



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



SICAK HADDELEMEDE KÜTÜK YÜZEYİNDE TUFAL SIYIRMA SİSTEMİ TASARIMI

Yüksek Lisans Tezi

Gürkan ERAL

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir
2019

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**SICAK HADDELEMEDE
KÜTÜK YÜZEYİNDE TUFAL
SIYIRMA SİSTEMİ TASARIMI**

Gürkan ERAL

Danışman: Prof. Dr. Hasan YILDIZ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Makina Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

İzmir
2019

Gürkan ERAL tarafından Yüksek Lisan tezi olarak sunulan “Sıcak Haddelemede Kütük Yüzeyinde Tufal Sıyırma Sistemi Tasarımı” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesinin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 03.05.2019 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

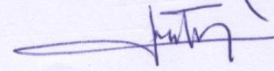
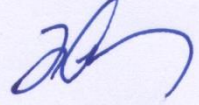
Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Hasan YILDIZ

Raportör Üye : Doç. Dr. Yusuf ARMAN

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mahmut PEKEDİS

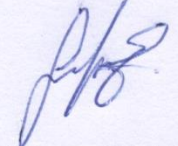


EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Sıcak Haddelirmede Kütük Yüzeyinde Tufal Sıyırma Sistemi Tasarımı” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

03 / 05 / 2019



Gürkan ERAL

ÖZET

SICAK HADDELEMEDE KÜTÜK YÜZEYİNDE TUFAL SIYIRMA SİSTEMİ TASARIMI

ERAL, Gürkan

Yüksek Lisans Tezi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hasan YILDIZ

Mayıs 2019, 69 sayfa

Tufal kaldırma işlemi, sıcak haddehanelerde tav ocağından çıkan yarı mamulün yüzeyinde oluşan demir oksit tabakasının basınçlı su kullanılarak yüzeyden uzaklaştırılma işlemidir. Profil haddehanelerinde yarı mamul olarak müşterinin isteği doğrultusunda çeşitli kalitedeki kütükler kullanılır. Tufal kaldırma işleminin temel amacı, üretilen mamulün yüzey kalitesinin standartlar içinde olması ve hadde merdanelerinin ömürlerinin uzatılmasıdır.

Bu çalışmada bir yapısal çelik profili üretim tesisi olan Kocaeli Haddecilik Demir ve Çelik Fabrikası'ndaki üretim koşulları ve kaynaklar göz önüne alınarak, kütük yüzeyinde oluşan tufal tabakasını, su kaynaklarını ve enerjiyi daha verimli kullanarak, etkin bir şekilde yüzeyden uzaklaştıracak tufal kaldırma sistemi tasarımı yapılmıştır. Bu kapsamda literatürde bulunan hesaplama teknikleri kullanılmış, pompa ve nozul üreticilerinin kataloglarından malzeme seçimleri yapılmış ve minimum su ve enerji tüketimiyle etkin bir tufal kaldırma sisteminde kullanılacak malzemeler tespit edilmiştir. Daha sonra seçilen nozulların kütük üzerinde pozisyonlanmasını sağlayacak olan mekanik sistem tasarlanmıştır.

Ülkemizde daha önce tufal kaldırma sisteminin kısımlarını oluşturan su ünitesi, pompa istasyonu, nozul sisteminin komple seçimi ve tasarlanması konusunda bir akademik çalışma bulunmamaktadır. Bu açıdan yapılan bu çalışma profil ya da sac haddehaneleri gibi sıcak haddehanelerde tufal kaldırma sistemi tasarımı konusunda bir yol gösterici olacaktır.

Anahtar Sözcükler: Tufal kaldırma sistemi, nozul, yüksek basınç pompası

ABSTRACT**DESIGN OF A DESCALING SYSTEM
THAT REMOVES IRON OXIDE LAYER
FROM BILLET SURFACES IN HOT ROLLING MILL**

ERAL, Gürkan

MSc in Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Hasan YILDIZ

May 2019, 69 pages

Descaling process is the process of removing the iron oxide layer formed on the surface of the semi-finished product which comes out from furnace in hot rolling mills by using pressurized water. In the profile rolling mills, according to the customer's request, various quality billets are used as semi-finished products. The main purpose of the descaling process is to ensure that the surface quality of the finished product is within the standards and the service life of the rolling mill materials is extended.

In this study, in a structural steel profile production facility, Kocaer Haddecilik Iron and Steel Factory, descaling system design is made for actively removing the oxide layer formed on the surface of the billet using water resources and energy more efficiently by taking into consideration the production conditions and resources. In this context, the calculation techniques in the literature have been used, material selection has been made from the catalogs of pump and nozzle manufacturers and the materials which will be used in an effective descaling system with minimum water and energy consumption have been determined. Then, the mechanical system which will ensure that the selected nozzles are positioned on the billet is designed.

In our country, previously there isn't any academic study about the forming parts of the descaling system which are water unit, pumping station and complete selection and design of the nozzle system. In this respect, this study will be a guide for the design of descaling system in hot rolling plants such as profile or sheet rolling plants.

Key Words: Descaling system, nozzle, high pressure pump

ÖNSÖZ

Tufal kaldırma sistemleri sac ve profil haddehanelerinde üretim kalitesini ve verimliliğini arttırmak için kullanılan kritik öneme sahip sistemlerdir. Kütüğün yüzeyindeki tufal tabakasını kaldırmak için kullanılan bu sistemler günümüzde modern tesislerde yüksek basınçlı su spreyleleriyle gerçekleştirilmektedir.

Tufal kaldırma sistemlerinin doğru tasarlanması enerji verimliliği ve çevre etkileri açısından çok önemlidir. Ayrıca tasarımda işletme ve bakım maliyetleri de göz ardı edilmemelidir. Bu yüzden tufal kaldırma sistemlerinin doğru tasarımı işletmenin yatırım ve işletme maliyetlerini düşüreceği gibi çevreci bir yapıya da sahip olacaktır.

Ülkemizde tufal kaldırma sistem parametrelerini belirleme konusunda akademik bir çalışma bulunmamaktadır. Bu açıdan bu tez çalışmasının bu boşluğu doldurarak işletmelere yol göstereceği ve yeni çalışmalara kapı açacağı umulmaktadır.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	VII
ABSTRACT	IX
ÖNSÖZ	XI
İÇİNDEKİLER	XIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XVI
ÇİZELGELER DİZİNİ	XX
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XXI
1. GİRİŞ.....	1
2. TUFAL OLUŞUMU	5
3. TUFAL KALDIRMA SİSTEMİ KISIMLARI	8
3.1 Su Ünitesi	8
3.1.1 Su değerleri.....	8
3.1.2 Suyun şartlandırılması	10
3.1.3 Besleme suyu ideal değerleri.....	14
3.2 Pompa İstasyonu.....	15
3.3 Kolektör Nozul Ünitesi.....	20
3.3.1 Nozullar	21

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.3.2 Nozul kolektörü	23
4. TUFAL KALDIRMA SİSTEMİ TASARIMI	24
4.1 Su Ünitesi Tasarımı	26
4.2 Tufal Kaldırma Nozul-Kolektör Sistemi Tasarımı	31
4.2.1 Darbe basıncı (I)	31
4.2.2 Sprey kuvveti (F)	34
4.2.3 Su basıncı (P)	35
4.2.4 Toplam su debisi (Qn)	37
4.2.5 Birim nozul su debisi (Q).....	37
4.2.6 Nozul sayısı (n).....	37
4.2.7 Yüzey genişliği (W).....	38
4.2.8 Nozul aralığı (E)	39
4.2.9 Sprey genişliği (L)	40
4.2.10 Nozul yüksekliği (H)	41
4.2.11 Sprey açısı (α).....	42
4.2.12 Avans açısı (β)	43
4.2.13 Telafi açısı (γ).....	43

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.2.14 Çakışma mesafesi (D).....	44
4.2.15 Sprey alanı (A)	46
4.2.16 Sprey kalınlığı (t).....	48
4.3 Nozul Sayısı ve Sprey Açısının Belirlenmesi	51
4.4 Darbe Basıncına Göre Nozul Alternatifleri	53
4.4.1 $\alpha=40^\circ$ n=2 için darbe basıncı hesabı	53
4.4.2 $\alpha=34^\circ$ n=3 için darbe basıncı hesabı	55
4.4.3 $\alpha=26^\circ$ n=4 için darbe basıncı hesabı	57
4.4.4 $\alpha=22^\circ$ n=5 için darbe basıncı hesabı	59
5. SONUÇ.....	61
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	66
TEŞEKKÜR.....	68
ÖZGEÇMİŞ.....	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Kütüğün imalat prosesleri.....	1
Şekil 2.1 Oksitlenme sonucu kütük yüzeyinde oluşan tufal tabakası	5
Şekil 2.2 Oksidasyon mekanizmasının şematik diyagramı (Kim, 2003).....	6
Şekil 2.3 Haddeleme öncesi ve sonrası tufal katmanları (Cuéllar et al., 2011).....	7
Şekil 3.1 Ters Ozmos Sistem Diyagramı (Kocaer Haddecilik, 2019)	12
Şekil 3.2 60 ton/gün kapasiteli Ters Ozmos Sistemi (Kocaer Haddecilik, 2019)..	13
Şekil 3.3 Yüksek basınçlı su pompasının iç yapısı (Interpump Group S.p.A.)	15
Şekil 3.4 Yüksek basınçlı su pompası devir, debi, basınç gösterimi (Udor S.p.A., VX modeli)	16
Şekil 3.5 Basınç emniyet valfi (Kamat Ltd. Şti.).....	16
Şekil 3.6 Yüksek basınç su pompası patlatılmış resmi (Kamat Ltd. Şti.).....	18
Şekil 3.7 Pnömatik kontrollü oransal 3 yollu vana (Kamat Ltd. Şti.).....	19
Şekil 3.8 Yelpaze Nozul İç Yapı Görünüşü (Spraying System Co., 2013)	21
Şekil 3.9 Orbital nozul patlatılmış resmi (Kamat Ltd. Şti.)	23
Şekil 3.10 Kolektör-nozul sistemi (H. Ikeuchi & Co.)	23
Şekil 4.1 Yelpaze nozul spreyinin geometrik modeli	25
Şekil 4.2 Yelpaze nozulun ve spreyin yandan görünüşü	26

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.3 Su tesisi P&ID diyagramı.....	28
Şekil 4.4 Sprey darbe basıncını ölçen düzenek (H. Ikeuchi & Co.).....	32
Şekil 4.5 Darbe basıncı ölçme mekanizması şematik resmi (Lechler GmbH & Co.).....	33
Şekil 4.6 Farklı tip yelpaze nozullardan elde edilen basınç darbe grafikleri (H. Ikeuchi & Co.).....	33
Şekil 4.7 Nozuldan çıkan spreyn yüzeyde oluşturduğu kuvvetler.....	34
Şekil 4.8 Kütük genişliğine göre nozul yerleşimi.....	38
Şekil 4.9 Nozul aralığını belirten şematik gösterim	39
Şekil 4.10 Nozul yüksekliğine ve spreyn açısına göre spreyn genişliği.....	40
Şekil 4.11 Yelpaze nozullarda etkin spreyn genişliği (Spraying System Co., 2013).....	41
Şekil 4.12 25,5 lt/dk 200 bar 26° scalemaster model nozulda yüksekliğin darbe basıncına etkisi (Frick, 2004)	42
Şekil 4.13 Nozullarda spreyn açısı	43
Şekil 4.14 Avans açısının sembolik gösterimi.....	43
Şekil 4.15 Telafi açısı sembolik gösterimi	44
Şekil 4.16 Tufal kaldırma sistemlerinde çakışma mesafesi.....	45

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.17 Etkin ve teorik sprej genişliği sembolik gösterimi (H. Ikeuchi & Co.).....	45
Şekil 4.18 Sprej alanının sembolik gösterimi	46
Şekil 4.19 Ikeuchi TDSS ile standart model nozul darbe testi karşılaştırılması (H. Ikeuchi & Co.).....	47
Şekil 4.20 TDSS ile standart model nozul erozyon testi karşılaştırılması (H. Ikeuchi & Co.).....	48
Şekil 4.21 Darbe basıncı testi sonucu darbe dağılımı (Lechler GmbH & Co.).....	49
Şekil 4.22 Farklı çaplarda sensör kullanılarak yapılan darbe basıncı test sonuçları (Spraying System Co., 2013)	50
Şekil 4.23 Enine kesitte darbe basıncı test sonuç grafiği (Spraying System Co., 2013).....	50
Şekil 4.24 Nozul yerleşimi ve tasarım parametreleri	51
Şekil 4.25 Nozul sayısı ve sprej açısına göre nozul yüksekliği	52
Şekil 4.26 $n=2$ ve $\alpha=40^\circ$ için tasarım parametreleri	53
Şekil 4.27 $n=2$ ve $\alpha=40^\circ$ için darbe basıncı grafiği.....	54
Şekil 4.28 $n=3$ ve $\alpha=34^\circ$ için tasarım parametreleri	55
Şekil 4.29 $n=3$ ve $\alpha=34^\circ$ için darbe basıncı grafiği.....	56
Şekil 4.30 $n=4$ ve $\alpha=26^\circ$ için tasarım parametreleri	57

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.31 $n=4$ ve $\alpha=26^\circ$ için darbe basıncı grafiği	58
Şekil 4.32 $n=5$ ve $\alpha=22^\circ$ için tasarım parametreleri	59
Şekil 4.33 $n=5$ ve $\alpha=22^\circ$ için darbe basıncı grafiği	60
Şekil 5.1 İdeal darbe basıncını sağlayan nozul alternatiflerinin debi güç ilişkisi..	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Tufal içindeki bileşiklerin % dağılımı	7
Çizelge 3.1 Suyun sertlik derecelerinin birimlere göre değer aralıkları	9
Çizelge 3.2 Kocaer Haddecilik Su Değerleri (05.02.2019)	11
Çizelge 4.1 Lechler marka yelpaze nozulların katalog bilgileri	36
Çizelge 4.2 Ikeuchi markasının TDSS serisi yelpaze nozulları katalog bilgileri...	36
Çizelge 4.3 Sprey açısına göre nozul sayısı alternatifleri	52
Çizelge 4.4 $n=2$ ve $\alpha=40^\circ$ optimum darbe basıncındaki basınç ve debi değerleri.	54
Çizelge 4.5 $n=3$ ve $\alpha=34^\circ$ optimum darbe basıncındaki basınç ve debi değerleri.	56
Çizelge 4.6 $n=4$ ve $\alpha=26^\circ$ optimum darbe basıncındaki basınç ve debi değerleri.	58
Çizelge 4.7 $n=5$ ve $\alpha=22^\circ$ optimum darbe basıncındaki basınç ve debi değerleri.	60
Çizelge 5.1 İdeal darbe basıncını sağlayan nozul alternatifleri	62
Çizelge 5.2 Tufal kaldırma sistemi için tasarım parametreleri	64

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
HB	Brinell sertlik birimi
FS	Fransız Sertlik Derecesi
IS	İngiliz Sertlik Derecesi
AS	Alman Sertlik Derecesi

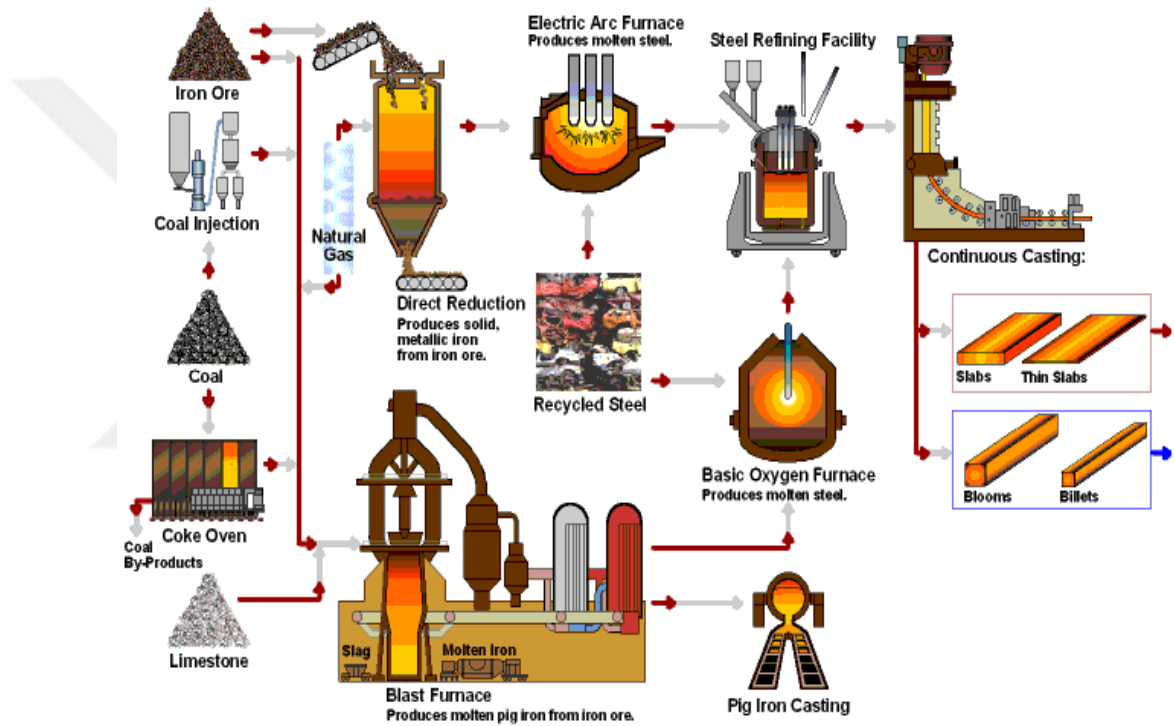
<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
I	Darbe basıncı (MPa)
Q	Su debisi (lt/dak)
P	Su basıncı (bar)
H	Nozul yüksekliği (mm)
α	Sprey açısı ($^{\circ}$)
β	Avans açısı ($^{\circ}$)
F	Darbe kuvveti (N)
F_y	Düşey Darbe kuvveti (N)
A	Sprey Alanı (mm ²)
m	Kütle (kg)
v	Sprey hızı (m/s)
\dot{m}	Kütlesel debi (kg/s)
\dot{V}	Hacimsel debi (lt/s)
ρ	Suyun yoğunluğu (kg/lt)
H'	Nozul sprej alanı arası dikey mesafe (mm)
γ	Telafi açısı ($^{\circ}$)
Q	Soğutma suyundan çekilen ısı (joule)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
c	Suyun özgül ısısı (joule/kg.s)
V_{kay}	Buharlaşarak kaybolan su debisi ($m^3/gün$)
Q_i	Hattan geçen su debisi (t/gün)
k_{kf}	Kum filtresi tahliye katsayısı
k_{to}	Ters ozmos tahliye katsayısı
k_s	Seperatör filtre tahliye katsayısı
k_b	Buharlaşma katsayısı
t	Sprey kalınlığı (mm)
Q_n	Toplam su debisi (lt/dk)
n	Nozul sayısı (adet)
W	Kütük genişliği (mm)
E	Nozul aralığı (mm)
L	Sprey genişliği (mm)
D	Çakışma mesafesi (mm)
G	Pompa gücü (kW)
η	Pompa verimi

1. GİRİŞ

Yapısal çelik profil haddehanelerinde yarı mamul olarak kütükler kullanılır. Çelikhanelerde sürekli döküm makinalarında üretilen kütüklerin (Şekil 1.1) yüzeylerinde, sıcak çeliğin atmosferdeki oksijenle tepkimeye girmesi sonucu, demir oksit tabakaları meydana gelir. Bu kütükler haddehanelerdeki tav ocaklarında yaklaşık 1200°C sıcaklığa kadar tavlabilirler. Bu tavlama esnasında kütüğün yüzeyindeki demir oksit tabakası kalınlaşır. Bu çeşitli formlardaki demir oksit tabakasına tufal denir.



Şekil 1.1 Kütüğün imalat prosesleri

Tavllanmış kütüğün yüzeyindeki tufal tabakası ortamdan uzaklaştırılmalıdır. Bu işlem özellikle yapısal çelik profil haddehanelerinde kritik öneme sahiptir ve olmazsa olmaz işlemlerden biridir. Aksi takdirde bunun iki sakıncası vardır. Birincisi, haddeleme esnasında merdanelerin tufal tabakasını malzemeye bastırması sonucu mamul yüzeyinde tufal batıkları meydana gelir. Bu batıklar kalite standartlarına uygun olmadığı için istenmez. Diğeri ise tufal tabakası merdaneden daha sert bir yapıya sahip olduğu için haddeleme esnasında merdanenin aşınmasını hızlandırıp ömrünü kısaltır ve merdane maliyetlerinin artmasına sebep olur. Ayrıca aşınan merdane zamanla mamul üzerinde

istenmeyen izlere ve ölçü bozukluklarına sebep olacağından değiştirilmesi gerekmektedir. Bu da üretim verimliliği açısından istenmeyen bir durumdur.

Sıcak profil haddehanelerinde tav ocağından çıkan kütüğün yüzeyinde bulunan tufal tabakasının yüksek basınçlı su kullanılarak özel olarak tasarlanan jet nozullar vasıtasıyla malzeme üzerine püskürtülerek ortamdan uzaklaştırılması en sık kullanılan tufal kaldırma işlemidir. Bu işlemin yanı sıra tufalı mekanik olarak kırıp zayıflatan ve belirli bir yükseklikten düşürüp gevşeyen tufalı ortamdan uzaklaştıran sistemler de vardır. Fakat bu sistemler yüksek basınçlı su kullanılarak çalışan sistemler kadar iyi sonuç vermeyebilir.

Tufal kaldırma sistemi dizayn edilirken en çok dikkat edilmesi gereken üç parametre vardır. Bunlar darbe basıncı, enerji sarfiyatı ve su tüketimidir. İleriki bölümlerde açıklanacağı üzere tufal kaldırma işlemini gerçekleştirmek için belirli bir darbe basıncını elde edecek pompa ve nozul seçimi yapılmalıdır. Tufalı kaldırmak için gerekli minimum darbe basıncında enerji tüketimiyle su tüketimi ters orantılıdır. Dolayısıyla eğer daha yüksek debili su sistemi kurabilecek bir alt yapı var ise daha düşük basınçlarda sistemi tasarlamak daha düşük enerji tüketimi sağlayacaktır.

Tufal kaldırma sistemlerinde enerji maliyetlerinin azaltılması, su jeti nozullarının seçimi, tasarım parametrelerinin belirlenmesi ve hidrolik tufal kaldırmayı etkileyen faktörlerle alakalı bazı çalışmalar yapılmıştır. Ülkemizde tufal kaldırma sistemleri tasarımıyla alakalı akademik bir çalışma bulunmamakla birlikte bazı şirketlerin kendi bünyesinde yaptırıp yayınlanan makaleleri mevcuttur.

Bendig, Raudenský and Horský (2001) tarafından su spreynin mekanik etkilerinin yanı sıra damla boyutu ve termal etkileri de incelenmiştir. Yapılan incelemelerde spreynin yüksekliği arttıkça su damlacıklarının atomize olduğu, yarı mamul üzerinden oluşan spreynin alanının arttığı ve darbe basıncını azalttığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi atomize olan yani damla boyutu küçülen su damlacıklarının hava direnciyle karşılaşması neticesinde enerji kaybetmesinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada ayrıca yaklaşık 1100°C sıcaklıkta yarı mamul üzerine çarpan suyun yüzeyde termal bir etkiye sebep olduğu ve tufalın kırılması için suyun mekanik etkisinden çok daha yüksek bir etkiye sebep olduğu

belirtilmiştir. Bununla birlikte yüzeyde soğuma neticesinde ikincil bir ince tufal tabakasının oluştuğu belirtilmiştir.

Robb (2005) tarafından sprej yüksekliği, telafi açısı ve avans açısının darbe basıncına olan etkileri incelenmiştir. Bu üç değişkeni optimize ederek enerji maliyetlerinin azaltılması amaçlanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuca göre 15°'lik avans açısının darbe basıncını sadece yaklaşık %3 oranında azalttığı gösterilmiştir. Çalışmada 0°, 15° ve 30° telafi açılarında ölçümler yapılmış ve açı arttıkça darbe basıncındaki azalma gösterilmiştir. Bununla beraber 15°'lik açının darbe basıncını önemli ölçüde azaltmadığı gösterilmiştir.

