

T.C.
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**DÜZ CAMIN YÜKSEK BASINÇLI SU (WATERJET) İLE
DELİNMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN
OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MURAT KARAAĞAÇ

BOLU, NİSAN - 2017

T.C.
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**DÜZ CAMIN YÜKSEK BASINÇLI SU (WATERJET) İLE
DELİNMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN
OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MURAT KARAAĞAÇ

BOLU, NİSAN - 2017

KABUL VE ONAY SAYFASI

MURAT KARAAĞAÇ tarafından hazırlanan “DÜZ CAMIN YÜKSEK BASINÇLI SU (WATERJET) İLE DELİNMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU” adlı tez çalışması 18.04.2017 tarihinde Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Danışman
Doç. Dr. Sabri ÖZTÜRK
Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Doç. Dr. Murat PAKDİL
Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin DAL
Sakarya Üniversitesi

İmza

S. Öztürk
M. Pakdil
H. Dal

18.04.2017

.....
Prof. Dr. Duran KARAKAŞ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Eşime ve aileme,

ETİK BEYAN

Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

1. Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 2. Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 3. Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 4. Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 5. Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

MURAT KARAAĞAÇ

ÖZET

**DÜZ CAMIN YÜKSEK BASINÇLI SU (WATERJET) İLE
DELİNMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MURAT KARAAĞAÇ
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. SABRİ ÖZTÜRK)**

BOLU, NİSAN - 2017

Beyaz eşya endüstrisinde, düz camın delinmesi önemli bir prosestir. Son yıllarda cam delme işlemine talep artmıştır. Bu araştırma cam delme parametrelerinin analitik analizi ile ilgilenmiştir. Delik kalitesini arttırmak için, kesme hızının ve kum tanecik boyutunun seçilmesinde daha dikkatli olunmalıdır. Deneyler farklı kesme hızlarında ve farklı abrasif malzeme boyutu kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada, parametrelerin optimizasyonunda kesme hızı ve abrasif parça boyutu etkisi dikkate alınmıştır. tukey test ve varyans analizi (anova) yöntemleri verilerin analizinde kullanılmıştır. Seçilen mesh boyutu için optimum kesme hızı 1200 mm/dak bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Delme, Cam, Tukey Test, Delik Hassasiyeti, Kesme Hızı

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF CUTTING PARAMETERS FOR THE DRILLING OF FLAT GLASS BY WATERJET

MSC THESIS

MURAT KARAAĞAÇ

**ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF
NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
(SUPERVISOR: DOC. DR. SABRİ ÖZTÜRK)**

BOLU, APRIL 2017

Drilling of flat glass is an important process in kitchen furniture production. The demand for glass drilling has recently been increased in the last years. This research is dealt with the analytic analysis of the glass drilling parameters. To maximize the hole quality, more attention should be given to the choice of cutting speed and size of sand particle of abrasive materials. All experiments were conducted by choosing different cutting speed and various size of sand particle of abrasive materials. In this work, the effect of cutting speed and abrasive particle size was taken into consideration in the optimization of the parameters. The data were analysed using tukey test and analysis of variance (anova). Optimum cutting speed was founded as 1200 mm/min for the selected mesh size.

KEYWORDS: Drilling, Glass, Tukey Test, Hole Quality, Cutting Speed

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xii
TEŞEKKÜR	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ	3
3. CAM	6
3.1. CAMIN TARİHSEL GELİŞİMİ.....	6
3.2. CAMIN TANIMI VE CAMIN YAPISI.....	7
3.3. CAMIN ÖZELLİKLERİ.....	9
3.3.1. Camın Fiziksel Özellikleri	9
3.3.2. Camın Kimyasal Özellikleri	9
3.3.3. Camın Mekanik Özellikleri	13
4. CAMI DELME METOTLARI	14
4.1. MATKAP İLE DELME	14
4.1.1. Sıkıştırma	14
4.1.2. Dayama ve Gönyeleme	15
4.1.3. Adımlar ve Parametreler	17
4.1.3.1. Delme İşleminde Adımlar	17
4.1.3.2. Parametreler	21
4.1.4. Delik İşlemi ve Temperleme Arasındaki İlişki	23
4.1.5. Matkap Ucu Kullanımı	25
4.2. LAZER KESİM.....	27
4.3. SU JETİ.....	32
4.4. SU JETİ İLE KESME.....	32
4.5. SAF SU JETLERİ.....	34
4.6. AŞINDIRICILI SU JETİ.....	35
4.6.1. Aşındırıcı Su Jeti KesimininYüzey Özellikleri	35
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	44
5.1. MATERYAL.....	44
5.2. YÖNTEM.....	54
5.2.1. Genel Regresyon Analizi	63

6. BULGULAR VE TARTIşMA	66
7. SONUÇ.....	67
8. KAYNAKLAR.....	69
9. ÖZGEÇMİş	73



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1.Obsidien.....	3
Şekil 2.2. Kuvars.....	3
Şekil 3.3.2.1. SiO ₂ ‘silika’ tetrahedrasının şematik görünümü.....	11
Şekil 4.1.1.1. Sıkıştırma.....	15
Şekil 4.1.2.1. Gönyeleme parçası.....	16
Şekil 4.1.2.2. Matkap ucu.....	17
Şekil 4.1.3.1.1. Pozisyonlama.....	18
Şekil 4.1.3.1.2. Yaklaşma.....	18
Şekil 4.1.3.1.3. İlerleme.....	19
Şekil 4.1.3.1.4. Delme işlemi.....	19
Şekil 4.1.3.1.5. Delme sırası.....	20
Şekil 4.1.3.1.6. Delme gerçekleşmesi.....	20
Şekil 4.1.3.2.1. Örnek teknik resim.....	21
Şekil 4.1.3.2.2. Delik delme mesafeleri.....	22
Şekil 4.1.3.2.3. Örnek matkap ucu.....	23
Şekil 4.1.5.1. Matkap ucu bölmeleri.....	25
Şekil 4.1.5.2. Hasarlı matkap ucu örnekleri.....	25
Şekil 4.1.5.3. Kırık matkap ucu örnekleri.....	26
Şekil 4.1.5.4. Matkap ucu tahliye delik mesafesi.....	26
Şekil 4.2.1. Cam lazer kesme diyagramı ve cam ızgara yapısı alt tabaka.....	28
Şekil 4.2.2. Çift lazer ışını yöntemi ile lazer kesme sisteminin konfigürasyonu.....	28
Şekil 4.2.3. Çift lazer ışını metodolojisi.....	30
Şekil 4.2.4. Yeşil lazer ışını.....	31
Şekil 4.2.5. Lazer kesim ürünleri.....	31
Şekil 4.4.1. Su jeti ve aşındırıcılı su jeti karşılaştırılması.....	33
Şekil 4.6.1.1. Kesilen parçaların geometrik yapısı ve kesme yönü.....	36
Şekil 4.6.1.2. Kesilen yüzeyin genel özellikleri.....	37
Şekil 4.6.1.3. Aşındırıcılı su jeti ile kesmede etkileşim şeması.....	38
Şekil 4.6.1.4. Kum tankı göstergesi.....	40
Şekil 4.6.1.5. Basınç sistemi.....	40
Şekil 4.6.1.6. Waterjet kesme kafası.....	41
Şekil 4.6.1.7. Waterjet ile kesilmiş ürünler.....	42
Şekil 4.6.1.8. Waterjet kesici kafa mekanizması.....	42
Şekil 4.6.1.9. Waterjet hidrolik pompa.....	43
Şekil 4.6.1.10. Waterjet komut tasarım ekranı.....	43
Şekil 5.1.1. Waterjet makinesi.....	44
Şekil 5.1.2. Fırın panel camı.....	47
Şekil 5.1.3. Fırın ocak camı.....	47
Şekil 5.1.4. Davlumbaz camı.....	48
Şekil 5.1.5. Kum tankından kumun vakumlanması.....	48
Şekil 5.1.6. Yüksek basınçlı su ve kum ile camın delinmesi.....	49
Şekil 5.1.7. Yüksek basınçlı su ve kum ile kesilmiş cam.....	49
Şekil 5.1.8. Kesme ucu nozul görünümü.....	50
Şekil 5.1.9. Nozul uç kısmı görünümü.....	50
Şekil 5.1.10. Waterjet makinası kontrol ünitesi.....	51

Şekil 5.1.11. Waterjet makinası istasyonu.....	51
Şekil 5.1.12. Su jeti kesme sisteminin ana elemanları.....	52
Şekil 5.1.13. Su jeti ile kesilen yüzeyin oluşum aşaması.....	53
Şekil 5.1.14. Waterjet makinası şematik görünümü.....	53
Şekil 5.1.15. Waterjet makinası.....	54
Şekil 5.2.1. Marsurf M300 ölçüm cihazı.....	55
Şekil 5.2.2. Termal kamera ısı ölçüm ekranı.....	56
Şekil 5.2.3. Farklı delik yüzey kalitesine sahip cam termal kamera görüntüsü.....	57
Şekil 5.2.4. Delik yüzey kalitesinde oluşan çatlak sonucu kırılan cam termal kamera görüntüsü.....	58
Şekil 5.2.5. Testlerin gerçekleştirildiği waterjet makinası.....	60
Şekil 5.2.6. Koniklik ölçümü.....	60
Şekil 5.2.7. Analiz deliklerin oluşturulması.....	62
Şekil 5.2.1.1. Genel regresyon analizi eğrisi.....	64



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1.3.2.1. Delik delme parametreleri.....	22
Çizelge 4.6.1.1. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri.....	39
Çizelge 5.1.1. Waterjet makinası teknik özellikleri.....	46
Çizelge 5.2.1. Farklı abrasif malzemeleri kullanarak kesme işlemi sonucunda bulunan yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri.....	56
Çizelge 5.2.2. Abrasif malzeme tanecik boyutu için anova sonuçları.....	58
Çizelge 5.2.3. Abrasif malzeme için tukey çoklu karşılaştırma sonuçları.....	59
Çizelge 5.2.4. Farklı kesme hızlarında gerçekleşen delik açma sonucunda alt ve üst çap farkı	61
Çizelge 5.2.5. Kesme hızları için anova sonuçları.....	62
Çizelge 5.2.6. Kesme hızları için tukey çoklu karşılaştırma sonuçları.....	63
Çizelge 5.2.1.1. Genel regresyon analizi.....	64

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

°C	: Celsius
cm³	: Santimetreküp
gr	: Gram
H₂SiF₆	: Florosilisik Asit
CO₂	: Karbondioksit
MÖ	: Milattan Önce
MS	: Milattan Sonra
SiOH₄	: Monomeriksilik Asit
Gpa	: Ciga Pascal
mm	: Milimetre
sn	: Saniye
rpm	: Dakikadaki Devir Sayısı
Mpa	: Mega Pascal
Min	: Dakika
Lt	: Litre
Kw	: Kilowatt
Eu	: Euro
Kg	: Kilogram
Hp	: Beygir Gücü
Ra	: Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü
Bar	: Basınç Birimi
AC	: Alternatif Akım
µm	: Mikron Metre
Mesh	:Elek Ölçüsü
CAM	: Bilgisayar Destekli İmalat
Dak	: Dakika
Cnc	: Bilgisayar Sayımlı Yönetim
B₂O₃	: Bor Oksit
SiO₂	: Silisyum Oksit
O	: Oksijen
GeO₂	: Germanyum Oksit
P₂O₅	: FosforPentaoksit

As₂O₃	: ArsenikTrioksit
Sb₂O₅	: AntimuanPentaoksit
Sc₂O₃	: Skandiyum oksit
La₂O₃	: Lantanyum oksit
Y₂O₃	: YitriyumOksit
SnO₂	: Kalay Oksit
Ga₂O₃	: Galyum Oksit
PbO₂	: Kurşun Dioksit
MgO	: Magnezyum Oksit
Li₂O	: LityumOksit
PbO	: KurşunOksit,
ZnO	: Çinko Oksit
BaO	: Baryum Oksit
CaO	: Kalsiyum Oksit
SrO	: Stronsiyum Oksit
CdO	: Kadmiyum Oksit
Na₂O	: Sodyum Oksit
K₂O	: Potasyum Oksit
Rb₂O	: Rubidyum Oksit
Na₂O	: Sodyum Oksit
CaO	: Kalsiyum Oksit
TiO₂	: Titanya
PbO	: Kurşun Oksit
ZnO	: Çinko Oksit
Al₂O₃	: AlüminyumOksit
ThO₂	: Toryum Oksit
BeO	: Berilyum Oksit
ZrO₂	: ZirkonyumOksit
CdO	: Kadmiyum Oksit
V₂O₅	: VanadyumPentaoksit
TeO	: Tellür Monoksit

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması sürecinde benden kıymetli yardımlarını esirgemeyen, değerli görüşlerinden faydalandığım, tez süresince yapmış olduğu katkılarından dolayı danışmanım Doç. Dr. Sabri ÖZTÜRK'e, tezimin uygulama aşamasında yardımlarını ve imkanlarını esirgemeyen Cam Merkezi Yorim Bolu İşletmesine ve tezimin araştırma ve analiz aşamasında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Mehmet Fatih KAHRAMAN'a teşekkür ederim.

Tez yazım sürecinde her konuda sabırla destek olan ve araştırmalar için beni teşvik eden kıymetli eşim Yasemin KARAAĞAÇ'a çok teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Cam malzeme olarak amorf bir katıdır. Amorf olması nedeni ile davranış olarak sıvı halde bir maddeyi anımsatmaktadır. Sıvı maddelerin genel özelliklerinden olan viskozite, nitelik olarak camda da bulunur. Diğer bir açıdan cam akışkan bir maddedir bununla beraber akış süresi uzundur. Camın akışını bir insan gözlemleyemez; bu durum yaşam süresinin üstündedir. Bu sebeple camı sıvı bir madde olarak adlandırmamızda sakınca yoktur. Camın katılar kadar belirgin erime sıcaklığı bulunmaz. Sıvı davranışı gösteren katı bir faz olarak da tarif edilebilir (<https://tr.wikipedia.org/wiki/Cam>).

Cam bir maden olarak gösterilir. Diğer madenlere göre önem derecesi yüksek bir değişkenliğe sahiptir. Değişkenliği açacak olursak camın erime noktası yerine, “yumuşama noktası” olmasıdır. Bu kayda değer özelliği sebebi ile camın içinde bulunduğu ortamın ısısı artırılırsa zamanla daha çok sıvılaşır. Akıcılık kazanır. Camın iç yapısı test ekipmanları ile incelendiğinde atomların düzgün kristal dizilişi, camın yapısında diğer katılara göre farklı olduğu gözlemlenmiştir. Camdaki atomun dizilişi sıvılardaki dizilişte olduğu gibi rastgeledir. Ancak sıvı olarak nitelendirilemez çünkü cam çok kıvrımlıdır. Bu nedenle de yer çekiminden etkilenmez ve aldığı şekli korur (Küçükerman, 1985).

Çeşitli kimyasal maddeler (soda, boraks, ...) sıvı camda, camın sertleşmesi gibi çeşitli özelliklerin cama kazandırılması için kullanılır. Camın soğutulma hızına bağlı olancanın oluşumu, atomlar arası ya da atom grupları arasındaki karışık bağ yapıları olan kovalent ve iyonik bağlara ihtiyacı vardır. Bireysel atomlar düzenli üç boyutlu diziler olan kristal kafes meydana getirdiğinde, kristaller oluşur. Diğer bir taraftan cam, sıvı haldeyken soğumaya başladığında, herhangi bir ağ oluşturur. Ağın bazı bölgelerine sızan iyonlar, ağ yapısını yeniden düzenler. Bu sayede camın iyonlarla ilişkili özellikleri ortaya çıkar (Megep, 2008).

Cam üretiminin öneminin yanı sıra camı işlemesi de önem arz etmektedir. Temel işlemler, kesim, kenar işleme, delik delme, baskı yapma ve temperlemektir. Her bir işlemin kendi içinde araştırma konusu teknik detaylar bulunmaktadır. Tez

alışmasında cam delik delme işleme odaklanılmıştır. Cam delik delme işleminin farklı yöntemleri incelenmiştir. Günümüzde kullanılan tekniklerin, gelecekte kullanılacak araştırmaları başlamış tekniklerin, endüstride en çok tercih edilen yöntemlerin avantajları ve dezavantajlarına değinilmiştir. Bu yöntemler arasından kullanımı gün geçtikçe artan waterjet (su jeti) kesim metodu tez konusu olarak belirlenmiştir.

Waterjet makinası çalışma mantığı ve makine parçaları tanıtılmıştır. Parçaların birbiri ile ilişkisi anlatılmıştır. Makinanın çıktısı olan kesici kuvvetin malzeme üzerinde etkisine değinilmiştir. Tez çalışması için yapılan deneyler waterjet kesim makinası ile gerçekleştirilmiş ve çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır.



2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Cam işleme binlerce yıldır yapılan bir uygulamadır. Camla ilgili bütün kaynaklar tarandığında camın aslında dünya üzerinde zaten var olan bir madde olduğundan bahsedilmektedir. Bu maddelerin yanardağ patlamaları, şimşek çakması ya da meteor düşmesi sonunda eriyen kayaların ani soğuması sonucu oluştuğu söylenmektedir (Kantur, 2009).

Cam, doğada doğal olarak kuvars ve obsidyen şeklinde görülmektedir (Şekil 2.1.). Asırlar önce volkanik olaylar sonucu silika ergimiş ve obsidyen oluşturmuştur. Obsidyen çoğunlukla kahverengi, koyu kırmızımsı, yarı geçirgen bir madde olup bileşimi pencere camının (kireç, silika, soda,) kimyasal bileşiminden farklı değildir (Megep, 2008). Obsidyeni atalarımız balta, ok ucu, bıçak gibi aletler yapmak için kullanmıştır (Günay ve Yılmaz, 2010). Kuvars ise saydamdır, renksizdir. İşlenmiş cama benzemektedir (Şekil 2.2). Kristaller şeklinde bulunup, renkli kuvars kristalleri mücevher yapımında kullanılmaktadır (Megep, 2008).



Şekil 2. 1. Obsidyen ([https://upload.wikimedia.org/wikipedia/tr/thumb/ 3/3d/Obsidyen.jpg/280px-Obsidyen.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/tr/thumb/3/3d/Obsidyen.jpg/280px-Obsidyen.jpg))



Şekil 2.2. Kuvars ([http://www.kaltun.com.tr/images/Projeler/bresim/kuvarsx.j](http://www.kaltun.com.tr/images/Projeler/bresim/kuvarsx.jpg)
pg)

Camın keşfedilişi ile ilgili bir çok hikaye anlatılır. Bunlardan en uygun olanı tarihçi Elder Pliny'in aktarmış olduğu hikayedir. Pliny'e göre, bir ticaret gemisinde bulunan insanlar kıyıya çıkarlar. İnsanlar nehirin yatağında ateş yakarlar. Daha sonra yaktıkları ateşin külleri arasında saydam, parlak cam parçaları keşfederler. Bu hikayenin gerçek olup olmadığı bilinmemekle birlikte akla uygun olduğu görülmektedir. Odun ateşinin camlaşmayı sağlayabilecek ısıya ulaşarak ulaşamayacağı da tartışılmaktadır. Ancak yapılan araştırmalarda malzeme uygun düzenlenmişse camlaşmayı sağlayabilecek ısıya ulaşılabilirdiği kanıtlanmıştır. Buna göre kumlu bölgelerde ateş yakılmış ise böyle örneklerin her zaman bulunmuş olması gerekmektedir (Küçükerman, 1985).

Cam, astronomi, mikro elektrik, uçak ve iletişim endüstrisinde çokça kullanılmaktadır (Öztürk, 2014). Düz cam özellikle mobilya ve mutfak dekorasyonunda da tercih edilmektedir (Popov, 2009). Cam üretiminde delme, kesme ve taşlama gibi talaş kaldırma işlemleri kullanılmaktadır. Birçok araştırmacı, kesme parametreleri ile takım performansını artırma ile ilgili çalışmalar yürütmüştür (Blank vd, 1999; Chen vd, 2015; Dai vd, 2015; Lin vd, 2008; Cheng vd, 2014; Ergür, 2009; Erkuş, 2012; Gabler vd, 2010; Günay vd, 2010; Kantur, 2009; Karakurt vd, 2010; Karşlıoğlu vd, 2007; Kartal vd, 2014; Küçükerman, 1985; Külekçi vd, 2001; Megap, 2008; Mendi vd, 1999; Olcay, 1998; Ozturk, 2014; Perveen vd, 2012; Popov, 2009; Ruff vd, 1995; Tillmann vd, 2007; Yamaguchi vd, 2006). Başka çalışmada ise SiC takımlarla diğer taşlama takımları karşılaştırılmıştır (Yamaguchi vd, 2006). Çeşitli matris malzemeye sahip farklı taşlama takımları araştırılmıştır (Dai vd, 2015; Ergür, 2009; Erkuş, 2012; Gabler vd, 2010; Günay vd, 2010; Kantur, 2009; Karakurt vd, 2010; Karşlıoğlu vd, 2007; Kartal vd, 2014; Küçükerman, 1985; Külekçi vd, 2001; Lin vd, 2008). Mikro taşlama yöntemi de kullanılan ve araştırılan yöntemler arasında olup, son yıllarda birçok makalede çalışılmıştır (Aurich vd, 2009; Ay, 2007; Bansal vd, 1986; Blank vd, 1999; Chen vd, 2015; Cheng vd, 2014; Dai vd, 2015; Ergür, 2009; Erkuş, 2012; Gabler vd, 2010; Günay vd, 2010; Kantur, 2009; Karakurt vd, 2010; Karşlıoğlu vd, 2007; Kartal vd, 2014; Küçükerman, 1985; Külekçi vd, 2001; Lin vd, 2008; Megap, 2008; Mendi vd, 1999; Olcay, 1998; Ozturk, 2014; Perveen vd, 2012). Tüm bu çalışmalar bize cam endüstrisinin gelişen teknolojiyle hızlı bir şekilde geliştiğini ve çok sayıda çalışmanın yapıldığını göstermektedir. Özellikle cam kullanımının mutfak eşyalarında artış göstermesi ve akıllı telefonların

ekranlarında cam kullanımı cam sektörünü hızlı bir şekilde geliştirmekte ve kaliteli düşük maliyetli üretimin gerekliliğini ortaya koymaktadır.



