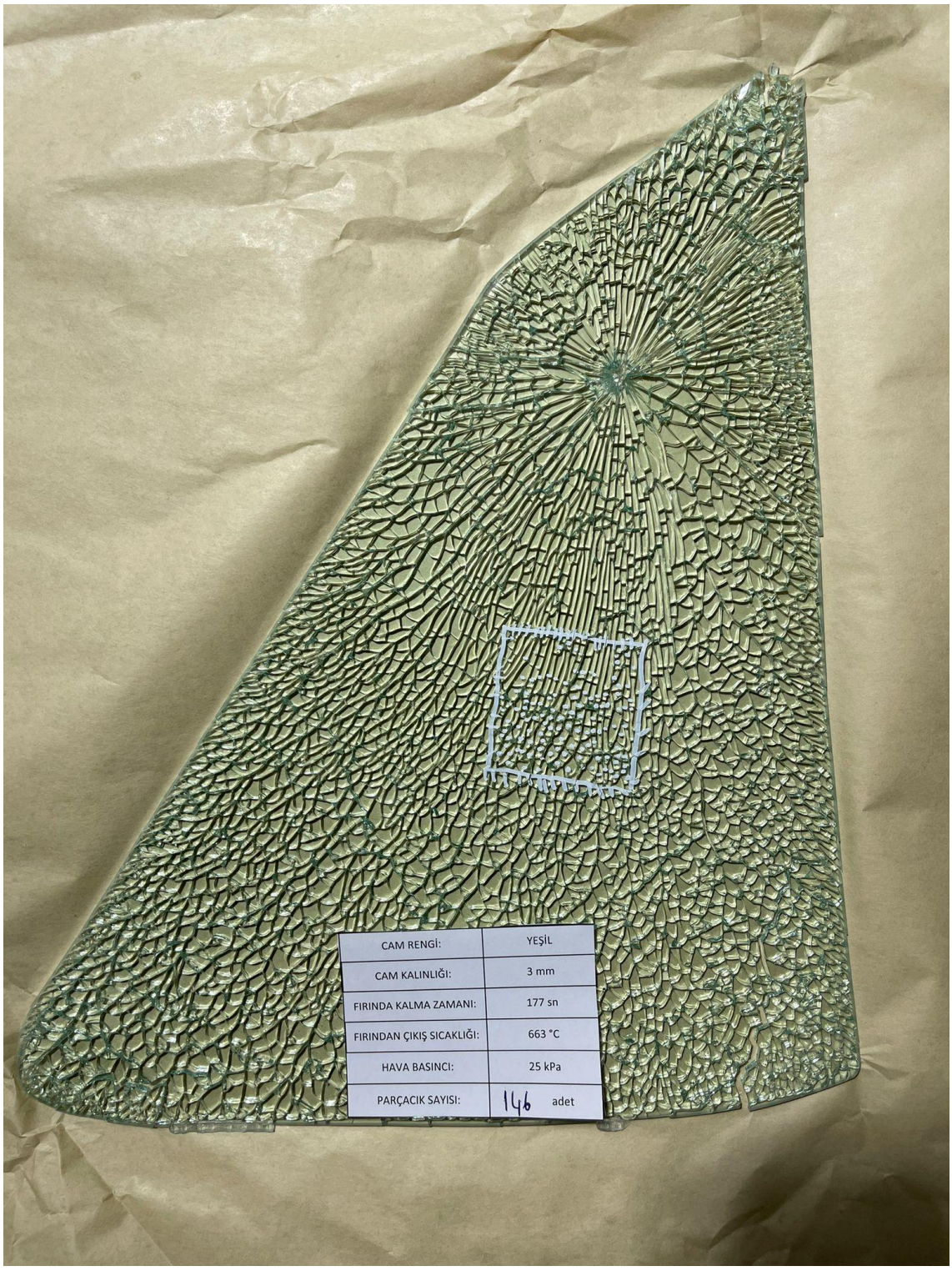
Ek 15. Parçacık Sayısı 160 Adet



Ek 16. Parçacık Sayısı 152 Adet



Ek 17. Parçacık Sayısı 146 Adet