Kermanpur, Ebnonnasir and Hedayati (2007) tarafından hidrolik tufal kaldırma işlemi için yapay nöral ağ modeli sunulmuştur. Tufal kaldırma işlemi esnasında suda türbülanslı bir akış gerçekleşmektedir. Türbülanslı akışta, laminar akışın tersine, akışın karmaşıklığı nedeniyle akışkanlar mekaniğini kullanarak sprejin sayısal modellemesi oluşturulamaz. Bu yüzden yapay nöral ağ modeli oluşturularak, sprej açısı, sprej yüksekliği, su basıncı ve debisinin darbe basıncına olan etkisi incelenmiştir.

Horsky, Raudensky and Vavrecka (2007) tarafından tufal kaldırma mekanizmasındaki mekanik ve termal etkileri açıklayabilmek için sonlu elemanlar modeli geliştirildi. Yapılan analizlerde ortaya çıkan sonuçlara göre termal şokun mekanik darbe basıncına göre tufalı kaldırıp ortamdan uzaklaştırma konusunda çok daha baskın olduğu gösterildi. Bunun sebebi su sprejinin mekanik etki neticesinde tufal tabakası ile çelik arasına girerek aniden buharlaşması ve buhar basıncıyla tufal tabakasını ortamdan hızlı bir şekilde uzaklaştırmasıdır.

Hrabovský ve Horský (2012) tarafından da nozul stabilizatörlerin verimliliği konusunda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada farklı olarak su hattının nozula doğrudan hortumla ve kolektör boruyla bağlandığı durumlar karşılaştırılmıştır. Yapılan testlerde, su hattının kolektörle nozula bağlandığı durumda yaklaşık %10 daha yüksek darbe basıncı elde edilmiştir. Çalışmada CFD (hesaplamalı akışkanlar dinamiği) analizi yapılmış ve çıkan sonuçlar test sonuçlarını teyit etmiştir.

Karaca ve Kalpar (2017) tarafından yüksek basınç pompalarının daha verimli çalıştırılması konusunda çalışması yapılmıştır. Tufal kaldırma işlemi

gerçekleştirilmediği sürelerde sürücüler vasıtasıyla pompa motorlarının devirlerinin düşürülerek gerçekleşen enerji tasarrufuyla alakalı fizibilite çalışması yapılmıştır. Bu çalışma neticesinde boşa çalışma sırasında motor devrini %60 oranında düşürülerek toplamda %41 oranında enerji tasarrufu gerçekleştiği ifade edilmiştir.

Frick tarafından sprej nozullarının daha verimli hale getirilmesi konusunda çalışma yapıldı. Yüksek basınçlı ve yüksek hızlı su, nozul içine girmesi esnasında türbülanslı bir akışa sahiptir. Bu akışın nozul terk etmesi anına kadar laminar akışa dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun sağlanamaması sonucunda nozul memesini terke eden su daha geniş bir alana çarpacak ve darbe basıncını düşürecektir. Bu yüzden nozullarda en önemli parça stabilizatördür. Türbülanslı suyun stabilizatör içinden geçerken belirli katmanlarda laminar akıma dönüştürülerek nozul veriminin artırılması sağlanır.

Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak yelpaze nozul seçiminin ve nozul yerleşim parametrelerinin nasıl belirleneceği anlatılmıştır. Bu seçim üç aşamada gerçekleşmiştir. Birinci aşamada nozul yüksekliğine ve sprej açalarına göre nozul sayıları alternatifleri belirlenmiştir. İkinci aşamada bu nozul alternatifleri tek tek irdelenerek nozul debilerine göre elde edilen darbe basınçlarına göre alternatifler azaltılmıştır. Son aşamada alternatif nozulların tufal kaldırma esnasında tüketecekleri güce göre en az tüketime sahip nozul seçilmiştir. Böylece seçilen nozul tespit edilerek nozul yerleşimi için tasarım parametreleri belirlenmiştir. Daha sonra seçilen nozulun su tüketimi işletmenin mevcut su kaynakları ile karşılanıp karşılanmadığı irdelenmiştir. Gerekli hesaplamalar yapılarak mevcut ters ozmos sisteminin su kapasitesinin yeterli olduğu belirlenmiştir.

2. TUFAL OLUŞUMU

Çelik üretiminde sürekli döküm makinesinde kalıp çıkışından başlayarak önce çelik kütüğün yüksek sıcaklıkta hava ile temas ettiği tüm sürelerde, ardından haddeleme öncesi tav fırınlarında deformasyon sıcaklığına getirilme aşamalarında veya çeliğin tüm yüksek sıcaklık altında yapılan işlemlerinde çelik yüzeyinde oksitlenme sonucunda oluşan ince demir oksit tabakasına tufal adı verilmektedir (Şekil 2.1).



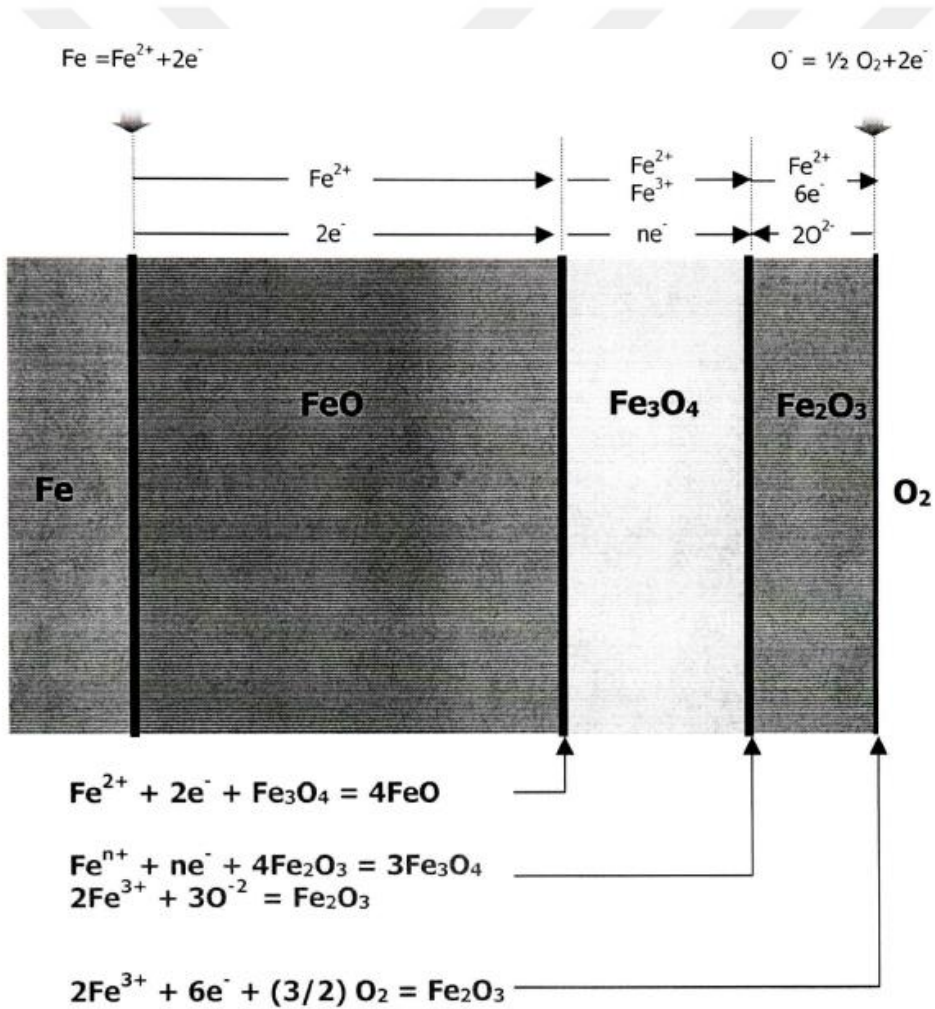
Şekil 2.1 Oksitlenme sonucu kütük yüzeyinde oluşan tufal tabakası

Tufal tabakası, döküm makinesinde, haddeleme veya deformasyon işlemi esnasında kırılarak küçük pulcuklar şeklinde kütük veya malzeme yüzeyinden ayrılır. Genel olarak üç tip tufal bileşimi mevcuttur.

- a) Wüstit (FeO)
- b) Manyetit (Fe_3O_4)
- c) Hematit (Fe_2O_3)

Wüstit nispeten düşük sertliğe (270-300 HB) ve kolay kırılabilen bir yapıya sahiptir. Manyetit kırılması zor bir yapıya sahip olup sertliği 420-500 HB değerlerindedir. Hematit ise kırılması çok zor bir yapıda olup 1030 HB sertliğindedir.

Şekil 2.2’de tav ocağında kütüğün tavlanması esnasında kütük üzerinde oluşan tufal katmanlarının şematik diyagramı verilmiştir. Görüldüğü gibi oksit tabakasının 1. katmanında wüstit yapı, 2. katmanında manyetit yapı ve en üst katmanda da hematit yapı bulunmaktadır.



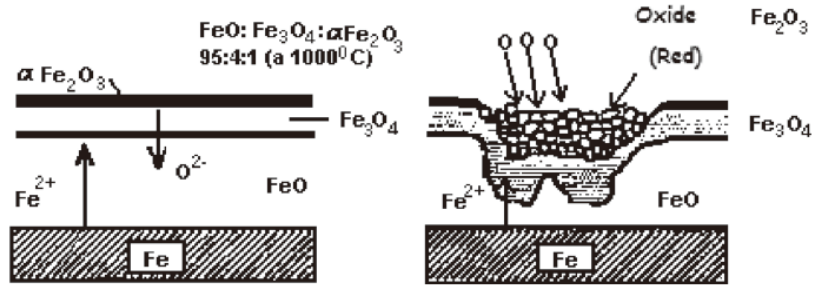
Şekil 2.2 Oksidasyon mekanizmasının şematik diyagramı (Kim, 2003)

Tufal yapısının içinde demir oksit tabakasından başka bileşikler de mevcuttur. Bu bileşiklerin miktarı demir oksitten çok daha az miktardadır. Çizelge 2.1’de tufal içindeki bileşiklerin miktarı gösterilmektedir.

Çizelge 2.1 Tufal içindeki bileşiklerin % dağılımı

İçerik	Ağırlık Yüzdesi (%)
Demir Oksit (Fe_xO_y)	96
Silisyum Oksit (SiO_2)	2
Kalsiyum Oksit (CaO)	0,9
Magnezyum Oksit (MgO)	0,8
Alüminyum Oksit (Al_2O_3)	0,3

Şekil 2.3’te görüldüğü gibi haddeleme sonrası tufal tabakaları kırılarak malzemede batık oluşur. Bu batıkların doğrultma sırasında dökülmesi sonucunda malzeme yüzeyinde deformasyon oluşur.



Şekil 2.3 Haddeleme öncesi ve sonrası tufal katmanları (Cuéllar et al., 2011)

3. TUFAL KALDIRMA SİSTEMİ KISIMLARI

Bir tufal kaldırma sisteminde başlıca şu ekipmanlar bulunur,

- a) Su ünitesi
- b) Pompa ünitesi
- c) Kolektör-nozul ünitesi

3.1 Su Ünitesi

Tufal kaldırma sistemi tasarımında kullanılacak suyun istenilen koşullara getirilmesi çok önemlidir. Aksi takdirde yüksek basınç pompalarının arıza vermesine ve nozul stabilizatörlerinin tıkanmasına ya da kireç kaplanmasına sebep olup işletme maliyetlerinin yükselmesine üretimin durmasına sebep olabilir. Kullanılacak suda dikkat edilecek en önemli unsurlar suyun sıcaklığı, sertliği ve PH değeridir.

Suyun sertliği içinde bulunan CaCO_3 ile ölçülür. Öncelikle kullanılacak suyun analizi yapılmalıdır.

3.1.1 Su değerleri

3.1.1.1 Suyun sertliği

Suyun içerisinde kalsiyum ve magnezyum iyonları suda sertliğe neden olan iyonlardır. Suyun sertliği, örnekteki tüm katyonların toplam derişimine eşdeğer kalsiyum karbonat derişimi olarak tanımlanabilir.

İki kısım sertlik vardır, bunlar geçici sertlik ve kalıcı sertliktir. Geçici sertlik, metal iyonlarının ısıtılınca parçalanarak çöken bikarbonatlarından kaynaklanan sertliktir. Kalıcı sertlik ise, metal iyonlarının ısıtılsa dahi çökmeyen ancak kimyasal işlemlerle giderilebilen sülfat, nitrat ve klorürlerinden kaynaklanan sertliktir. Geçici ve kalıcı sertliğin toplamına ise toplam sertlik denir.

Sertlik endüstriyel suların kalitesini gösteren bir ölçüdür. Geçici sertliği yüksek olan sularda kalsiyum karbonat çökmesi gerçekleşir. Dolayısıyla bu çökeltiler boru tesisatlarını zamanla tıkararak ihtiyaç olan su debisinin elde

edilmesini engelleyebilir. Bunun yanında bu çökeltiler yüksek basınç pompasına da zarar verip arızalanmasına sebep olabilir.

a) Fransız Sertlik Derecesi (FS) : Litrede 10 mg kalsiyum karbonat kapsayan suyun sertliği,

b) İngiliz Sertlik Derecesi (IS) : 1 galon (0,7 litre) suda 10 mg kalsiyum karbonat kapsayan suyun sertliği,

c) Alman Sertlik Derecesi (AS) : Litrede 10 mg kalsiyum oksit (CaO) kapsayan suyun sertliğidir.

Çizelge 3.1 Suyun sertlik derecelerinin birimlere göre değer aralıkları

Suyun sertliği	Alman	Fransız	İngiliz
Çok yumuşak	0 - 4	0 - 7.2	0 - 5
Yumuşak	5 - 8	7.3 - 14.2	6 - 10
Orta sert	9 - 12	14.3 - 21.5	11 - 15
Oldukça sert	13 - 18	21.6 - 32.5	16 - 22.5
Sert	19 - 30	32.6 - 54.0	22.5 - 37.5
Çok sert	> 30	> 54	> 37.5

Suyun sıcaklığının 30°C'dan yükseldikçe çökelme olayı hızlanmaktadır. Bu yüzden temin edilen suyun soğutulması da kireçlenmenin önlenmesi açısından çok önemlidir.

3.1.1.2 Suyun pH değeri

Suyun pH derecesi 0-14 arasında değerler almaktadır. 0 - 7 arası asidik, 7 nötr ve 7 - 14 arası bazik yada alkali su olarak adlandırılır. Saf suyun pH değeri 7'dir. İçeriğinde fazladan karbondioksit bulunan su asidik özellik göstermektedir. İçeriğinde fazladan kalsiyum bikarbonat ve alkali tuzları içeren su ise alkali özellik göstermektedir. Potasyum, kalsiyum ve magnezyum suyun asitlik derecesini düşür.

Düşük PH değerine sahip sular doymamış yada aç tabir edilen durumdadır. Yani PH değeri düşük olan sular temas ettikleri metallere iyon alış veriş gerçekleştirerek metallere korozyona uğramasına sebep olur. Bu açıdan suyun PH değerinin 7'den yüksek yani alkali olması gerekmektedir.

3.1.1.3 Suyun iletkenliği

Suyun iletkenliği su numunesinin elektrik iletme kabiliyeti olarak tanımlanabilir. İçerisinde iyon bulunduran su iletkendir. Suyun iletkenliği, içindeki iyon miktarının artmasıyla doğru olarak artmaktadır. Suyun içinde başlıca bulunan iyonlar kalsiyum, klorür, sülfat ve magnezyumdur. Su iletkenliğinin birimi $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. Suyun iletkenliği değeri ham sularda genellikle $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 'in üzerindedir. Bunun sebebi yeraltı sularının toprağın içindeki mineralleri bünyesine almasından kaynaklanır. Ters ozmos işleminde $30\mu\text{S}/\text{cm}$ ile $250\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında iletkenlik değerleri ölçülür.

3.1.2 Suyun şartlandırılması

Endüstriyel tesislerde suyun sertlik, iletkenlik, PH, partikül boyutu ve miktarı gibi değerlerinin istenilen değere getirmek için yapılan su ıslah işlemlerine suyun şartlandırılması denir. Başka bir ifadeyle suyun, dolaştığı sisteme zarar vermemesi için uygulanan fiziksel, kimyasal veya mekanik işlemlerin tümüdür.

Birçok su şartlandırma sistemi mevcuttur. En çok kullanılanları şunlardır,

- a) Ters Ozmos Sistemi
- b) Partikül Filtrasyon Sistemi
- c) İyon Değiştirici Reçine

Kocaer profil haddehanesinde su şartlandırma sistemi kapsamında 200 ton/saat kapasiteli su soğutma kulesi, 400 ton/gün kapasiteli kum filtresi, 60 ton/gün kapasiteli ters ozmos sistemi mevcuttur. Fabrikanın artezyen, kum filtresi çıkışı, ters ozmos, hadde havuzu ve ocak havuzu bölgelerinden periyodik olarak su numunesi alınmaktadır. Çizelge 3.2'de görüldüğü gibi artezyen çekilen su asidik yapıda olup toplam sertliği oldukça yüksektir. Kum filtresinden geçtikten sonra alkali hale gelir. Fakat sertlik ve iletkenlik değerleri değişmez. Fakat su ters ozmos sisteminden çıktıktan sonra asitliği artar, iletkenlik ve sertlik değerleri düşer. Bunun nedeni suyun içindeki eriyik halde bulunan iyonların süzülmesidir. Asidik haldeki suyun sisteme zarar vermemesi için dolomit ilave edilerek suyun alkali hale gelmesi sağlanır.

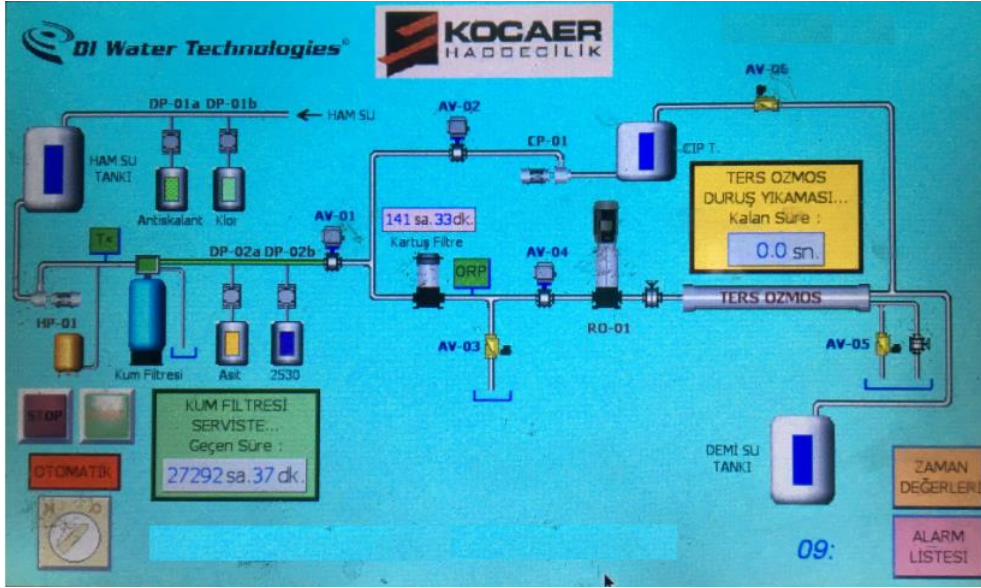
Çizelge 3.2 Kocaer Haddecilik Su Değerleri (05.02.2019)

PARAMETRELER	Artezyen	Kum Filtresi Çıkış	Reverse Ozmos Ürün	Hadde Havuz	Ocak Havuz
pH	6,92	7,17	6,14	9,12	8,70
Toplam Sertlik (ppm CaCO ₃)	326	326	6	200	90
P.Alkalite (ppm CaCO ₃)	0	0	0	200	40
M.Alkalite (ppm CaCO ₃)	830	830	50	1150	390
İletkenlik (µS/cm)	3270	3260	255	5200	1550
Klorür (ppm)	512	512	50	1100	390
Demir (ppm)	0,01	0,01	0,00	0,09	2,36
Renk	Berrak	Berrak	Berrak	Berrak	Sarımsak
Tortu	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok

3.1.2.1 Ters ozmos sistemi

Ters ozmos sisteminin çalışması, suyun giriş yaptığı tüplerin içinde bulunan membranlardan süzülmesi prensibine dayanır. Su membranlar üzerinde bulunan 5 angström çapındaki gözeneklerden, yüksek basınç altında geçer. Su molekülleri bu gözeneklerden geçebilirken suyun içindeki daha büyük çaplı iyon ve partiküller bu gözeneklerden geçemez ve atık su olarak dışarı verilir. Bu filtrasyon işlemi neticesinde, diğer filtrasyon sistemlerine göre, daha iyi sertlik ve iletkenlik değerlerinde su elde edilmiş olunur. Günümüzde otomatik ters ozmos cihazları üretimi gerçekleştirilerek istenilen debide ve kalitede su eldesi mümkün olup en çok tercih edilen arıtım sistemi konumuna yükselmiştir.

Ters ozmos sisteminden elde edilen suyun değerlerindeki değişim Çizelge 3.2'den karşılaştırılabilir. Sudaki toplam sertlik oranı ters ozmos çıkışında 326 ppm değerinden 6 ppm değerine düşmüştür. İletkenlik ise buna paralel olarak 3270 mS/cm değerinden 255 mS/cm değerine düşmüştür. Suyun PH değeri ise 6,94 değerinde 6,14 değerinde düşmüştür. Suyun PH değerinin düşüşü suyu daha korozif bir hale getirir. Bu yüzden suyun PH değerini yükseltmek için alkali filtreler kullanılır. Suyun sertlik ve iletkenlik değerlerinin düşmesi ise tufal sıyırma pompalarının ve nozulların ömürlerini uzatarak bakım maliyetlerinin düşmesine sebep olur.



Şekil 3.1 Ters Ozmos Sistem Diyagramı (Kocaer Haddecilik, 2019)

Şekil 3.1’de bir ters ozmos sisteminin akış diyagramı görülmektedir. Artezyenden çekilen ham su bir tankta depo edilerek ters ozmos sistemini beslemektedir. Ürün suyu tankındaki su belirli bir seviyenin altına düştüğünde kaviteasyon pompası devreye girer. Suyu ham su tankından çekerek kum filtresi ve kartuş filtre içinden geçirir ve yüksek basınç pompasına basar. Kum filtresi sudaki 100mikrona kadarki katı partikülleri süzer. Kum filtresi belirli aralıklarla ters yıkama yaparak tıkanan gözenekleri açılır. Suyu ters ozmos sistemine basan pompa suyun basıncı 15 barlara kadar çıkarabilir. Bu pompanın debisi ters ozmos sisteminin kapasitesine göre belirlenir. Yüksek basınç pompası suyu membranlardan geçirir. Ürün suyu bir tankta depolanarak ihtiyaç anında buradan çekilebilir. Belirli zaman aralıklarında sistem ters yıkamaya geçerek gözeneklerde biriken partikül, kireç, tuz kalıntıları atılır. Şekil 3.2’de Kocaer Haddecilik’te halihazırda kurulu olan ters ozmos sistemi görülmektedir. Bu ters ozmos sistemi ocak havuzunu, hadde redüktör yağı soğutma eşanjörlerini beslemektedir. Aynı zamanda fabrika genelinde içme suyu ihtiyacını da karşılamaktadır. İleriki bölümlerde kapasite hesabı yapılarak tufal kaldırma sistemini beslemesi için kapasite hesapları yapılacaktır.



Şekil 3.2 60 ton/gün kapasiteli Ters Ozmos Sistemi (Kocaer Haddecilik, 2019)

3.1.2.2 Partikül filtrasyon sistemi

Suda asılı duran partiküllerin filtrelenmesi için bu tip filtreler kullanılır. Kum filtresi, seperatör filtre, kartuş filtre vb. çeşitleri vardır. Bu filtreler 50 mikrondan büyük partiküllerin tutulması için uygundur. Daha küçük partiküllerin filtrasyonu için ters ozmos sistemleri kullanılır. Partikül filtreleri yüksek basınç pompalarının ve nozullarının zarar görmesini önlemek için kullanılır. Bu tip filtrasyon sistemlerinde sistem içinde biriken partiküller filtrelerin değiştirilmesiyle, manuel olarak yıkanmasıyla yada otomatik ters yıkama sistemleriyle bertaraf edilir. Otomatik tahliye sistemli filtrelerin bakım maliyeti düşük olup ilk yatırım maliyeti nispeten yüksektir.

3.1.2.3 İyon değiştirici reçine

İçerisinde iyon değiştirici reçine bulunan tanka su basarak tank çıkışında yumuşak su elde etme işlemidir. Çalışma prensibi, NaCl ile rejenere edilen bu reçineler su içinde bulunan kalsiyum ve magnezyum iyonlarını sudan alarak bunların yerine suya sodyum iyonunu verir. Sudaki sertlik giderilmiş olur.