3. CAM

3.1. CAMIN TARİHSEL GELİŞİMİ

İnsanoğlunun keşfettiği, ürettiği, işlediği en eski yapay malzemelerden birisi de camdır (Günay ve Yılmaz, 2010). Taş devrinden günümüze kadar gelen bazı aletlere bakıldığında o dönemden itibaren camın kullanılmaya başlandığını anlamak mümkündür. Antik Roma tarihçisi Pliny (M.S. 23-79) o dönem taş ticareti yapan tacirlerin M.Ö. 5000 yıllarında Suriye bölgesinde camı şans eseri keşfettiklerini söyler. Şimdiye kadar M.Ö. 5500 yıllarına ait en eski cam ürün arkeolojik kazılarda Mısır'da bulunmuştur (Kantur, 2009).

İlk dönemlerde, cam sanatı Mısır ve Mezopotamya'da daha çok gelişmiştir. Mısır ve Mezopotamya'da odunla yanan cam ocaklarının kullanıldığı düşünülmektedir (Megep, 2008). Mısır'dan günümüze çarpıcı güzellikte cam eserler kalmıştır. Bu dönemlerde cam sanatı en parlak devrini Mısır'da yaşamıştır (Günay ve Yılmaz,2010). Daha o zamanlarda dekorasyon olarak Mısır'da perdah taşı, kesme taşı ve cam kullanılmaktadır. Ayrıca cam iplik sarma tekniği de bilinmekteydi. Cam iplik sarma tekniği Venedik de daha sonraları yeniden keşfedilmiş ve en parlak dönemini yaşamıştır. Cam sanatının oldukça ileri olduğu, Mısır'ın komşusu Babil'de de görülmektedir (Kantur, 2009).

Mısır'dan sonra cam işçiliğinin gelişiminde cam üflemenin bulunması önemli rol oynamıştır. Yüzyıllardan beri cam ustalarının geliştirdiği ve uyguladığı temel pratik üfleme-şekillendirme yöntemleri, araç ve gereçleri endüstriyel üretim için temel prototipleri oluşturmuş, yarı otomatik ve tam otomatik endüstriyel cam üretimine geçişte büyük yararlar sağlamıştır (Arslan, 2013).

Cam, Roma İmparatorluğu döneminde Avrupa'ya yayılmış ve cam üretimi artmıştır. İlk düz cam Roma döneminde üretilmiştir. Roma'nın çöküşünden sonra Bizanslılar ve Araplar cam üretiminde ön plana çıkmıştır. Doğuda 10. yüzyıla kadar İskenderiye camcılığın merkezi olmuştur. Bunu daha sonra 15. yüzyıla kadar Şam

sürdürmüştür. Avrupa’da ise özellikle Venedik X. Yüzyılın sonlarından itibaren önemli bir cam merkezi haline gelmiştir (Günay ve Yılmaz, 2010).

16. yüzyıldan sonra Venedik camcılığı bütün Avrupa’ya yayılmış, Orta ve Kuzey Avrupa’nın Antwerp, Köln, Londra gibi şehirleri ve Bohemya bölgesi önemli camcılık merkezleri haline gelmiştir. Camcılığın Avrupa’ya yayılması cam teknolojisini geliştirmiş, bilişim ve dekor tekniği yönünden önemli gelişmeler gerçekleştirilmiştir (Günay ve Yılmaz, 2010).

Türklerde camın Selçuklular döneminde kullanılmaya başlandığı tahmin edilmektedir. Selçuklular, Orta Asya’dan Anadolu’ya yeni göç ettikleri döneme ait bazı Selçuklu cam ürünleri bilinmektedir (Megep, 2008). Türklerde cam sanayi 16. yüzyıldan itibaren büyük gelişim kazanmıştır. Modern olarak ilk cam fabrikası Cumhuriyetin ilanından sonra 17 Şubat 1934’de kurulmuştur (Günay ve Yılmaz, 2010).

Türkiye’de 1935 – 1960 yıllar cam sanayinin kuruluş dönemini oluşturduğu yıllardır. Bu zaman diliminde cam, atölye üretiminden seviye atlayıp fabrika üretimine geçmiştir. II. Dünya Savaşı sonrası, ithalat azalmıştır. İthalatın azalması Türkiye Şişe Ve Cam Fabrikaları A.Ş.’nin ilerlemesine, artan ihtiyaçları karşılamak üzere küçük ölçekte bireysel imalathanelerin açılmasına da sevk etmiştir (Karslıoğlu, 2007). Cam, günümüzde ise günlük hayattaki kullanımdan, uzay teknolojisine kadar çoğu yerde karşımıza çıkmaktadır. Pencere camı, aydınlatma gereçleri, gözlük camı, çeşitli lensler, serum şişesi, pişirici cihazlar, set üstü, televizyon, telefon, yemek saklama kapları, yalıtım maddeleri, kablo ve ayna olarak cam birçok alanda kullanılmaktadır (Yazar ve Aslan, 2013).

3.2 CAMIN TANIMI VE CAMIN YAPISI

Cam, saydam ve ya yarı saydam, genel olarak kırılğan, sert ve sıvıların muhafazasını sağlayan inorganik amorf yapıda bir katı malzemedir (<https://tr.wikipedia.org/wiki/Cam>).

Cam kelimesinin tam olarak nerden geldiği bilinmemekle beraber tarihte cam yapımında verildiği isimlendirme “glastum” olan bir orman çiçeğinin adından türediği söylenmektedir. Bir diğer söylentiye göre ise İngilizce (galcede) “glass sun” kelimesinden, anlamı “kehribar” dan geldiğidir (<http://www.grafikerler.net/cam-tarihcesi-t35725.html>).

Cam genelde silisyum asidi; alkali veya toprak alkalili oksitler ve az bir oranda da renk verici oksitlerin karışımından meydana gelir. Cam kumu, soda veya potas, kireç ve renk verici veya ağartıcı maddelerden oluşan karışımın uygun koşullarda eritilmesiyle elde edilir (<http://www.grafikerler.net/cam-tarihcesi-t35725.html>).

Sıvıların bir özelliği olan viskozitenin camda da bulunması yönüyle sıvı haldeki bir maddeye benzer. Cam akışkan bir maddedir ama akış süresi bir insanın gözlemleyemeyeceği kadar uzun olduğu için aşırı soğutulmuş bir sıvı olarak tanımlanır (Erkuş, 2012).

Cam şeffaf ve çeşitli renkleri barındıran bir maddedir ve yapısı gereği kolay biçim alır (Olcay, 1998). Cam üreticileri kendi işlerine uygun özellikteki camı elde etmek için çeşitli malzemeler kullanılır. Örneğin, eski Mısır’da soda kullanılmıştır. Kıyılarda elde edilen soda camı, daha düşük ısılarda erir ve potas camına göre daha uzun süre akıcılığını korur. Günümüzde ise cam elde etmede genellikle, Normal Camlar için %72 Silis, %15 Soda, %13 Kalker; Kristal Camlar için ise %48 Silis, %24 Potas+ Soda , %28 Kurşun Oksit kullanılmaktadır. Her cam üretici, kendi istek ve ihtiyacına göre bu karışımları kullanmaktadır. Camın katkılarını değiştirerek farklı sonuçlar elde edilmektedir. Örneğin,18. yüzyılda Josef Strass çok fazla kurşun kullanarak ilginç süs takıları yapmıştır. Üreticiler kendi istek ve arzularına göre bu şekilde değişimler yapabilmektedirler. Ayrıca cama renk vermek için de bazı karışımlar kullanılmaktadır;

- Yeşil, turkuaz ve mavi renk için : Bakır
- Yeşil, mavi ve sarı renk için : Demir
- Pembe, kırmızı renk için : Altın

karışımları kullanılmaktadır (Küçükerman, 1985).

3.3 CAMIN ÖZELLİKLERİ

Camın erime noktası yoktur. Isıtıldığında şekil verilebilir. Sıcak şekillendirme 800-1300 °C arasında yapılabilir. Cam yaklaşık 500 °C nin üzerinde yumuşamaya başlar (<http://www.kisacaozeti.com/cam-nedir-camin-ozellikleri-nelerdir.html>).

3.3.1. Camın Fiziksel Özellikleri

Yoğunluk: Çeşitli cam türlerinin yoğunlukları 22 gr/cm³-30 gr/cm³ arasında değişmektedir. Bazı özel camlarda 8 gr/cm³ gibi yoğunluklara ulaşmaktadır (http://kisi.deu.edu.tr//kamile.tosun/13._Camlar.pdf).

Sertlik: Mohs sertliğine göre camın sertliği 6 ile 7 arasındadır. Bu düzeydeki sertlik cama iyi bir aşınma direnci kazandırır. Yumuşuma sıcaklığı ise 500-600 °C arasında bulunmaktadır.

Saydamlık: En saydam plastikten daha yüksek bir saydamlığa sahiptir (http://kisi.deu.edu.tr//kamile.tosun/13._Camlar.pdf).

3.3.2. Camın Kimyasal Özellikleri

Yüksek sıcaklıklar hariç silika camı, pratik olarak su ve benzeri nötr çözeltilerden etkilenmez. Amorf silikanın 25 °C’de sudaki çözünürlüğü % 0,012’dir. Çözünürlük sıcaklıkla artar ve çözünme sonucu iyonize olmamış monomerik silikasit (SiOH₄) oluşur (Arslan, 2013).

Hidroflorik Asit özellikle cam yüzeylerin işlenmesinde yüzeylerin matlaştırılması için kullanılır (http://kisi.deu.edu.tr//kamile.tosun/13._Camlar.pdf).

Florosilisik Asit (H₂SiF₆) güçlü bir asit olup su içinde iyonlaşabilirliği yaklaşık sülfürik aside eşittir (Günay ve Yılmaz, 2010) . İçine Kalsiyum Karbonat katılmamış camlar su karşısında kararlı değildir (http://kisi.deu.edu.tr //kamile.tosun/13._Camlar.pdf).

Cam, fiziksel açıdan bir katıdır. Sabit bir erime noktası yoktur. Aşırı soğutulmuş bir sıvıdır. Kristalleşmesini engelleyecek yüksek bir viskozitesi ($V > 1013$ poise) vardır. Kimyasal incelendiğinde ise kumun, alkali ve toprak alkali bileşiklerinin ve diğer cam bileşenlerinin (cam yapıcı maddelerin) eritilmeleri ile oluşan uçucu olmayan inorganik oksitlerin oluşturdukları, çoğunlukla alkali ve toprak alkali silikatlardan oluşan kompleks bir üründür.

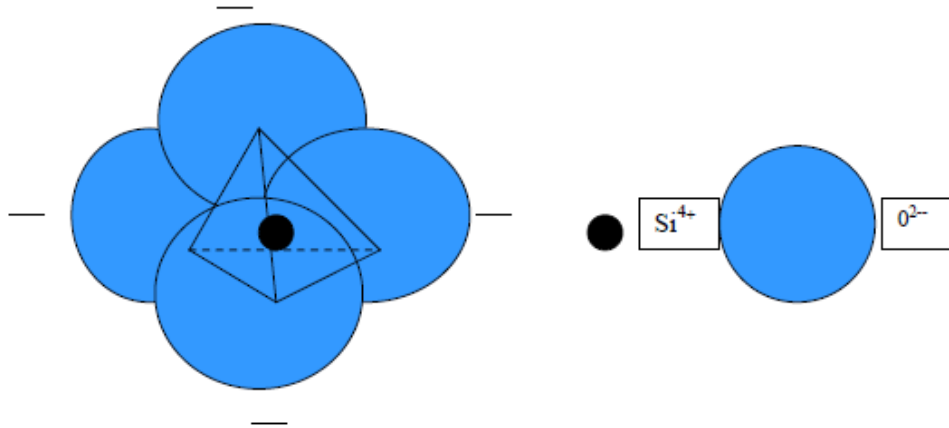
Cam, bütünüyle camlaşmış bir saydam ürün olabildiği gibi, bazı durumlarda az miktarda camlaşmayan maddenin çok miktarda camlaşmış ürün ile olan süspansiyonu olarak da görülebilir. Camın yapısı ile ilgili araştırmalar, rastgele sıralanmış SiO_4 moleküllerinden ibaret bir yapıya sahip olduğunu göstermiştir. Bununla beraber bu yapı ortamın nötral halini sağlayan alkali iyonları da bulundurmaktadır. Toprak alkali iyonlarını da içeren camlar belirli bir düzeyde silikalı olduklarında suda çözünmez. Diğer taraftan sadece alkali metallerle yapılan camlar suyun etkisiyle ortam sıcaklıklarında bile hidroliz olur. Bu nedenle cam olarak uygulamada kullanışlı olmaz. ($\text{SiO}_2.\text{Na}_2\text{O}$ den $\text{SiO}_2.\text{Na}_2\text{O}_4$ ye kadar değişen geniş bir oluşum aralığındadır. İki komponentli su camı olarak da adlandırılan "alkali silikatlar" susuz soda ve kumun basitçe birlikte eritilmesinden elde edilen sodyum silikatlarıdır). Böylece kullanılabilir cam üretimi için soğutulduklarında suda hidrolize olmayan karışımlar hazırlanır. Özellikle adi cama ait olan $\text{SiO}_2.\text{CaO}.\text{Na}_2\text{O}$ üçlü sistemini belirtmek gerekir. Metal cinslerini ya da oranlarını değiştirerek billur, bohemya, jena vb. camları gibi çeşitli ürünler elde edilebilir. Bahsedilen bu camlar ve %59 seviyesinden daha az silika içerenler kaynayan suda yavaşça hidrolize uğrar. Su çıktı olarak alkali bir reaksiyon oluşturur. Camların adi sıcaklıktaki viskoziteleri yüksektir. Bu sayede kristallerin meydana gelmesi için gerekli atom hareketleri zorlaşır ama uygun bir sıcaklığa kadar ısıtılmakla kristal yapı elde edilebilir, kısaca cam halinden çıkabilir.

- Camların sulama ve tavlama: Eritilmiş cam işlenmek için hızlı soğutulursa, oluşacak iç gerilimler nedeni ile camın mekanik özelliklerinde dayanma ve kırılma gösteren bir şekilde değişimi gözlenir. Cam hızlı soğutulma sonucu oluşan 'sulanma' nedeni ile darbelere karşı mukavemetsiz bir duruma gelir. Buradaki durum belli bir değişim noktasına endeksli olmasından iç gerilimlerin ortadan kaldırılması, camın buradaki değişim

sıcaklığı seviyesinde 2-3 saat uygulanarak uzun sürede soğutulması özetle 'tavlanması' suretiyle yapılır.

- Camların mekanik özellikleri: Kopma yükü basıncına karşı direnci, sertlik ve elastiklik modülü
- Camların fiziksel özellikleri: Kırılma indisi, yoğunluk, ısıtımlar, elektrik iletkenliği bakımından geçirgenliği

Cam yapımında başlıca faktörler, ergimiş oksitlerin sahip olduğu viskozite ve bu viskozite ile kompozisyon arasındaki ilişkidir. Atomlar camın yapısında düzensiz dizilmiştir. İyonik ve kovalent bağ ile bağlı olan atomlardan oluşur. Bütün camlarda birim boyut mertebesinde düzen olsa bile bu düzen devamlı korunamamaktadır. Silika camında Si, O atomları tetrahedra meydana getirirler. Dört tane oksijen atomu ile Si atomu çevrelenir. Oksijen atomları iki tetrahedra arasında ortak paylaşılır. Şekil 3.3.2.1. de SiO_2 'silika' tetrahedrası görülmektedir.



Şekil 3.3.2.1. SiO_2 'silika' tetrahedrasının şematik görünümü (Megep, 2009)

B_2O_3 'bor oksit' ve diğer cam yapılarında benzer durum söz konusudur. Birim şekli aynı fakat elemanlar arasında mesafeler farklılık göstermektedir. Camların çoğunluğunda birden fazla oksit vardır. Bu oksitleri üç grup olarak ayırabiliriz.

- Cam iskeletini meydana getiren oksitler cam yapıcı SiO_2 veya silistir. Cam, sıvı yapısında fakat katı gibi davranış gösteren bir maddedir. SiO_2 , B_2O_3 , GeO_2 , P_2O_5 , As_2O_3 , Sb_2O_5 .

- Cam oluşumunu kolaylaştıran oksitler; Sc_2O_3 , La_2O_3 , Y_2O_3 , SnO_2 , Ga_2O_3 , PbO_2 , MgO , Li_2O , PbO , ZnO , BaO , CaO , SrO , CdO , Na_2O , K_2O , Rb_2O , Na_2O ilavesi maddeler arasında kimyasal bir reaksiyona oluşturur. Silis ve soda karışımı, silisin erime noktasından düşük bir sıcaklıkta tepkime oluşturur. Başka bir açıdan da soda daha kolay eriyen bir ürün meydana getirmesi ile, silisin düşük seviyede bir sıcaklıkta akıcı duruma gelmesini sağlar. Silis soda camındaki soda oranı arttırıldığında camın, su etkisi ile kimyasal olarak etkilenmesi de artış gösterir. Buradan yola çıkarak, kolay eritilebilen ve kolay şekil verilebilen bir cam üretmek için, cam karışım kompozisyonunda bazı ilaveler ve düzeltmeler yapılmalıdır.

Kireç (CaO), bilinen diğer bir ağ yapı düzenleyici maddedir. Camın kimyasal etkilere mukavemetini arttırmak için kireç ilavesi yapılır. Örnek olarak; kalan oksitler (Şartlı Cam Yapıcılar), TiO_2 , PbO , ZnO , Al_2O_3 , ThO_2 , BeO , ZrO_2 , CdO , V_2O_5 , TeO . Oksitlerin üçüncü grupta olanları belli bir orana kadar uygun oksitlerle beraber bulunduklarında ağ yapısında yer alabilir. Örnek olarak; $\text{MgO-CaO-Al}_2\text{O}_3$ camında Al_2O_3 (alümina) ağ yapısını oluşturur. $\text{CaO-Na}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ camında Al_2O_3 şebeke değiştiren oksit olarak bulunur. Bahsedilen maddeler kısmen bir cam yapıcı ve bir ağ yapı düzenleyicisi olarak görülür.

Camın yapısını oluşturan maddeler;

1. Kum
2. Dolomit
3. Soda
4. Feldspat
5. Kalker

Yardımcı maddeler;

1. Sodyum sülfat
2. Seryum konsantre
3. Çinko selenit
4. Kobalt oksit
5. Cam kırığı

Bu maddeleri bünyesinde bulunduran ve konveyör bantlar ile doğrudan fırına gönderilen karışıma harman denir. Kum ve cam kırığı toplam harmanın yaklaşık %69-71'ini oluşturur (Megep, 2009).

3.3.3. Camın Mekanik Özellikleri

Cam kırılkan, gevrek türde bir malzeme olup, darbeye ve şekil değişimlerine karşı dayanıklı değildir. Ancak basınç dayanımı oldukça yüksektir. Cam gibi kırılkan maddelerin basınç ve çekme dayanımları arasında büyük fark vardır (http://kisi.deu.edu.tr//kamile.tosun/13._Camlar.pdf).

Bu fark camlarda 20 kata kadar çıkabilmektedir. Camlarda basma mukavemeti 1 GPa iken çekme mukavemeti 0,04-0,05 GPa kadar düşebilmektedir. Elastik modülleri ise 10-200 GPa arasında değişmektedir (Günay ve Yılmaz, 2010).

4. CAMI DELME METOTLARI

Camı delmenin farklı metotları mevcuttur. Bunlar teknolojinin ilerlemesi ile çeşitlenmiştir. Cam hammaddeli üretilecek ürüne göre en uygun metot endüstride tercih edilmektedir. Dolayısı ile üründen beklenen özellik, kalite seviyesi ve en düşük maliyet ile çalışan metot seçilir. Her geçen gün çıkan yeni metotlar ise endüstri de alışlagelmiş prosesleri de değiştirmektedir.

4.1. MATKAP İLE DELME

İki farklı tarzda delik işlemi yapılabiliyor.

1. Cam yatay konumda: Matkap
2. Cam yatay konumda: Kum ve su, Örn: Waterjet

Günümüz teknolojisinde makinelerde standart olan bazı özellikler;

- Yükleme ve Boşaltma
- Pozisyonlama
- Sıkıştırma
- Çift taraflı delik
- Soğutma
- Hız ayarlama
- Sensör Kontrolü
- Delik delme prosesi 3 aşamada gerçekleşmektedir.

4.1.1. Sıkıştırma

Camın delik esnasında hareket etmemesi için belli noktalardan sıkıştırılması işlemidir. Bu şartın sağlanmaması durumunda oynamanın derecesine göre;

Hatalar;

- Delik kenarında çapaklanma,
- Delik kenarında çatlama,

➤ Kırılma,
meydana gelir.

Şekil 4.1.1.1. de görüldüğü üzere alt ve üst şapkalar arasına sıkıştırılmış cam görülmektedir. Burada şapkaların ana görevi delik esnasında camı oynatmadan sabit tutmaktır. Bir sıkıştırma kuvveti olduğundan dolayı şapkalar camı çizebilir. Bu nokta da şapkaların cama temas eden yüzeyinde oring (lastik türevi malzeme) kullanılması çizmeyi önlemektedir.