Ek 18. Parçacık Sayısı 186 Adet



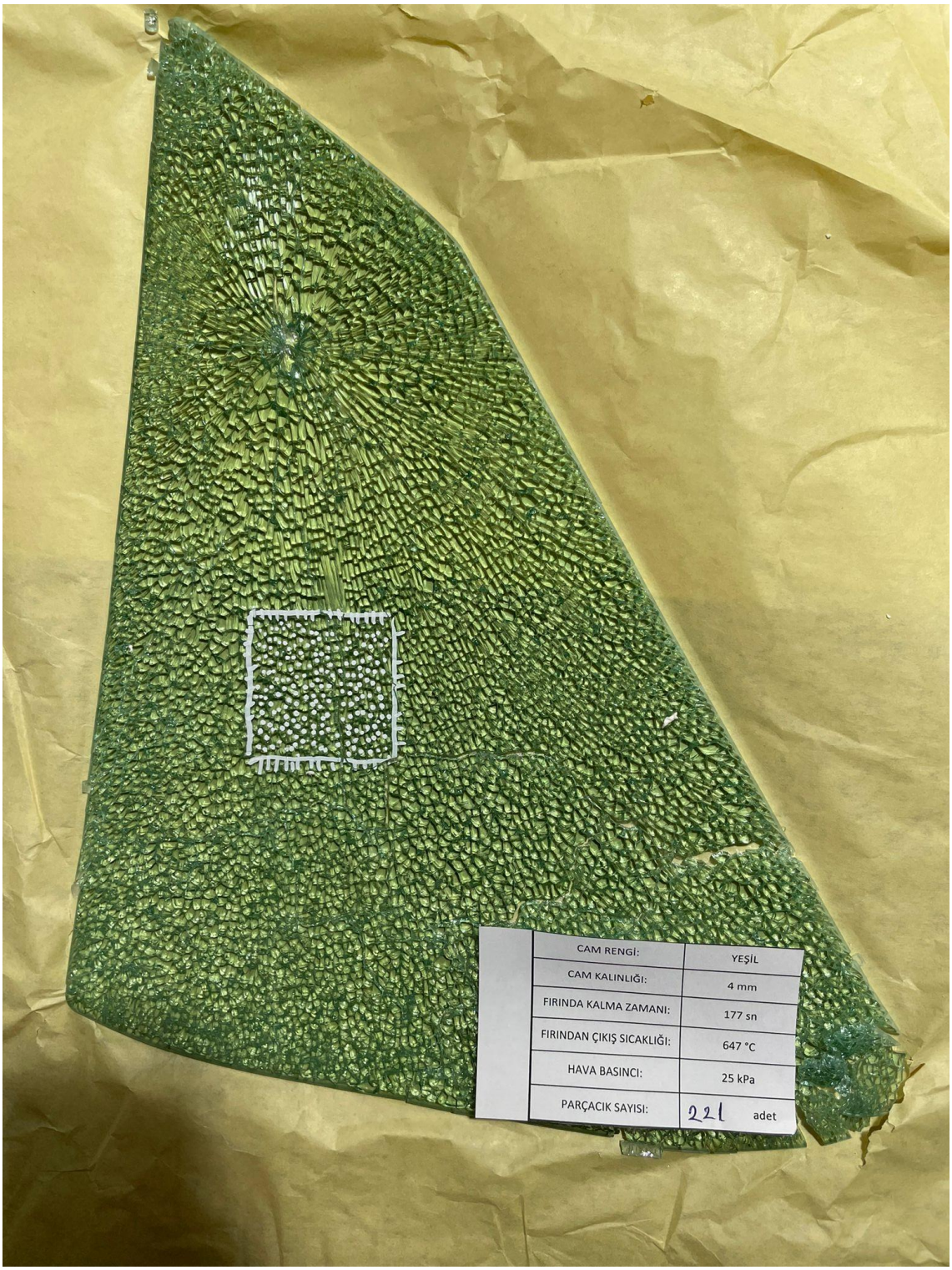
Ek 19. Parçacık Sayısı 183 Adet



Ek 20. Parçacık Sayısı 183 Adet



Ek 21. Parçacık Sayısı 221 Adet