Bununla birlikte suyun sodyum içeriği artmış olur, su saflaşmaz, suyun mineral miktarı ve iletkenliği değişmez, hatta bir miktar artar.

3.1.3 Besleme suyu ideal değerleri

Tufal kaldırma sistemlerinde kullanılacak suyun analiz değerleri filtreleme işlemlerinden sonra aşağıdaki değerlerde olması tavsiye edilir. Su sıcaklığının daha yüksek olması hem pompanın seramik pistonlarının çatlamasına hem de sudaki eriyiklerin çökmesine sebep olabilir. PH değerinin verilen değerlerin dışında olması boru hatlarının ve pistonun metal ekipmanlarının korozyona uğrama hızını arttırır. Sertlik ve iletkenlik değerlerinin verilen değerlerden daha yüksek olması ise hem pompanın kitlenip arızalanmasına hem de nozulların tıkanmasına sebep olabilir. Bu sebeplerden dolayı tavsiye edilen değerlerdeki suların kullanımı, ekipmanın korunması ve işletme ve bakım maliyetlerinin düşürülmesi açısından önemlidir. Aynı zamanda olası arızalarından önüne geçilmesi suretiyle, üretim verimliğinin azaltılmaması sağlanmış olur.

Su Sıcaklığı: $T < 45^{\circ}\text{C}$

PH Değerleri: $6,5 < \text{PH} < 12$

Toplam Sertlik: $3 < \text{Alman Sertliği} < 30$

Demir İçeriği: $\text{Fe} < 0,2 \text{ mg/l}$

Magnezyum İçeriği: $\text{Mn} < 0,05 \text{ mg/l}$

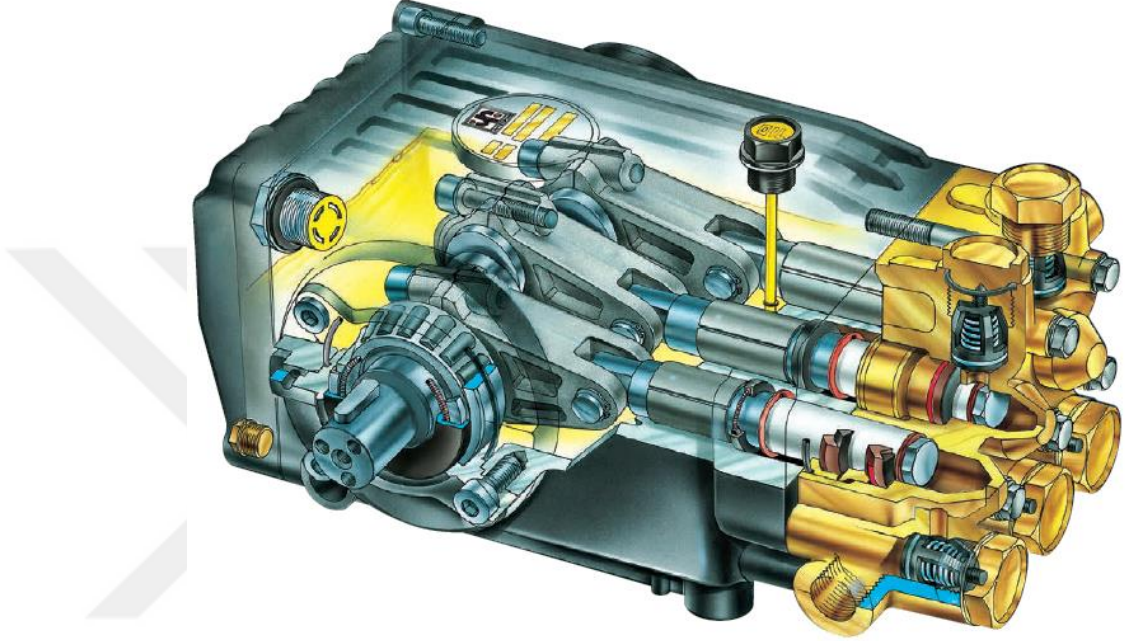
Klor İçreği: $\text{Cl} < 100 \text{ mg/l}$

Sülfat İçeriği: $\text{SO}_4 < 100 \text{ mg/l}$

İletkenlik: $C < 1000 \mu\text{S/cm}$

3.2 Pompa İstasyonu

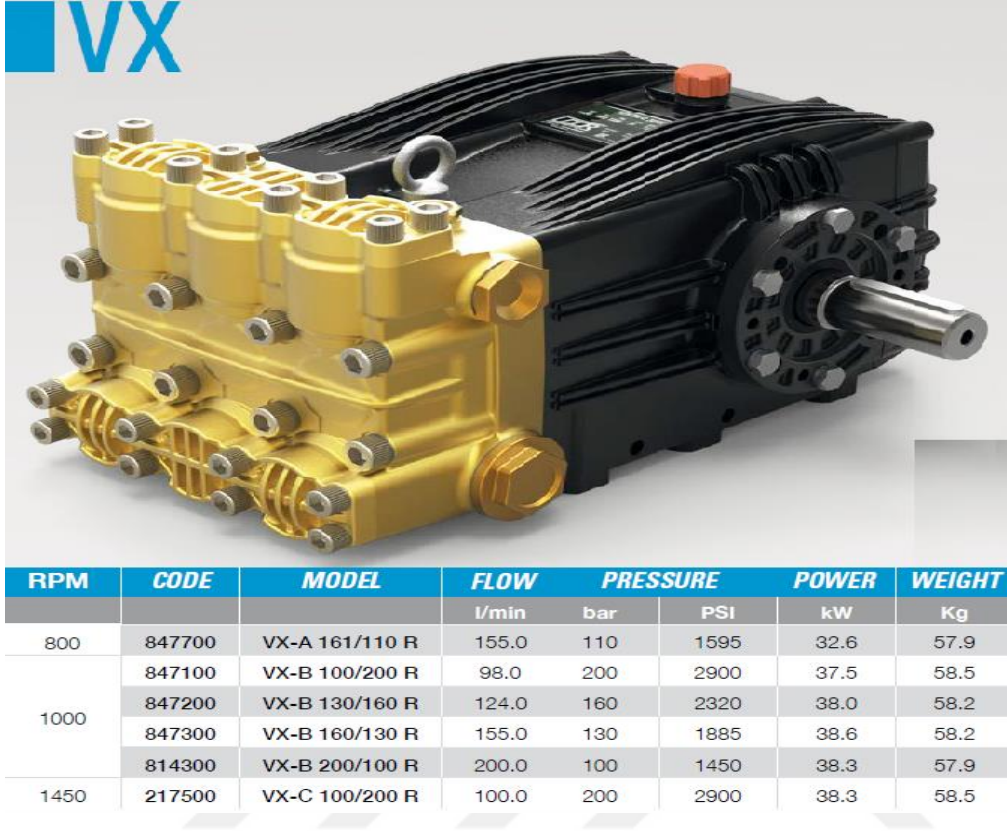
Tufal kaldırma sistemlerinde en az 80 bar basınca sahip yüksek basınç pompaları kullanılır. Maksimum basınç değeri 1000 bar değerlerine kadar ulaşabilir. Bu pompalar tip olarak pistonlu pompa grubuna girer (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Yüksek basınçlı su pompasının iç yapısı (Interpump Group S.p.A.)

Pompanın birim zamanda basabileceği su hacmi yani debisi, silindir sayısı ve hacmiyle doğru orantılıdır. Üretici firmaların kataloglarında pompanın debisi (cc/dev), maksimum basıncı (bar) ve birim zamandaki maksimum devir sayısı değerleri mevcuttur (Şekil 3.4).

Pompaların maksimum basınçlarının üzerine çıkmaması için basınç emniyet vaflerinin basınç ayarı yapılır (Şekil 3.5). Ayarlanan basıncın üzerine çıkılması durumunda pompanın zarar görmemesi için fazla su tahliye edilir. Bu tip pompaların yağlama şekilleri sıçratmalı yağlamadır. Dolayısıyla üreticinin pompa kullanma kılavuzunda yağlamanın sağlıklı bir şekilde gerçekleşmesi için belirlediği minimum çalışma devrinin altında çalıştırılmamalıdır. Aksi takdirde pompanın arızalanması söz konusu olabilir.



Şekil 3.4 Yüksek basınçlı su pompası devir, debi, basınç gösterimi (Udor S.p.A., VX modeli)



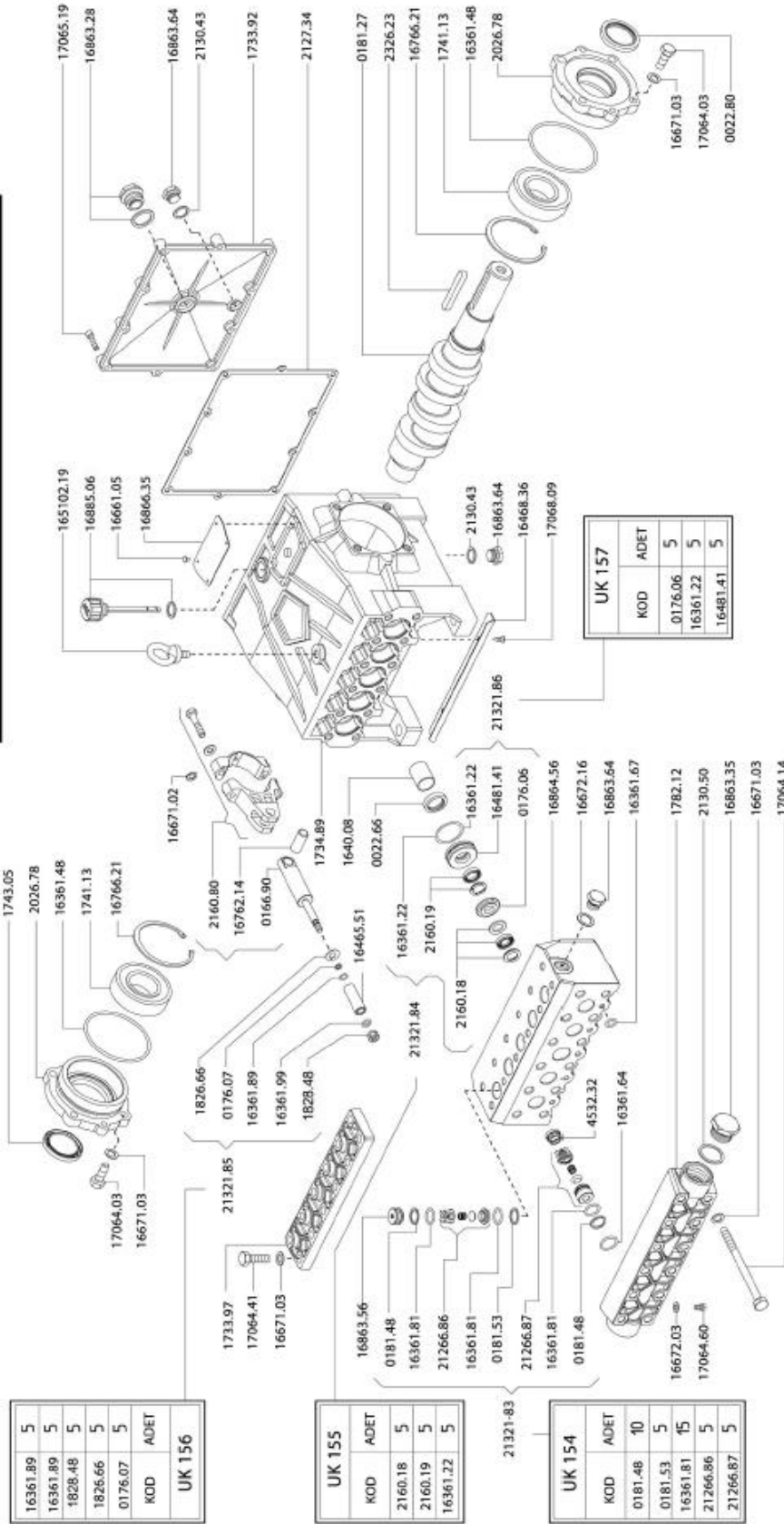
Teknik Bilgi:

Maksimum Çalışma Basıncı: 500 Bar
Debi : 80 lt/dak

Şekil 3.5 Basınç emniyet valfi (Kamat Ltd. Şti.)

Tufal kaldırma işlemi, malzemenin sistem içerisinde geçtiği süre zarfında gerçekleştirilir. Bu değer tasarımın yapılacağı tesiste mamul bazında değişkenlik göstermekle beraber ortalama 10 saniye çalışma, 60 saniye durma şeklindedir. Böylece hem su hem de enerjiden tasarruf sağlanmış olunur. Aynı zamanda pompanın da ömrü daha uzun olur. Bu kapsamda tufal sıyırma işleminin sadece malzemenin geçişi esnasında yapılması pompanın işletme maliyetlerini düşürmektedir.

Pompanın katalog değerlerine göre belli çalışma saatinden sonra yağının ve yüksek ve düşük basınç keçelerinin değişmesi gerekmektedir. Ayrıca emme ve basma sübaplarına da zaman içerisinde sudaki çökelmiş eriyikler birikebilir. Eğer belirli periyotlarla bakımı yapılmazsa piston kitlenebilir ve piston ve krank-biyel mekanizması zarar görebilir. Bu değişimler zamanında yapılmazsa pompada daha yüksek maliyetlerde arızalara sebep olabilir. Dolayısıyla pompanın periyodik bakım ve arıza durumlarında değişecek parçalarının yedek olarak tutulması gerekir. Şekil 3.6'da bir tufal sıyırma pompasının patlatılmış resmi görülmektedir. Pompanın tamir takımları resimdeki kodlara göre sipariş edilerek hazır tutulmalıdır.



Şekil 3.6 Yüksek basınç su pompası patlatılmış resmi (Kamat Ltd. Şti.)

Pompanın verimli bir şekilde yağlama yapabilmesi için belli bir devrin altına düşülmemesi gerektiğinden yukarıda bahsedilmişti. 10 saniye çalışma ve 60 saniye durma şeklinde pompanın dur-kalk şeklinde çalışması pompanın sağlıklı bir şekilde çalışması üretici firmalar tarafından tavsiye edilmez. Bu zorluğu aşmak için pompaların basınç hatlarına pnömatik veya elektrik ile yön değiştiren 3 yollu vanalar (Şekil 3.7) adapte edilmektedir. Malzeme tufal kaldırma sisteminin içinden geçerken vana, pompadan nozula su besleyecek pozisyona geçirilir. Nozulların meme yapısından dolayı basınç yükselir ve tufal kaldırma işlemi gerçekleştirilir. Bu üç yollu vanaların maksimum basıncı pnömatik basınç ayar valfleri ile ayarlanabilir. Pompanın bastığı su debisinin tamamı belirlenen basınçta kullanılmıyorsa suyun fazlası pompa besleme tankına geri gönderilir. Malzeme tufal kaldırma sisteminden geçtikten sonra 3 yollu vana pompadan besleme tankına pozisyonlanır ve tufal kaldırma sistemine su geçişi olmaz. Bu esnada su nozul gibi bir orifis direncine maruz kalmadığı için pompa basıncı sıfıra yakın bir değerdedir. Bu süre zarfında pompa devri üreticinin tavsiye ettiği minimum devre düşürülür. Bu operasyonlar sayesinde hem su ve enerji tasarrufu sağlanmış hem de pompa ömrü uzamış ve işletme maliyetleri azaltılmış olur.



Teknik Bilgi:

Hava Kısım

- Maksimum 8 Bar

Su Kısım

-Maksimum : 500 Bar/80 lt/dak

-Giriş,Çıkış,by-Pass : 1/2G"

Şekil 3.7 Pnömatik kontrollü oransal 3 yollu vana (Kamat Ltd. Şti.)

Üç yollu vananın pozisyon zamanlaması otomasyon sistemi vasıtasıyla gerçekleşir. Ocaktan çıkan kütük bir sensör vasıtasıyla algılanır. Kütüğün sensörden tufal kaldırma sistemine varış süresi hesaplanır. Bu zaman farkı otomasyon sistemine tanımlanarak üç yollu vananın suyu tufal kaldırma sistemine gönderecek şekilde pnömatik valfe sinyal gönderilir. Kütüğün boyuna ve hızına göre kütüğün tufal kaldırma sisteminden geçiş süresi hesaplanır. Bu sürenin sonunda valfe giden sinyal kesilerek suyun üç yollu vanadan besleme tankına basılması sağlanır. Bu esnada su basıncı düşükken yani su besleme tankına

basılırken pompa devri minimumdur. Su tufal kaldırma sistemine basılırken pompa devri nominal çalışma devrine yükseltilir. Otomasyon sisteminin bu şekilde çalıştırılması sürücüler vasıtasıyla gerçekleştirilir.

Tufal kaldırma pompalarının besleme sularının düşük iletkenliğe, sertliğe ve sıcaklığa sahip olması gerekir. Ayrıca su içinde 50 mikrondan daha büyük partikül olması istenmez. Yüksek iletkenlik ve sertliğe sahip suda sıcaklığın da etkisiyle kalsiyum karbonat çökeltileri oluşur. Bu kireç olarak tabir edilen çökeltiler pompanın seramik pistonlarına ve sübaplarına çökmesi sonucunda pompanın arızalanmasına sebep olacaktır. Bu yüzden suyun kum filtresi, kartuş filtre, ters ozmos gibi şartlandırma ünitelerinden geçerek pompanın beslenmesi çok önemlidir.

Tufal kaldırma pompa ünitesinde bulunması gereken bir diğer ekipman da kavitasyon pompasıdır. Pistonlu pompalar çarklı pompalara göre daha karmaşık yapıya sahip, pahalı pompalardır. Pistonlu pompaların su beslemesinin yeterli olmadığı durumlarda, suyun havayla karışık olarak emilmesi durumunda pompanın zamanla korozyona uğrayacaktır. Pompa girişine su beslemesinin yetersiz olmasının bir diğer sakıncası, pompanın kuru çalışması neticesinde pistonlara ve basınç keçelerinin zarar görecektir. Bu risklerin ortadan kaldırılması için besleme tankından suyun bir kavitasyon pompasıyla emilip tufal kaldırma pistonuna basılması gerekmektedir.

Pompalama ünitesinde pompayı tahrik edecek motorun seçimi de çok önemlidir. Motor seçimi yapılırken iki önemli parametre vardır; birim zamandaki devir sayısı (dev/dak) ve güç (kW). Devir sayısı belirlenirken, seçilen pompa için üreticinin tavsiye ettiği nominal devir sayısı dikkate alınır. Motor gücü pompanın maksimum debisine ve basıncına göre seçilir.

3.3 Kolektör Nozul Ünitesi

Tufal kaldırma sistemlerinin bu kısmı nozullardan, nozulları besleyen kolektörden ve pompadan çıkan basınçlı suyla kolektörü besleyen boru tesisatından oluşmaktadır.

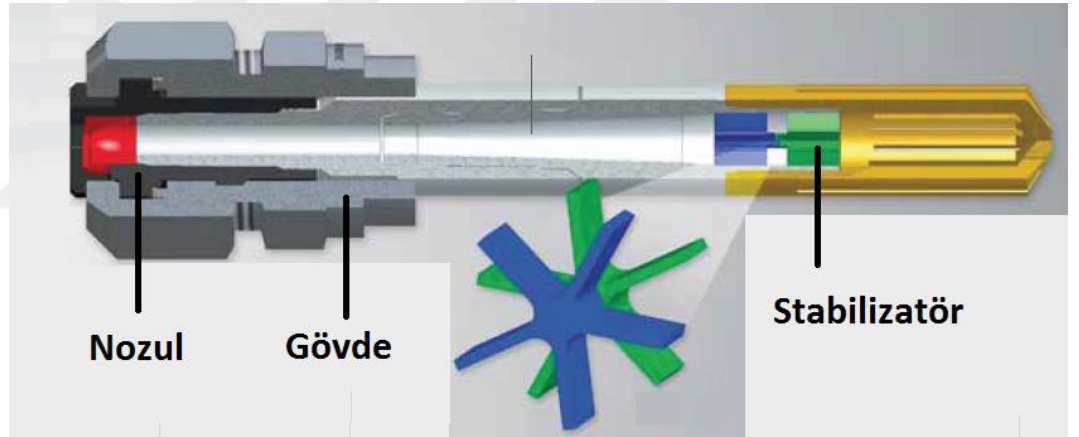
3.3.1 Nozullar

Tufal kaldırmada kullanılan yüksek basınç nozulları kısaca jet nozul olarak ta adlandırılır. Başlıca iki tipi vardır;

- a) Yelpaze Nozul
- b) Orbital Nozul

3.3.1.1 Yelpaze Nozul

Yelpaze nozullar orbital nozullara göre daha yaygın kullanıma sahiptir. Genellikle üç ana parçadan oluşur; gövde, stabilizatör ve nozul (Şekil 3.8). Gövde, nozul ve stabilizatörü bir arada tutup ana su kolektörüne bağlayan parçadır.



Şekil 3.8 Yelpaze Nozul İç Yapı Görünüşü (Spraying System Co., 2013)

Stabilizatör, türbülans şeklinde bir akışa sahip olan suyu stabilize ederek akış çizgilerinin doğrusallaştırılması amacıyla kullanılır. Girişinde ızgara şeklinde bir yapı vardır. Bu sayede nozul memesini tıkayabilecek parçacıkların nozula girmesi engellenir.

Nozul, yelpaze nozul sistemindeki ana parçayı oluşturur. Stabilizatörden geçen düzgün akışlı su, araştırmalar neticesinde üretici firmalar tarafından optimize edilen nozul içine girer. Nozulun için daralan bir yapıdadır. Nozulun ucunda nozul memesi bulunur. Bu aşamada su istenilen açılarda yelpaze formunu alarak nozulu terk eder. Yelpaze nozullar genellikle 22, 26, 30 ve 40 derecelik açığa sahiptir. Nozul malzemesi de genellikle AISI420 paslanmaz çelik yada

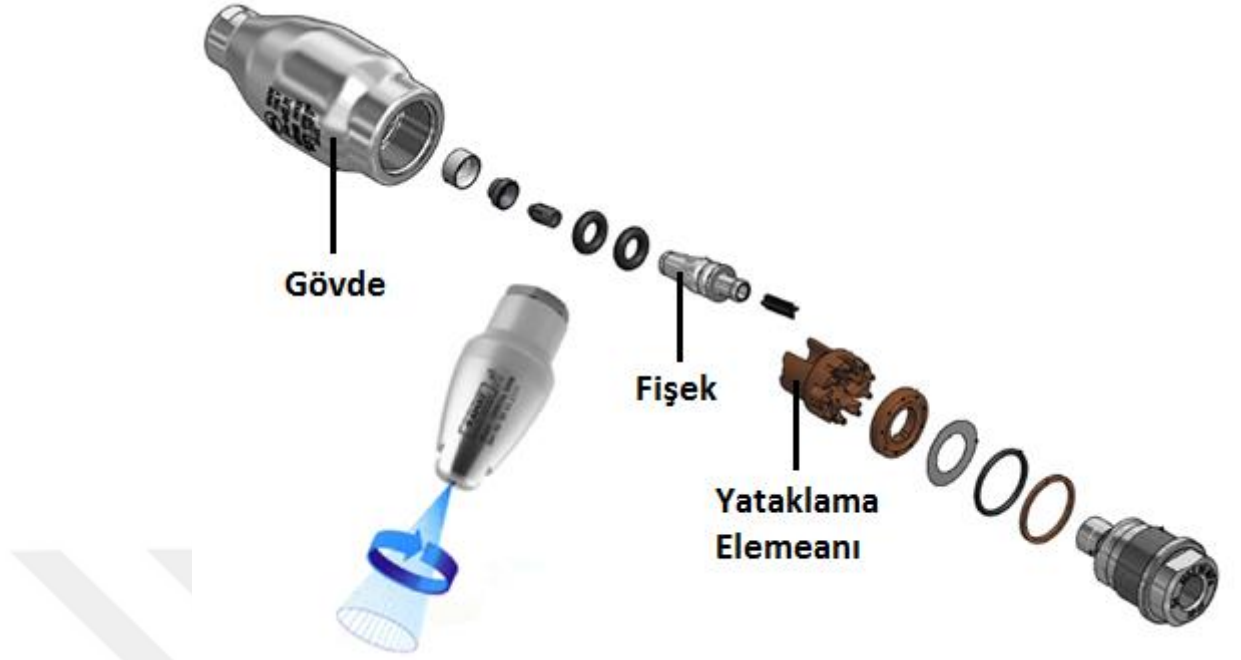
tungsten karpit malzemedan üretilir. Her iki malzemenin de ortak özelliği yüksek sertliğe sahip olmasıdır. Bu sayede nozul memeleri daha uzun ömürlü olur. Gövdeler ise genellikle AISI303 paslanmaz çelikten imal edilirler. Bu malzeme yüksek basınca dayanıklı ve korozyona karşı dirençlidir. Üreticilerin yayınladığı kataloglarda nozulun belirlenen basınçta (bar) ne kadar su debisini (lt/dk) geçireceği bilgisi verilir. Bu tip nozulların ilk yatırım maliyetleri düşüktür. Nozul memesi zamanla deforme olduğunda komple değiştirilir.