Şekil 4.1.1.1. Sıkıştırma

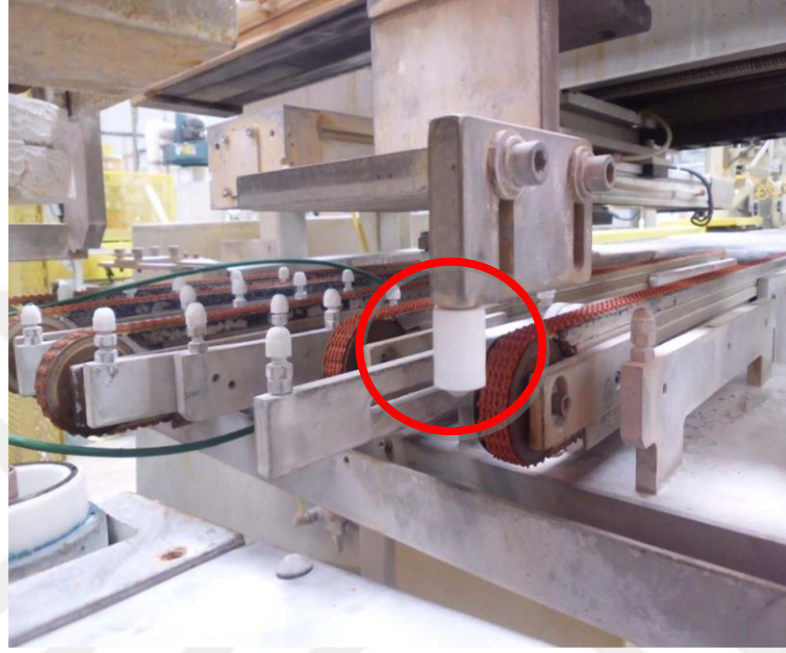
4.1.2. Dayama ve Gönyeleme Düzlemi

Camın kırılğan bir malzeme olması sebebi ile delik esnasında camın düzgün bir düzleme yatırılması gerekir. Bu şartın sağlanmaması durumunda düzlemin bozukluk derecesine göre hatalar meydana gelmektedir.

Hatalar;

- Esneme sonucu delik kenarında çapaklanma
- Delik kenarında çatlama
- Kırılma
- Ölçü Hatası

Şekil 4.1.2.1. de açılacak olan deliklerin pozisyonlarını doğru konumlandırabilmek için cam delik öncesi gönyelenir. Kırmızı daire içinde bulunan beyaz teflon parça bağlı olduğu mekanizma sayesinde hareket etmektedir. Makine camın geldiğini sensör vasıtası ile algıladıktan sonra gönyeleme parçası cam durduktan sonra gönyeleme işlemini gerçekleştirir.



Şekil 4.1.2.1. Gönyeleme parçası

Koordineli çalışan alt-üst kafalar sırası ile veya eş zamanlı olarak delme işlemi yapar. Delme işlemi Şekil 4.1.2.2. de görülen matkap ucu ile yapılır. Hataların %90'lık kısmı bu adımda meydana gelir. Delik kafalarında ki titreşim, balans delik kalitesini direkt etkiler.

Hatalar: Çapak, kırık, kılcal çatlak



Şekil 4.1.2.2. Matkap ucu

4.1.3. Adımlar ve Parametreler

Matkap ile delik delme de adımların sıralaması ve parametreler önem arz etmektedir. Bu nokta da bunları tek tek ele almamız gereklidir. İleri aşamalarda delme işleminde adımlar ve parametreler detaylı olarak incelendi.

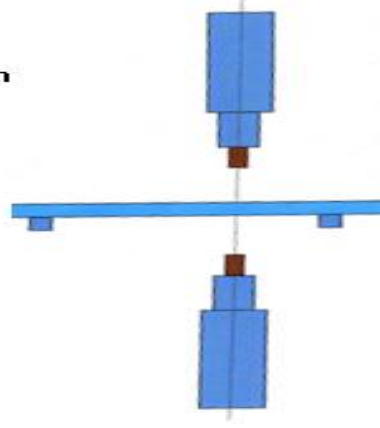
4.1.3.1. Delme İşleminde Adımlar

Adımları incelerken sıralama önemlidir. Bundan dolayı sıralamaya dikkat edilerek inceleme yapılmıştır. Adım adım anlatılan işlemlerde görsellerin yanında yapılaş şekli anlatılmıştır. Temel olarak 6 adım bulunmaktadır. Alt ve üst matkabın pozisyonu, camın pozisyonu, birbirine göre hareketleri şeklinde adımlar oluşmaktadır.

1. Adım :

Cam pozisyon alıyor ve sıkıştırılıyor. Şekil 4.1.3.1.1. de görüldüğü üzere cam makine girdikten sonra açılacak delik konumlarına göre pozisyonunu alıyor ve oynamaması için sıkıştırılıyor.

**Cam pozisyon
alıyor ve
sıkıştırılıyor.**



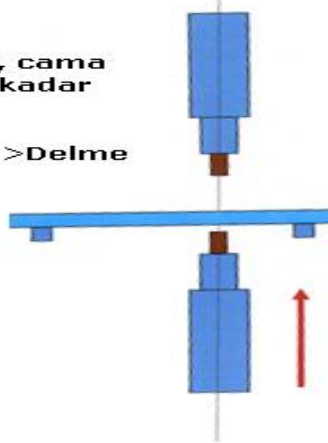
Şekil 4.1.3.1.1. Pozisyonlama

2. Adım :

Arkadaki kafa, cama 1 mm mesafe kadar yaklaşıyor ve yaklaşma hızı delme hızından yüksektir. Bunun nedeni delik başına düşen üretim birim saniye süresini kısaltmaktır. Kafalar mümkün olduğunca hızlı bir şekilde cama yaklaşmalı ki zaman kaybı minimize edilsin. Daha sonra delme işlemine başladığında delme hızına düşürülmelidir. Konu şekil 4.1.3.1.2. de görsel olarak anlatılmıştır.

**Arkadaki kafa, cama
1mm mesafe kadar
yaklaşıyor.**

**Yaklaşma hızı > Delme
hızı**

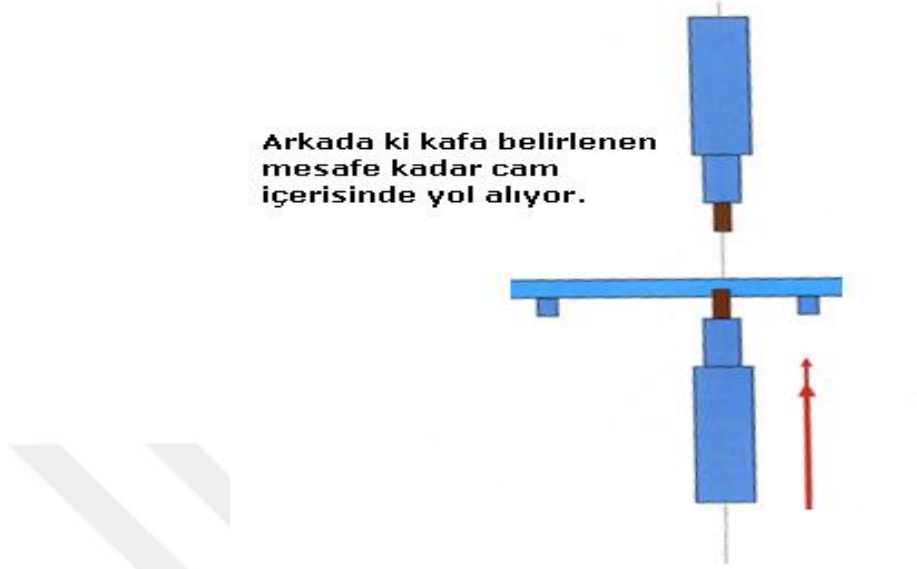


Şekil 4.1.3.1.2. Yaklaşma

3. Adım :

Arkadaki kafa belirlenen mesafe kadar cam içerisinde yol alıyor. Burada belirlenen mesafeden kasıt cam kalınlığına göre farklılık gösterdiğinden cam

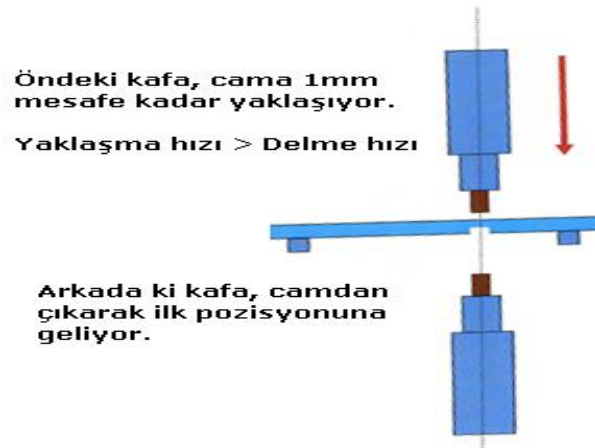
kalınlığına göre belirlenmektedir. Şekil 4.1.3.1.3. de görüldüğü üzere ilk arka kafa yani alttaki kafa harekete geçmektedir.



Şekil 4.1.3.1.3. İlerleme

4. Adım :

Öndeki kafa, cama 1 mm mesafe kadar yaklaşıyor. Yaklaşma hızı delme hızından yüksektir. Arkadaki kafa camdan çıkarak ilk pozisyonuna geliyor. Şekil 4.1.3.1.4. de delme işleminin görseli bulunmaktadır. Arka kafa yani alt kafa işlemini gerçekleştirip çekilme esnasında ön kafa yani üst kafa harekete başlamaktadır.



Şekil 4.1.3.1.4. Delme işlemi

5. Adım :

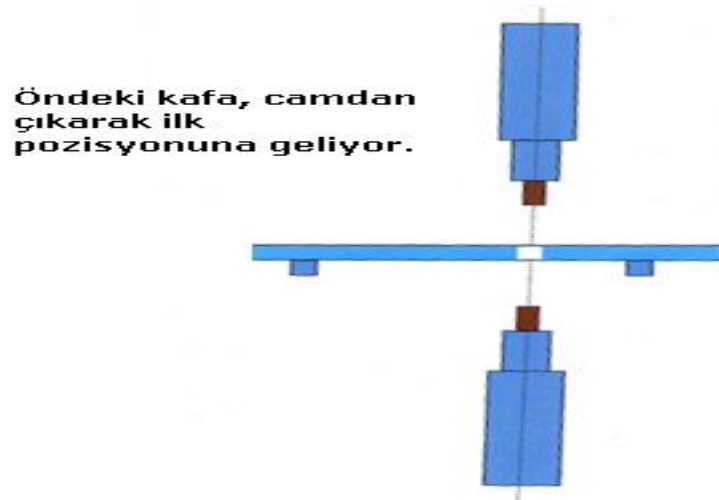
Öndeki kafa belirlenen mesafe kadar cam içerisinde yol alıyor. Şekil 4.1.3.1.5. de görüldüğü üzere üst kafa cama yaklaştıktan sonra delme işlemine başlıyor. Delme işleminde hızını delme hızına düşürerek camda bu hız ile ilerlemektedir.



Şekil 4.1.3.1.5. Delme sırası

6. Adım :

Öndeki kafa camdan çıkarak ilk pozisyonuna geliyor. Şekil 4.1.3.1.6. da delme işlemi gerçekleşmiş ve delik kafaları başlangıç pozisyonlarına geri çekilmiştir. Böylece delik işlemi mevcut ürün için tamamlanmıştır.



Şekil 4.1.3.1.6. Delme gerçekleşmesi

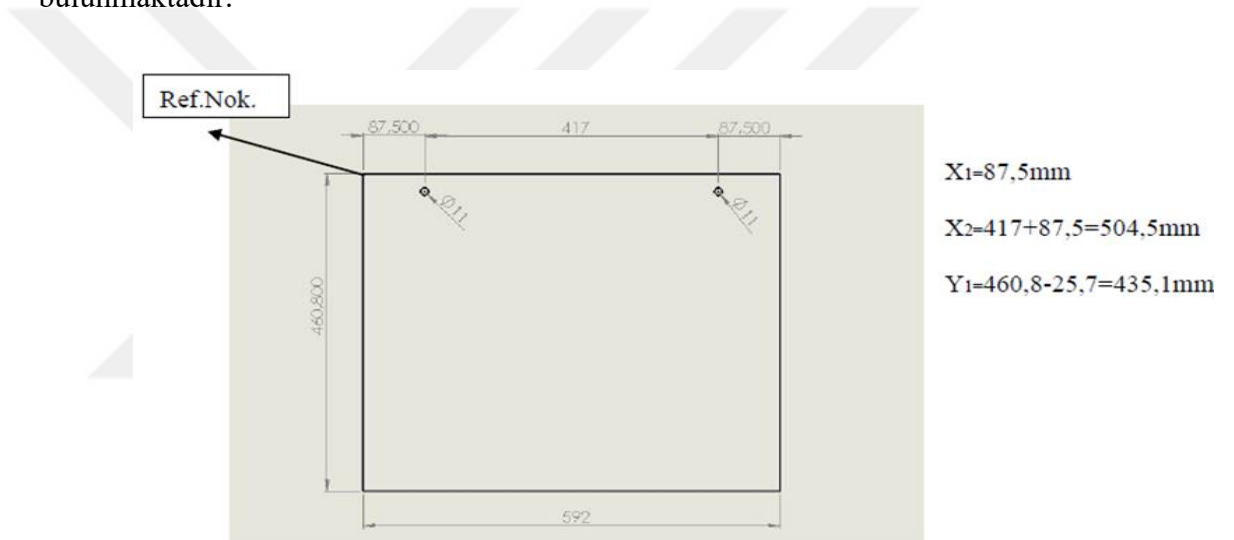
4.1.3.2. Parametreler

Kontrol paneline teknik resim ölçüleri girilirken;

- X_1 =İlk deliğin referans noktasına göre konumu
- X_2 = İkinci deliğin referans noktasına göre konumu
- Y_1 =Deliklerin referans noktasına göre y eksenindeki konumu

Kontrol Paneline Ölçülerin Girilmesi:

Şekil 4.1.3.2.1. de örnek bir ürünün teknik resmi bulunmaktadır. Teknik resimde camın en boy ölçüleri, referans noktası, delik ölçüleri ve konum ölçüleri bulunmaktadır.



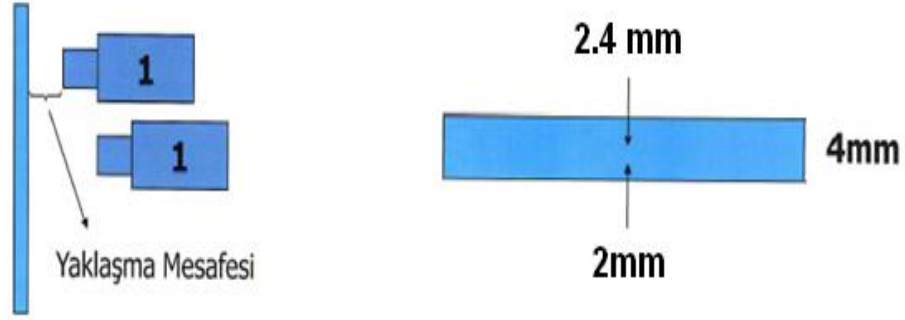
Şekil 4.1.3.2.1. Örnek teknik resim

Bir delik prosesindeki ortalama parametre değerleri;

- Delik kafalarının cama yaklaşma mesafeleri: 1 mm
- Kafaların cama yaklaşma hızları: 1,8 mm/sn
- Kafaların cam içerisinde delme mesafesi: 2,4 mm-2 mm (4 mm camlar için)
- Matkap ucunun devri: 4000 Rpm
- Matkap ucunun cama giriş hızı (Feed rate): 1.8mm/sn

Şekil 4.1.3.2.2. de yaklaşma mesafesinin hangi alanı ifade ettiği gösterilmiştir. Örnek bir cam üzerinden delme mesafeleri gösterilmiştir. Örnek cam

kalınlığı 4 mm olarak alınmıştır. 4 mm kalınlıktaki cama göre ilk önce alt kafa 2 mm delik işlemini gerçekleştirir. Daha sonra üst kafa 2,4 mm delik işlemi yaparak deliği oluşturur. Daha fazla derinliğe ilerlemesinin nedeni 2 matkap ucu arasında oluşan fatura izini silmek ve delik içinde hurda parçayı düşürmektir.



Şekil 4.1.3.2.2. Delik delme mesafeleri

Not: Aşağıdaki tabloda matkapların cama girme mesafeleri ve faturanın silinmesi için gerekli minimum değerler verilmiştir.

Çizelge 4.1.3.2.1. Delik Delme Parametreleri

Cam Kalınlığı (mm)	Matkap Derinliği (mm)		
	Alt	Üst	Minimum
3,0	1,5	1,8	0,3
3,5	1,85	2,2	0,35
4,0	2,0	2,4	0,4
5,0	2,5	3,0	0,5

Çizelge 4.1.3.2.1. de görüldüğü üzere cam kalınlığı arttıkça alt ve üst matkap uçlarının delme derinlikleri artmaktadır. İlk alt matkap delme işlemi gerçekleştirilir ve üst matkap delik işlemini gerçekleştirir. Faturayı silme görevi üst matkaba aittir.

Üst matkabın delme derinliği alt matkabınkinden fazladır. Bu yüzden üst matkabın kullanım ömrü daha azdır.

Şekil 4.1.3.2.3. de çapı 25 mm den küçük bir matkap ucu örneği görülmektedir.



- Matkap ucu boyu 75 mm
- Elmas- bağlayıcı karışımı uzunluğu 10 mm
- Matkap çapı 10.8 mm
- Matkap et kalınlığı 1 mm

Şekil 4.1.3.2.3. Örnek matkap ucu

Çap-Devir (Rpm) İlişkisi:

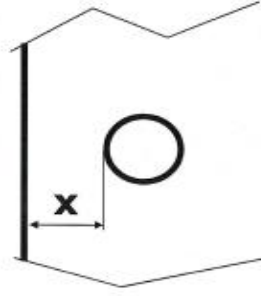
- 4 mm-25mm = 2500 Rpm-2800 Rpm
- 25mm-40mm = 2200 Rpm-2500 Rpm

Burada anlatılmak istenen özetle 25 mm den küçük delik çaplarını oluşturabilmek için motor devrinin olması gereken rpm aralığını göstermektedir. Aynı şekilde 25 mm den büyük delik çapları içinde motor devrinin olması gereken rpm aralığı ifade edilmiştir.

4.1.4. Delik İşlemi ve Temperleme Arasındaki İlişki

Delik kenarında normalden fazla oluşan çapaklanma sonrasında, ısıtıl işlem esnasında cam, delikten kırılabilir. Aşağıdaki tavsiyelere uyulmadığı durumlarda camın delik veya ısıtıl işlem esnasında kırılma riski vardır (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).

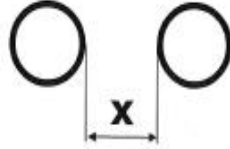
- 1 Cam kenarından deliğin kenarına kadar olan mesafe, cam kalınlığının 2 katından büyük olması gerekir



$K = \text{Cam kalınlığı}$

$$x \geq 2K$$

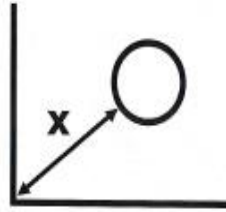
- 2 2 delik arasındaki mesafe, cam kalınlığının 2 katından büyük olması gerekir



$K = \text{Cam kalınlığı}$

$$x \geq 2K$$

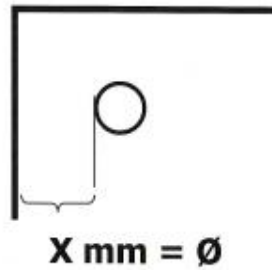
- 3 Camın köşesinden deliğin kenarına olan mesafe, cam kalınlığının 4 katından büyük olması gerekir



$K = \text{Cam kalınlığı}$

$$x \geq 4K$$

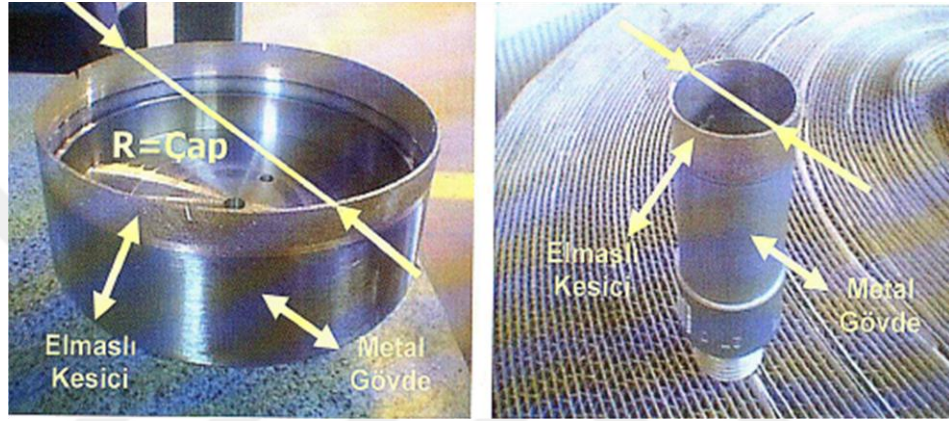
- 4 Camın kenarı ile deliğin kenarı arasındaki mesafe, minimum deliğin çapı kadar olmalıdır



- 5 Deliğin çapı camın kalınlığından ufak olmamalıdır.