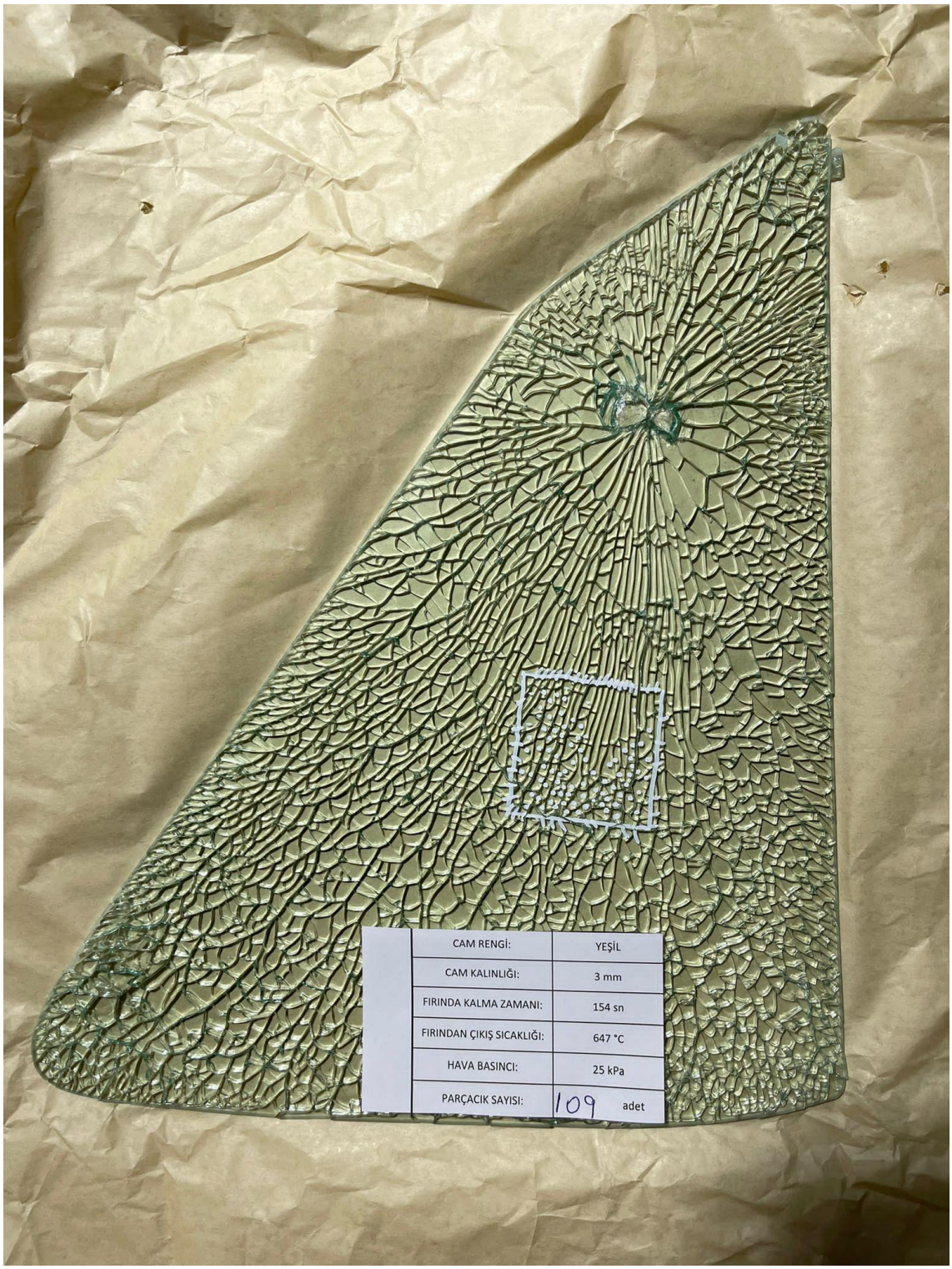
Ek 22. Parçacık Sayısı 182 Adet



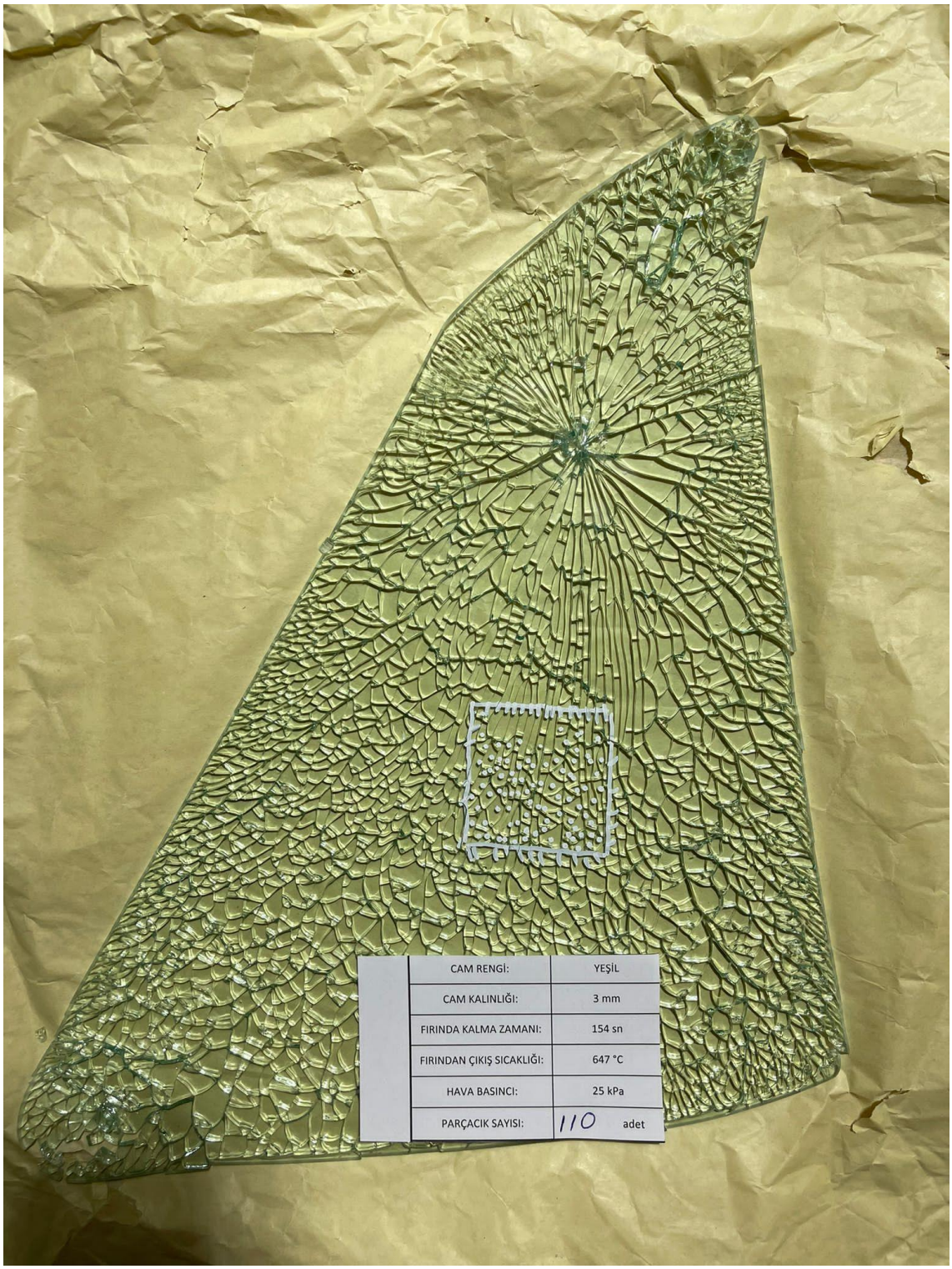
Ek 23. Parçacık Sayısı 175 Adet