3.3.1.2 Orbital nozul

Orbital nozullar suyu çizgisel doğrultuda verirken aynı zamanda dairesel hareket yapan bir yapıya sahiptir. Bu tip nozulların yapısı daha karmaşık olup fişek, gövde ve yataklama elemanlarından oluşur (Şekil 3.9).

Fişek içine giren suyu dışarı çizgisel doğrultuda verirken aynı zamanda gövde içerisinde dönüş hareketi gerçekleştirir. Bu hareket neticesinde koni şeklinde bir su demeti oluşur. Dönüş sayısı o kadar yüksektir ki sanki koni şeklinde su veriyor gibi görünür. Orbital nozulların avantajı, basılan suyun çizgisel şekilde olmasından dolayı kesit alanı çok küçük olduğu için yüksek darbe basınçları meydana getirmesidir. Bu yüksek darbe çok daha az su kullanılarak gerçekleştirilir. Dezavantajı ise ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Sık bakım gerektirir. İçerisindeki fişek yüksek hızlı dönme hareketi yaptığından dolayı belirlenen zaman periyotlarında bakımlarının yapılması gerekmektedir. Fişegin gövdeye ve yataklamaya dayandığı yerler aşınmaya dayanıklı tungsten karpit malzemedan yapılır. Bu malzemeler bir süre sonra aşınır ve değiştirilmesi gerekir.

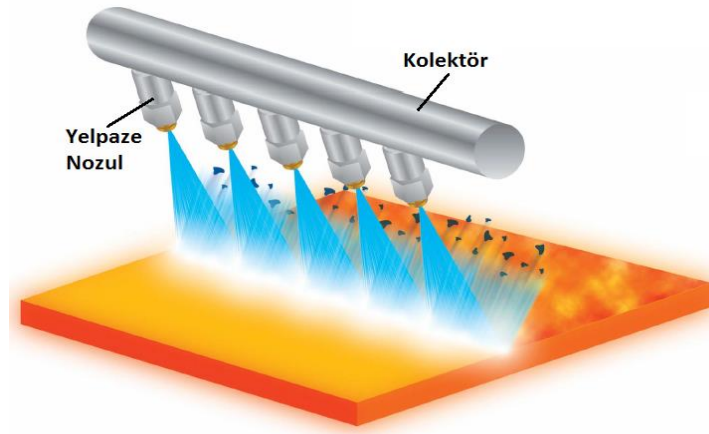
Orbital nozullar su kalitesinin yüksek fakat debisinin az olduğu yerlerde kullanılmaya daha uygundur. Bu yüzden yelpaze nozullar kadar kullanımı yaygın değildir.



Şekil 3.9 Orbital nozul patlatılmış resmi (Kamat Ltd. Şti.)

3.3.2 Nozul kolektörü

Nozul kolektörleri, pompadan basılan suyun nozullara aktarılmasında kullanılır. Tasarımı yapılmadan önce kullanılacak nozul sayısı tespit edilmelidir. Nozulların avans ve telafi açıları ile nozul mesafeleri kolektör üzerinden verilir. Kolektörün çapı kullanılacak nozula bağlıdır. Orbital nozullarda stabilizatör olmadığında 1" çap bile yeterli olmaktadır. Yelpaze nozullarda ise stabilizatörün uzunluğuna göre kolektörün çapı 3" değerlerine kadar çıkabilir. Kolektörün uzunluğu nozul sayısı ve nozul aralığına göre belirlenir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Kolektör-nozul sistemi (H. Ikeuchi & Co.)

4. TUFAL KALDIRMA SİSTEMİ TASARIMI

Hidrolik tufal kaldırma işlemi, yüksek basınçlı suyun kütük üzerindeki tufal tabakasına çarparak uyguladığı darbe basıncı sayesinde tufalın ortamdan uzaklaştırılması prensibine dayanır. Dolayısıyla tasarlanacak olan tufal kaldırma sisteminin yeterli darbe basıncı kütük üzerinde oluşturması gerekmektedir. Darbe basıncı aşağıdaki formülle hesaplanabilir;

$$I = \frac{F}{A} \quad (4.1)$$

Burada F kütük yüzeyine çarpan suyun uyguladığı toplam darbe kuvvettir. A ise suyun çarpma yüzey alanını ifade eder. Uygulanan darbe kuvveti F aşağıdaki şekilde hesaplanabilir;

$$F = \frac{d}{dt}(m \cdot v) \quad (4.2)$$

Bernoulli prensibine göre su basıncının sabit olduğu kabul edilirse ve nozul memesiyle kütük arasındaki mesafenin küçük olmasından dolayı potansiyel enerji değişimi ihmal edilirse suyun çizgisel hızının değişmediği kabul edilebilir. Dolayısıyla Denklem 4.2 aşağıdaki gibi basitleştirilebilir;

$$F = \dot{m}v \quad (4.3)$$

$$\dot{m} = \rho \dot{V} \quad (4.4)$$

Aşağıdaki denklem Bernoulli denkleminin potansiyel enerji değişiminin ihmal edilmesiyle elde edilir. Eşitliğin sol tarafı suyun nozul memesini terk ettiği anı, sağ tarafı ise suyun kütük yüzeyine çarptığı anı ifade eder.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 \quad (4.5)$$

Suyun nozulu terk ettiği an basıncın ve kütük yüzeyine çarptığı an da hızın sıfır olduğu göz önüne alınırsa eşitlik aşağıdaki şekli alır;

$$P = \frac{1}{2}\rho v^2 \quad (4.6)$$

$$v = \sqrt{2P/\rho} \quad (4.7)$$

Denklem 4.3, 4.6 ve 4.7 düzenlenirse;

$$F = \dot{V} \sqrt{2P\rho} \quad (4.8)$$

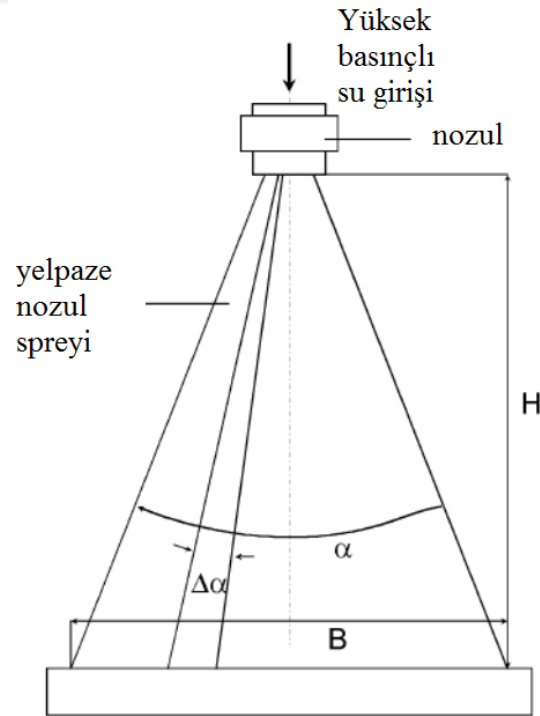
Denklem 4.8 P basıncında ve V debisinde su basan bir pompanın kütük yüzeyinde oluşturduğu toplam darbe kuvvetini ifade eder.

Darbe basıncının kütük yüzeyine çarpan suyun kütüğe uyguladığı kuvvetin suyun çarptığı yüzey alanına oranına eşit olduğu Denklem 4.1’de ifade edilmişti. Yüzey alanı ne kadar küçük olursa darbe basıncı o kadar artacaktır.

Yelpaze nozullar için alan Denklem 4.9 ile hesap edilebilir.

$$A = 2tH' \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (4.9)$$

$$H' = H / \cos\beta \quad (4.10)$$



Şekil 4.1 Yelpaze nozul spreynin geometrik modeli

su kullanıldığı takdirde zamanla boru tesisatlarında ve özellikle eşanjörlerde kireç oluşumundan kaynaklı olarak tıkanmalar meydana gelecektir. Benzer şekilde ocak giriş ve çıkış röle soğutma suları doğrudan kaynaktan alındığı gibi kullanıldığı takdirde zamanla boru hatlarında tıkanma meydana gelecek ve rölelerde su akışı kesildiği takdirde rölelerde çok ciddi hasarlar meydana gelecektir. Soğutma platformunda fiske sistemleri ile malzemeler soğutulmaktadır. Fiske sisteminde de suyu daha verimli kullanmak için suyu pulvarize eden nozullar kullanılmaktadır. Bu bölgede de su şartlandırmadan kullanıldığı takdirde nozullarda tıkanma meydana gelmektedir. Fabrika içme suyu ihtiyacını da ters ozmos sisteminden karşılanmalıdır. Özetle, bahsedilen tüm bu sistemlerde ters ozmos sisteminden elde edilen suyun kullanılması gerekmektedir. Eşanjör hatları, röle soğutma hatları ve malzeme soğutma hatları ters ozmos suyundan elde edilen ürün suyu tankından beslenmektedir. Bu su sistemi devir daim şeklinde çalışmakta olup soğutma kulelerinde su buharlaşarak kaybolmaktadır. Aşağıdaki listede buharlaşarak kaybolan ve dolayısıyla ozmos tarafından beslenmesi gereken su miktarları verilmiştir.

- Otomatik Paketleme Hidrolik Ünite Eşanjörü (~5t/h)
- Ocak Hidrolik Ünite Eşanjörü (~5t/h)
- Yatay-Dikey Masa Hidrolik Ünite Eşanjörü (~5t/h)
- Hazırlama Redüktör ve 3'lü Kutu Eşanjörü (~5t/h)
- Ocak röleleri soğutma su debisi (~15t/h)

$$Q = mc\Delta t \quad (4.11)$$

$$V_{kay} = 0,00153 \cdot Q \quad (4.12)$$

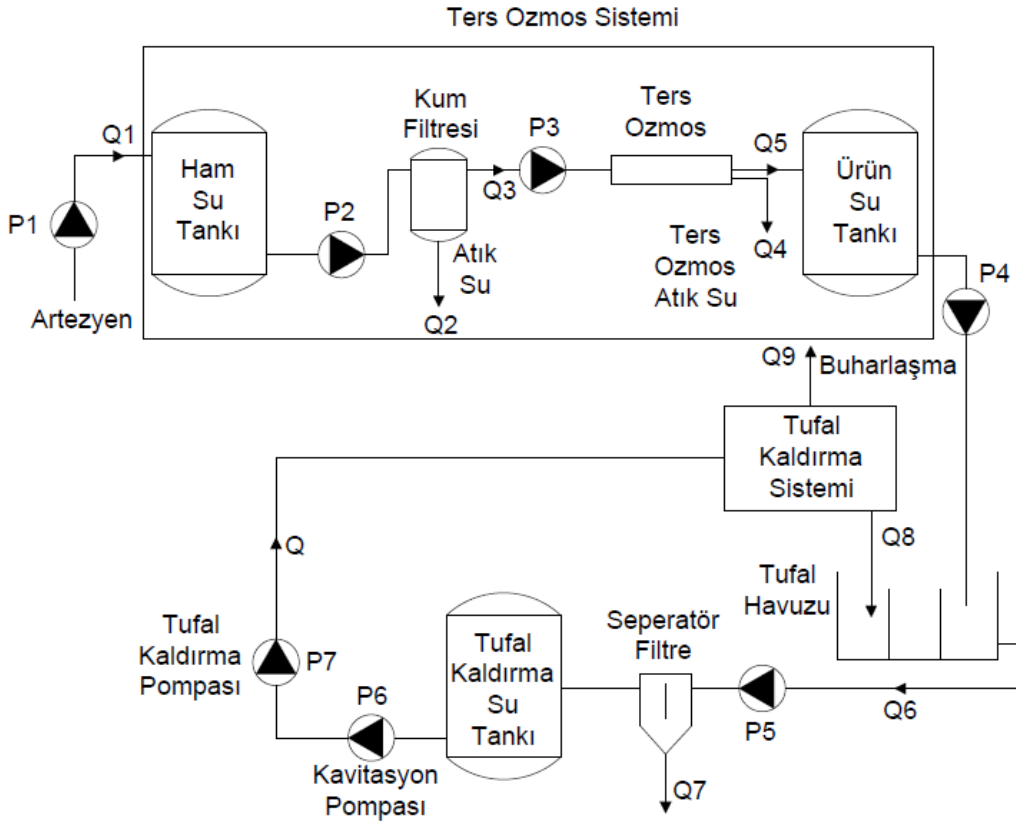
Eşanjör ve ocak içi röle hatlarda dolaşan su debisi toplamda 70t/h olup bu değer %2'si soğutma kulelerinde buhar olarak kaybolmaktadır. 16,8 ton/gün su kaybı yaşanmaktadır.

- Soğutma suyu ihtiyacı 16,8 t/gün
- İçme suyu günlük ihtiyacı 10 t/gün

Mevcutta bulunan ters ozmos sistemi 60 ton/gün kapasitesindedir. Toplam kapasiteden mevcut kullanım çıkarıldığında kurulacak tufal kaldırma sistemi için kullanılacak maksimum su miktarı belirlenmiş olacaktır.

- Tufal sıyırmaya kullanılacak su miktarı: 33,2 t/gün

Şekil 4.3'te tufal kaldırma sistemi için tasarlanan su ünitesinin akış diyagramı gösterilmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere biri açık, diğeri kapalı olmak üzere iki çevrim söz konusudur. Açık çevrimde, artezyenden çekilen su bir ham su tankında depolanır. Ters ozmos ürün suyu tankında su belirlenen bir seviyenin altına düştüğünde ters ozmos sistemi çalışmaya başlar. Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi ters ozmos sisteminde üretilen su ürün suyu tankında depolanır. Tufal sıyırma pompasını besleyen havuzda su belirlenen seviyenin altına düştüğünde ürün suyu tankından su çekilerek seviye tamamlanır. Kapalı çevrimde ise tufal kaldırma besleme havuzundan çekilen su seperatör filtreden geçirilerek sudaki tufal parçacıklarından ayrılır. Bu su tufal kaldırma su tankını beslemektedir. Tufal kaldırma sisteminde kütük geçtiği esnada tufal kaldırma pompası devreye girerek tanktan su emilerek nozullara verilir. Yüksek basınç nozulları kütük yüzeyindeki tufalları kazıması sonrasında su ve tufallar havuza dökülür.



Şekil 4.3 Su tesisi P&ID diyagramı

Tufal havuzu perdelerle bölümlere ayrılmıştır. Tufal sudan daha ağır olduğu için birinci bölmede dibe çöker. Birinci bölmeden taşan su ikinci bölmeyi doldurur. İkinci bölmeye kaçan az miktardaki tufal da bu bölmede çöker. İkinci bölmeden taşan su üçüncü bölmeyi doldurur. Bu bölümde tufal parçacıkları en aza indirilmiştir. Pompanın çektiği suda olası tufal partikülleri seperatör filtrede tutularak, tufal kaldırma su tankına katı partikül içermeyen su verilmiş olur.

Su tesisinde su kaybı yaşanan 4 bölge vardır. Bunlar, ters ozmos sistemi kum filtresi ters yıkama tahliyesi Q_2 , ters ozmos atık suyu Q_4 , seperatör filtre tahliyesi Q_7 , kütük yüzeyinden buharlaşan su Q_9 'dur. Sistemden deşarj edilen su miktarı bu değerin toplanmasıyla bulunur. Bu tahliye edilen toplam su miktarı artezyenden çekilerek karşılanır.

Ters ozmos sistemi tarafından karşılanacak su miktarları Q_7 ve Q_9 değerlerini toplayarak elde edilir. Yukarıda hesaplandığı gibi bu değer 33,2 ton/gün değerinin geçmemelidir. Dolayısıyla tufal kaldırma suyu pompa kapasitesi belirlenirken bu kriter dikkate alınacaktır.

Denklem 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 ve 4.17 kontrol hacmine giren ve çıkan suyun eşitliği prensibine göre elde edilir.

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (4.13)$$

$$Q_3 = Q_4 + Q_5 \quad (4.14)$$

$$Q_6 = Q_5 + Q_8 \quad (4.15)$$

$$Q_6 = Q_7 + Q \quad (4.16)$$

$$Q = Q_8 + Q_9 \quad (4.17)$$

Denklem 4.18, 4.19, 4.20 ve 4.21 sistemden eksilen suyu ifade eder. Burada k katsayıları kontrol hacmine giren suyun atılma oranını ifade eden katsayılardır.

$$Q_2 = k_{kf} Q_1 \quad (4.18)$$

$$Q_4 = k_{to} Q_3 \quad (4.19)$$

$$Q_7 = k_s Q_6 \quad (4.20)$$

$$Q_9 = k_b Q \quad (4.21)$$

İlgili denklemlerden tufal kaldırma sisteminde kullanılacak su debisine bağlı olarak su tesisinin kritik bölgelerindeki su debileri hesaplanabilir.

$$Q_1 = \frac{(k_s + k_b - k_s k_b)}{(1 - k_{kf})(1 - k_{to})(1 - k_s)} Q = K_1 Q \quad (4.22)$$

$$Q_2 = \frac{k_{kf}(k_s + k_b - k_s k_b)}{(1 - k_{kf})(1 - k_{to})(1 - k_s)} Q = K_2 Q \quad (4.23)$$

$$Q_3 = \frac{(k_s + k_b - k_s k_b)}{(1 - k_{to})(1 - k_s)} Q = K_3 Q \quad (4.24)$$

$$Q_4 = \frac{k_{to}(k_s + k_b - k_s k_b)}{(1 - k_{to})(1 - k_s)} Q = K_4 Q \quad (4.25)$$

$$Q_5 = \frac{(k_s + k_b - k_s k_b)}{(1 - k_{kf})(1 - k_s)} Q = K_5 Q \quad (4.26)$$

$$Q_6 = \frac{1}{(1 - k_s)} Q = K_6 Q \quad (4.27)$$

$$Q_7 = \frac{k_s}{(1 - k_s)} Q = K_7 Q \quad (4.28)$$

$$Q_8 = (1 - k_b) Q = K_8 Q \quad (4.29)$$

$$Q_9 = k_b Q = K_9 Q \quad (4.30)$$

Burada en kritik olan debi değeri, Denklem 4.26 ile ifade edilen ters osmozdan çekilen su debisidir. Yukarıda hesaplandığı gibi mevcut ters ozmos sisteminden günlük 33,2 ton su besleme kapasitesi mevcuttur. Tufal kaldırma sistemi tasarım aşamasında kullanılacak toplam su debisinin maksimum değerini bu parametre belirleyecektir.

4.2 Tufal Kaldırma Nozul-Kolektör Sistemi Tasarımı

Hammadde olarak kullanılan kütüğün ebatları üretilecek mamule göre 130x130 kesitten 260x260 kesite kadar çeşitlilik göstermektedir. Kullanılacak nozul sayısını ve kütüğe göre yerleşimini belirlemek için kullanılacak en büyük ebatlı kütük kesiti temel alınmalıdır. Dolayısıyla tasarım yapılırken 260x260 ebatlarındaki kütüğe göre hesap yapılmıştır.

Kütüğün dört yüzünde de tufal oluşumu meydana geleceği göz önüne alındığında nozulların yerleşimi yapılırken bir yüzeye göre tasarım yapılarak diğer yüzeylere simetrik yerleştirileceği kabul edilebilir.

Bundan sonraki aşamada kullanılacak nozul tipi, nozul adedi, nozul yüzey arası düşey mesafe ve pompa basıncı belirlenmelidir. Bu parametreler belirlenirken pompa ve nozul üreticilerinin yayınladıkları kataloğlardan yararlanılır.

4.2.1 Darbe basıncı (I)

Tufal kaldırma işlemindeki en önemli parametrelerden birinin darbe basıncı olduğu önceki bölümlerde belirtilmişti. Bu değer yapılan deneysel çalışmalar neticesinde minimum 0,7 MPa olduğu kabul edilmektedir. Denklem 4.1, Denklem 4.8, Denklem 4.9 ve Denklem 4.10 düzenlendiğinde darbe basıncı denklemi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$I = \frac{F}{A} = \frac{\dot{V}\sqrt{2P\rho} \cos^2 \beta}{2tH \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (4.31)$$

Denklem 4.31 birimleri ve sabit katsayıları düzenlendiğinde Denklem 4.32 elde edilir.

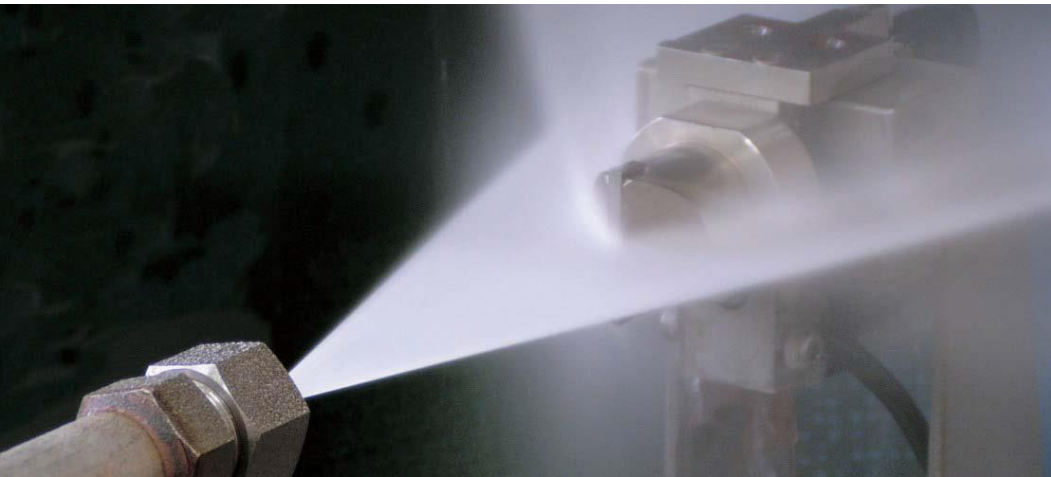
$$I = \frac{0,236 Q\sqrt{P} \cos^2 \beta}{2tH \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (4.32)$$

I [MPa]	Darbe basıncı
Q [lt/dak]	Su debisi
P [bar]	Su basıncı

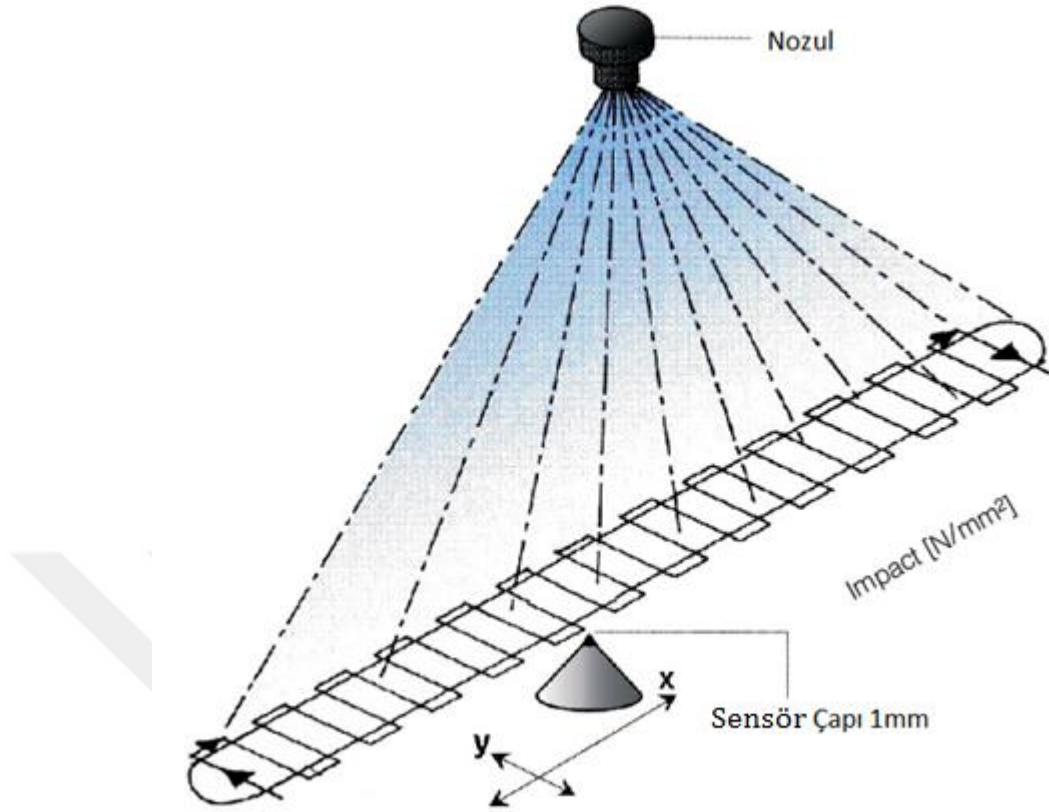
H [mm]	Nozul yüksekliği
α	Sprey açısı
β	Avans açısı

Tufal kaldırma sistemlerinde darbe basıncı tufalın kazanmasındaki en önemli parametredir. Darbe basıncı, su basıncının kareköküyle ve su debisiyle doğru orantılıdır. Dolayısıyla 0,7 MPa olan minimum darbe basıncı değerinin üstünde darbe basıncı oluşturmak daha iyi bir tufal kaldırma etkisi oluşturmayacaktır. Fakat olması gerekenden daha yüksek bir su basıncı ve debisiyle sistem tasarlamak enerji sarfiyatını arttıracaktır. Aynı zamanda su kaynağı ihtiyacını da arttıracaktır. Bu yüzden minimum darbe basıncına yakın değerlerde sistem tasarlamak enerji verimliliği ve doğal kaynakların daha verimli kullanılması açısından çok önemlidir. Darbe basıncını etkileyen parametreler ilerleyen bölümlerde açıklanacaktır.