4.1.5. Matkap Ucu Kullanımı

Delik delme işleminde yardımcı malzeme olan matkap uçları önem arz etmektedir. Dolayısı ile matkap ucu ölçüsü malzemesi, balansı, çap ölçüsü parametreleri etkileyici faktörlerdir. Şekil 4.1.5.1. de 25 mm den büyük ve küçük örnekler görülmektedir. Bu örnekler üzerinde matkap ucunu oluşturan bölgeler gösterilmiştir. Burada metal gövde ve elmaslı kesicinin olduğu bölge ana bölgelerdir. Çap diye adlandırdığımız mesafenin nereden nereye olduğu gösterilmiştir.



Şekil 4.1.5.1. Matkap ucu bölmeleri

Matkap ucunun kullanılabilmesi için, metal gövde de ve elmaslı kesici bölgede herhangi bir ezilme veya form bozukluğu olmamalıdır. Şekil 4.1.5.2. de kesim öncesi, kesim sırası veya kesim sonrası oluşan matkap ucu deformasyonları bulunmaktadır. Delik işlemini yapabilmek için matkap ucunda deformasyon olmamalıdır.



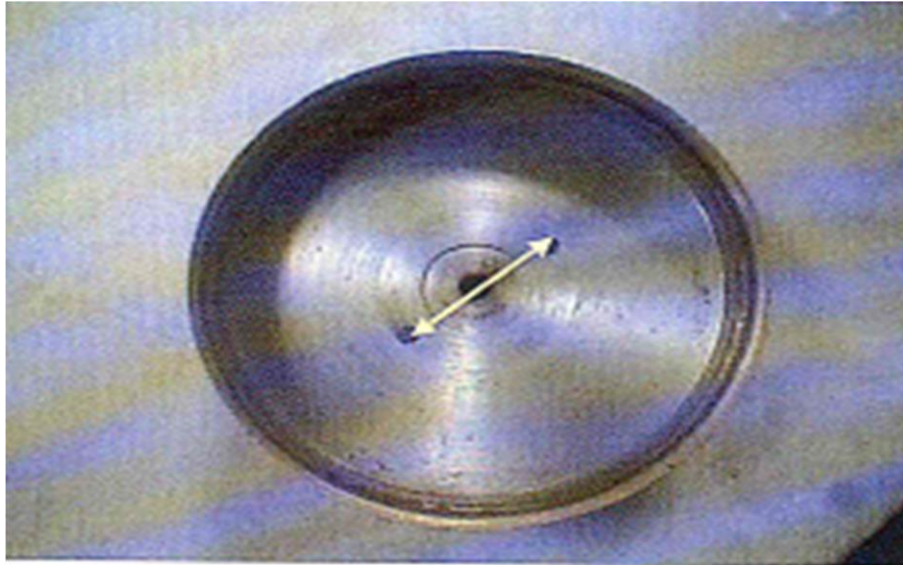
Şekil 4.1.5.2. Hasarlı matkap ucu örnekleri

Elmaslı kesici bölgede çapın $\frac{1}{4}$ 'ünden büyük bir parça kopukluğu veya ucun çap değerini değiştirebilecek, dışa veya içe doğru bükülme olmamalıdır. Şekil 4.1.5.3. de de kullanıma uygun ya da uygun olmayan matkap uçları görülmektedir.



Şekil 4.1.5.3. Kırık matkap ucu örnekleri

Merkezdeki su giriş deliğinin iki tarafında bulunan su tahliye deliklerinin çapları ve merkeze olan uzaklıkları her iki delikte de aynı olmalıdır. (Bu madde 99mm'den büyük çaplı matkap uçları için geçerlidir). Şekil 4.1.5.4. de su tahliye deliklerini görülmektedir.



Şekil 4.1.5.4. Matkap ucu tahliye delik mesafesi

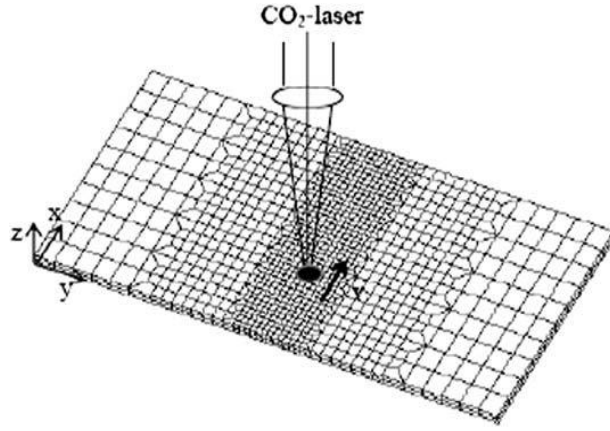
4.2. LAZERLE KESİM

Günümüzde cam kesme işleminde delik yüzey kalitesini arttırmak için lazer kesme yöntemi seçilmektedir. Lazer ile kesim hakkında çalışmalar yapılmaya başlandığı görülmektedir. Bilindiği üzere, cam molekülleri lazerin hareket yolu boyunca kontrol edilebilir ve odaklanmış bir lazer kaynağı ile ayrılabilir. Bununla birlikte, lazer cam malzemesini eritir ve buharlaştırır. Kesme profili incelendiğinde mikro çatlak ve çapak oluştuğu gözlenir. Son zamanlarda, düşük güçlü ve odaklamalı lazer, cam malzeme eritilmeden uygulanmıştır. Kesme yolu boyunca gerilme stresinin oluşması için ek bir su jet soğutucu kullanılmıştır. Su soğutma sıvısı jetinin yanı sıra kesme profilinin kalitesini ve kesme hızını artırmak için Tsai ve Lin tarafından ön bükme tekniği önerilmektedir (Jiao ve Wang, 2009).

Lazer ışını bildiğimiz ışıktan farklıdır. Lazer ışını, belirli bir dalga boyu, frekans ve faza sahip fotonlarına sahiptir. Buradan yola çıkarak lazer ışınları sıradan ışığın aksine, çok yönlü, daha iyi odaklanma ve yüksek güç yoğunluğunda özelliğe sahip olabilirler. Yüksek yoğunluklu bir ışık olan lazer ışını 0,1 mm - 0,2 mm gibi dar bir alana odaklanabilir. Bu sayede lazer ışınının enerjisi çok küçük bir alana indirgenir. Enerji malzeme işleme için gerekli olan güç yoğunluğuna ulaşılabilir. İşlem gören malzeme saniyeden daha kısa bir sürede ergitilebilir. Lazer ışınına paralel gönderilen bir gaz ile kesme işlemi desteklenir. Destek gazı olarak; hava, nitrojen ya da oksijen tercih edilir. Kesilen bölgeyi soğutarak aşırı ısınmış bölgenin sınırlandırılmasını basınçlı gaz sağlar. İlave olarak kesme işlemi sonrası oluşan cürufu da basınçlı gaz bölgeden uzaklaştırır. Ulaşılması hedeflenen kesme profili lazer ışını ile eşleşerek kesme işlemi yapılır. CNC kontrollü bir sistem altında lazer ışını ile tezgâhın birbirine uygun hareket etmesi sağlanır (Çavdar ve Tanrıseven, 2013).

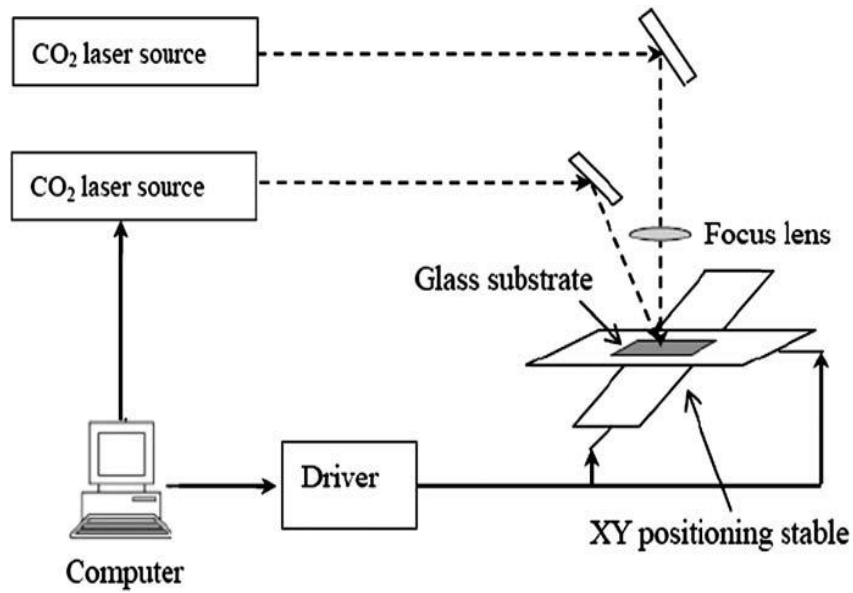
Bilindiği üzere, soda-kireç camının yumuşama noktası düşük, yaklaşık 750°C'dir. Küçük çaplı bir noktada lazer enerjisi yerel bir alana konsantre olur ve yüksek sıcaklıklara ulaşır. Bu, cam malzemesinin eritilmesidir. Bu nedenle, sabit bir çıkış için lazer gücü, lazer spot boyutunu engellemek için yeterince büyük olmalıdır. Şekil 4.2.1. de gösterilen cam yüzeyine odaklanmış CO₂ lazer ışık hüzmesidir. X-Y-Z koordinatlarına yerleştirilmiş cam Z eksenin gönderilen lazer ışınları ile tek

noktaya odaklanarak malzemeyi eritmektedir. Y ve X eksenleri ilerleyen ışınlar istenilen şekli oluşturmaktadır.



Şekil 4.2.1. Cam lazer kesme diyagramı ve cam ızgara yapısı alt tabaka (Jiao ve Wang,2009).

Şekil 4.2.2. de lazer ışını oluşturulan mekanizmanın basit şematik gösterimi bulunmaktadır. CO₂ lazer kaynağı (laser source) bilgisayardan aldığı komut ile (computer) ışınları gönderir. Gönderilen ışınlar odaklama merceğinden (focus lens) geçerek cam alt tabakasında (glass substrate) birleşerek erime başlamaktadır. XY cam pozisyonlama stabil (XY positioning stable) durmaktadır. Bilgisayardan sürücüye (driver) gönderilen komutlar ile kesim şekli oluşturulmaktadır.



Şekil 4.2.2. Çift lazer ışını yöntemi ile lazer kesme sisteminin konfigürasyonu (<http://www.bycunited.com/lazer-cam-kesimi-1.html>)

Focus lens : Odaklama merceği

Glass substrate : Cam zemin

Computer : Bilgisayar

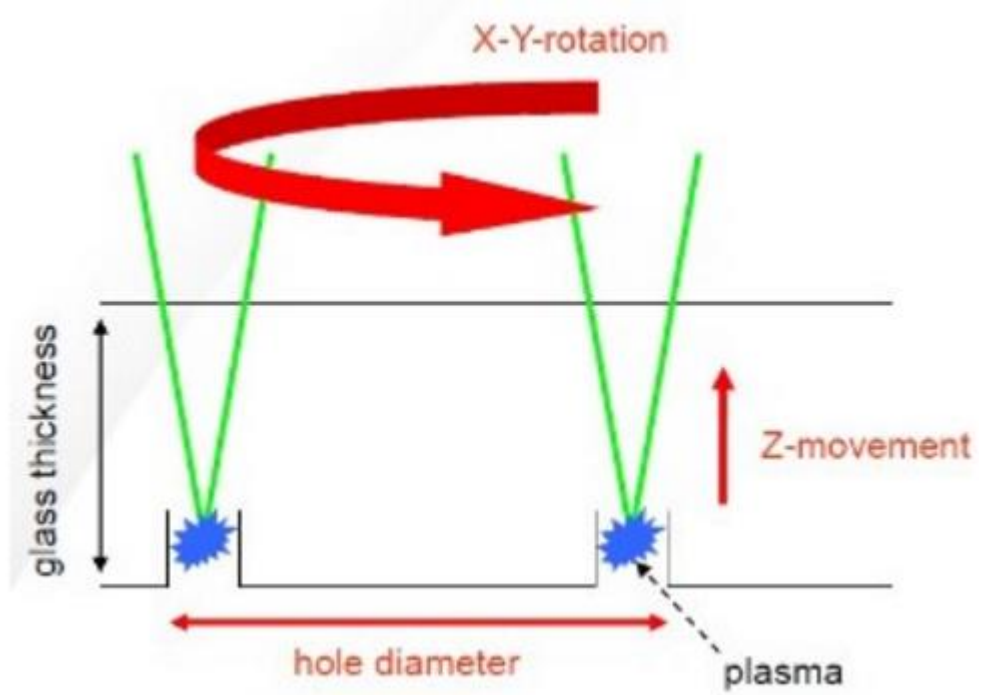
Laser source : Lazer kaynağı

Positioning stable : Stabil konumlandırma

Lazerle cam kesim işlemi, tüketici elektroniği ürünlerinde artış göstererek kullanılmaktadır. (Televizyon, cep / akıllı telefonlar ve GPS cihazları gibi). Lazerler farklı tipteki camları işlemek için kullanılmaktadır, soda silikat camından, yüksek kaliteli borosilikat camına kadar kesmek için kullanılır.

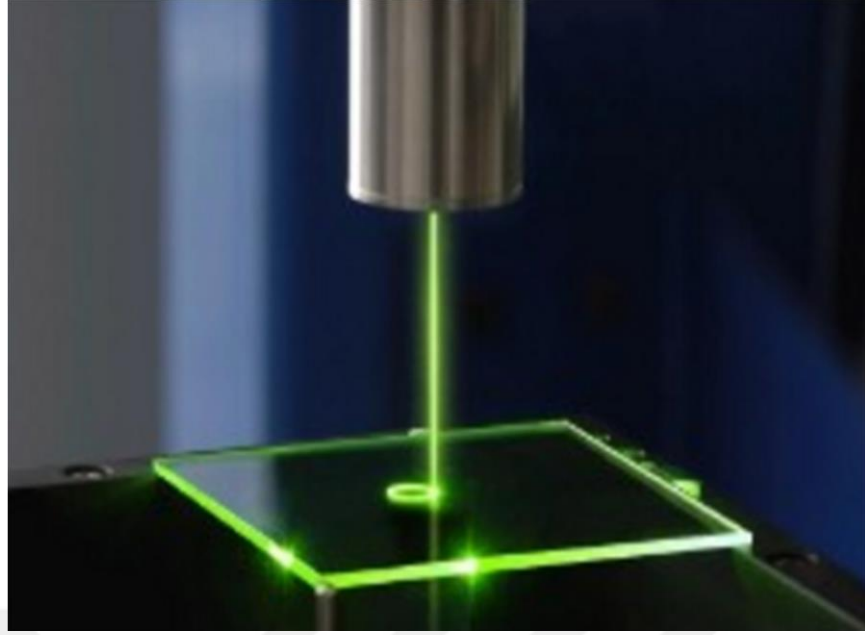
Ultra kısa sinyal darbeleri lazer kullanılarak, ince bir cam, hızlı ve hassas bir şekilde kesilir, ancak cam kalınlaştıkça kesim hızı yavaşlar ama hassasiyetini kaybetmeyecek şekilde kesimi tamamlar, kesim sonrasında herhangi başka bir işlem gerektirmez. Lazer kesim makineleri istenilen boyut ve şekil kesebilir. (<http://www.bycunited.com/lazer-cam-kesimi-1.html>).

Şekil 4.2.3. de çift lazer ışını metodolojisi çizilerek anlatılmıştır. Cam kalınlığı (glass thickness), X-Y dönme (X-Y rotation), Z hareketi (Z movement), delik çapı (hole diameter), ışık hüzmesi (plasma) gösterilmiştir. Lazer ışınları camın en alt yüzeyinden başlayarak z ekseninde hareket ederek camın üst yüzeyine ilerler. Aynı zamanda X-Y de dönen ışık hüzmesi delik kesim işlemini gerçekleştirmektedir.



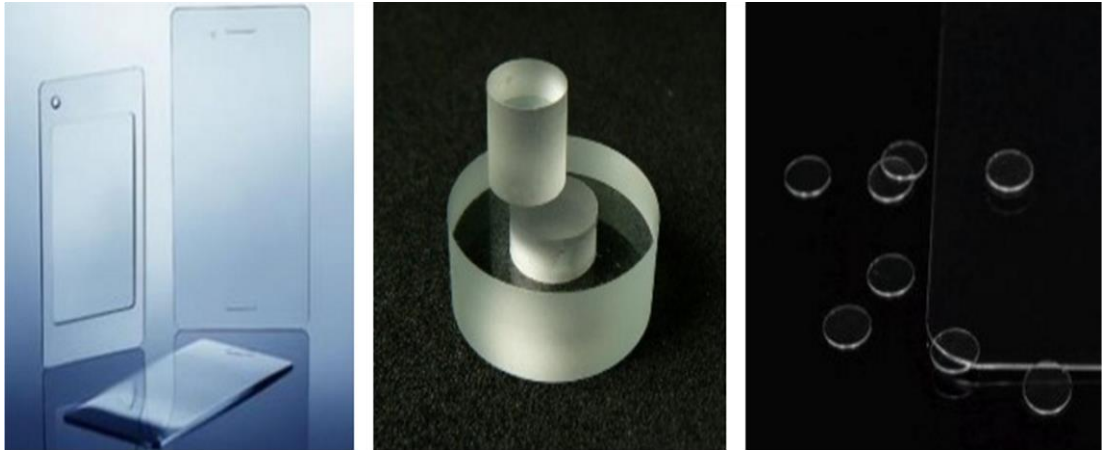
Şekil 4.2.3. Çift lazer ışını metodolojisi (<http://www.bycunited.com/lazer-cam-kesimi-1.html>).

Şekil 4.2.4 de yeşil lazer ışını gösterilmiştir. Lazer ışının yeşil olmasının nedeni camın kendisinin yeşil olmasıdır. Çünkü yeşil bir materyalin içinden farklı bir renkte ışın geçirilmesi mümkün değildir. Işın malzeme içerisinden geçirilerek birleşen ışınların oluşturduğu enerji ile erime yapılmaktadır. Farklı bir renk ışını kullanıldığında bu erime noktası camın üst yüzeyi veya içerisinde oluşacağından malzeme kesilemeden çatlak ve kırık oluşacaktır. Yeşil olan camdan yeşil lazer ışını rahatlıkla geçebilmektedir.



Şekil 4.2.4. Yeşil lazer ışını (<http://www.bycunited.com/lazer-cam-kesimi-1.html>).

0,2 mm den 10 mm kalınlığa kadar cam kesimi yapılabilmektedir. 0,1 mm*0,1 mm den 400 mm*600 mm ye kadar ki cam ebatlarında kesim yapılabilmektedir. Her türlü şekilli cam kesilebilir. Kaplamalı cam kesilebilir. Şekil 4.2.5. de lazer ile kesimi gerçekleştirilmiş örnek kesimler görülmektedir.



Şekil 4.2.5. Lazer kesim ürünleri (<http://www.bycunited.com/lazer-cam-kesimi-1.html>)

4.3. SU JETİ

Gelişen teknolojiye paralel olarak imalat teknolojisi de hızlı bir değişim sürecinde olup “üretimde kalite ve ekonomi” ön plana çıkmaktadır. Endüstriyel uygulamalarda imalatla mümkün olan bütün seçenekleri ve üretim aracı olan her türlü malzemeyi kullanarak amaca ulaşma çabası söz konusudur (Akkurt vd, 2002). Maddelerin kesim işlemi su ile yıllardır yapılabilmektedir, ancak bu tekniğin yeterliliği ve güvenilirliği son yıllarda olumlu bir seviyeye gelmiştir. Gelişmiş ülkelerde su jeti teknolojisi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. 1968’den bu yana yüksek basınçlı su jetinin tahrip gücü, temizleme ve yüzey işlemlerinde kullanılmaktadır. O yıllardan itibaren; çelikten kağıda, plastikten cama, kumaştaki tahtaya kadar değişik özellikteki farklı malzemelerin kesim işlemi için vazgeçilmez bir kesme metodu olmuştur. Su jeti teknolojisinin yüksek sıcaklıkların oluştuğu bir kesme işleminin olmaması en büyük avantajıdır (Akkurt, 2004). Su jeti ile kesme sistemi gelişmiş ülkelerde endüstrinin her dalında kullanılmaktadır (Akkurt vd, 2002).