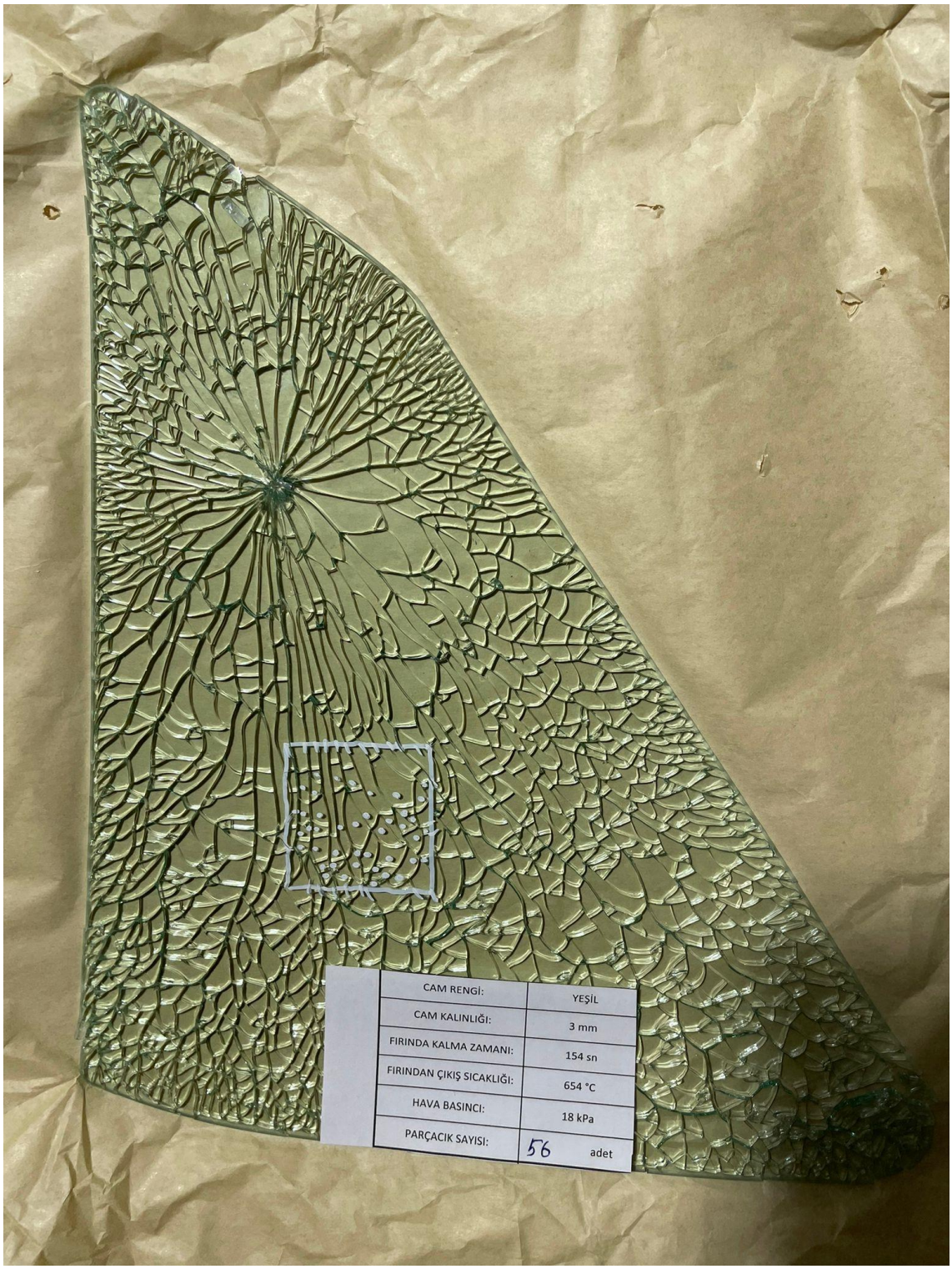
Ek 24. Parçacık Sayısı 109 Adet



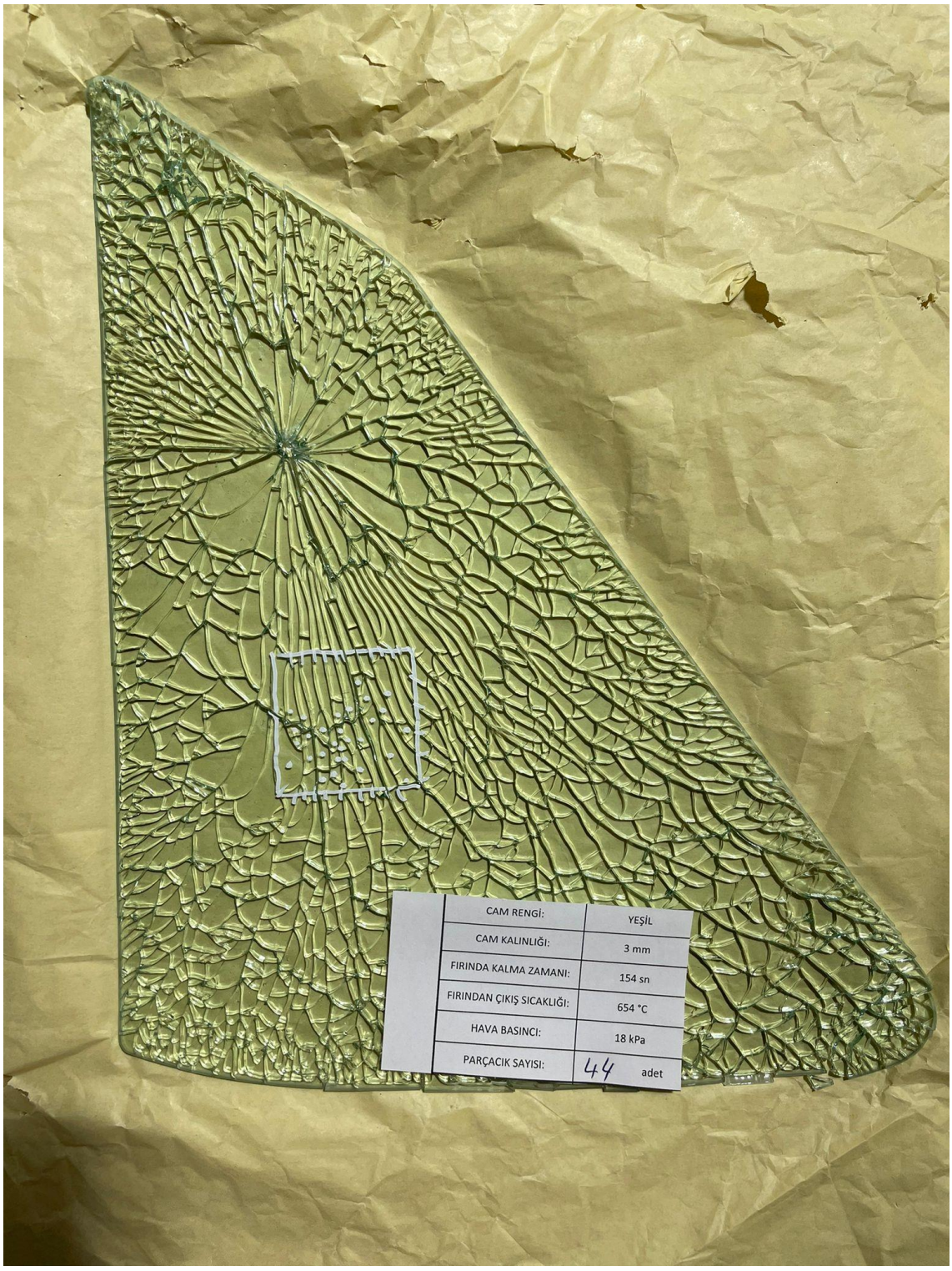
Ek 25. Parçacık Sayısı 110 Adet