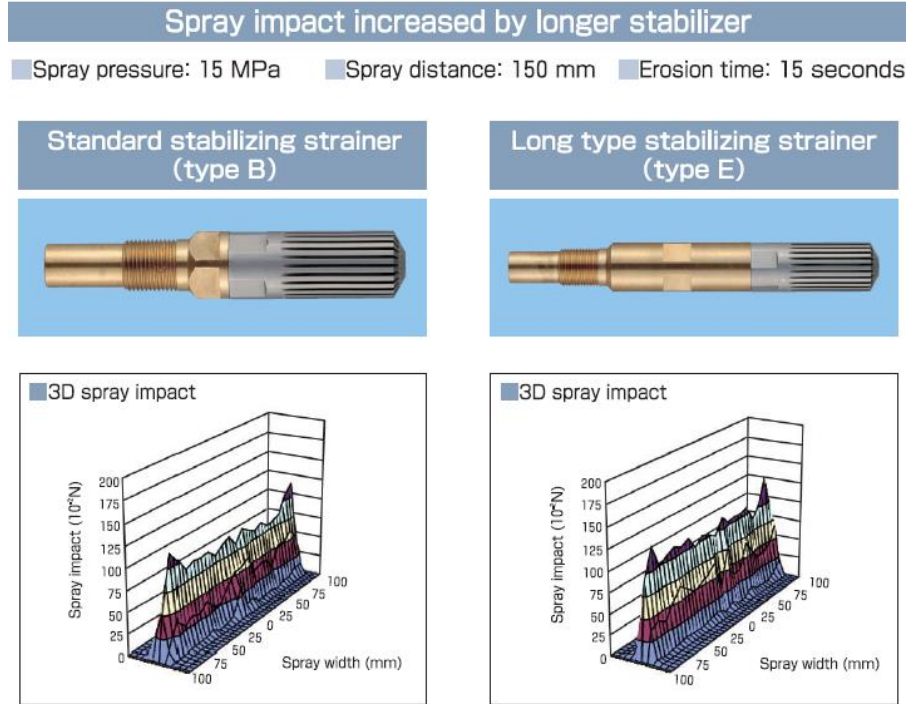
Nozulların darbe basıncını test etmek için aşağıdaki gibi test düzeneği kullanılır. Belirli bir debide, basınçta ve nozul yüksekliğinde nozula su verilir. Su damlacıklarının oluşturduğu darbe basıncını ölçmek için 1mm çapında basınç sensörü kullanılmaktadır (Şekil 4.4). Basınç sensörü sprej alanının tamamını tarayarak 3 boyutlu bir darbe basıncı grafiği elde edilmiş olur (Şekil 4.5). Nozul üreticileri bu ölçümler sayesinde geliştirdikleri nozulların ölçümlerini yaparak verimlilik artışları gözden geçirilir (Şekil 4.6).



Şekil 4.4 Sprej darbe basıncını ölçen düzenek (H. Ikeuchi & Co.)



Şekil 4.5 Darbe basıncı ölçme mekanizması şematik resmi (Lechler GmbH & Co.)



Şekil 4.6 Farklı tip yelpaze nozullardan elde edilen basınç darbe grafikleri (H. Ikeuchi & Co.)

4.2.2 Sprey kuvveti (F)

Sprey kuvveti, nozul memesi çıkışında, teorik olarak aynı basınç ve debideki bütün nozullar için aynıdır ve Denklem 4.33 ile ifade edilir (Şekil 4.7).

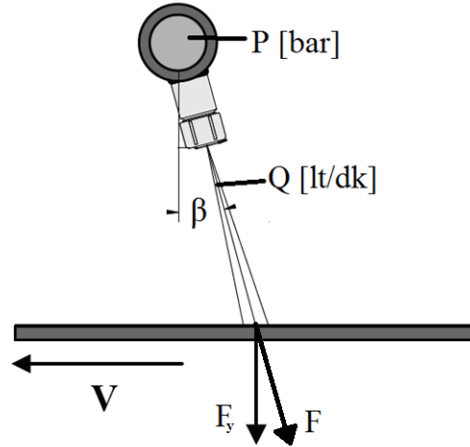
$$F = 0,236 Q\sqrt{P} \quad (4.33)$$

Tufal tabakasını kıran kuvvet spray kuvvetin düşey bileşenidir. Dolayısıyla darbe basıncını hesaplarırken kullanılan spray kuvveti Denklem 4.34'te gösterildiği gibi hesaplanabilir.

$$F_y = F \cos \beta \quad (4.34)$$

Denklem 4.33 ve Denklem 4.34 düzenlenirse spray kuvveti elde edilir.

$$F_y = 0,236 Q\sqrt{P} \cos \beta \quad (4.35)$$



Şekil 4.7 Nozuldan çıkan spreyn yüzeyde oluşturduğu kuvvetler

Bir nozulun üretebileceği teorik toplam kuvvet önemli bir parametredir. Çünkü spray kuvveti arttıkça darbe basıncı da doğru orantılı olarak artar.

Denklem 4.35'te de ifade edildiği üzere spray kuvveti su debisiyle ve su basıncının kareköküyle doğru orantılıdır. Su debisi genellikle işletmenin koşulları göz önüne alınarak hesaplanır. Doğal kaynakların verimli bir şekilde kullanılması

gerekliliğinden ve su şartlandırma sistemlerinin yatırım ve işletme maliyetleri yüksek olmasından dolayı işletmenin kaynakları göz önünde bulundurularak su ihtiyacı belirlenmelidir. Sprey kuvvetini oluşturan diğer bir etken olan su basıncı da pompa seçiminde etkili bir parametredir. Kullanılabilecek su debisi belirlendiğinde, istenen sprey kuvvetini elde etmek için yukarıdaki denkleme göre pompa basıncı bulunur ve üreticilerin kataloglarından istenen basınç ve debiye göre pompa seçimi yapılır.

Hesaplanan değer teorik sprey kuvvetidir. Nozul yüksekliği arttıkça su damlacıkları daha uzun mesafe kat ederler. Hava sürtünmesinden dolayı sprey kuvveti azalır. Bu yüzden teorik sprey kuvvetinin etkisini kaybetmemesi için nozul yüksekliği optimum değerde seçilmelidir.

4.2.3 Su basıncı (P)

Bir nozuldan geçen su basıncı pompa basıncına teorik olarak eşittir. Fakat kayıplardan dolayı hassas bir ölçüm yapmak için nozul kolektörüne manometre koyarak gerçek değer kolayca elde edilebilir.

Bir nozuldan hangi basınçta kaç litre su geçtiği o nozulun karakteristiğidir. Dolayısıyla sprey kuvveti hesaplanırken üreticilerin yayınladığı kataloglardan yararlanılır. Bu kataloglarda bir nozulun temel parametreleri olan basınç - debi ilişkisi ve sprey açısı verilir. Basınç - debi ilişkisinden sprey kuvveti Denklem 4.35'e göre hesaplanır. Sprey açısı da sprey alanını etkilediğinden nozul seçiminde bu parametre de çok önemlidir. Konunun daha iyi anlaşılması için Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de nozul üreticileri Ikeuchi ve Lechler marka jet nozulların katalog değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.1 Lechler marka yelpaze nozulların katalog bilgileri

Type				Material code	A ₀ [mm]	p = 100 bar (1450 psi)		p = 200 bar (2900 psi)		p = 400 bar (5800 psi)	
Code						[l/min]	[US Gall./min]	[l/min]	[US Gall./min]	[l/min]	[US Gall./min]
Spray angle											
22°	26°	30°	40°								
495	496	497	498	N3	1.50	12.00	3.17	16.97	4.50	24.00	6.34
535	536	537	538	N3	1.75	15.00	3.96	21.21	5.60	30.00	7.92
565	566	567	568	N3	2.00	18.00	4.76	25.46	6.73	36.00	9.52
605	606	607	608	N3	2.10	23.00	6.08	35.53	9.39	46.00	12.16
645	646	647	648	N3	2.50	28.00	7.40	39.60	10.46	56.00	14.80
685	686	687	688	N3	2.80	36.00	9.51	50.91	13.45	72.00	19.02
725	726	727	728	N3	3.00	45.00	11.89	63.64	16.81	90.00	23.78
765	766	767	768	N3	3.50	58.00	15.32	82.02	21.67	116.00	30.64
805	806	807	808	N3	3.80	72.00	19.02	101.82	26.90	144.00	38.04
845	846	847	848	N3	4.30	89.00	23.51	125.87	33.25	178.00	47.02
885	886	887	888	N3	4.70	112.00	29.59	158.39	41.85	224.00	59.18
-	906	907	908	N3	5.00	125.00	33.03	176.78	46.70	250.00	66.06
-	916	917	918	N3	5.20	134.00	35.40	189.50	50.07	268.00	70.80

Çizelge 4.2 Ikeuchi markasının TDSS serisi yelpaze nozulları katalog bilgileri

Spray Angle (°)			Spray Capacity							
10 MPa (1450 psi)	15 MPa (2175 psi)	20 MPa (2900 psi)	7 MPa (1015 psi)		10 MPa (1450 psi)		15 MPa (2175 psi)		20 MPa (2900 psi)	
			l/min	US Gall./min	l/min	US Gall./min	l/min	US Gall./min	l/min	US Gall./min
65°	65°	65°	25.3	6.68	30.2	7.97	37.0	9.77	42.7	11.28
65°	65°	65°	38.3	10.11	45.7	12.07	56.0	14.79	64.7	17.09
45°	45°	45°	10.2	2.69	12.2	3.22	15.0	3.96	17.3	4.57
44°	44°	44°	50.6	13.36	60.4	15.95	74.0	19.55	85.4	22.56
44°	44°	44°	60.8	16.06	72.7	19.20	89.0	23.51	103	27.21
40°	40°	40°	18.9	4.99	22.6	5.97	27.7	7.31	32.0	8.45
40°	40°	40°	38.3	10.11	45.7	12.07	56.0	14.79	64.7	17.09
40°	40°	40°	56.6	14.98	67.6	17.88	82.8	21.87	95.6	25.28
40°	40°	40°	75.8	20.00	90.6	23.91	111	29.32	128	33.81
38°	38°	38°	25.3	6.68	30.2	7.97	37.0	9.77	42.7	11.28
35°	35°	35°	56.6	14.98	67.6	17.88	82.8	21.87	95.6	25.28
35°	35°	35°	75.8	20.00	90.6	23.91	111	29.32	128	33.81
35°	35°	35°	94.3	24.96	113	29.85	138	36.45	159	42.27
32°	32°	32°	18.9	4.99	22.6	5.97	27.7	7.31	32.0	8.45
32°	32°	32°	30.1	7.95	35.9	9.48	44.0	11.62	50.8	13.42
32°	32°	32°	38.3	10.11	45.7	12.07	56.0	14.79	64.7	17.09
32°	32°	32°	44.4	11.73	53.1	14.02	65.0	17.17	75.1	19.84
32°	32°	32°	56.6	14.98	67.6	17.88	82.8	21.87	95.6	25.28
32°	32°	32°	75.8	20.00	90.6	23.91	111	29.32	128	33.81
28°	28°	28°	11.3	2.98	13.5	3.56	16.5	4.35	19.1	5.04
28°	28°	28°	15.0	3.96	18.0	4.75	22.0	5.81	25.4	6.71
28°	28°	28°	38.3	10.11	45.7	12.07	56.0	14.79	64.7	17.09
28°	28°	28°	56.6	14.98	67.6	17.88	82.8	21.87	95.6	25.28
28°	28°	28°	75.8	20.00	90.6	23.91	111	29.32	128	33.81
25°	25°	25°	38.3	10.11	45.7	12.07	56.0	14.79	64.7	17.09
25°	25°	25°	56.6	14.98	67.6	17.88	82.8	21.87	95.6	25.28
25°	25°	25°	75.8	20.00	90.6	23.91	111	29.32	128	33.81
25°	25°	25°	94.3	24.96	113	29.85	138	36.45	159	42.27
20°	20°	20°	56.6	14.98	67.6	17.88	82.8	21.87	95.6	25.28
20°	20°	20°	75.8	20.00	90.6	23.91	111	29.32	128	33.81

4.2.4 Toplam su debisi (Q_n)

Tufal kaldırma sistemi tasarımı yapılırken kuşkusuz en önemli kriterlerden biri birim zamanda kullanılacak su miktarıdır. Aşağıdaki formülle basit bir şekilde hesap edilebilir.

$$Q_n = 4 n Q \quad (4.36)$$

Q [lt/dk] Birim nozul su debisi

n Nozul sayısı

Bu formülle kütüğün bütün yüzeylerinde kullanılan nozullar hesaba katılmış olur. Tesisler kendi işletme şartlarını gözden geçirip buna göre tufal kaldırma sistemini çalıştırmak için gerekli su debilerini belirlemelidir. Kullanılacak toplam su debisi, doğal kaynakların verimli bir şekilde kullanımı göz önüne alınarak belirlenmelidir. Aşırı su tüketiminin enerji verimliliğini de azalttığı unutulmamalıdır.

4.2.5 Birim nozul su debisi (Q)

Darbe basıncına göre sistem tasarım yapılırken bir nozul için hesaplama yapılır. Seçilen basınç ve debide istenen darbe basıncı elde edildiği takdirde nozulların yerleşimi yapılarak toplam nozul sayısı hesaplanır. Daha sonra toplam su debisinin ihtiyacı karşılayıp karşılamadığı kontrol edilir. Eğer su debisi hesaplandıktan sonra yüksek çıkıyorsa nozul parametrelerini değiştirerek işlem tekrarlanır.

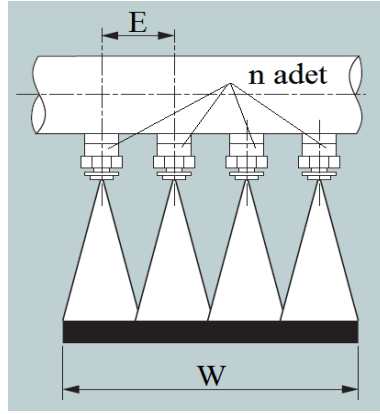
4.2.6 Nozul sayısı (n)

Nozul sayısı, yüzey genişliğine ve nozul aralığına bağlı olarak Denklem 4.37'deki gibi ifade edilebilir.

$$n = W/E \quad (4.37)$$

W [mm] Yüzey genişliği

E [mm] Nozul aralığı



Şekil 4.8 Kütük genişliğine göre nozul yerleşimi

Nozul sayısı tufal kaldırma sisteminde kullanılan toplam su debisini belirler. Parametreleri iyi belirlenmiş bir tufal kaldırma sisteminde nozul sayısı optimum olarak kullanılır. Nozul sayısı mümkün mertebe en az sayıda tutulmalıdır. Nozul sayısı arttıkça ilk yatırım, işletme ve bakım maliyetleri yükselecektir. Şekil 4.8’de kütük genişliğine göre nozul yerleşimi gösterilmiştir.

4.2.7 Yüzey genişliği (W)

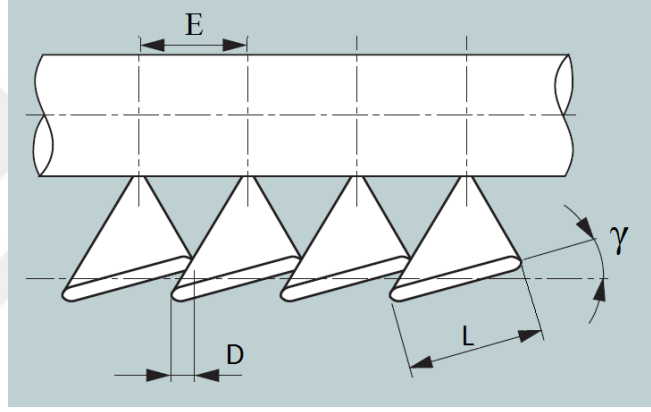
Nozul sayısını ve dolayısıyla ihtiyaç duyulan toplam su debisini belirleyen en önemli parametrelerden biri diğeri yüzey genişliğidir. Sıcak haddehanelerde tufal kaldırılacak hammaddeler değişiklik göstermektedir. Sac haddehanelerinde yüzey genişliği 1 metreden 2,5 metreye varan, kalınlıkları 200mm’den 300mm’ye değişen slablar kullanılır. Slabların yan yüzeylerinden genellikle tufal kaldırılmaz. Hazırlama tezgâhında ezmeye girdiği zaman yan yüzeydeki tufallar dökülür. Çubuk haddehanelerinde ise 130mm ile 150mm arası kare kesitli kütükler kullanılır ve kütük yüzeylerinden tufal kaldırma işlemi yoktur. Hazırlama tezgâhlarında kütüğün dört yüzeyinde de ezme olur ve tufallar dökülür. Küçük ve orta profil haddehanelerinde fabrika dizaynına göre kütük kesitleri çeşitlilik gösterir. Tasarımın gerçekleştirileceği Kocaer Haddecilik’te 130mm ile 260mm arası kare kesitli kütükler kullanılmaktadır. Tasarım yapılırken en büyük ebatlı kütük kesiti dikkate alınmış ve tek bir tasarım ile bütün ebatlardaki kütüklerin tufal kaldırma işlemi gerçekleştirilecek şekilde tasarım yapılmıştır.

4.2.8 Nozul aralığı (E)

İki nozul arasındaki mesafeyi ifade eder (Şekil 4.9) ve Denklem 4.38 ile ifade edilebilir.

$$E = L \cos \gamma - D \quad (4.38)$$

E [mm]	Nozul aralığı
L [mm]	Sprey genişliği
D [mm]	Çakışma mesafesi
γ	Telafi açısı



Şekil 4.9 Nozul aralığını belirten şematik gösterim

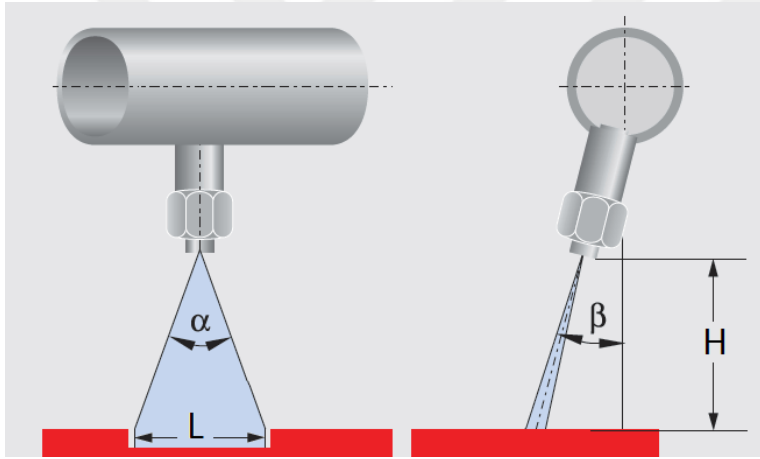
Kütük yüzeyindeki tufalı kaldırma sistemini tasarlarken kullanılan sprej açısı, sprej yüksekliği, birim nozul başına su debisi gibi parametrelere bağlı olarak iki nozul arası mesafe belirlenir. Bu aynı zamanda kütük genişliğine göre kullanılacak nozul sayısını da belirler. Böylece ihtiyaç olan toplam su debisi belirlenmiş olur. Sistemdeki nozul sayısı arttıkça yatırım ve işletme maliyetleri de yükselecektir. Aynı zamanda işçilik bakım süreleri de artacaktır. Nozul sayısı azaltılmak istendiğinde ise ya daha büyük sprej açısına ya da daha büyük sprej yüksekliğine göre tasarım yapılacaktır. Bu durumda da teorik sprej darbesi değerlerinden uzaklaşarak verim düşecektir. Bu kriterler göz önüne alındığında iki nozul arası mesafe optimum olarak belirlenmelidir. İki nozul arası mesafeyi belirleyen en önemli parametrelerden biri de kütük genişliğidir. Kütük genişlikleri orta ve küçük profil haddehanelerinde 300mm'yi pek geçmediğinden kütüğün bir yüzeyindeki tufalı kaldıran nozul sayısı da parametre değişikliklerinden oldukça etkilenmektedir.

4.2.9 Sprey genişliği (L)

Kütüğün yüzeyine düşen sprej alanının genişliğini ifade eder (Şekil 4.10). Denklem 4.39 ile hesaplanabilir.

$$L = \frac{2H \tan \frac{\alpha}{2}}{\cos \beta} \quad (4.39)$$

- L [mm] Sprej genişliği
 H [mm] Sprej yüksekliği
 α Sprej açısı
 β Avans açısı

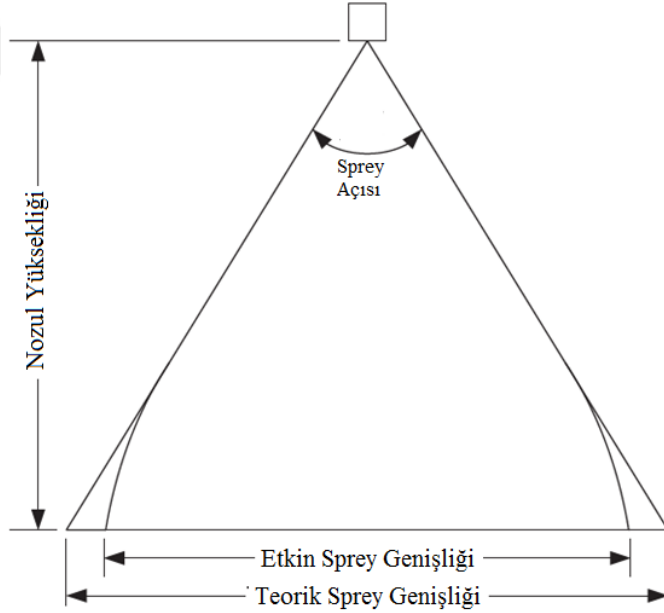


Şekil 4.10 Nozul yüksekliğine ve sprej açısına göre sprej genişliği

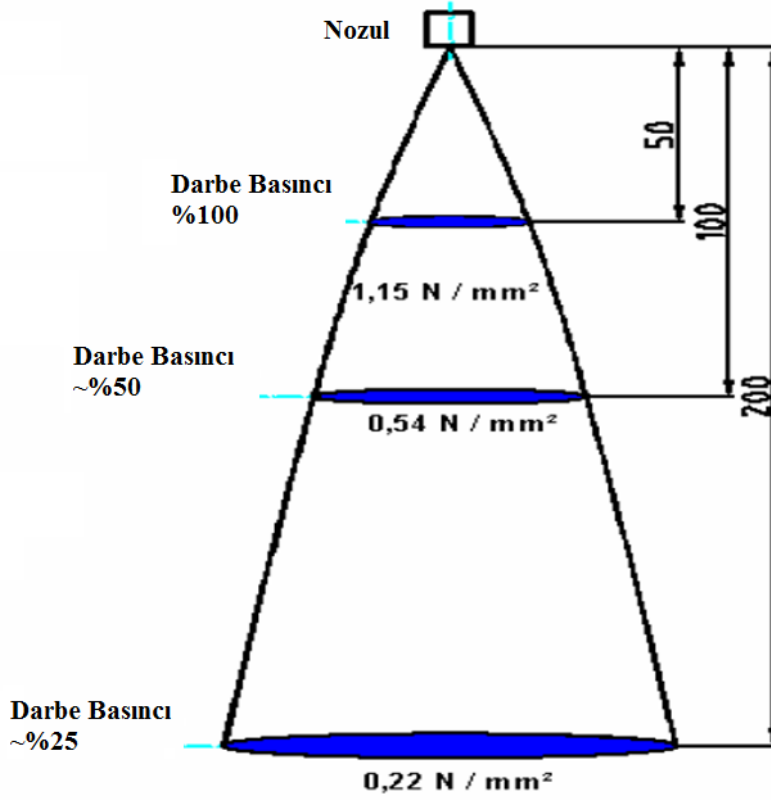
Sprej genişliği, sprej yüksekliği ve açısıyla doğru orantılıdır. Denklem 4.39 ile elde edilen değer teorik değerdir ve sprej yüksekliği arttıkça sapma da artar. Şekil 4.11’de teorik ve gerçek sprej genişliği gösterilmiştir (Knasiak ve Hofherr, 2008). Bu sapmanın minimum değerlerde olması için sprej yüksekliğinin optimum değerden daha yüksek seçilmemesi gerekmektedir. Aksi takdirde sınır bölgelerde tufal kalıntıları kalabilir. Sprej yüksekliği optimum değerde seçilse bile sınır bölgelerde darbe basıncı istenen değerlere ulaşamayacağından sprej alanları birbirini kesmeyecek şekilde çakıştırılarak tufal kalıntılarının oluşması engellenebilir. Bu konu ileriki bölümlerde anlatılacaktır.