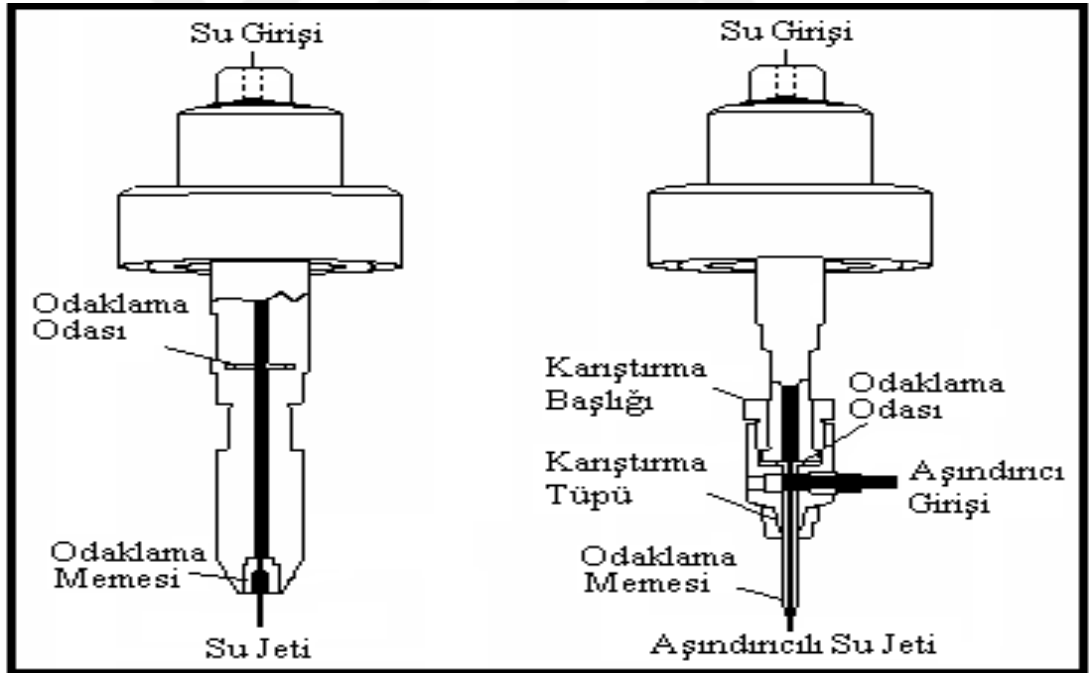
Su jeti ileri teknolojinin bir ürünüdür. Bu sistem en verimli kesme metotlarından biridir. Bu metot döndüğü hiç belli olmayan, kesme sırasında malzemeyi deformasyon meydana getirecek kuvvetler oluşturmaz, köşelerde hiç çapak bırakmayan, sıcaklık etkisi olmayan, hiç aşınmayan bir metottur. Su; yapısal bozulma, erime, kararma, damlama oluşması, çarpılma ve yanma sorunları oluşturmaz bir kesici takım olarak adlandırılabilir. Su ile kesim sayesinde, en kompleks biçimlerde bile yüksek hassasiyet ve çok yüksek kesim kalitesine sahip kenarlar elde edilebilmektedir (Akkurt, 2004). Ayrıca geleneksel kesme sistemlerine alternatif bir yöntem olarak düşük kesme kuvveti gerektirmesi, esnek ve çok yönlü kesme seçeneklerine sahip olması sebebi ile tercih edilmektedir (Ruff vd, 1995). Kesici malzeme olarak su kullanılması, bu tekniğin yanıcı ortamlarda kullanılabilmesine imkan sağlamaktadır (Akkurt vd, 2002).

4.4. SU JETİ İLE KESME

Gelişen teknolojinin her aşamasında değişik imalat yöntemleri geçmişten günümüze kadar istenilen başarıya ulaşarak gelmiştir (Ergür ve Sevil, 2009). Su

jetleri ile yapılan kesme işlemleri, iki farklı şekilde gerçekleştirilmektedir. Bunlar; saf su jeti ile kesme (Water Jet Cutting) ve aşındırıcı yüklü su jeti (Abrasive Water Jet Cutting) ile kesme işlemidir. Her iki yöntemde hidrolik güç ile tahrik edilen basınçlı sıvı, kesme başlığına gönderilir. Her iki kesme yönteminde yüksek hızlı bir su jeti kullanılmaktadır. İki yöntem arasındaki fark, aşındırıcı jetlerde basınçlı jete küçük boyutlu aşındırıcıların karıştırılmasıdır (Akkurt, 2004).

Şekil 4.4.1. de su jeti ile aşındırıcılı su jeti karşılaştırılmasının şematik görünümü bulunmaktadır. Ana su girişleri aynıdır. Kesim kafasının uç kısmına doğru ilerledikçe aşındırıcılı su jetinde aşındırıcı malzeme suya ilave edilmektedir. Su jetinde ise kesim kafasına giren su odaklama odasından geçerek odaklama memesine ulaşır ve kafadan malzeme gönderilir. Aşındırıcılı su jetinde de su ve aşındırıcının karışabilmesi için karışım bölümleri bulunmaktadır. Burada karışan malzemeler odaklama memesinden malzemeye gönderilir ve kesim işlemi yapılır.



Şekil 4.4.1. Su jeti ve aşındırıcılı su jeti karşılaştırılması (Akkurt, 2004).

Kesme işleminde, kesilecek olan malzeme üzerine gönderilen jet, etkin olan birkaç mekanizmanın bir araya gelmesi ile malzemeyi aşındırarak kesilmesini sağlar (Mendi ve Külekçi,1999). Su, bir basınç yükseltici vasıtasıyla yaklaşık 4000 barlık bir basınca kadar sıkıştırılır. 4000 bar gibi yüksek basınç altında su ses hızının üç katından fazla hıza sahiptir. Bu hıza sahip su özel olarak imal edilmiş olan, ucunda

küçük bir delikli safir olan bir nozuldan geçirilir. Bu sayede su jeti ile iş parçasına çarptığında çok ince, saç teli kalınlığında olan ve hassas kesme yapan bir kesim sağlanır. Dairesel ve ince kesitli su jeti içine odaklanan kuvvet, saatte 90 - 100 km ile bir otomobil enerjisi ile karşılaştırılabilir enerjiye ulaşır. Bir sıvının yüksek basınçlarda sıkıştırılarak, herhangi bir malzeme kesim işlemi durumunda, enerji dönüşümü için uygun durum elde edilmiş olur. Yüksek basınçlı su jetinin odaklandığı noktada meydana gelen enerji dönüşümü, temas noktasında malzemenin kırılmasına sebebiyet verir. Oluşan aşınma ve kırılma birden fazla mekanizmanın bir araya gelmesi ile gerçekleşir. Kesme kuvveti; malzemenin aşınmasını sağlayacak kadar hidrostatik enerjinin kinetik enerjiye sahip bir jete dönüşmesi ile elde edilir (Akkurt, 2004).

4.5. SAF SU JETLERİ

Saf su jetleri genel olarak, sabit basınç altında yumuşak malzemelerin işlenmesinde kullanılır. Bununla beraber kesim sırasında su basıncının etkisi ile yapısında mikro düzeyde kırıklar görülen gevrek malzemelerin işlenmesinde de tercih edilmektedir. Önemli olan parametreler; sıvı kütle akışı ve çarpma hızı olarak belirlenmiştir. Belirlenen parametreler nozul geometrisi ve pompa gücüne bağlıdır. Saf su jeti ile kesme işleminde önem arz eden fonksiyon nozul geometrisidir. Hidrolik güç kullanımını ve hidrolik sistemin üretim kaynağı olarak kullanılmasını nozul sağlamaktadır (Mendi ve Külekçi, 1999). Nozul parçasında malzeme olarak seramikler, safir veya elmas gibi sert malzemeler kullanılmaktadır (Akkurt, 2004).

Genel waterjetler gibi saf su jeti ile kesme işleminde de su hem bir güç dönüştürücü, hem de kesme amaçlı olarak görev yapar. Jetin hedeflenen malzemeye çarpmasıyla sahip olduğu kinetik enerji malzeme yüzeyinde durağan basınca dönüşür. Sonuç olarak malzeme bütünlüğünde bozulma başlar. Yapılan işlemde iş parçası yüzeyi; su jeti hızı, büyüklüğü ve sıvı özelliklerinin (dönüştürülen hidrolik güç) fonksiyonu olan ve çok kısa bir süre içerisinde meydana gelen, yüksek bir basınç dönüşümünün etkisinde kalır. Parça yüzeyinde oluşan basınç dönüşümü, nozul besleme basıncından birkaç kat daha yüksek olabilir. Sonuçta ulaşılan etki ile yüksek dayanımlı malzemeler su jeti ile kesilebilmektedir (Mendi ve Külekçi, 1999).

4.6. AŞINDIRICILI SU JETİ

Suyun aşındırma özelliği çok eskiden beri bilinen bir özelliktir. İlk akla gelen akarsu yataklarının oluşumu bu duruma iyi bir örnek oluşturmaktadır. Sel zamanlarında su hızının normalden daha fazla olduğu ve aşındırmanın hızlandığı bilinen bir olgudur (Ay, 2007).

Aşındırıcı su jeti ile işleme, çok çeşitli endüstriyel ihtiyaçlar için kullanılabilen, esnek olduğu kadar verimli bir kesme ve temizleme yöntemidir (Kartal ve Gökkaya, 2014). Su jeti, kesme ve delme işlemlerinin yapılmasını sağlamaktadır. Su jetine aşındırıcı katıldığında daha sert parçaların da kesilmesi mümkün olmakta ve bu yöntem aşındırıcılı su jeti olarak bilinmektedir (Yazıcıoğlu ve Yalçinkaya, 2003). Kesme işleminde sertlik ve gözeneklilik önemli parametrelerdir. Cam, seramikler ve metaller gibi sert, yoğun malzemelerin başarılı kesilebilmeleri için, su jetlerinin sağladığı mekanizmalara ihtiyaç duyulur. Bilhassa seramik ve cam gibi malzemelerin diğer kesme yöntemleri ile kesilmesi olabildiğince zordur. Bu tarz malzemelerin kesilmesinde aşındırıcı su jeti kullanımı gün geçtikçe artmaktadır (Mendi ve Külekçi, 1999).

Aşındırıcılı su jeti ile kesme tekniği; sert malzemelerin kesme işleminde kullanılır. Bu teknikte bir pompa sistemi ile su basıncı 4.000 bara yükselir ve yüksek basınçlı su kesme başlığına taşınır. Kesme başlığına gelen yüksek basınçlı su akışı, bir orifis içerisinden karıştırma odasına odaklanır. Bu odada önceden dozajlanmış belirli miktardaki aşındırıcı parçacıkları odaklanmış su akışına eklenir. Karıştırma odasından ayrılıştan, 0,8....1,2 mm arasındaki bir safır uçtan geçirilen karışım iş parçasına odaklanır. Bunun çıktısı aşınma ve kırılmalar meydana gelerek beklenen işlem gerçekleştirilir (Akkurt, 2004).

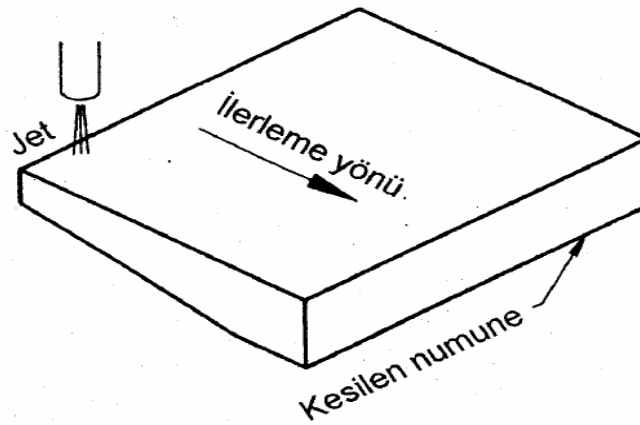
4.6.1. Aşındırıcı Su Jeti Kesiminin Yüzey Özellikleri

Metalurjik ve mekanik özellikler göz önünde bulundurulduğunda, kullanılan malzemelerin çeşitliliği, değişik işleme metotlarının kullanılmasını gerektirmektedir. Her malzemeye göre bir işleme metodu veya mevcut işleme imkanlarına göre üretimde kullanılacak malzemenin belirlenmesi, üretimdeki kaliteyi olumsuz

etkilemektedir. İşleme metoduna bağlı olarak, işlenen yüzey ve çevresindeki bölgelerde meydana gelecek yapısal bozulmalar, üretim kalitesini ve işleme ekonomisini etkilemektedir (Akkurt vd,2002). Aşındırıcılı su jeti ile kesme uygulamaları yaygınlaşmaktadır. Bu nedenle yapılan araştırmalar kesme işlemi ile yüzey kalitesi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Su jeti ile kesilen malzemede kesme işlemi, jet içerisine dahil olan aşındırıcı taneciklerin çarpma etkisi sayesinde oluşan erozyon mekanizmasıdır (Külekçi ve Akkurt, 2001).

Aşındırıcılı su jeti ile kesilen yüzeylerde, birbirine paralel çizgilerden oluşan yüzey pürüzlüğü elde edilmektedir. Kesme teorisi, kesme aşınması ve deformasyon aşınmasıyla ilişkilidir. Yüzey dalgalanmaları basınçla ters orantılıdır. Kalın malzemelerin kesilmesinde, kesme işleminin kesintiye uğraması ve derinliğe bağlı olarak kaldırılan talaş miktarındaki değişim, yüzeydeki dalgalanmaların temel sebebidir. Malzeme kalınlığı arttıkça, yüzeydeki dalgalanmaların derinliği ve buna bağlı olarak yüzey pürüzlüğü de artmaktadır (Akkurt vd, 2002). Şekil 4.6.1.1. deki kesilen parçaların geometrisi ve boyutları verilmektedir. Kesilen tüm numunelerde nozul-parça yüzeyi arası mesafesi 2 mm (0,08 inch) alınmıştır. Parça kalınlığı 12,7 mm (0,05 inç)- 25mm (1 inç) arasındadır.

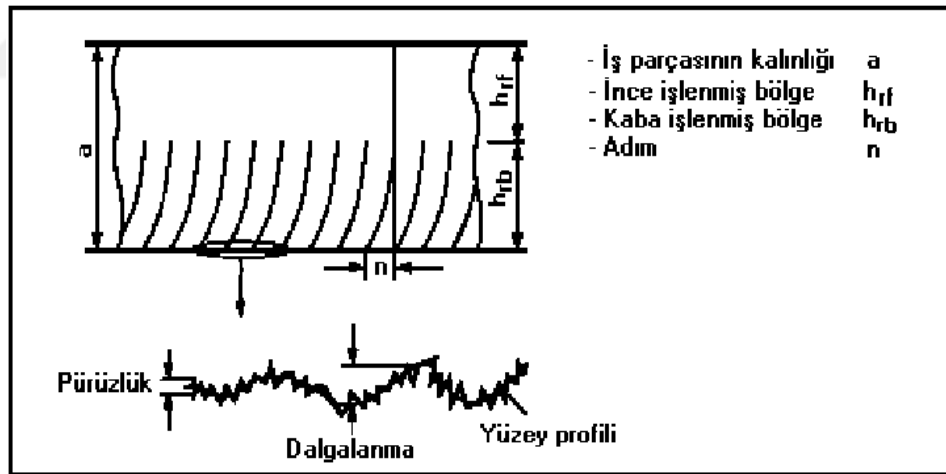
Şekil 4.6.1.1. kesilecek parçanın geometrisi ve kesim yönü gösterilmiştir. Malzeme üzerinde görülen kesici uç malzeme üzerinde ilerleyerek istenilen kesim şeklini bir nevi çizmektedir. Kesici ucun içinden gönderilen basınçlı su ve aşındırıcı karışımı ile kesim yapılmaktadır.



Şekil 4.6.1.1. Kesilen parçaların geometrik yapısı ve kesme yönü (Akkurt vd, 2002).

Yapılan araştırmalar, malzeme kalınlığından dolayı artan yüzey pürüzlüğünü milimize etmek için kesme aşınma mekanizmasının etkili olduğu bölgenin genişletilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bunun sağlanması için de ilerleme hızının azaltılması veya jet hüzmesine katılan aşındırıcı miktarının artırılması gibi farklı kesme parametrelerinin düzenlenmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır (Akkurt vd, 2002). Aşındırıcı su jeti ile kesilen bir yüzeyin kesme yönteminin fiziksel yapısından kaynaklanan topoğrafyası Şekil 4.6.1.2.'de gösterilmiştir (Akkurt vd, 2002).

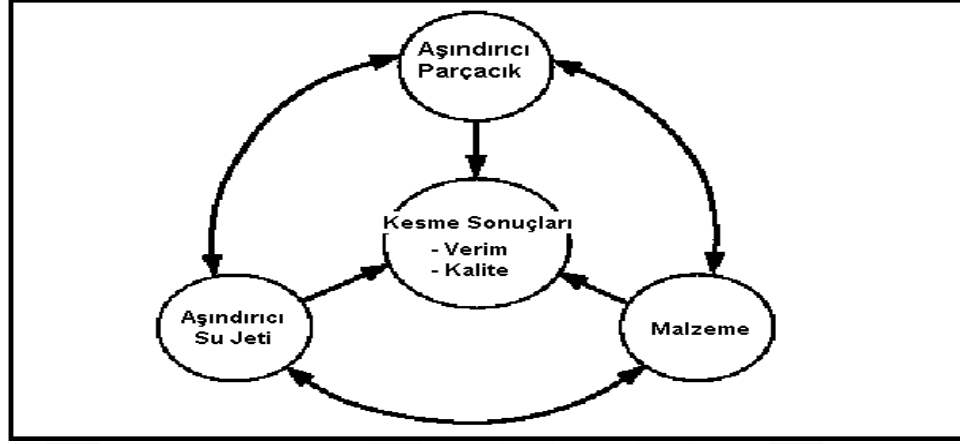
Şekil 4.6.1.2. de kesilen yüzeyin genel özellikleri gösterilmiştir. Malzemeye gönderilen aşındırıcı ve basınçlı su malzemede ilk olarak h_{rf} yani ince işlenmiş bölgeyi oluşturmaktadır. Akabinde gönderilen aşındırıcı parça dağılımı arttığından h_{rb} kaba işlenmiş bölge oluşmaktadır. İkinci bölgede kesici kafanın ilerlemesi nedeni ile aşındırıcı da hıza bağlı ivmeye sahip olmaktadır. Buda kesim şeklinde parabolik hale getirmektedir. Buradan n ile gösterilmiş adımlar oluşmaktadır. Malzeme kesitinde oluşan bu geometrik oluşumlardan pürüzlülük dalgalanma ve yüzey profili eğrisi çıkarılmıştır.



Şekil 4.6.1.2. Kesilen yüzeyin genel özellikleri (Akkurt vd,2002).

Şekil 4.6.1.3. de kesme sonuçlarını etkileyen ana faktörleri göstermektedir. Kesme verimliliği ve kesme kalitesi anlamını taşıyan kesme sonuçları; aşındırıcı tanecikler, hedef (işlenen) malzeme ile kesme sırasındaki üç fazlı jet (hüzme) hidrodinamiği kadar basınç, nozul çapı, aşındırıcı debisi ve odaklama geometrisine bağlı olan waterjet arasındaki etkileşime bağlı olarak meydana gelmektedir. Bu üç

hâkim faktörün her biri, diğerlerini geçici veya bölgesel olarak etkilemektedir (Akkurt vd, 2002).



Şekil 4.6.1.3. Aşındırıcılı su jeti ile kesmede etkileşim şeması (Akkurt vd, 2002).

Araştırmacılar, kesme işlemindeki pek çok parametreyi birlikte değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Kesme hızı, aşındırıcıların kütleli debisi, orifis çapı, aşındırıcı odaklama lülesi çapı, aşındırıcı boyutu, aşındırıcı karıştırma haznesinin büyüklüğü ve su basıncı parametrelerini ele alarak deneylerini alüminyum, yumuşak çelik, cam ve kauçuk malzemeler üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Deney parametreleri, pratik uygulamalardaki parametrelere uygun seçilmiştir (Akkurt vd, 2002). Çizelge 4.6.1.1. de deneyler sırasında değiştirilen parametreler ve uygulanan değerler gösterilmiştir.

Araştırmacılar, deney sonuçlarına baktıklarında, kesme performansının iyileşmesini sağlayan parametreler, aynı zamanda kesme aşınma bölgesinin de gelişmesini sağlamaktadır. Kesilen bölgenin alt kısmındaki yüzeyde oluşan dalgalı yüzey, işlenen yüzeyin yüzey kalitesini tayin etmektedir. Kesme aşınma bölgesinde elde edilen daha iyi yüzey kalitesi, her zaman deformasyon aşınma bölgesinden daha iyi yüzey elde edilebileceğini garanti etmemektedir. Kesme parametrelerinin optimizasyonu ile yüzey kalitesi iyileştirilebilir (Akkurt vd, 2002).

Çizelge 4.6.1.1. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri

PARAMETRELER	UYGULANAN DEĞERLER
Su basıncı	172 – 207 – 276-345 MPa
Orifis çapı	0.18-0.25-0.3-0,36 mm
Odaklama lülesi çapı	0.56-0.76-1.1mm
Aşındırıcı büyüklüğü	80 – 120-220 mesh
Kesme hızı	25-63,5 – 127 – 191-254 dak
Kütleli aşındırıcı debisi	227 – 340 – 454 – 567-680 gr/dak
Malzemeler	Alüminyum (T6061-T6511), Yumuşak Çelik, Cam, kauçuk

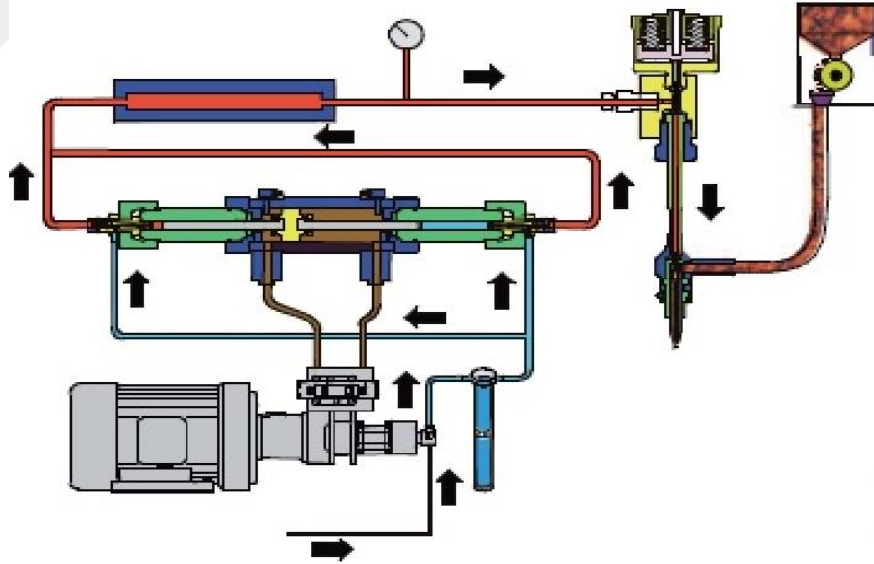
Şekil 4.6.1.4. de waterjet kum tankının doluluğunu gösteren ibre bulunmaktadır. Kırmızı olan bölge evrensel uyarı rengi olduğundan dolayı tankın boşaldığını ifade etmektedir. Sarı olan bölge orta seviye dolu olduğunu, yeşil olan bölge ise tankın dolu olduğunu ifade etmektedir. Kg seviyesi renkler üzerinde gösterilmiştir. Waterjet kesimin düzgün yapılabilmesi için waterjet kum tankı dolu olmalıdır.