Ek 26. Parçacık Sayısı 56 Adet



Ek 27. Parçacık Sayısı 44 Adet



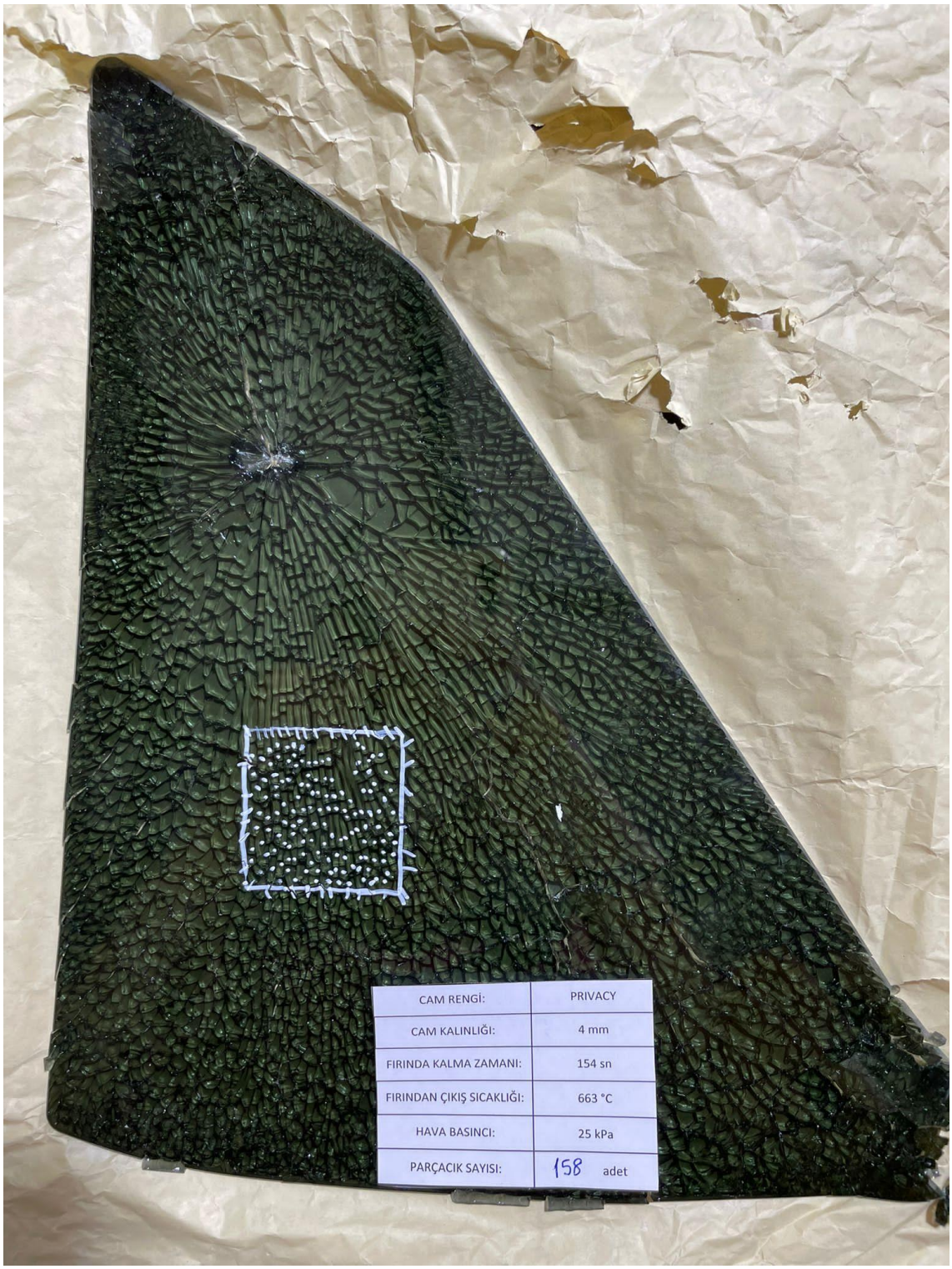
Ek 28. Parçacık Sayısı 74 Adet



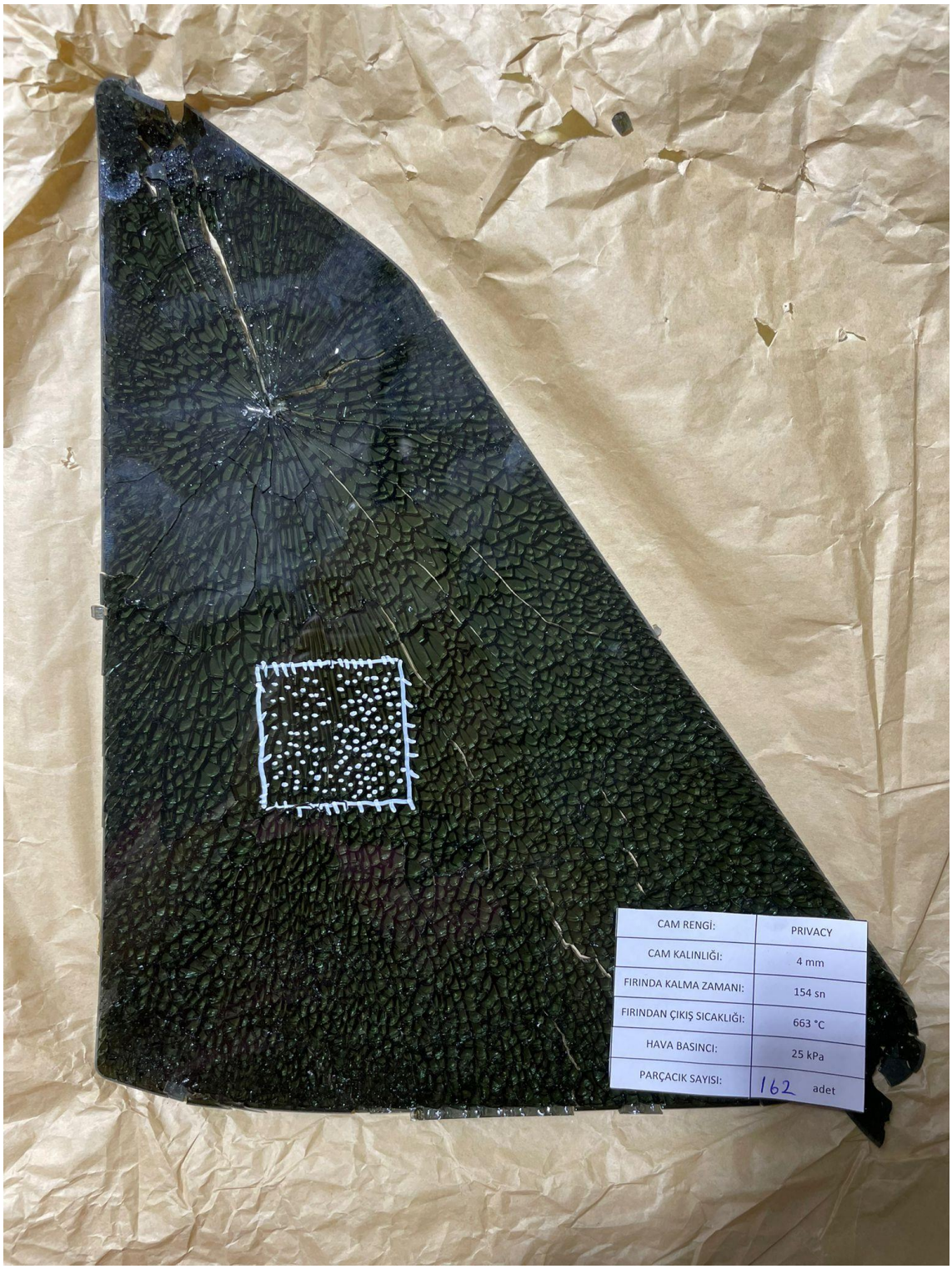
Ek 29. Parçacık Sayısı 69 Adet



Ek 30. Parçacık Sayısı 158 Adet



Ek 31. Parçacık Sayısı 162 Adet



ÖZGEÇMİŞ

Şevket ÖZKAN

Eğitim

Derece	Yıl	Üniversite, Enstitü, Anabilim Dalı
Yüksek Lisans	2023	Maltepe Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Lisans	2020	Cumhuriyet Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği
Lise	2012	Kartal Hüseyin Ağırman Anadolu Teknik Lisesi

İş/İstihdam

Yıl	*Görev*
2021-…	Üretim Mühendisi, Tamcam Otocam