4.2.10 Nozul yüksekliği (H)

Nozul memesi ile kütük yüzeyi arası düşey mesafeyi ifade eder. Nozul yüksekliği sprej alanını belirleyen en önemli parametrelerden biridir. Sprej genişliğini dolayısıyla sprej alanının doğru orantılı olarak etkiler. Darbe basıncı nozul yüksekliğiyle ters orantılı olarak azalır. Teorik olarak nozul yüksekliğiyle darbe basıncı arasındaki ters orantı doğrusaldır. Fakat nozul yüksekliği arttıkça darbe basıncında negatif yönde sapmalar meydana gelir. Maksimum nozul yüksekliği değeri, kullanılacak nozulun performansına göre değişmekle beraber 200mm olarak düşünülebilir. Bu yükseklikten sonra hava sürtünmesinden ve yerçekiminden dolayı, hesaplanan teorik darbe basıncında sapmalar meydana gelmeye başlar. Nozuldan istenen verim elde edilemez. Bu yüzden tasarım yapılırken nozul yüksekliğini 200mm'yi aşmamak tufal kaldırma sisteminin verimi açısından önemlidir (Şekil 4.12).



Şekil 4.11 Yelpaze nozullarda etkin sprej genişliği (Spraying System Co., 2013)

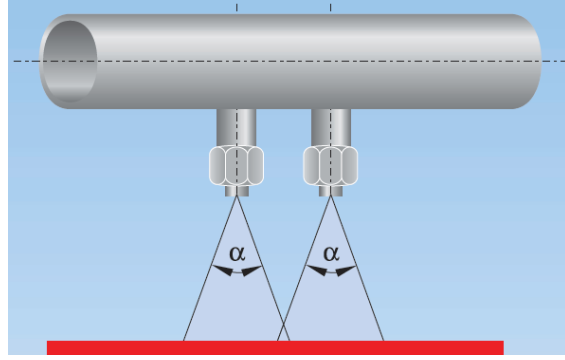


Şekil 4.12 25,5 lt/dk 200 bar 26° scalemaster model nozulda yüksekliğin darbe basıncına etkisi (Frick, 2004)

4.2.11 Sprey açısı (α)

Sprey açısı, nozulun temel parametrelerinden biridir. Spreyin nozulu terk ettiği andaki yelpazenin açısını ifade eder (Şekil 4.13). Nozul seçimi yapılırken üreticilerin kataloglarından belirlenen nozul açısı ve basıncına göre nozuldan çıkan su debisi belirlenebilir. Sprey açı serileri üreticiden üreticiye göre değişebilir. Bu parametre için belirli bir standart yoktur. En çok kullanılan açılar 22°, 26°, 30°, 34° ve 40°'dir.

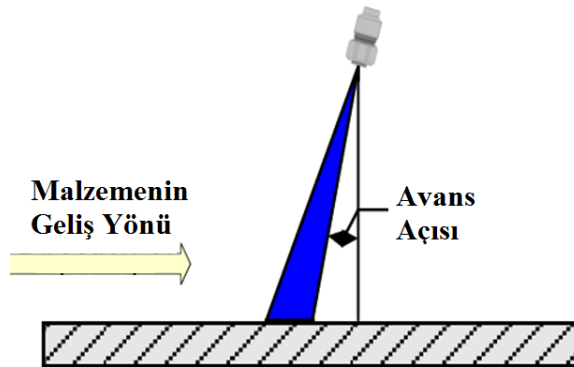
Sprey açısı arttıkça sprej genişliği de artar. Aynı debi, basınç ve yükseklikte daha düşük bir darbe basıncı meydana gelir. Ayrıca sprej açısındaki artış sprejın sınır taraflarındaki su damlacıklarının daha çok yol almasına ve nozul yüksekliğinin daha düşük değerlerde limite ulaşmasına neden olur. Başka bir deyişle sprej açısı arttıkça maksimum sprej yüksekliği azalır. Maksimum sprej yüksekliği aşıldığı takdirde sınır bölgelerdeki damlacıklar hızını kaybettiği için bu bölgelerde tufal kalıntıları kalma riski artar.



Şekil 4.13 Nozullarda sprej açısı

4.2.12 Avans açısı (β)

Kütüğe yandan bakıldığında nozulun dikeyle yaptığı açıya avans açısı denir. (Şekil 4.14) Avans açısı geliş yönüne doğru olmalıdır. Böylece ıspatula etkisi yaparak kütüğün üzerinden tufalın kaldırma etkisi artırılmış olur. Avans açısı arttırıldıkça kazıma etkisi artar. Fakat açı arttıkça su damlacıklarının kütük yüzeyinde kapladığı alan ve nozulla suyun kütüğe temas ettiği noktanın arasındaki mesafe artar. Böylelikle darbe basıncı düşer. Bu yüzden avans açısının optimum değeri genellikle 15° olarak kabul edilir. Avans açısı bu değer altına düştükçe su damlacıklarının tufalın altındaki katmanı kazıma kabiliyeti azalacaktır.

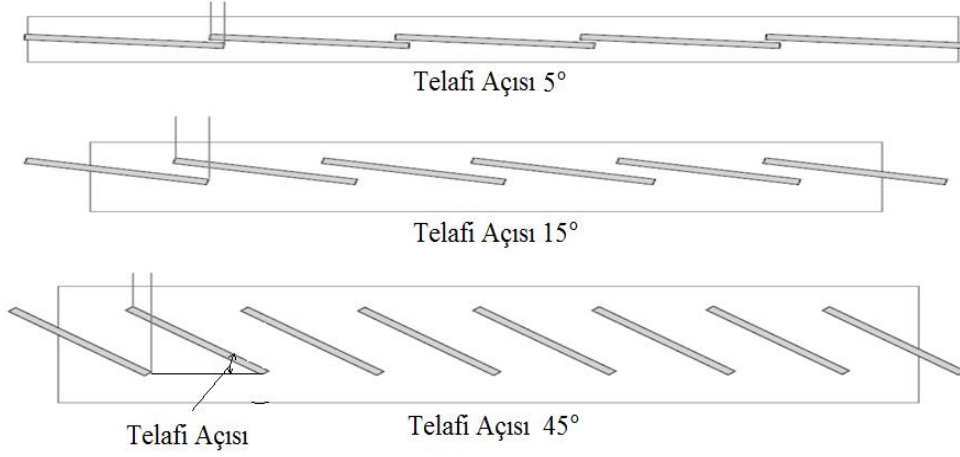


Şekil 4.14 Avans açısının sembolik gösterimi

4.2.13 Telafi açısı (γ)

Su sprejinin nozul kolektör eksenine yaptığı açıdır (Şekil 4.15). Nozullar kütüğün hareket eksenine göre belirli bir açı yapacak şekilde dizilmelidirler. Bu sayede nozulların oluşturduğu sprejin ortak kesişim alanları oluşturulabilir.

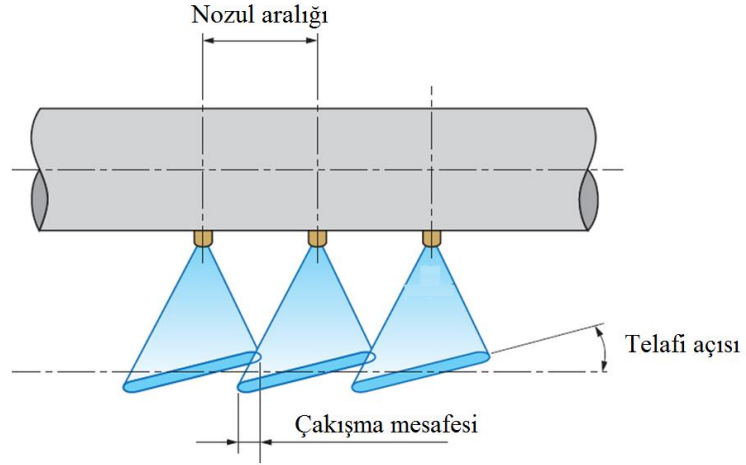
Böylece darbe basıncının minimum olduğu bölgeler diğer nozul tarafından taranmış olur. Telafi açısı arttırıldıkça yan yana dizilen iki nozul arası mesafe azalır. Bu da daha aynı kazıma etkisi oluşturmak için daha fazla nozul ve dolayısıyla su kullanımına sebep olur. Telafi açısının optimum değeri 15° olarak kabul edilir. Daha düşük açılarda su damlacıklarının birbirine çarpma olasılığı artar ve bu bölgelerde tufal kalıntıları meydana gelebilir.



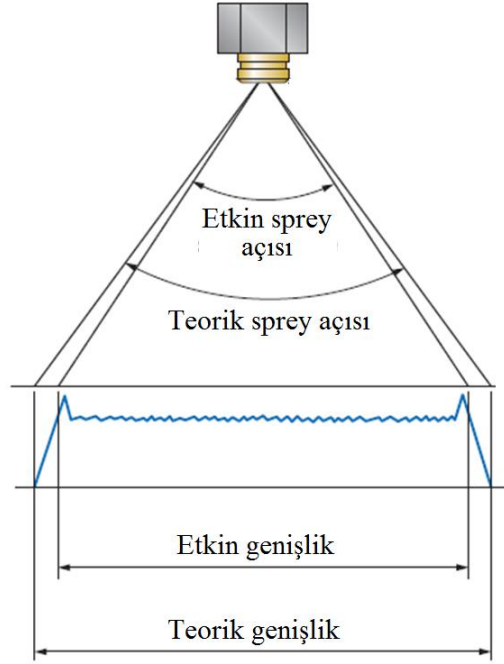
Şekil 4.15 Telafi açısı sembolik gösterimi

4.2.14 Çakışma mesafesi (D)

Belirli bir telafi açısıyla yan yana dizilen nozullardan çıkan suyun kütükte taradığı alanın kesişim mesafesidir (Şekil 4.16). Nozulların hesaplanan sprej genişliği teorik bir değerdir. Gerçekte Şekil 4.17’de gösterildiği gibi iki kenarda sprej kuvvetinin önemli ölçüde azaldığı bölgeler vardır. Bu bölgeler tasarım esnasında birbiriyle çakıştırılarak tufal kalıntılarının oluşması riski ortadan kaldırılır. Çakışma mesafesi genellikle 6mm ile 12mm değerleri arasında alınır. Nozul sayısının minimum sayıda tutularak işletme ve bakım maliyetlerinin azaltılması için nozul yüksekliğinin 200mm değerlerinde tasarlanması gerekliliği önceki bölümlerde anlatılmıştı. Nozul yüksekliğinin 150mm-200mm arasında seçildiğinde çakışma mesafesini 12mm kullanmak yeterli olacaktır.



Şekil 4.16 Tufal kaldırma sistemlerinde çakışma mesafesi



Şekil 4.17 Etkin ve teorik sprej genişliği sembolik gösterimi (H. Ikeuchi & Co.)

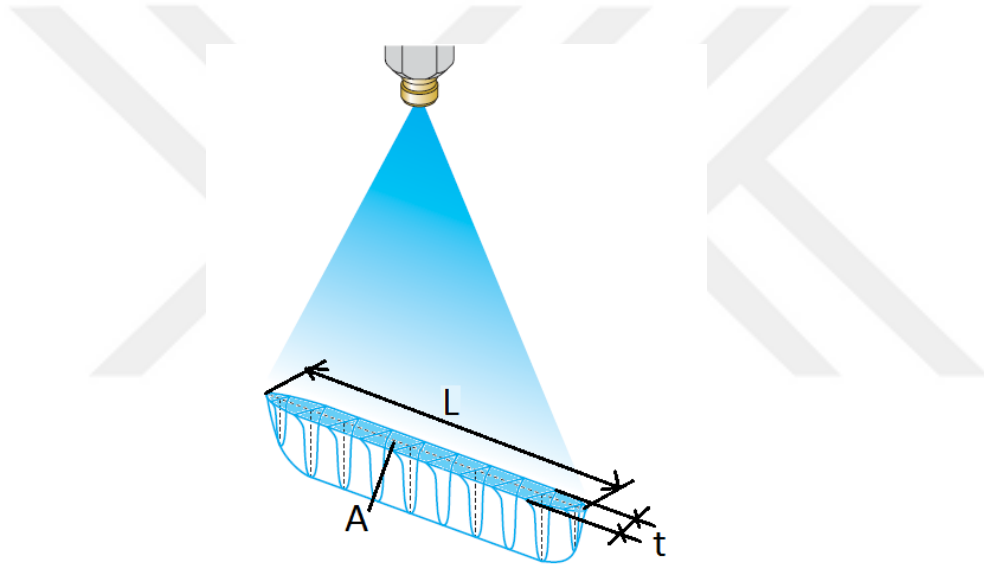
Çakışma mesafesi arttırıldıkça iki nozul arasındaki mesafe azalır. Dolayısıyla nozul sayısı artar ve ihtiyaç olan su debisi artar. Çakışma mesafesi azaltıldıkça su damlacıklarının sınır bölgelerinde etkisinin daha az olmasından kaynaklı olarak tufal kalıntılarının oluşma riski artar.

4.2.15 Sprey alanı (A)

Nozuldan çıkan su damlacıklarının kütük üzerinde kapladığı alandır (Şekil4.18). Denklem 4.40 ile ifade edilir.

$$A = tL \quad (4.40)$$

$A [mm^2]$	Sprey alanı
$t [mm]$	Sprey kalınlığı
$L [mm]$	Sprey genişliği



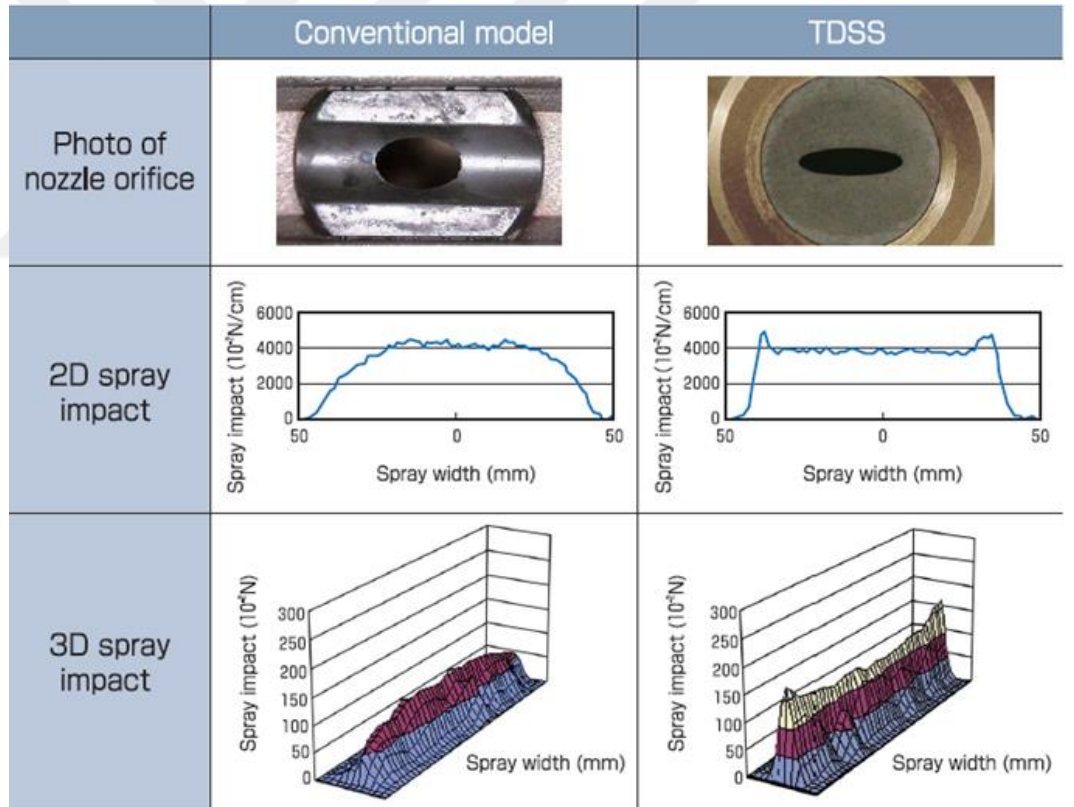
Şekil 4.18 Sprey alanının sembolik gösterimi

Darbe basıncı, sprej alanı ile ters orantılıdır. Ne kadar düşük bir sprej alanı elde edilirse o kadar tufal kaldırma etkisi artar. Dolayısıyla sprej kalınlığı ve açısı nozul tarafından belirlendiğinden bu aşamada nozul seçimi çok önemlidir.

Nozul üreticileri tarafından yapılan araştırma geliştirme çalışmaları minimum sprej alanı elde etmek üzere yapılmaktadır. Özellikle, türbülanslı akış ile nozula giren suyu, nozulu terk edesiye kadar, düzgün akışa çevirecek nozul stabilizatörlerinin şekilleri üzerinde çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Üreticiler tarafından geliştirilen nozul modelleri darbe basıncı testlerinden geçirilerek standart modellerle karşılaştırılmaktadır. Nozul çıkışında düzgün akışını

kaybetmeyen su damlacıklarından daha az bir sprey alanı oluşturularak daha yüksek bir darbe basıncı elde edilebilir.

Şekil 4.19'da Ikeuchi markası TDSS modeli ile standart model nozul ile yapılan darbe testlerinin karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir. Standart modelde sprey alanının sınıra doğru bölgelerinde darbe basıncının önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. 3 boyutlu grafiğe baktığımızda TDSS modelinin sprey alanının standart modele göre oldukça küçük olduğu görülmektedir. Ayrıca sprey kalınlığı sprey genişliği boyunca istikrarlı bir değer aldığı görülmektedir. Nozul stabilizatörleri ve memelerinde yapılan araştırma geliştirme faaliyetleri neticesinde üreticiler daha verimli nozullar üretmektedir.

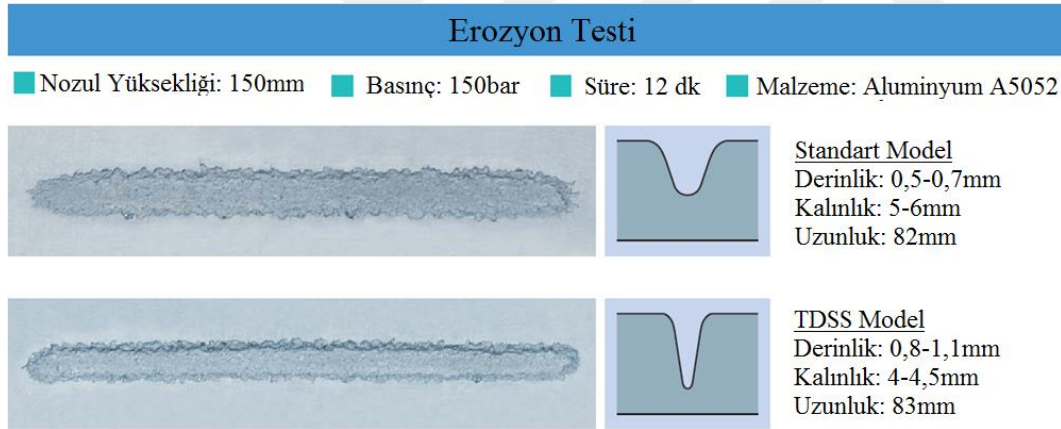


Şekil 4.19 Ikeuchi TDSS ile standart model nozul darbe testi karşılaştırılması (H. Ikeuchi & Co.)

4.2.16 Sprey kalınlığı (t)

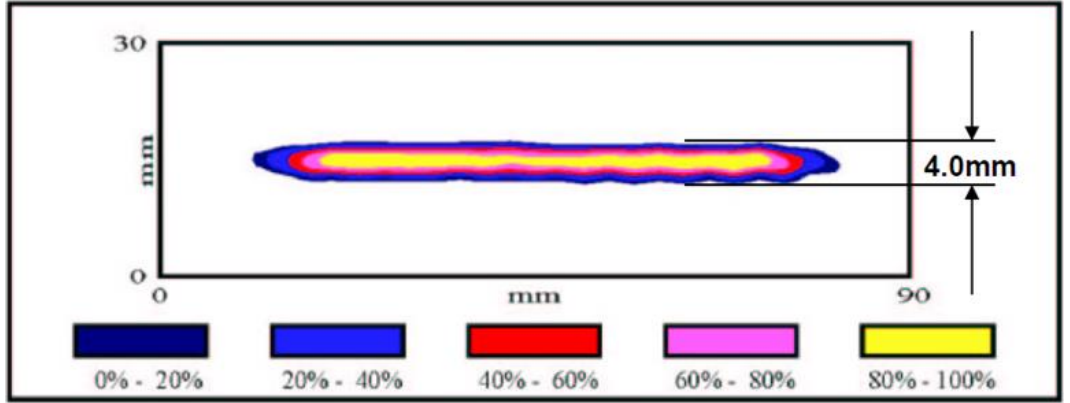
Sprey alanının kalınlığını ifade eder. Sprey kalınlığı nozul yüksekliğine bağılı bir parametre olmasına rağmen yeni nesil tufal kaldırma nozullarında sprey kalınlığı 4-4,5mm arası değer alır. Bu değer nozul yüksekliği 200mm'yi aştıktan sonra hızlı bir artış gösterir. Yaptığımız hesaplamalarda nozul yüksekliği 150-200mm bandında seçildiği için sprey kalınlığı 4,5mm alınmıştır.

Nozul üreticisi Ikeuchi firması tarafından yapılan aşınma testi aşağıdadır. Şekil 4.20'de görüldüğü gibi aynı şartlarda aynı parametrelere sahip iki nozulla yapılan aşınma testinde TDSS model nozul standart özelliklere sahip bir nozula göre daha ince bir sprey kalınlığı elde edilmiş ve neticede darbe basıncı artarak daha yüksek bir aşınma derinliği oluşmuştur.



Şekil 4.20 TDSS ile standart model nozul erozyon testi karşılaştırılması (H. Ikeuchi & Co.)

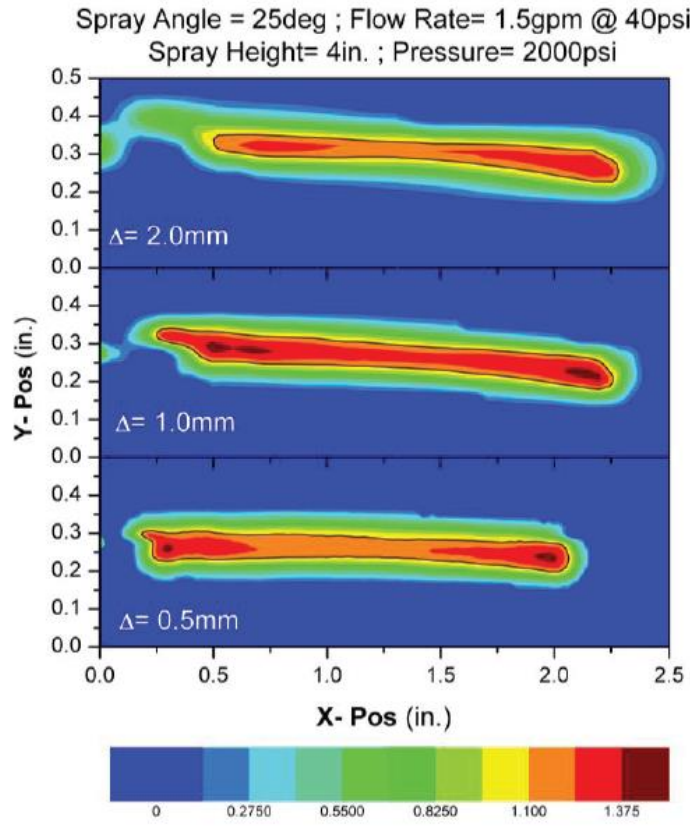
Şekil 4.21'de Lechler firması tarafından yapılan darbe basıncı testinin sonucu görülmektedir. Sarı bölgeyi alanda ortalama darbe basıncının %100 oranında oluştuğu görülmektedir. Bu testte oluşan sprey kalınlığı 4mm'dir.