- Kum tankının doluluğu ve basınçları kontrol edilmeli, kırmızı bölgede olmamalı.
- Gösterge kırmızı bölgeye geldiğinde kum sisteme dahil edilemeyeceğinden kırma ve çatlatmalara neden olacaktır.



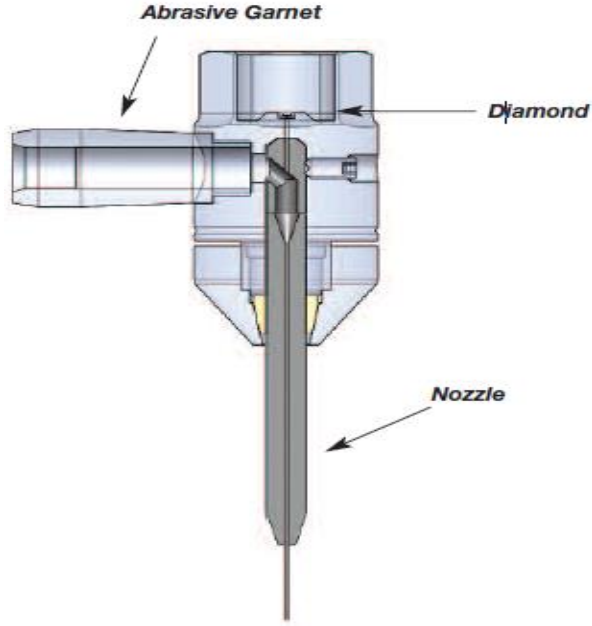
Şekil 4.6.1.4. Kum tankı göstergesi

Şekil 4.6.1.5. de basınç sistemi üzerindeki pompa ve nozul arasındaki bağlantı ve boru yapısı görülmektedir. Pompadan alınan basınç borulardan iletilerek kafaya gönderilir. Kafada aşındırıcı ile birleşerek kesim kafasından malzeme üzerine odaklanır.



Şekil 4.6.1.5. Basınç sistemi

Şekil 4.6.1.6. görüldüğü üzere kesme kafası yapısı bulunmaktadır. Abrasifin basınçlı suya eklendiği bölüm ve nozul içinde ilerleme yolu gösterilmektedir. Kesim kafasına sol tarafta görülen yoldan aşındırıcı kum eklenir. Eklenen kum ve su nozuldan basınçlı bir şekilde malzemeye odaklanır.



Şekil 4.6.1.6. Waterjet kesme kafası

Şekil 4.6.1.7. de waterjet makinası ile kesilmiş bazı ürünler bulunmaktadır. Waterjet makinası şekilli kesimler ve detaylı kesimlerde tercih edilmektedir. Metallerde, kompozit malzemelerde, taş malzemelerde, cam malzemelerde waterjet kesim yöntemi tercih edilebilmektedir. Burada tercih edilmesine sebep olan ana özellik şekilli kesimlerdir. Eğer şekilli kesim yapılmak isteniyorsa bu yöntem kullanılır. Makine programına eklenen veya çizilen 2 boyutlu resmin koordinat sistemi üzerinde makine otomatik olarak G kodlarını oluşturmaktadır. Oluşturulan G kodlarına göre motorlar devreye girmekte ve pozisyonlamaları yapmaktadır.

Stone Materials



Glass



Metals

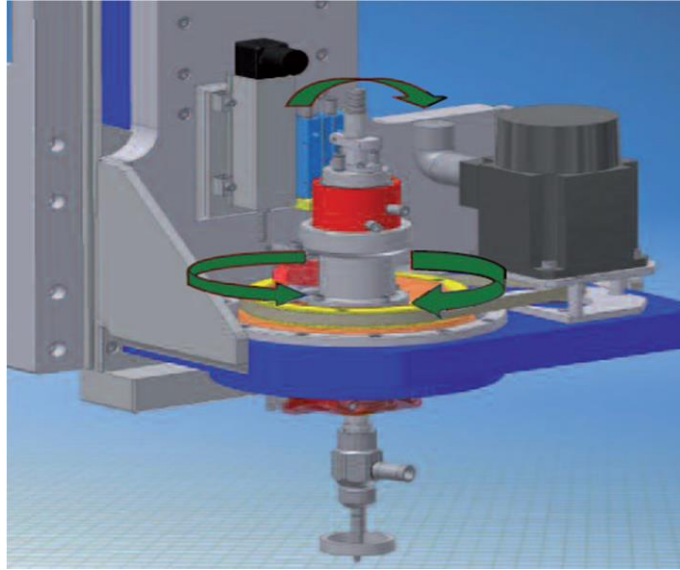


Composites



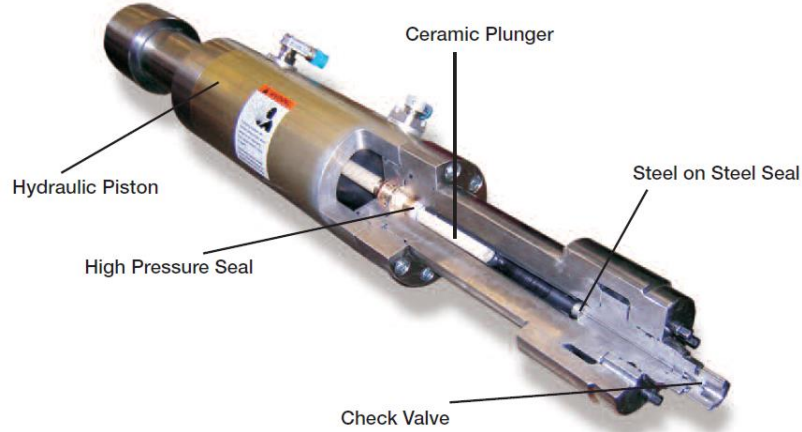
Şekil 4.6.1.7. Waterjet ile kesilmiş ürünler

Şekil 4.6.1.8. de waterjet kafa yapısının 3D modelleme ile çizilmiş hali görülmektedir. Burada bağlantı elemanları ve çalışma mekanizması şekilli kesimlere yapabilmek için tasarlanmıştır.



Şekil 4.6.1.8. Waterjet kesici kafa mekanizması

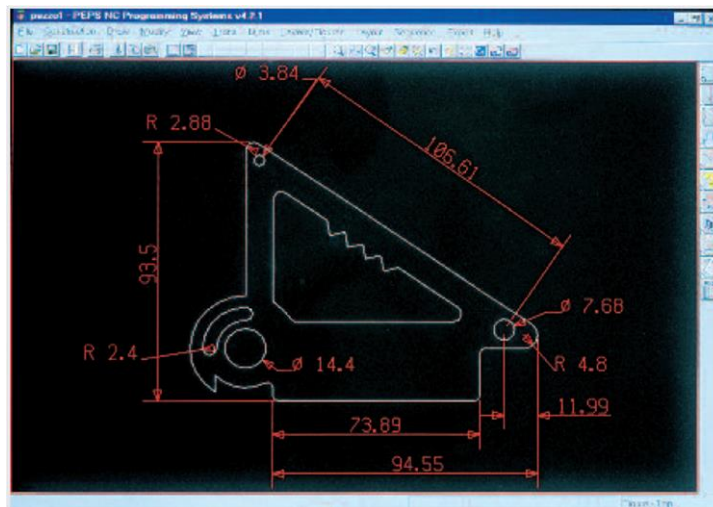
Şekil 4.6.1.9. waterjet makinasının kesim güç kaynağı pompasının tanıtım resmi bulunmaktadır. Pompayı oluşturan belirli parçaları görmekteyiz. Yüksek basınç bu pompa sayesinde elde edilmektedir. Hidrolik piston ile sıkıştırılan su aldığı komuta göre hareket eden valf hareketleri ile sistemde basıncı oluşturmaktadır.



Şekil 4.6.1.9. Waterjet hidrolik pompa

Şekil 4.6.1.10. da tasarım ekranını görmekteyiz. Waterjet makinası ile yapılacak kesim şeklini bu tasarım ekranında ölçülendirilip oluşturulmaktadır. Tüm ölçümler tanımlanıp çizim oluşturulmakta, istenildiği takdirde ölçüler ile oynanarak şekil istenilen hale getirilir.

Oluşturulan çizim sonrası makineye yüklenir ve makinanın hareket kodlarını (G kodlarını) oluşturulması sağlanır. Oluşan kod adımlarına göre makine hareket ederek çizilen resmi ürün üzerinde adım adım oluşturmaktadır.



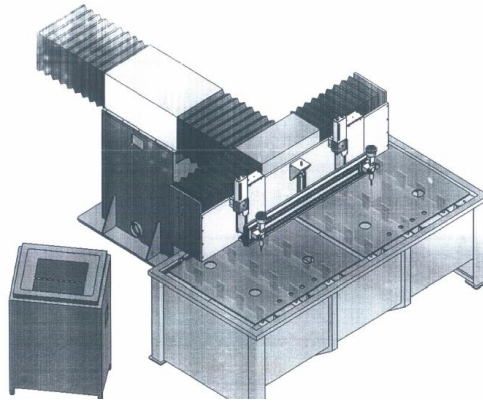
Şekil 4.6.1.10. Waterjet komut tasarım ekranı

5. MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal ve yöntem konu başlığında tez konusu olan yapılacak çalışma için makine seçimi ve izlenecek yöntemler anlatılmıştır. Materyal kısmında çalışma yapılacak makine anlatılmaktadır. Makinenin özellikleri, çalışma prensibi, makinenin parçaları, makinenin çıktısı olan ürünlerin hizmet ettiği sektörlerle değinilmiştir. Ürünler tanıtıldıktan sonra özellikle makinenin çalışma prensibi üzerinde durulmuştur. Analizlerden önce makinenin çalışma prensibi iyi kavramak önemlidir. Yapılacak deney çalışmalarını doğru yorumlayabilmek için buna ihtiyaç vardır.

5.1. MATERYAL

Materyal olarak waterjet makinası üzerine çalışma yapılacaktır. Waterjetin teknik ve proses özellikleri incelenmiştir. Her makine üreticisinin ürettiği makine için verdiği genel bilgiler bulunmaktadır. Bu genel bilgilerin yanı sıra proses parametreleri de ürüne etkisi bulunmaktadır. Waterjet makinasının tercih edilmesinin nedeni endüstride her geçen gün kullanım oranının artmasıdır. Kullanım oranı artan bir makine olan waterjetde yapılacak her çalışma hem makine üreticilerine hem de makine kullanıcılarına ışık tutacaktır. Şekil 5.1.1. de waterjet makinesi görseli bulunmaktadır.



Şekil 5.1.1. Waterjet makinesi

Waterjet Makinasının Genel Özellikleri:

- Yan yana yerleştirilmiş 2 adet 1000 x 1200 mm camı, çift kafa ile aynı anda kesebilecek büyüklüğe sahiptir.
- Çift kafa için çift abrasiv ünitesi mevcuttur.
- Yağlama ünitesi mevcuttur.
- 50 HP Classic 400 bar, sürekli çalışma basıncı 3800 bar, 3,8 lt/dak yüksek basınç pompası kullanılmaktadır.
- Pozisyonlama hızı 20.000 mm / dak dır.
- Tahrik elemanı olarak boşluksuz vidalı miller kullanılmakta, bu sayede yüksek mekanik hassasiyet ve çok uzun mekanik ömürlere ulaşılmaktadır.
- Yeterli mukavemet özelliklere sahip olması kaydıyla tüm parçalar alüminyumdan imal edilmiştir. Böylelikle hatasız yüksek çalışma hızına çıkılabilir.
- Z ekseni pnömatik tahriklidir.
- Abrasiv dozajlama sistemi, hassas ayarlanabilir, uzaktan kumandalı, motor tahriklidir.
- Su tankı paslanmaz çelikten imal edilmiştir.
- Su tankı aynı zamanda parça yerleştirme tablası da olması nedeniyle, yüksek mukavemet kazandırılmış yapıdadır.
- Parça yerleştirme ızgaraları kaynak konstrüksiyon değil, cam kesimi için özel dizayn edilmiş geçmeli yapıdadır. Yerleştirilen camı tutmak için pnömatik tutma çeneleri kullanılacaktır.
- Yatak ve tahrik elemanlarının bulunduğu bölüm toz, su ve her türlü kirlenmeye karşı körüklerle korunmuştur.
- Renkli ve grafik ekranlı CNC üniteleri ve AC servo motorları kullanılmaktadır.
- Yazılım Windows tabanlıdır.
- CAM yazılımı bilgisayarda oluşturulan çizimlerin Dxf çıkışı veren tüm çizim programlarından dosya (çizim) transferi yapabilmektedir. ISO programlama standardında da programlama yapılabilir.

Waterjet Makinası Kapsamındaki Üniteler:

- Abrasiv depolama ve sevk ünitesi (200 lt)
- Fanlı soğutma ünitesi
- Su yumuşatma ünitesi

Waterjet Makinası Maksimum İşletme Giderleri 50 HP, tek kafa, 3800 bar:

- Elektrik harcaması : 3,0 Eu / Saat (40 kwh)
- Su harcaması : 0,25 Eu / Saat (2,5 lt/dak)
- Abrasiv harcaması : 8,0 Eu / Saat (24 kg/saat)
- Pompa sarf malzemeleri : 2,5 Eu / Saat
- Kesme kafası sarf malzemeleri : 3,25 Eu / Saat
- Toplam: 17,0 Eu / Saat

Çizelge 5.1.1. Waterjet Makinası Teknik Özellikleri

Ana Eksen Motoru	1 x AC Servo Motor
Ana Eksen Tahrik Mekanizması	Boşluksuz Vidalı Mil
Ana Eksen Yataklama Mekanizması	Bilya Sirkülasyonlu Ağır Tip Doğrusal Yatak
Köprü Eksen Motoru	1 x AC Servo Motor
Köprü Eksen Tahrik Mekanizması	Boşluksuz vidalı mil
Köprü Eksen Yataklama Mekanizması	Bilya Sirkülasyonlu Ağır Tip Doğrusal Yatak
Maksimum Pozisyonlama Hızı	20000 mm / dak
Maksimum Hatasız Kesme Hızı	8000 mm / dak
Pozisyonlama Hassasiyeti	0,03
Yüksek Basınç Sistemi	Pompa: 50 HP Classic 4000 Bar
Basınç (Nominal) Basınç (Sürekli)	4000 Bar 3800 Bar
Pompa Debisi	Qmax : 3,8 lt / dak 37 kw (50 HP)

Şekil 5.1.2. de beyaz eşya da kullanılan panel camı resmini görülmektedir. Panel camlarında beyaz eşya firmalarının tercihinine göre farklı sayıda delikler

bulunmaktadır. Çoğunluk olarak 2 düğme deliği ve küçük kontrol düğmelerinden oluşmaktadır.



Şekil 5.1.2. Fırın panel camı

Şekil 5.1.3. de beyaz eşya sektöründe ocak camı olarak kullanılan ürün görülmektedir. Beyaz eşya firmasına göre delik çapları ve sayısı değişkenlik göstermektedir. Ağırlık olarak 4 büyük delik ve 4 küçük delik olmak üzere 8 delikten oluşmaktadır.



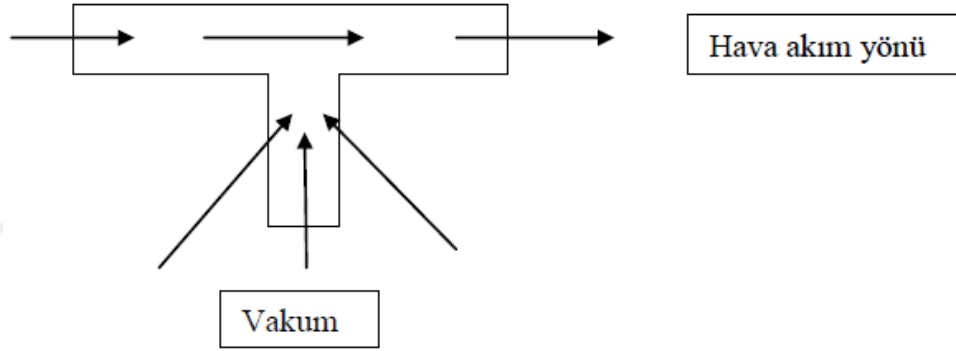
Şekil 5.1.3. Fırın ocak camı

Şekil 5.1.4. de mutfakta kullanılan ankastre setinin bir parçası olan davlumbaz camı bulunmaktadır. Mutfaktaki havalandırmayı sağlayan bir makinadır.



Şekil 5.1.4. Davlumbaz camı (<http://www.hepsiburada.com/siemens-hb331s2t-a-enerji-sinifi-67-lt-siyah-ankastre-firin-p-MTSIEHB331S0T>)

Kum tankından kumun vakumlanması şekil 5.1.5. de görülen prensibe dayanır. Vakum gücü ile hava akım yönü oluşturulur ve havanın geçişi sağlanır.



Şekil 5.1.5. Kum tankından kumun vakumlanması

Şekil 5.1.6. da waterjet kesme kafası ve kesim anı görülmektedir. Basıncılı su ile cam kesim işlemidir.



Şekil 5.1.6. Yüksek basınçlı su ve kum ile camın delinmesi

Şekil 5.1.7. de görüldüğü gibi waterjet makinasında delinecek delikler kesilirken işleme deliklerin iç kısımları işaretlenerek başlanır. İşleme deliğin tam sınırından başlanması durumunda çapak oluşumu meydana gelir.



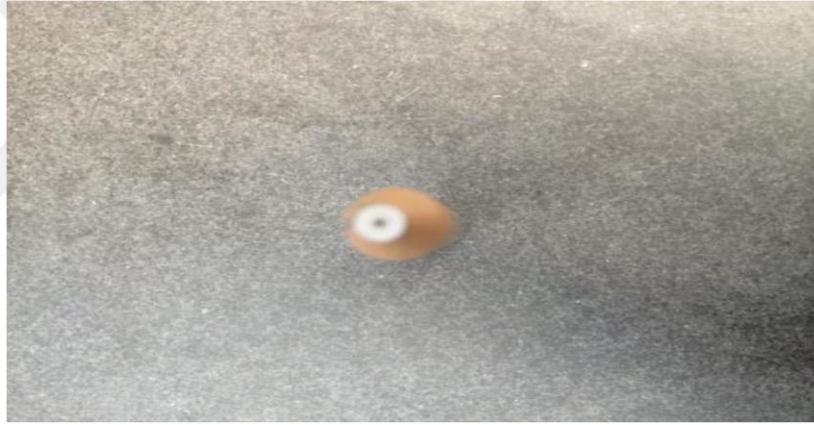
Şekil 5.1.7. Yüksek basınçlı su ve kum ile kesilmiş cam

Şekil 5.1.8. de kesme işleminin gerçekleştirildiği nozul parçasının yandan görünümü bulunmaktadır. Ağız kısmı konik şekildedir.



Şekil 5.1.8. Kesme ucu nozul görünümü

Şekil 5.1.9. Waterjet makinasında kesme işlemi gerçekleştiren son parça nozul üstten görünümü bulunmaktadır.



Şekil 5.1.9. Nozul uç kısmı görünümü

Şekil 5.1.10. Waterjet makinasını çalıştıran kontrol panosu görülmektedir. Makinanın tüm komutları bu ünite sayesinde ayarlanmakta ve çalıştırılmaktadır.



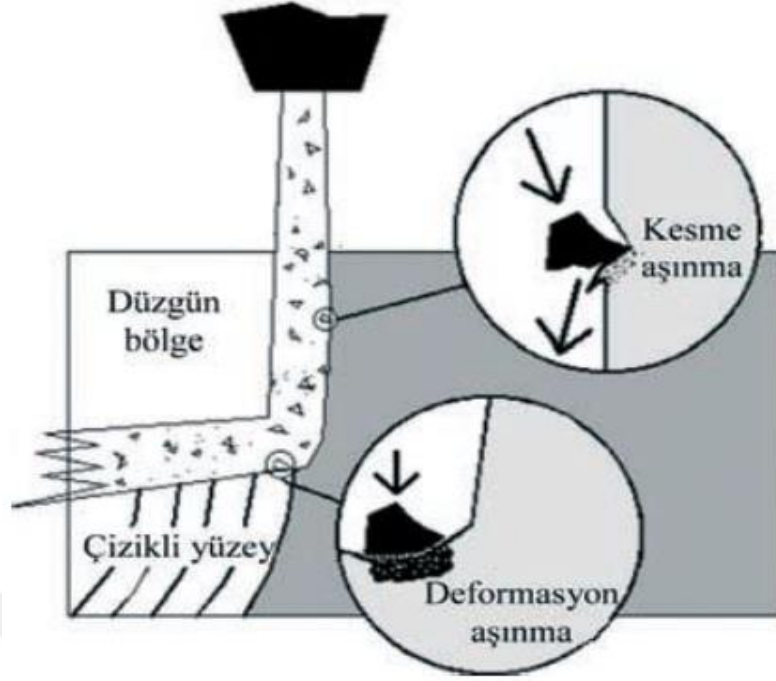
Şekil 5.1.10. Waterjet makinası kontrol ünitesi



Şekil 5.1.11. Waterjet makinası istasyonu

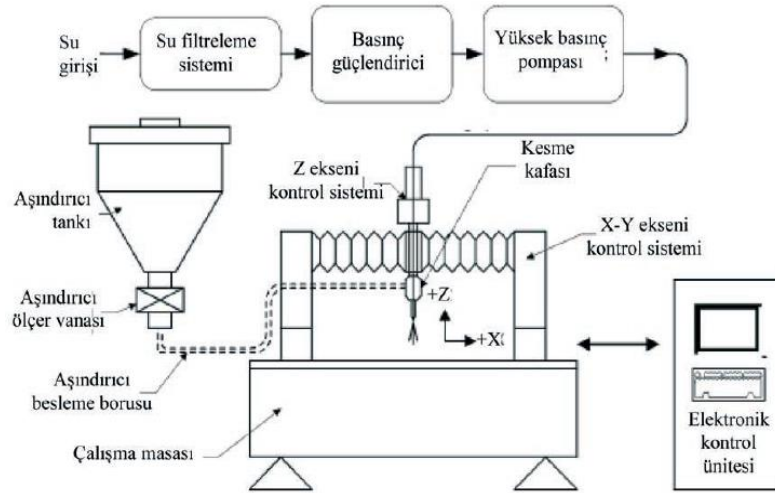
Su jeti kesme teknolojisi, hemen her türlü mühendislik malzemesinin kesilmesi ve işlenmesinde kullanılabilen bir teknolojidir. Son yıllarda, suyun kesme gücünün artırılması amacıyla sisteme eklenen aşındırıcı parçacıkları ile kaya, çelik ya da beton gibi sert malzemelerin kesilmesi ve işlenmesi daha kolay yapılabilmektedir.