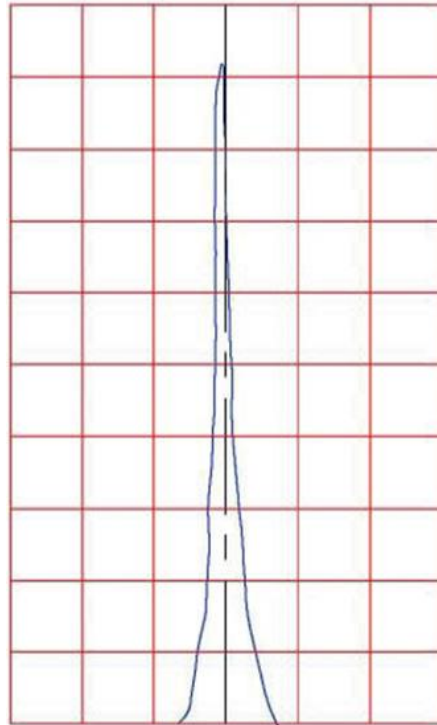
Şekil 4.21 Darbe basıncı testi sonucu darbe dağılımı (Lechler GmbH & Co.)

Şekil 4.22’te de Spray Systems firması tarafından yapılan darbe testi sonuçları gösterilmiştir. Bu testte farklı çaplarda basınç sensörü kullanılmıştır. En hassas sonuçlar 0,5 mm çaplı sensörden elde edilmiştir. Bu test sonucunda da sprey kalınlığı yaklaşık 4.5mm ölçülmüştür.

Şekil 4.23’da yine Spraying Systems firması tarafından yapılan darbe testinin enine kesitten bakıldığında darbe basıncı dağılımı görülmektedir. Bu görünüşten ortalama darbe basıncının %100’den %20’ye düşüşü daha net olarak görülmektedir.



Şekil 4.22 Farklı çaplarda sensör kullanılarak yapılan darbe basıncı test sonuçları (Spraying System Co., 2013)



Şekil 4.23 Enine kesitte darbe basıncı test sonuç grafiği (Spraying System Co., 2013)

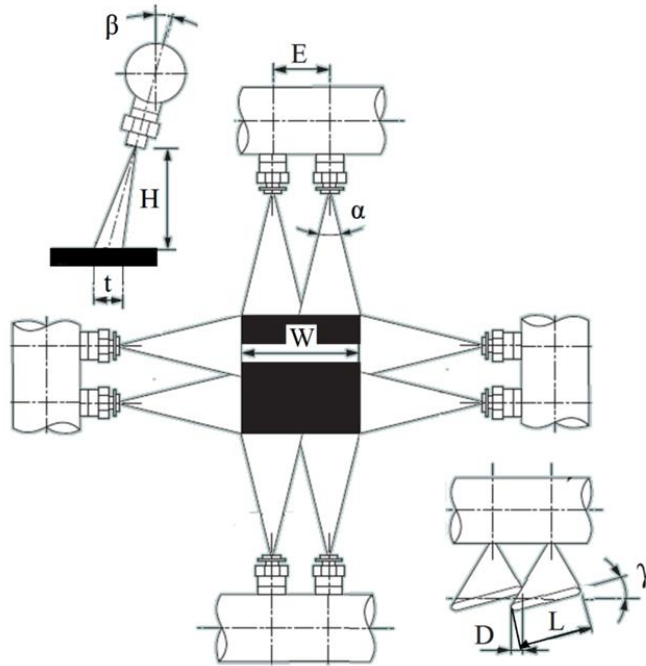
4.3 Nozul Sayısı ve Sprey Açısının Belirlenmesi

Nozul sayısı ve sprej açısının belirlenmesinde en önemli parametre nozul yüksekliğidir. Nozul yüksekliğinin 150-200mm bandında seçilmesiyle optimum nozul sayısının hesaplanabileceği önceki bölümlerde açıklanmıştır.

Denklem 4.37, Denklem 4.38 ve Denklem 4.39 düzenlenirse Denklem 4.41 elde edilir.

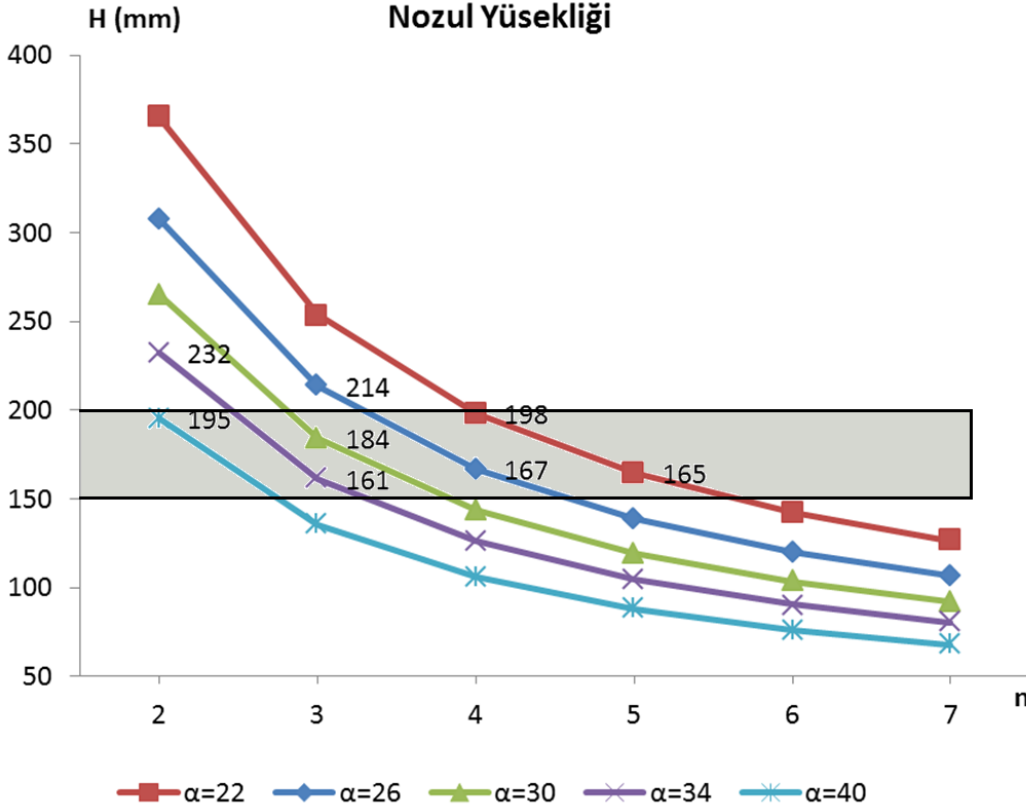
$$H = \frac{(W+nD) \cos \beta}{2n \cos \gamma \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (4.41)$$

Kütük genişliğinin (W) 260mm, çakışma mesafesinin (D) 12mm, avans açısının (β) ve telafi açısının (γ) 15° olduğu ilgili bölümlerde açıklanmıştır. Bu bilinenler ve Denklem 4.41 ışığında nozul sayısı (n) ve sprej açısı (α) belirlenmesi için alternatifler oluşturulabilir. Şekil 4.24'te nozulların kütük üzerindeki yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 4.24 Nozul yerleşimi ve tasarım parametreleri

Şekil 4.25’de nozul üreticilerin kataloglarında verilen sprej açılarına göre nozul sayısı alternatiflerinin belirlenmesi için grafik verilmiştir. Grafikte 150mm-200mm arasındaki bantta yer alan sprej açısı ve nozul sayısı alternatifleri Çizelge 4.3’te verilmiştir. Bir sonraki bölümde her bir sprej açısı ve nozul sayısında katalogdan seçilen nozulun debi ve basınç değerlerine göre darbe basınçları hesaplanmıştır.



Şekil 4.25 Nozul sayısı ve sprej açısına göre nozul yüksekliği

Aynı nozul sayısına sahip alternatiflerde nozul yüksekliği daha az olan sprej açılı alternatif dikkate alınmıştır. Çünkü nozul yüksekliği arttıkça, nozul yüksekliği daha az olan nozula kıyasla darbe basıncında bir miktar kayıp olacaktır.

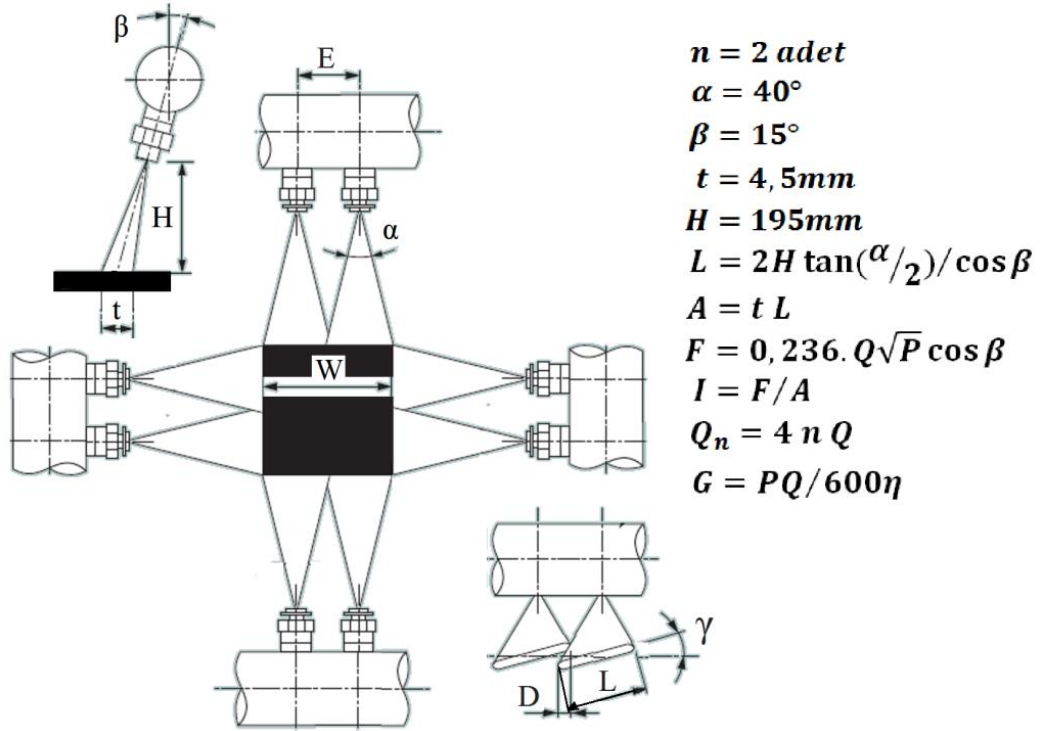
Çizelge 4.3 Sprej açısına göre nozul sayısı alternatifleri

Sprej Açısı	40°	34°	26°	22°
Nozul Sayısı	2	3	4	5
Nozul Yüksekliği	195mm	161mm	167mm	165mm

4.4 Darbe Basıncına Göre Nozul Alternatifleri

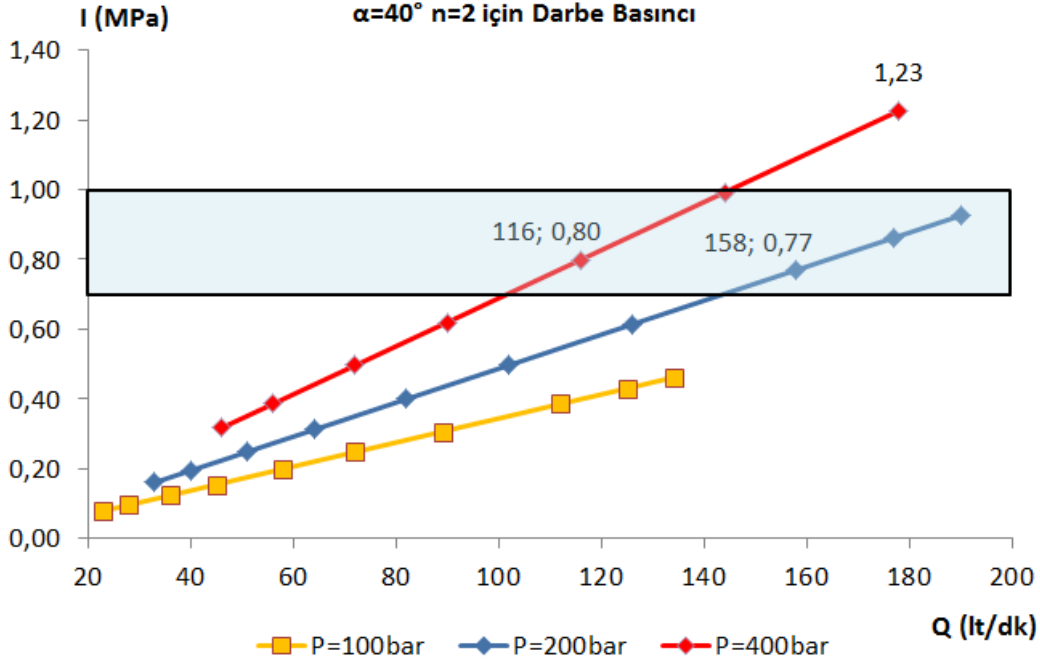
4.4.1 $\alpha=40^\circ$ $n=2$ için darbe basıncı hesabı

Şekil 4.26'da $n=2$ ve $\alpha=40^\circ$ için sembolik olarak nozul yerleşim parametreleri görülmektedir. Şeklin sağ tarafında önceki bölümlerde açıklanan tasarım parametrelerinin değerleri ve denklemleri görülmektedir.



Şekil 4.26 $n=2$ ve $\alpha=40^\circ$ için tasarım parametreleri

Şekil 4.27'de 2 adet nozul ve 40° sprej açısı için 100bar, 200bar ve 400bar basınçlarda Lechler firmasının katalogundan alınan debilere göre darbe basıncının hesaplanan değerleri gösterilmektedir. Önceki bölümlerde belirtildiği gibi darbe basıncı minimum 0,7MPa değerinde ideal tufal kaldırma işlemi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.27 n=2 ve $\alpha=40^\circ$ için darbe basıncı grafiği

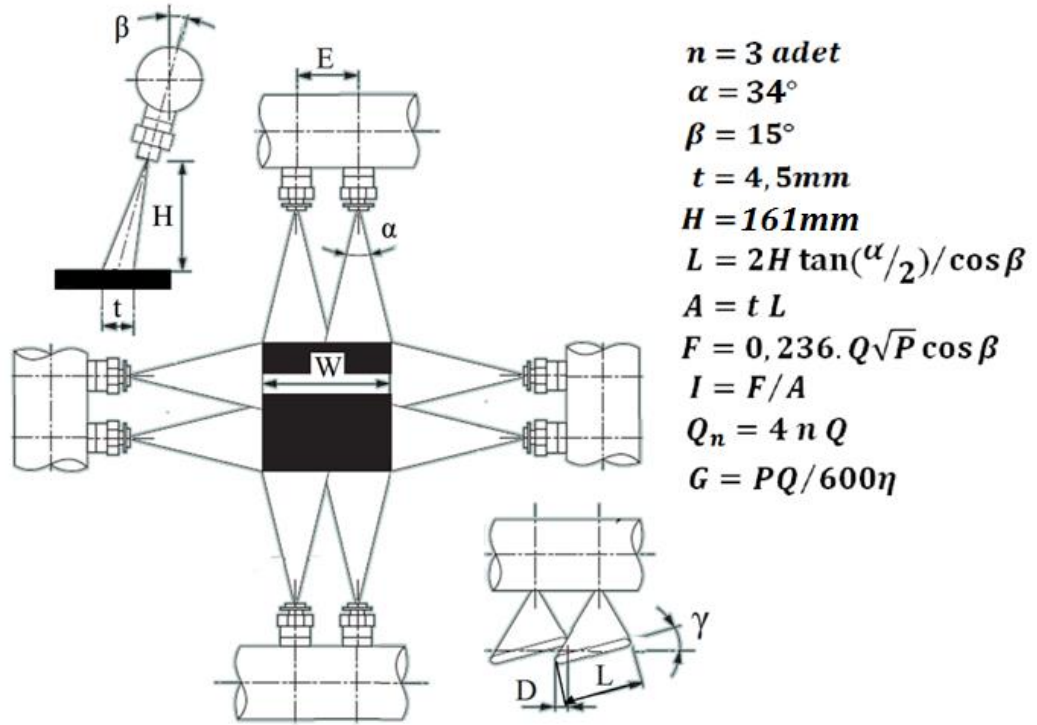
Çizelge 4.4'de, Şekil 4.27'den elde edilen verilere göre 0,7MPa'dan büyük ve bu değere en yakın darbe basıncına sahip nozul tiplerinin model, basınç ve debi değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.4 n=2 ve $\alpha=40^\circ$ optimum darbe basıncındaki basınç ve debi değerleri

Model	Basınç	Debi	Darbe Basıncı
6P4.768.27	400 bar	116 lt/dk	0,80 MPa
6P4.888.27	200 bar	158 lt/dk	0,77 MPa

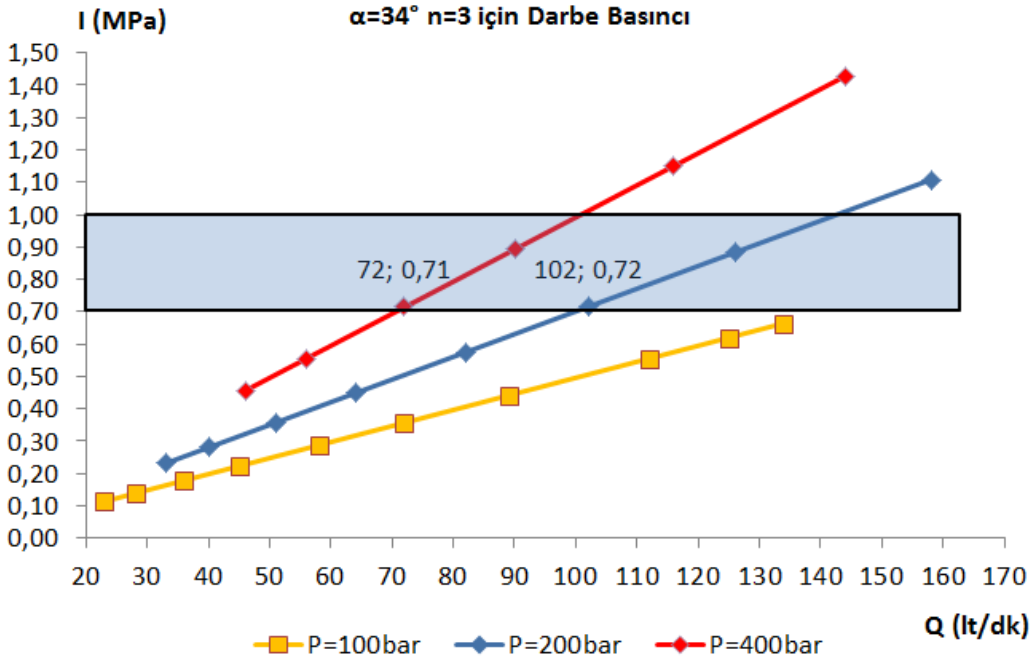
4.4.2 $\alpha=34^\circ$ $n=3$ için darbe basıncı hesabı

Şekil 4.28'de $n=3$ ve $\alpha=34^\circ$ için sembolik olarak nozul yerleşim parametreleri görülmektedir. Şeklin sağ tarafında önceki bölümlerde açıklanan tasarım parametrelerinin değerleri ve denklemleri görülmektedir.



Şekil 4.28 $n=3$ ve $\alpha=34^\circ$ için tasarım parametreleri

Şekil 4.29'da 3 adet nozul ve 34° sprey açısı için 100bar, 200bar ve 400bar basınçlarda Lechler firmasının katalogundan alınan debilere göre darbe basıncının hesaplanan değerleri gösterilmektedir. Önceki bölümlerde belirtildiği gibi darbe basıncı minimum 0,7MPa değerinde ideal tufal kaldırma işlemi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.29 n=3 ve $\alpha=34^\circ$ için darbe basıncı grafiği

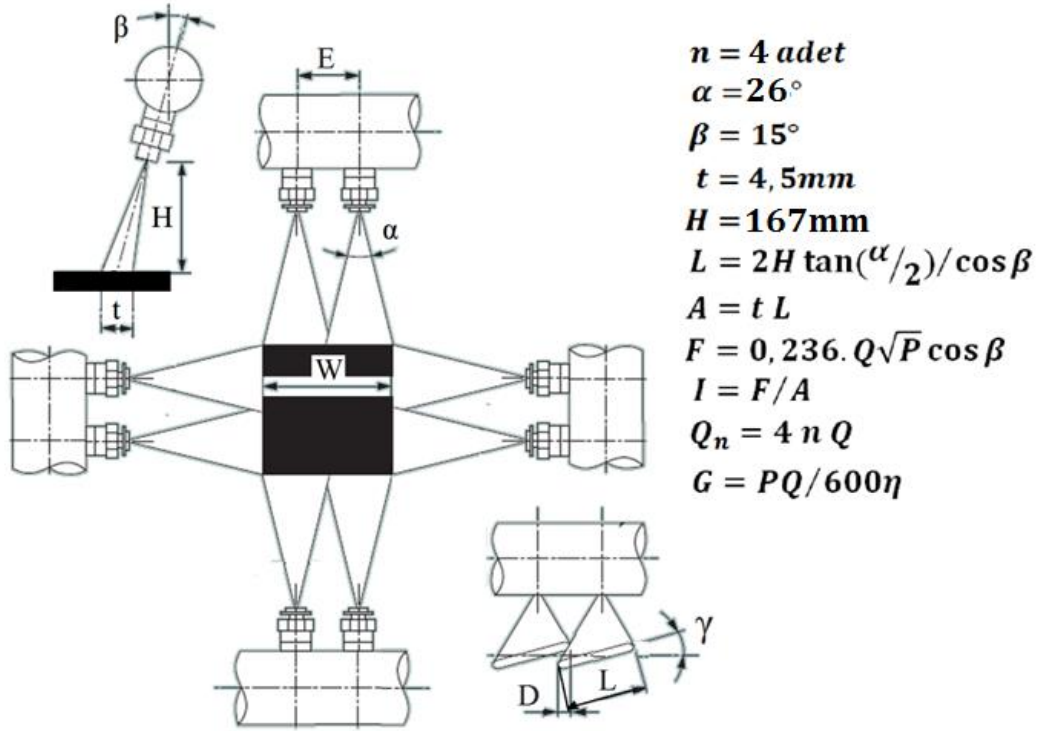
Çizelge 4.5'te, Şekil 4.29'den elde edilen verilere göre 0,7MPa'dan büyük ve bu değere en yakın darbe basıncına sahip nozul tiplerinin model, basınç ve debi değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.5 n=3 ve $\alpha=34^\circ$ optimum darbe basıncındaki basınç ve debi değerleri

Model	Basınç	Debi	Darbe Basıncı
6P4.681.27	400 bar	72 lt/dk	0,71 MPa
6P4.801.27	200 bar	102 lt/dk	0,72 MPa

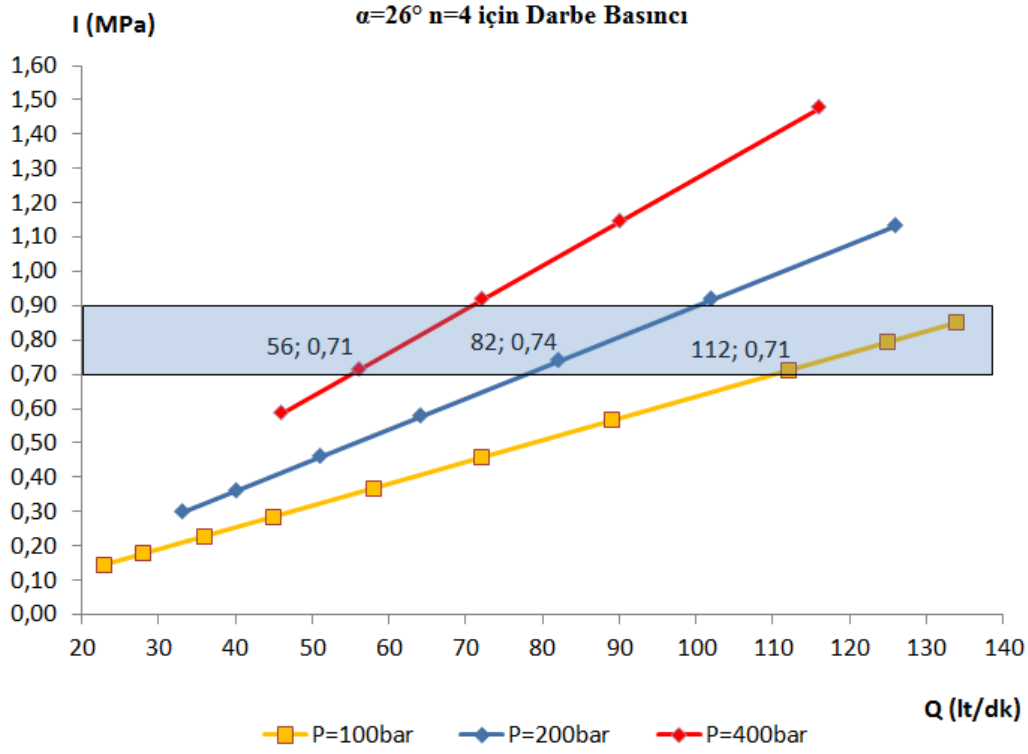
4.4.3 $\alpha=26^\circ$ $n=4$ için darbe basıncı hesabı

Şekil 4.30'da $n=4$ ve $\alpha=26^\circ$ için sembolik olarak nozul yerleşim parametreleri görülmektedir. Şeklin sağ tarafında önceki bölümlerde açıklanan tasarım parametrelerinin değerleri ve denklemleri görülmektedir.