Su jeti ile kesme işleminde, basınç yükselticiden çıkan su dar bir boru içerisinde geçerek meme içerisinde yüksek basınçta ilerler. Su meme ağzına yaklaştıkça daralan kısımlarda hızını daha da artırarak malzeme yüzeyine



Şekil 5.1.13. Su jeti ile kesilen yüzeyin oluşum aşaması (Akkurt, 2009).

Şekil 5.1.13. de kum ve basınçlı su karışımının kesme esnasında malzeme üzerinde oluşturduğu kesim bölgelerini göstermektedir. Kesme aşınma ile başlayan işlem daha sonra deformasyon aşınma olarak devam etmektedir. İlk aşamada düzgün bölge oluşurken, ikinci aşamada çizikli yüzey oluşmaktadır.



Şekil 5.1.14. Waterjet Makinası Şematik Görünümü (Karakurt vd, 2010).



Şekil 5.1.15. Waterjet makinası

Çizelge 5.1.14. ve Şekil 5.1.15. de waterjet makinasının ana hatları gösterilmektedir. Makinanın konstrüksiyonunu ve elemanların çalışma mantığı görsel olarak anlatılmaktadır. Kesme kafası, pompa düzeneği, su tankı, kum tankı, kontrol ünitesi ve ara bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Pompa gücü ile kum ve su karışımının yüksek basınç ile kesme kafalarından çıkarak kesme işlemi gerçekleştirilir

5.2. YÖNTEM

Bu çalışmada beyaz eşya endüstrisinde kullanılan düz camın yüksek basınçlı su (waterjet) ile delinmesinde delik hassasiyeti ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Farklı kesme hızlarında ve farklı kum taneciği boyutları kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler 12 farklı kesme hızlarında ve 3 farklı abrasif malzeme kullanılarak yapılmıştır. Abrasif malzeme kullanım miktarı sabit tutulmuştur. Tek yönlü varyans analizi (anova) ve tukey test yöntemleri verilerin analizinde kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ve delinen delikteki koniklik ölçülerek optimum kesme hızı ve kum tanecik boyutu belirlenmiştir.

Cam malzemenin kesme performans testleri, 500 mm/dak ile 1600 mm/dak arasında on iki farklı kesme hızı ile gerçekleştirilmiştir. Bu kesme işleminde ise 600 mm x 600 mm lik bir cam levha içerisine 12 adet 80 mm çapa sahip delik delinmiştir.

Kesme hızları değişkenlik göstermesine karşın waterjet nozulu ile parça arasındaki mesafe 6 mm, nozul çapı ve cam kalınlığı 5,85 mm olarak sabit tutulmuştur.

Kesme sıvısı içerisinde gönderilen abrasif madde (kum) miktarı 350 gr/dak'dır. Üç farklı büyüklükte abrasif malzeme kullanılmıştır. Bunlar sırasıyla 80, 120 ve 200 mesh tane büyüklüğüne sahiptirler.

Aynı malzeme üzerinde yapılan kesme işlemi ile tüm kenarların yüzey pürüzlülüğü ölçölmüş ve karşılaştırılmıştır. Bu işlem neticesinde cam malzemenin kesilen yüzeyinde en az altı farklı noktadan yüzey pürüzlülüğü değerleri alınmıştır.

Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) ölçömleri Marsurf M300 cihazıyla yapılmıştır. şekil 5.2.1. de ölçüm cihazı ile farklı yüzey kalitesine sahip kenarları olan cam ölçümü yapılmıştır. Elde edilen yüzey kaliteleri daha sonrasında kesme hızı parametresi belirlemede kullanılmıştır.



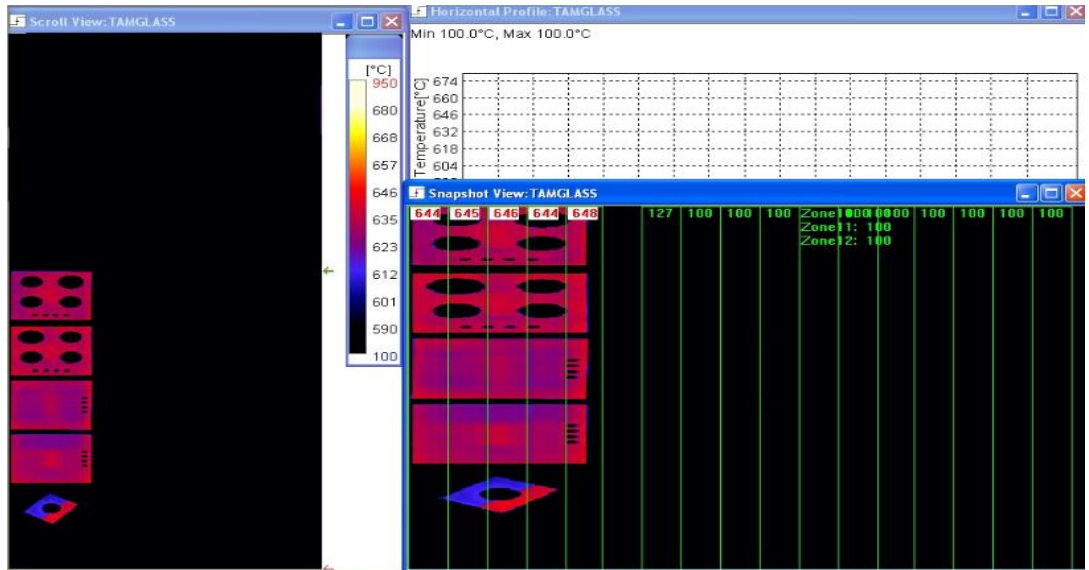
şekil 5.2.1. Marsurf M300 ölçüm cihazı

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda cam için 3 farklı tane boyutuna sahip abrasif malzeme kullanılarak 6 farklı ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri alınıp bunların ortalaması bulunmuştur. Çizelge 5.2.1. de deneylerin sonunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.2.1. Farklı abrasiv malzemeleri kullanarak kesme işlemi sonucunda bulunan yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri

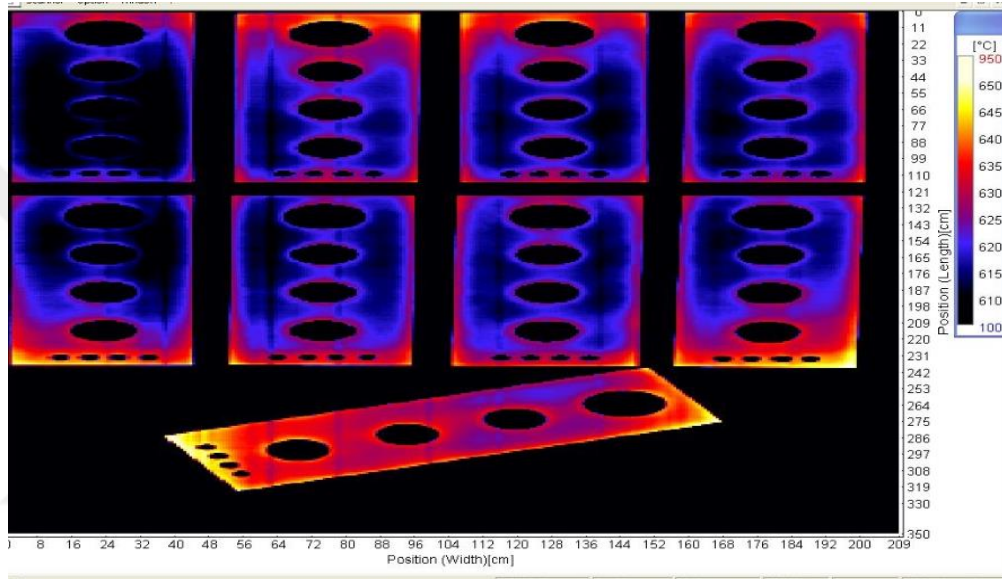
Ölçüm Sayısı	Kullanılan Kesici Abrasif Malzeme		
	80 Mesh	120 Mesh	200Mesh
1	7,094 μm	6,489 μm	7,149 μm
2	10,280 μm	6,719 μm	4,766 μm
3	17,520 μm	7,141 μm	5,462 μm
4	7,330 μm	6,761 μm	5,316 μm
5	19,660 μm	5,844 μm	5,494 μm
6	13,410 μm	8,222 μm	5,520 μm
Ortalama Değer	12,549 μm	6,862 μm	5,617 μm

Yüzey kalitesi ölçülen camlar temper fırınında 630-650 °C derecelere kadar ısıtılıp 3 saniye içerisinde 100 °C derecelere kadar ani soğutulmuştur. Akabinde yavaş soğutma yapılarak oda sıcaklığına indirilmiştir. Delikli ve deliksi camlar arasındaki ısı dağılımını Şekil 5.2.2. de görülmektedir. Burada çıkarılacak sonuç, delikli olan camların delik iç yüzeylerindeki yüzey alanı arttığından dolayı cam üzerindeki ısı etki alanı artmıştır. Dolayısı ile eşit sürede ve eşit şartlarda ısıtılan camlar arasında kıyasladığımızda delikli camlar daha fazla ısıya sahip olmuştur.



Şekil 5.2.2. Termal kamera ısı ölçüm ekranı

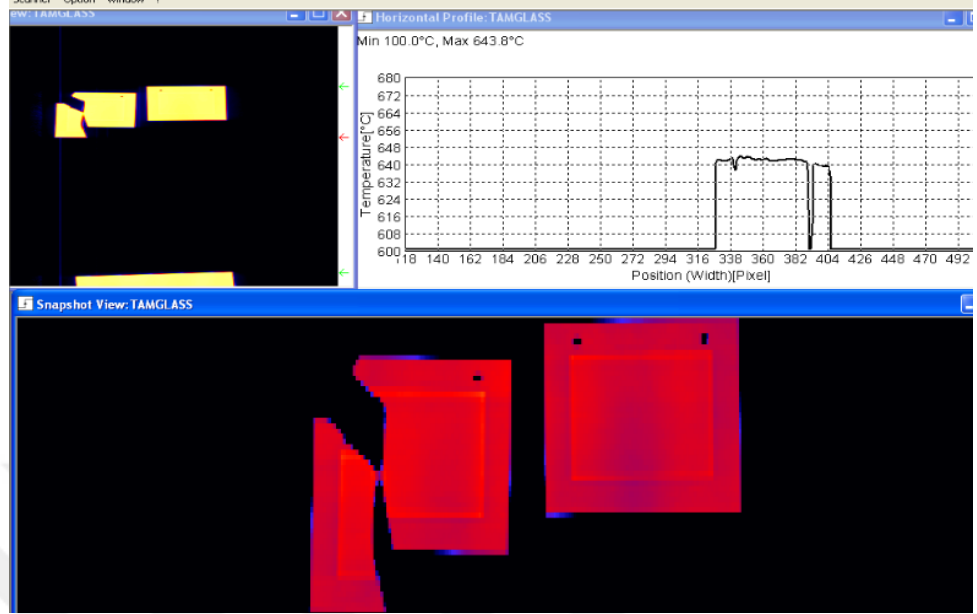
Şekil 5.2.3. de farklı yüzey kalitesine sahip camların termal kamera görüntüsü bulunmaktadır. Mavi renkli bölgeler 620 °C derecelere sahip iken turuncu ve kırmızı bölgeler 630 °C dereceden yüksektir. Özetle, şekilde sağda renk skalasında da görüldüğü üzere siyahtan beyaza doğru olan renkler soğuktan ısıya olan durumu ifade etmektedir. Deliklerin etrafı mavi olan yani daha düşük sıcaklığa sahip olan bölgeler şunu gösteriyor; yüzey kalitesinin 10 µm den yüksek olduğudur. Çünkü ısıнын etkidiği yüzey alanı mavi bölgelerde daha küçük, turuncu ve kırmızı bölgelerde daha büyük olduğundandır.



Şekil 5.2.3. Farklı delik yüzey kalitesine sahip cam termal kamera görüntüsü

Şekil 5.2.4. de farklı meshlerdeki kum ile delinmiş deliklerin kenarında oluşan çapak sonucu temper fırınında ısıtılma esnasında termal kamera görüntüsü bulunmaktadır. Kamera görüntüsünden yorumladığımızda deliğin bir tanesinden kırık oluştuğunu ve burada bir çatlağın varlığını söyleyebiliriz. Mesh 80 olan kum ile delinen deliğin kırıldığı anlaşılmaktadır. Bunun nedeni olarak 80 mesh olan kum taneleri daha iri olduğundan kesim esnasında cam üzerinden daha büyük parçalar koparmaktadır. Oluşan kopma esnasında çatlak oluşma riskinin arttığını dolayısı ile temperleme amaçlı ısıtılma işleminde bu noktalardan kırıldığı gözlenmektedir. Çatlak oluşumunu azaltmak demek fırında kırık oluşumunu azaltmak demektir. Daha yüksek mesh olan kumlarda kesim esnasında taneler daha küçük olduğundan koparmalar kolaylıkla elde edilmekte, daha pürüzsüz yüzeyler görülmektedir.

Buradan da yola çıkarak delik kırılmalarını azaltmak için çatlak oluşma riski azaltmak gerekir yani daha yüksek mesh kumlar tercih edilmelidir.



Şekil 5.2.4. Delik yüzey kalitesinde oluşan çatlak sonucu kırılan cam termal kamera görüntüsü

Optimum abrasif malzeme tanecik boyutu seçimi için kullanılan malzemelerin birbiri ile olan ilişkileri analiz edilmiştir. Bu analiz için one way anova yöntemi kullanılmıştır. Çizelge 5.2.2. de anova sonuçları verilmektedir.

Anova sonucuna göre %95 güven aralığında yapılan testte p-değeri 0,003 bulunmuştur. Elde edilen p-değeri <0,05 olduğundan dolayı; abrasif malzeme tane büyüklüğünün yüzey pürüzlülüğüne etkisi her bir tane boyutu için birbirinden farklıdır.

Çizelge 5.2.2. Abrasif malzeme tanecik boyutu için anova sonuçları

Kaynak	DoF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Faktör	2	63,9	12,5	8,5	0,003
Hata	15	44,5	81,9		
Toplam	17	308,4			

Yapılan anova analizinden sonra kesme sıvısı içerisine karıştırılan aşındırıcı abrasif malzemenin optimum tane büyüklüğünü belirlemek için tukey çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Tukey çoklu karşılaştırma verilerine göre 80 mesh tane büyüklüğüne sahip abrasif malzemenin diğer gruplara göre yüzey pürüzlülüğüne etkisi istatistiksel anlam bakımından farklılık göstermekte iken, 120 ve 200 mesh tane büyüklüğüne sahip abrasif malzemelerin kullanımı arasında yüzey pürüzlülüğüne etkileri açısından anlamlı bir farklılık olmadığı görülmektedir.

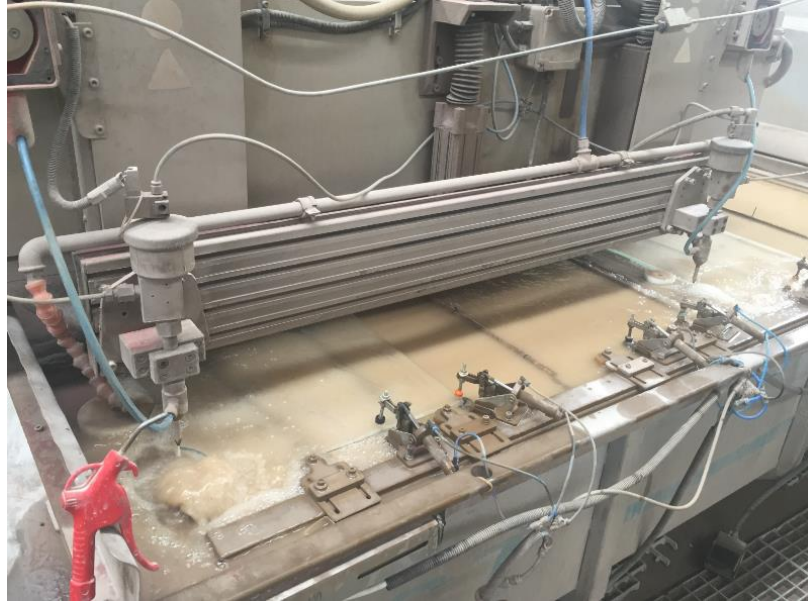
%95 güven aralığında (0,05), Çizelge 5.2.2. incelendiğinde p-değeri (0,003) bulunmuştur. Kullanılan abrasif malzemelerin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin aynı olmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 5.2.3. Abrasif malzeme için tukey çoklu karşılaştırma sonuçları

Faktör	TekrarSayısı	DeğerlerOrtalaması	Gruplama
80 Mesh	6	12,5	A
120 Mesh	6	6,8	B
200 Mesh	6	5,6	B

Yüzey pürüzlülüğü üzerine yapılan one way anova ve tukey çoklu karşılaştırma analizleri sonucunda 120 ve 200 mesh numarasına sahip abrasif malzemeler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık çıkmamasından dolayı ve işlem maliyeti açısından 120 mesh tane büyüklüğüne sahip abrasif malzemenin kesme işlemlerinde kullanılmasına karar verilmiştir. 80 meshlik abrasive malzeme arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığın olduğu belirlenmiştir. İstatistiksel sonuç ışığında camın yüzey pürüzlülük değeri en çok 7 µm olacaktır. Bu değer endüstriyel uygulamalar için uygundur.

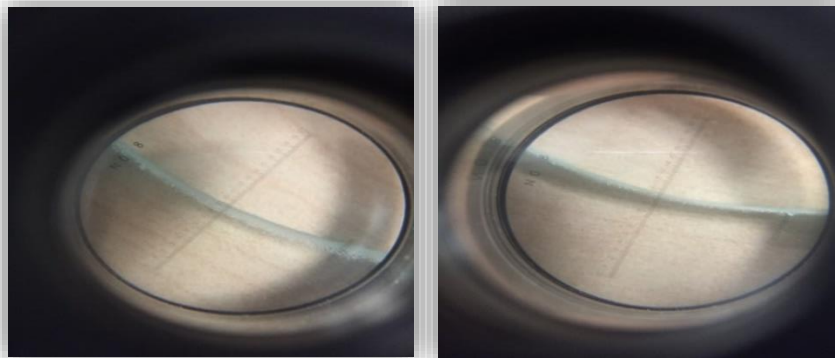
Üretim maliyeti olarak bakıldığında 120 mesh abrasiv malzeme kesme işlemi uygulamasında kullanılmak üzere seçilmiştir. Şekil 5.2.5 de test makinesi bulunmaktadır.



Şekil 5.2.5. Testlerin gerçekleştirildiği waterjet makinası

İdeal kesme hızını belirlemek için kullanılan yanıt değişkenimiz, delinen deliğin üst ve alt çapı arasındaki farktır. Bu fark bize delme işleminin hassasiyetini vermektedir. 12 farklı kesme hızı için koniklik değerleri bulunmuştur. 6 farklı ölçüm yapıp ortalama değer alınıp elde edilen ortalama koniklik değerleri Çizelge 5.2.4. de verilmiştir.

Koniklik değerleri 0,21 ile 0,89 mm arasında değişmektedir. Farklı kesme hızlarında yapılan bu deneyler sonucunda, kesme hızlarının delik konikliği üzerine etkileri istatistiksel olarak araştırılmıştır. Kabul edilebilir koniklik değeri 0,6 mm olarak seçildiğinde uygun olan kesme hızı değeri 1200 mm/dak bulunmuştur. Kesme hızı arttığında koniklik değerinde artış gözlenmektedir. Şekil 5.2.6. da koniklik farkı görülmektedir.



Şekil 5.2.6. Koniklik ölçümü

Çizelge 5.2.4. Farklı kesme hızlarında gerçekleşen delik açma sonucunda alt ve üst çap farkı

Kesme Hızı (mm/dak)	I.Cam (mm)	II.Cam (mm)	III.Cam (mm)	IV. Cam (mm)	V. Cam (mm)	VI. Cam (mm)	Ortalama (mm)
500	0,22	0,22	0,21	0,22	0,23	0,23	0,22
600	0,26	0,27	0,26	0,27	0,25	0,25	0,26
700	0,29	0,29	0,30	0,29	0,30	0,29	0,29
800	0,35	0,34	0,34	0,33	0,33	0,34	0,33
900	0,39	0,40	0,39	0,40	0,41	0,41	0,40
1000	0,48	0,47	0,49	0,48	0,47	0,47	0,47
1100	0,52	0,53	0,52	0,51	0,51	0,53	0,52
1200	0,57	0,57	0,57	0,57	0,58	0,58	0,57
1300	0,66	0,65	0,65	0,65	0,67	0,66	0,65
1400	0,73	0,73	0,74	0,73	0,72	0,72	0,72
1500	0,77	0,79	0,78	0,78	0,77	0,78	0,77
1600	0,89	0,88	0,87	0,87	0,88	0,87	0,87

Farklı kesme hızlarında yapılan bu deneyler sonucunda, kesme hızlarının delik konikliği üzerine etkileri istatistiksel olarak araştırılmıştır. İstatistiksel bir yöntem olan Varyans analizi ile kesme hızlarının delik konikliği üzerine olan etkileri incelenmiştir. 12 farklı kesme hızı altışar tekrardan oluşmak üzere 72 deney yapıldı.