Şekil 4.30 $n=4$ ve $\alpha=26^\circ$ için tasarım parametreleri

Şekil 4.31'da 4 adet nozul ve 26° sprej açısı için 100bar, 200bar ve 400bar basınçlarda Lechler firmasının katalogundan alınan debilere göre darbe basıncının hesaplanan değerleri gösterilmektedir. Önceki bölümlerde belirtildiği gibi darbe basıncı minimum 0,7MPa değerinde ideal tufal kaldırma işlemi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.31 n=4 ve $\alpha=26^\circ$ için darbe basıncı grafiği

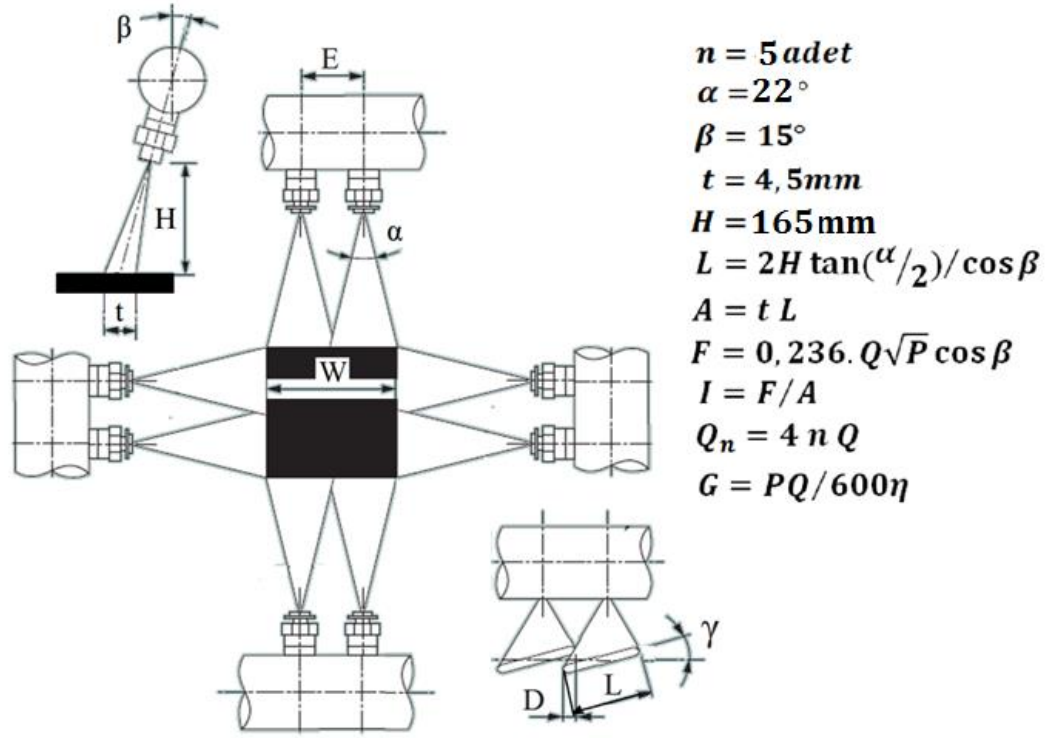
Çizelge 4.3'te, Şekil 4.31'den elde edilen verilere göre 0,7MPa'dan büyük ve bu değere en yakın darbe basıncına sahip nozul tiplerinin model, basınç ve debi değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.6 n=4 ve $\alpha=26^\circ$ optimum darbe basıncındaki basınç ve debi değerleri

Model	Basınç	Debi	Darbe Basıncı
6P4.646.27	400 bar	56 lt/dk	0,71 MPa
6P4.766.27	200 bar	82 lt/dk	0,74 MPa
6P4.886.27	100 bar	112 lt/dk	0,71 MPa

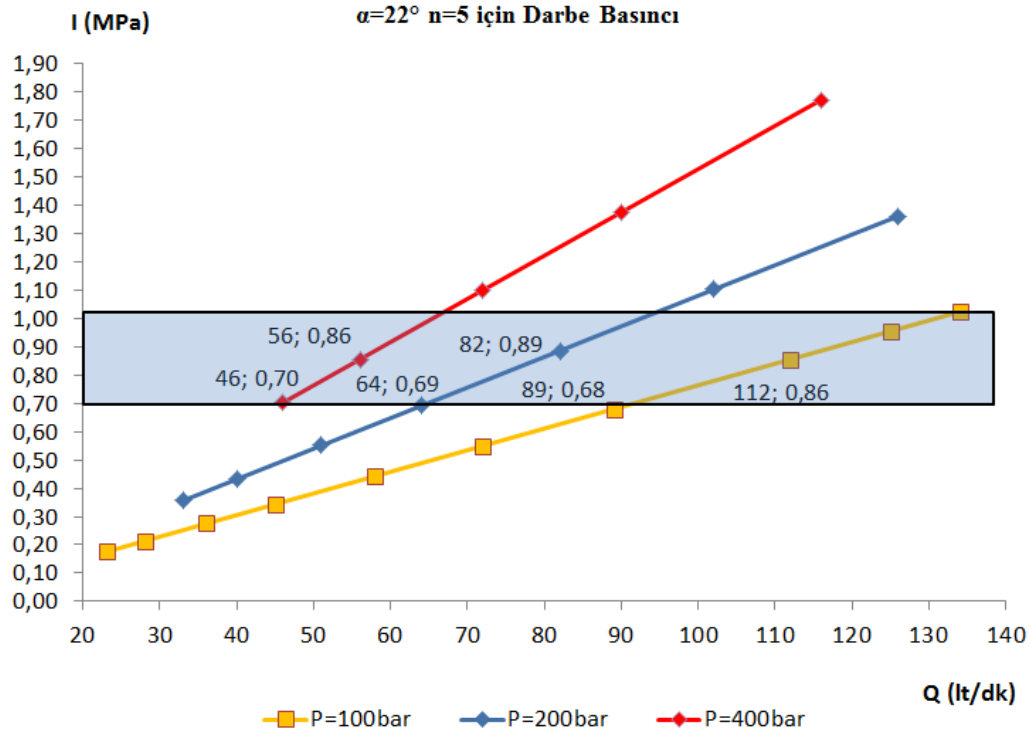
4.4.4 $\alpha=22^\circ$ $n=5$ için darbe basıncı hesabı

Şekil 4.32’de $n=5$ ve $\alpha=22^\circ$ için sembolik olarak nozul yerleşim parametreleri görülmektedir. Şeklin sağ tarafında önceki bölümlerde açıklanan tasarım parametrelerinin değerleri ve denklemleri görülmektedir.



Şekil 4.32 $n=5$ ve $\alpha=22^\circ$ için tasarım parametreleri

Şekil 4.33’te 5 adet nozul ve 22° sprey açısı için 100bar, 200bar ve 400bar basınçlarda Lechler firmasının katalogundan alınan debilere göre darbe basıncının hesaplanan değerleri gösterilmektedir. Darbe basıncı minimum 0,7MPa değerinde ideal tufal kaldırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Darbe basınç grafiğine bakıldığında darbe basınçlarının 0,7MPa değerine çok yakın değerde olduğu görülmektedir. Bir üst darbe basıncına sahip nozul seçildiğinde %20 ila %30 oranında daha fazla su sarfiyatı gerçekleşecektir. Bu açıdan 0,68MPa ve 0,69MPa basınç değerleri kabul edilmiştir.



Şekil 4.33 n=5 ve $\alpha=22^\circ$ için darbe basıncı grafiği

Çizelge 4.5'te, Şekil 4.32'den elde edilen verilere göre 0,7MPa'a en yakın darbe basıncına sahip nozul tiplerinin model, basınç ve debi değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.7 n=5 ve $\alpha=22^\circ$ optimum darbe basıncındaki basınç ve debi değerleri

Model	Basınç	Debi	Darbe Basıncı
6P4.605.27	400 bar	46 lt/dk	0,70 MPa
6P4.725.27	200 bar	64 lt/dk	0,69 MPa
6P4.845.27	100 bar	89 lt/dk	0,68 MPa

5. SONUÇ

Tufal kaldırma sistemleri tasarımında dikkate alınacak başlıca parametreler şunlardır:

- Darbe basıncı
- Enerji tüketimi
- Su tüketimi
- İlk yatırım maliyetleri
- İşletme ve bakım maliyetleri

Nozul seçimi ve yerleşim parametrelerini belirleme aşamasında en önemli parametre, oluşan tufalın kütük yüzeyinden kaldırılması için yeterli miktarda darbe basıncını elde etmektir. Bu aşamada pompa basıncı, nozul tipine göre nozulun bu basınçta geçirdiği debi, nozul sayısı ve sprej açısı ile değişik alternatiflere göre istenen darbe basıncını sağlayan pompa ve nozul tipi alternatifleri tespit edildi. Daha sonra bu alternatiflerin en uygununu tespit etmek için enerji ve su tüketim miktarı dikkate alındı.

Enerji tüketimini azaltmak için daha düşük basınçta pompa kullanmak gerekmektedir. Denklem 5.3'te görüldüğü gibi pompa tarafından tüketilen enerji basıncının karekökü ile doğru orantılıdır. Yani su basıncı 4 kat arttırıldığında enerji tüketimi 2 kat artmaktadır. Bununla beraber su tüketimi de 2 kat azalmaktadır. Denklem 5.4 ortaya koyuyor ki aynı darbe basıncını elde etmek için kullanılan su debisiyle tüketilen enerjinin çarpımı sabittir. Başka bir deyişle birbiri ile ters orantılıdır. Dolayısıyla pompa seçimi yapılırken işletme sistemi besleyecek maksimum su debisi belirlenmiş ve bu oranda enerji tasarrufu sağlanmıştır.

$$I = \frac{0,236 Q\sqrt{P} \cos \beta}{A} = K_1 Q\sqrt{P} \quad (5.1)$$

$$E = \frac{Q.P.t}{600.\eta} = K_2 QP \quad (5.2)$$

$$E = K_3\sqrt{P} \quad (5.3)$$

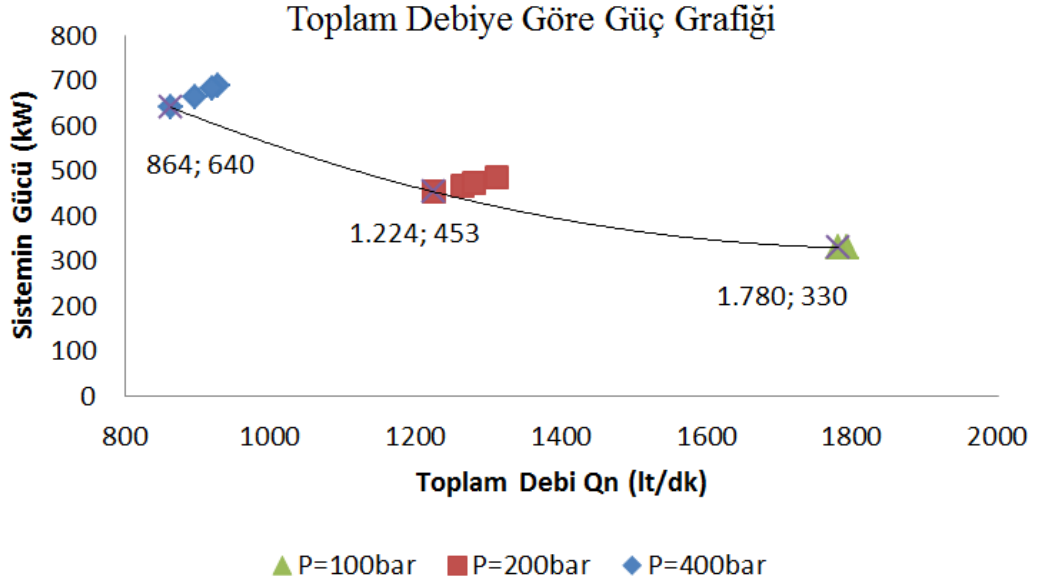
$$E = K_4/Q \quad (5.4)$$

Bölüm 4.4'te ideal darbe basıncını ve nozul yüksekliğini sağlayan nozul modelleri belirlenmiştir. Çizelge 5.1'de bu nozulların belirlenen parametre değerleri verilmiştir. Kalan nozul alternatiflerinden en az pompalama gücüyle aynı darbe basıncını elde eden nozul tipini seçerek enerji tasarrufu sağlanır. Çizelge 5.1'de, 22° sprej açısına sahip 100 bar basınçta 330 kW motor gücüyle çalışan nozul seçimi yapılmalıdır.

Çizelge 5.1 İdeal darbe basıncını sağlayan nozul alternatifleri

Nozul Sayısı	Sprej Açısı	Pompa Basıncı	Nozul Debisi	Darbe Basıncı	Toplam Debi	Toplam Güç
n	α	P	Q	I	Qn	G
2	40	400	116	0,8	928	687
2	40	200	158	0,77	1264	468
3	34	400	72	0,71	864	640
3	34	200	102	0,72	1224	453
4	26	400	56	0,71	896	664
4	26	200	82	0,74	1312	486
4	26	100	112	0,71	1792	332
5	22	400	46	0,7	920	681
5	22	200	64	0,69	1280	474
5	22	100	89	0,68	1780	330

Şekil 5.1'de, Çizelge 5.1'deki veriler kullanılarak alternatif nozulların toplam debi – güç ilişkileri gösterilmiştir. Denklem 5.3'te verilen eşitliği doğrular nitelikte basınç değeri 100 bar'dan 200 bar'a çıktığında pompa gücü $\sqrt{2}$ kat, 400 bar'a çıktığında ise 2 katına çıkmıştır. Yine aynı şekilde toplam debiyle güç arasındaki ters orantı Şekil 5.1'de gösterilen eğri dikkate alındığında Denklem 5.4'ü doğrular niteliktedir.



Şekil 5.1 İdeal darbe basıncını sağlayan nozul alternatiflerinin debi güç ilişkisi

Tufal kaldırma sistemi kurulması aşamasında dikkate alınacak bir diğer parametrenin su tüketimi olduğu bölümün başında belirtilmişti. Bölüm 4.1’de açıklandığı gibi tufal kaldırma sistemindeki su tüketimi miktarı, sistemden buharlaşma ya da filtrelerin ters yıkamaları sonucu kaybolan su miktarıdır. Denklem 4.26’da tufal kaldırma su sisteminde aşağıdaki bilinenler yerine koyulduğunda ters ozmostan ihtiyaç duyulan besleme suyu debisi 27 t/g olarak hesaplanır. Bölüm 4.1’de kapasitenin 33,2 ton olduğu hesaplanmıştı. Dolayısıyla seçilen nozul ve pompa debisine göre mevcut ters ozmos sistemi kapasitesi ihtiyaç duyulan debiyi karşılamaktadır.

$$Q=1780 \text{ lt/dk}$$

$$k_f=0,01$$

$$k_{to}=0,3$$

$$k_b=0,01$$

$$k_s=0,005$$

Sonuç olarak, bu çalışmada optimum nozul yüksekliği 150mm-200mm bandında alınarak bu aralıktaki en küçük değer için uygun sprej açıları ve bu açılardaki nozul sayıları belirlenmiştir. Ardından darbe basıncı optimum 0,7MPa olarak kabul edilerek belirlenen sprej açısı ve sayıları için su basınçları ve debileri belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen nozul alternatifleri arasından en düşük güç tüketimine sahip nozul belirlenerek tufal kaldırma sistemini oluşturan bütün parametreler belirlenmiştir. Son olarak toplam pompalanan su debisinin karşılanması için ters ozmos besleme suyu hesabı yapılmış ve kapasitenin ihtiyacı karşıladığı hesaplanmıştır. Çizelge 5.2’de seçilen nozul için tufal kaldırma sisteminin tasarım parametreleri verilmiştir.

Çizelge 5.2 Tufal kaldırma sistemi için tasarım parametreleri

	Parametreler	Sembol	Değer
Sabitler	Kütük Genişliği [mm]	W	260
	Avans Açısı [derece]	β	15
	Telafi Açısı [derece]	γ	15
	Sprej Kalınlığı [mm]	t	4,5
	Çakışma Mesafesi [mm]	D	12
Nozul Seçimi	Sprej Açısı [derece]	α	22
	Pompa Basıncı [bar]	P	100
	Nozul Debisi [lt/dk]	Q	89
Tasarım Ölçüleri	Nozul Sayısı [adet]	n	5
	Nozul Yüksekliği [mm]	H	165
	Nozul Aralığı [mm]	E	52
Bağımlı Değişkenler	Sprej Alanı [mm ²]	A	298
	Sprej Genişliği [mm]	L	66
	Sprej Kuvveti [N]	F	203
	Darbe Basıncı [Mpa]	I	0,68
	Toplam Su Debisi [lt/dk]	Q _n	1780
	Toplam Güç [kW]	G	330

Bu çalışmada sonuç olarak, Kocaer Haddecilik firmasında yarı mamul olarak kullanılan kütüklerin üzerinden tufal tabakasını kaldırmak için kullanılacak nozulların tipi, sayısı ve yerleşim parametreleri belirlenmiştir. Bu seçime göre ihtiyaç olunan su kapasitesi de belirlenmiş ve mevcut ters ozmos kapasitesinin yeterli olduğu tespit edilmiştir.

Yelpaze nozullar, yatırım, işletme ve bakım maliyetleri açısından orbital nozullara göre daha avantajlıdır. Fakat bu nozulların su ve enerji tüketimleri orbital nozullara göre çok daha yüksektir. Dolayısıyla ileriye dönük yapılacak çalışmalarla, orbital nozullar ile tufal kaldırma sistemi tasarım hesapları yapılarak elde edilen verilerle bu çalışmada hesaplanan veriler karşılaştırılarak hangi tip nozulun avantajlı olduğu irdelenebilir.

Hidrolik tufal kaldırma sistemleri modern tesislerde tercih edilen sistemler olsa da daha düşük yatırım ve işletme maliyetleriyle mekanik tufal kaldırma sistemleri de tasarlanabilir. Daha eski tesislerde bu tip tufal kaldırma sistemleri mevcuttur. Araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılarak daha modern ve mekanik tufal kaldırma sistemleri tasarlanabilir ve ileri dönemlerde yeni tesislerde bu tip tufal kaldırma sistemleri kullanılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Kermanpur, A., Ebnonnasir A. and Hedayati M.,** 2007, A novel analytical–artificial neural network model to improve efficiency of high pressure descaling Nozzles in hot strip rolling of steels, *Materials Science and Technology*, 23(8), 951-957p.
- Bendig, L., Raudenský M. and Horský J.,** 2001, Descaling With High Pressure Nozzles, ILASS-Europe, Zurich, 6p.
- Pohanka, M., Raudenský, M., Hwang, J. Y., You, J. W. and Lee, S. H.,** 2016, Mutual collision of water jets from adjacent high pressure flat jet nozzles on flat surfaces during hydraulic descaling, *Technical Gazette*, 23(5), Croatia, 1389-1394p.
- Robb, L.,** 2005, Effect of spray height, lead angle and offset angle on impact, The Iron & Steel Technology Conference and Exposition, Charlotte NC USA, 8p
- Karaca, M. ve Kalpar, M.,** 2017, Sıcak sac haddehaneleri descale pompalarında enerji verimliliği, Siemens Sanayi ve Ticaret A.Ş., 6 (unpublished).
- Horsky, J., Raudensky, M. and Vavrecka L.,** 2007, Experimental study of hydraulic descaling, 5th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, Sun City, South Africa, 8p.
- H. Ikeuchi & Co.,** Decsalng nozzles, 26p.
- Spraying Systems Co.,** 2013, Optimizing descaling operations, 24p.
- Frick, J. W.,** Optimisation of technologies for hydro-mechanical descaling of steel, Lechler GmbH, 14p (unpublished).
- Frick, J. W.,** Optimisation of nozzle arrangements on descaling headers, Lechler GmbH, 11p (unpublished).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Knasiak, K. and Hofherr, C., 2008, Optimizing descaling operations – water efficiency without compromising quality, 45th Seminário de Laminação, Brazil, 9p.

Kim, B. K., 2003, High temperature oxidation of low carbon steel, Doctor of Philosophy, McGill University, Montreal, Canada, 251p (unpublished).

Hrabovský, J. and Horský, J., 2012, Influence of the water chamber and position of the stabilizer on the impact pressure at high pressure descaling, 21th International conference on metallurgy and materials, Brno, Czech Republic, 6p.

Ramírez-Cuéllar, J., Leduc-Lezama, L. and Colás, R., 2011, Mechanisms of Formation and Removal of the Primary Oxide in a Tunnel Furnace by the Descaling on a Compact Plant for Flat Products, ISIJ International, 51(3), 409-415p

Frick, J. W., 2004, More efficient hydraulic descaling header design, MPT international, 90-94p.

Interpump Group S.p.A., General catalogue, 136p.

Udor S.p.A., Udor water power, high pressure plunger pumps catalogue, 90p.

Kamat Su Teknolojisi Ltd., Emniyet valfi, Kamjet EV-500/80, 1p.

TEŞEKKÜR

Lisansüstü akademik eğitimim boyunca ve tez çalışmamın her aşamasında, kıymetli bilgi, tecrübe ve desteğini esirgemeyen değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hasan YILDIZ'a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca tez çalışmalarımnda bilgi ve birikimlerini paylaşan, kıymetli yardımlarını esirgemeyen Kocaeli Haddecilik teknik ekibine teşekkür ederim. Yüksek lisans eğitimim boyunca ve özellikle tez aşamasında sabırla desteğini derinden hissettiğim sevgili eşime de minnet duygularımı sunarım.

03.05.2019

İmza

Gürkan ERAL

ÖZGEÇMİŞ

Yazar 04.12.1980, İzmir doğumludur. Orta ve lise öğrenimini Bayraklı Lisesi'nde, lisans eğitimini ise Ege üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde tamamlamıştır. 2004 yılında üniversiteden mezun olduktan hemen sonra askerlik görevini 2005 yılında tamamlamıştır. Askerlik hizmetinin tamamlanmasından sonra 2 yıl küçük ve orta ölçekli işletmelerde üretim mühendisi ve saha şefi olarak çalışmıştır. 2007 yılında demir çelik sektörüne girmiş ve 2014 yılına kadar bakım mühendisi, talaşlı imalat mühendisi, mekanik montaj mühendisi pozisyonlarını eş zamanlı olarak yürüterek çeşitli pozisyonlarda deneyim kazanmıştır. 2014 yılından beri yapısal çelik profili üreten bir firmada mekanik bakım şefi olarak görev yapmaktadır.