Her bir deneyden sonra delik konikliği ölçülmüştür. Bu farklılıkların tesadüf olarak mı yoksa farklı kesme hızlarından etkilenmesi sonucunda mı oluştuğunu belirlemek için one way anova analiz yöntemi kullanılmıştır.

Elde edilen istatistiksel değerler Çizelge 5.2.5. de gösterilmiştir. anova tablosuna göre p-değeri 0,001 bulunmuştur. P-değeri 0,05'den küçük olduğundan kesme hızlarının delik konikliği değişimi üzerine belirgin bir anlamlılık derecesi oluşturmadığı görülmüştür

Çizelge 5.2.5. Kesme Hızları İçin anova sonuçları

Kaynak	DoF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Faktör	11	3,089	0,280909	4681,8	0,001
Hata	60	0,004	0,000060		
Toplam	71	3,093			

DoF: Serbestlik Derecesi; SS: Kareler Toplamı; MS:Karelerin Topamının Ortalaması



Şekil 5.2.7. Analiz deliklerin oluşturulması

Şekil 5.2.7. de test makinası waterjet ile yapılan ölçümlerin yapılacağı deliklerin kesildiğini görülmektedir. Değiştirilen parametreler dışında başka bir parametreden etkilenmemek için aynı cam üzerinde ve makine aynı istasyonda kesim işlemi gerçekleştirilmiştir. Dolayısı ile değişken parametreler dışında diğerleri sabit tutulmuştur. Kesilen delikler kesim sırasına göre numaralandırılmış ve ölçümler buna göre gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.2.6. Kesme hızları için tukey çoklu karşılaştırma sonuçları

Faktör	Tekrar Sayısı	Değerler Ortalaması	Gruplama
500 mm/dak	6	0,22	A
600 mm/dak	6	0,26	B
700 mm/dak	6	0,29	C
800 mm/dak	6	0,33	D
900 mm/dak	6	0,40	E
1000 mm/dak	6	0,47	F
1100 mm/dak	6	0,52	G
1200 mm/dak	6	0,57	H
1300 mm/dak	6	0,65	I
1400 mm/dak	6	0,73	J
1500 mm/dak	6	0,78	K
1600 mm/dak	6	0,88	L

Çizelge 5.2.6. da kesme hızlarının tukey çoklu karşılaştırma ile yapılmış sonuçları bulunmaktadır. Kesme hızlarının delik konikliğine olan etkisini gruplandırmak için tukey çoklu karşılaştırma yöntemi kullanılmıştır. Buna göre her bir kesme hızının delik konikliğine olan etkisi birbirinden bağımsızdır. Kabul edilebilir koniklik değeri 0,6 mm olarak seçildiğinde uygun olan kesme hızı değeri 1200 mm/dak bulunmuştur. Kesme hızı arttığında koniklik değerinde artış gözlenmektedir.

5.2.1. Genel Regresyon Analizi

Regresyon analizi aralarında sebep sonuç ilişkisi olan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek, bununla beraber bu ilişkiyi kullanarak o konu ile ilgili öngörüler yapabilmek için kullanılır.

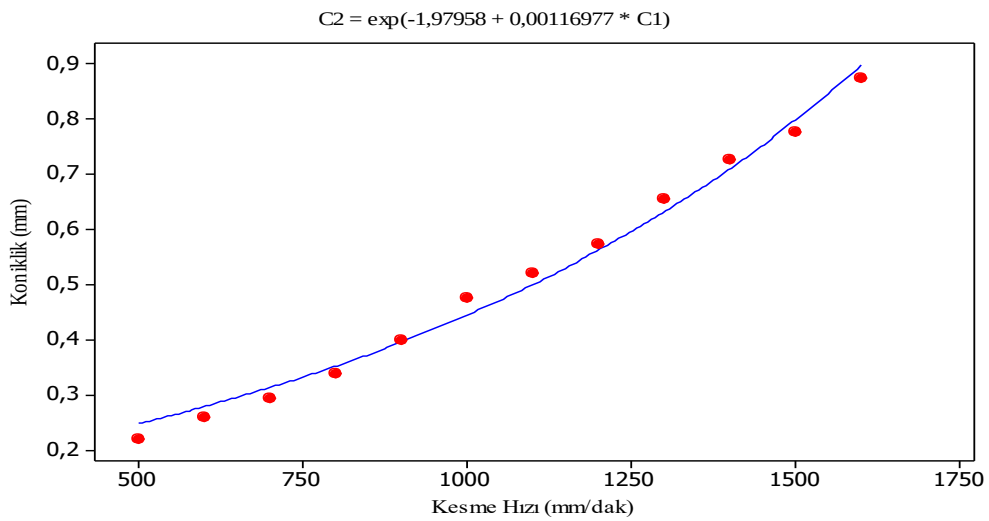
$$\text{Nonlinear Regresyon : } C2 = \exp (\text{Theta1} + \text{Theta2} * C1)$$

Çizelge 5.2.1.1. Genel Regresyon Analizi

Katsayılar		
Parametre	Tahmin	SE Tahmin
Theta1	-1,97958	0,0537667
Theta2	0,00117	0,0000404
C2 = exp (Theta1 + Theta2 * C1)		
Parametre	Tahmin	SE Tahmin
Theta1	-1,97958	0,0537667
Theta2	0,00117	0,0000404
İterasyonlar	88	
Final SSE	0,0049531	
DFE	10	
MSE	0,0004953	
S	0,0222555	

SE: Standart Hata; DFE: Serbestlik Derecesi; MSE: Karelerin Ortalaması; SSE: Kareler Toplamı

Şekil 5.2.1.1. de görüldüğü üzere yapılan genel regresyon analizinin grafiği bulunmaktadır. Grafik üzerinde yapılan deney çalışmalarının bulunduğu noktalar kırmızı ile gösterilmiştir.



Şekil 5.2.1.1. Genel Regresyon Analizi Eğrisi

Genel regresyon analiz sonucu: $C2 = \exp (-1,97958 + 0,00116977 * C1)$

elde edilmiştir. Regresyon analizi ölçülen tüm değerler ve hız parametreleri alınarak yapılmıştır. Burada verilerin aralarındaki ilişki değerlendirilmiştir. Çıktı olarak grafik elde edilmiştir. Bu formül ile çalışılacak olan hız parametresinin koniklik çıktısı hesaplanabilir hale gelmiştir. Dolayısı ile ara hızlarda çalışılmak istendiğinde formül kullanılarak optimum değerler hesaplanabilir.



6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Delme işlemi cam endüstrisinde çok kullanıldığından dolayı bu işlemin optimizasyonu büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada düz cam delinmesi kullanılan farklı boyuttaki kum parçacıkları ve farklı kesme hızlarında işlemler yapılmış ve yüzey pürüzlülük ve koniklik değerleri incelenerek optimum değerler bulunmuştur. Deneysel çalışmalar sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

- Water-jet uygulamasında kullanılan abrasif malzeme boyutu yüzey pürüzlülüğünü etkilemektedir. Mesh miktarı arttıkça yüzey pürüzlülük değerleri azalmaktadır.
- Kesme hızı arttıkça delik için koniklik değeri artmaktadır.
- Belirlenen yüzey pürüzlülüğü için optimum mesh değeri belirlenmiştir. Optimum mesh değeri 120 olarak seçilmiştir. 120 ve 200 mesh numarasına sahip abrasif malzemeler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık çıkmamasından dolayı ve işlem maliyeti açısından 120 mesh tane büyüklüğüne sahip abrasif malzeme kesme işlemlerinde kullanılmıştır. Bu istatistiksel sonuçlar one way anova ve tukey çoklu karşılaştırma analizleri yapılarak belirlenmiştir.
- Belirlenen mesh değeri ile farklı hızlarda yapılan deneyler sonucunda uygun delik koniklik değeri için optimum kesme hızı 1200 mm/dak olarak bulunmuştur.
- Tukey çoklu karşılaştırma yöntemi ile delme işleminde kullanılan kesme hızlarının delik konikliğine olan etkisini belirlenmiştir. Bu analize göre her bir kesme hızının delik konikliğine olan etkisi birbirinden bağımsızdır.
- Yapılan regresyon analizi ile hız ve koniklik ilişkisinin lineer olmadığı görülmüştür. Parabolik eğriye sahip olan hız ve koniklik ilişkisi analiz sonrası elde edilen grafik ile yorumlanmaktadır.

7. SONUÇ

Yapılan çalışmada cam ile ilgili kavram açıklamaları ve cam tarihsel gelişiminden önemli detaylar incelenenerek başlanmıştır. Buradaki amaç kavramın nasıl oluştuğu ve yüz yıllar boyu nasıl geliştiğini ilerledeğini anlayabilmektir. Camın kimyasal yapısı temel anlamda anlatılmaktadır. Akabinde camı delme metotlarına geçilmiştir. Buradan yola çıkarak cam delme işleminin yöntemleri anlatılmıştır. Günümüzde sektöre ve teknolojiye göre hangi metotların tercih edildiği ifade edilmiştir. Gelecekte çalışmaların nereye doğru ilerlediği belirtilmiştir.

Tezin asıl amacı cam delme metotlarını incelemek ve bu metotlar içinden seçilen yöntem ile belirli çalışmalar yapmaktır. En yaygın kullanılan delme işlemi matkap ucu ile delmedir. Matkap ucu ile delme metodunda uygun kalite ve verimde delebilmek için belirli kurallar mevcuttur. Bu kurallar detaylı anlatılmıştır. Özellikle malzeme ve delme işlemi gerçekleşmesi adım adım gösterilmiştir. Delme işlemleri belirtilen sıralamada ilerlemeli ve doğru matkap ucu ile düzgün delik elde edilmelidir. Delme parametreleri baz alınarak işlemler gerçekleşmelidir. Camın dayanıklılığın artırılması için temper işlemi önemli bir yöntemdir. Dolayısı ile cam üzerinde oluşturulan delik tasarımlarında temper ile ilişkisinin önemi mukavemet açısından büyüktür. Bu konuda temel olan delik tasarım kuralları anlatılmıştır.

Delme metotlarının arasında günümüzde tercih edilme oranının arttığı yöntemlerde bulunmaktadır. Bunlar özellikle son birkaç yıldır yeni araştırmaların yapıldığı ve her geçen gün yeni araştırmaların arttığı lazer kesim yöntemidir. Cam delik teknolojisinde bu yöntem geleceğin en çok kullanılan yöntemi olacaktır diye yorumlayabiliriz. Bu yorumun nedeni, lazer kesim yönteminde hassasiyet ve yüzey kalitesi çok yüksek olmak ile beraber işlem maliyeti düşüktür. Burada klasik yöntem olan matkap ucuna göre dezavantajı delik işlem hızıdır. Lazer kesimde delik işlem hızı artırma çalışmaları devam etmektedir. Delik işlem hızındaki artış bu yöntemin tercih edilme olasılığını her geçen gün arttıracaktır.

Özellikle şekilli kesimlerde günümüzde kullanılan en popüler yöntem waterjet kesim yöntemidir. Çalışmada waterjet ile kesim yöntemi detaylı

incelenmiştir. İlk olarak waterjet makinaları, özellikleri, parçaları, malzeme yapısı, güç kaynağı, kontrol ve tasarım şekli, çalışma prensibi detaylı olarak anlatılmıştır. Waterjet makinasını tanıdıktan sonra tezin konusu olan düz camın yüksek basınçlı su (waterjet) ile delinmesinde kesme parametrelerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Optimizasyon çalışmasında belirlenmiş analiz yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan çalışmada tüm parametreler sabit tutulmuştur. Etkisi incelenecek olan parametre tek başına değiştirilerek waterjet ile kesilen delikteki çıktısı adım adım analiz edilmiştir. Bulgular ve tartışma bölümünde de analiz sonuçları detaylı olarak anlatılmıştır. Temel olarak waterjet kesimlerde konik bir delik geometrisi oluştuğunu parametrelerin değiştirilerek oluşan konikliğin arttığı veya azaldığı gözlemlendi. Aynı zamanda waterjet makinasında kullanılan malzemelerinde çalışma parametreleri kadar etkili olduğu görüldü. Özellikle deliğin yüzey kalitesinin malzeme ile doğrudan ilişkili olduğu tespit edildi ve optimizasyonu yapıldı.

8. KAYNAKLAR

- Akkurt A (2004) “Su Jeti İle Kesme Sistemleri ve Uygulama Alanlarının Değerlendirilmesi”, Politeknik Dergisi, 7: 129-139.
- Akkurt A (2009) “AISI 1030 çeliğinin aşındırıcılı su jeti ile kesilmesinde yüzey pürüzlülüğünün ve kesme önü geometrisinin incelenmesi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15.
- Akkurt A, Şeker U ve Ercan F (2002) “Aşındırıcılı Su Jeti (AWJ) Kesmede Elde Edilen Yüzey Özellikleri Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi”, Politeknik Dergisi, 5: 299-309.
- Arslan N (2013) “Serbest Cam Tasarımı ve Endüstriyel Cam Tasarımı Eğitiminde Sıcak Cam Atölyesinin Önemi”, İstanbul.
- Aurich, J C, Engmann J, Schueler G M and Haberland R (2009) “Micro grinding tool for manufacture of complex structures in brittle materials” CIRP Annals-Manufacturing Technology, 58: 311-314.
- Ay İ (2007) “Aşındırıcılı Su Jeti”, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü.
- Bansal P Narottam, Doremus R H (1986) “Handbook Of Glass Properties”, Rensselaer Polytechnic Institute Materials Engineering Department.
- Blank V, Popov M, Pivovarov G, Lvova N and Terentev S (1999) “Mechanical properties of different types of diamond”, Diamond Relat Mater, 8: 1531-1535.
- Bycunited, Lazer cam kesimi, <http://www.bycunited.com/lazer-cam-kesimi-1.html>, 20 Eylül 2016.
- Chen S T and Jiang Z H (2015) “A force controlled grinding-milling technique for quartz-glass micro machining. Journal of Materials Processing Technology”, 216: 206-215.
- Cheng J, Wang C, Wen X, and Gong Y (2014) “Model in gandex perimental study on micro-fracture behavior and restraining technology in micro-grinding of glass”, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 85: 36-48.
- Çavdar K ve Tanrıseven T (2013) “Farklı Malzemelerin Lazerle Kesilmesi”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18.
- Dai H, Wang L, Zhang J, Liu Y, Wang Y, Wang L, and Wan X (2015) “Iron based partically pre-alloyed powders as matrix materials for diamond tools”, Powder Metallurgy, 58: 83-86.

- Ergür H Sevil (2009) “Aşındırıcı Su Jetinin Teorik Analizi Ve Yapay Sinir Ağı Yöntemiyle Modellenmesi”, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22.
- Erkuş B (2012) “Cam Şeritlerinin Isıl Şekil Değiştirmelerinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi”, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mak. Müh. Fak.
- Gäbler J and Pleger S (2010) “Precision and micro CVD diamond-coated grinding tools”, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 50: 420-424.
- Günay V ve Yılma Ş (2010) “Cam- Seramikler Bilim ve Teknolojisi”, TUBİTAK, Gebze.
- Grafikerler, Camın tarihçesi, <http://www.grafikerler.net/cam-tarihcesi-t35725.html>, 4 Eylül 2016.
- Hepsiburada, Ankastre, <http://www.hepsiburada.com/siemens-hb331s2t-a-enerji-sinifi-67-lt-siyah-ankastre-firin-p-MTSIEHB331S0T>, 14 Eylül 2016
- Jiao J and Wang X. (2009) “Optics and Lasers in Engineering”, Wuhan National Laboratory for op to electronics, Huazhong University of Science and Technology 860–864.
- Kaltun, Kuvars, <http://www.kaltun.com.tr/1005-kuvars-KaltunUrunDetayi.aspx#prettyPhoto>, 13 Eylül 2016.
- Kaltun, Kuvars, <http://www.kaltun.com.tr/images/Projeler/bresim/kuvarsx.jpg>, 13 Eylül 2016.
- Kantur U (2009) “Kurşun Geçirmez Camların Üretim Prosesi ve Kurşun Geçirmez Camların Balistik Testleri İncelemesi”, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mak. Müh. Fak.
- Karakurt İ, Aydın G ve Aydın K (2010) “Aşındırıcılı su jeti ile kesmede kesme parametrelerinin granit yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, Yerbilimleri, 31: 99–110
- Karakurt İ, Aydın G ve Aydın K (2010) “Su Jeti Teknolojisinin Madencilik Sektöründeki Uygulamalarının Değerlendirilmesi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 16: 105-112.
- Karşlıoğlu F Aslı (2007) “1950’den Günümüze Cam Heykel Sanatı Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi”, İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü.
- Kartal F ve Gökkaya H (2014) “Aısı 1040 Çeliğinin Aşındırıcı Su Jeti İle Tornalama İşleminde İşleme Parametrelerinin Talaş Kaldırma Hacmine Ve Kesme Derinliğine Etkisi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20: 20-24.

- Kısacaözeti, Cam, <http://www.kisacaozeti.com/cam-nedir-camin-ozellikleri-nelerdir.html>, 4 Eylül 2016.
- Küçükerman Ö (1985) “Cam Sanatı ve Geleneksel Türk Camcılığında Örnekler”, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, No: 271 Art Series.
- Külekçi M K ve Akkurt A (2001) “Aşındırıcı Su Jeti İle Kesilerek Elde Edilen Yüzey Kalitesinin Değerlendirilmesi”, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5: 13-24.
- Lin CS, Yang YL and Lin ST (2008) “Performances of metal-bond diamond tools in grinding alumina”, J Mater Process Technol 201: 612-617.
- Megep (2008) “Seramik ve Cam Teknolojisi Camın Kimyasal Yapısı”, MEB, Ankara.
- Mendi F ve Külekçi M K (1999) “İmalata Su Jeti Uygulamalarının Değerlendirilmesi”, Pamukkale Üniversitesi Müh. Fak Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5:1067-1075.
- Olçay B Yelda (1998) “Cam Sanatı Tarihi İçinde Bizans Döneminin Yeri”, Anadolu Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Sanat Tarihi Bölümü.
- Ozturk, S (2014) “Micro structural analysis of metal-bond diamond tools in grinding of flatglass”, Material wissen schaft Und Werkstoff technik/Materials Science And Engineering Technology, Vol. 45, No. 3, 187-191.
- Perveen A, San W Y and Rahman M (2012) “Fabrication of different geometry cutting tool sand their effect on the vertical micro-grinding of BK7 glass”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 61: 101-115.
- Popov A V (2009) “Increasing the efficiency of diamond edging of flat glass Glass Ceram”, 66: 210 – 211.
- Qian, J Li and W Ohmori H 2000 “Precision internal grinding with a metal-bonded diamond grinding wheel. Journal of Materials Processing Technology”, 105: 80-86.
- Ruff A W, Ssin H and Evans CJ (1995) “Damage processes in ceramics resulting from diamond too lindentation and scratching in various environments”, Wear 181-183: 551-562.
- Sen Tuna (2013) Regresyon Analizi, <http://w3.balikesir.edu.tr/~bsentuna/wp-content/uploads/2013/03/Regresyon-Analizi.pdf>, 30 Eylül 2016.
- Tillmann W, Gathen M, Vogli E and Kronholz C (2007) “New material sand me thods beck on for diamond tools”, Metal Powder Report, 62: 43-48.
- Tosun K Camlar (2013) Camlar, http://kisi.deu.edu.tr//kamile.tosun/13._Camlar.pdf, 10 Eylül 2016.

Wikimedia, Obsidyen, <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/tr/thumb/3/3d/Obsidyen.jpg/280px-Obsidyen.jpg>, 21 Eylül 2016.

Wikipedia, Obsidyen, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Obsidyen#/media/File:Obsidyen.jpg>, 1 Eylül 2016.

Wikipedia, Cam, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Cam>, 1 Eylül 2016.

Yamaguchi T, Higuchi M, Shimada S, Tanaka H and Obata K (2006) “Scientific Screening of Raw Diamond for an Ultra precision Cutting Tool with High Durability”, Ann CIRP 55: 71-74.

Yazar T ve Aslan T (2013) “Biçimlerin Temel İlkeleri Bağlamında Simge Olarak Geleneksel Türk Cam Sanatı Ve Gelişimi”, The Journal of Academic Social Science Studies, 6: 829-854.

Yazıcıoğlu O ve Yalçınkaya S (2003) “Endüstride Aşındırıcılı Su Jeti Tasarımları”, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü.

Yorsan, Temper, <http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>, 15 Eylül 2016.

9. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Murat Karaağaç

Doğum Yeri ve Tarihi : Bolu 20.10.1986

Lisans Üniversite : Uludağ Üniversitesi

Y. Lisans Üniversite (varsa): Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Elektronik posta : muratkaraagac14@hotmail.com

İletişim Adresi : -

Yayın Listesi : Düz camın delinmesinde oluşan yüzey pürüzlülüğünün ve delik geometrisinin incelenmesi (UTIS 2016)

Ödüller : -