

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ISLANMAZ YÜZEYLER ÜZERİNE GÖNDERİLEN SU JETİNİN
DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Ali KİBAR

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Danışman: Doç. Dr. K. Süleyman YİĞİT

KOCAELİ, 2008

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

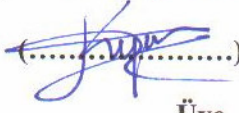


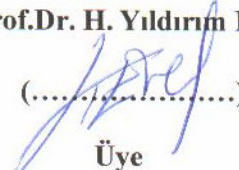
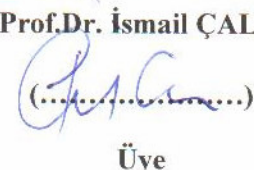


**ISLANMAZ YÜZEYLER ÜZERİNE GÖNDERİLEN SU JETİNİN
DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Ali KİBAR

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26 Mayıs 2008

Tezin Savunulduğu Tarih: 2 Temmuz 2008

Tez Danışmanı	Üye	Üye
Doç.Dr. K. Süleyman YİĞİT	Prof.Dr. Aydın ŞALCI	Prof.Dr. H. Mete ŞEN
 (.....)	 (.....)	 (.....)
Üye	Üye	Üye
Prof.Dr. H. Yıldırım ERBİL		Prof.Dr. İsmail ÇALLI
 (.....)		 (.....)
Üye		Üye
Doç.Dr. Ahmet ERDİL		Yrd.Doç.Dr. Hasan KARABAY
 (.....)		 (.....)

KOCAELİ, 2008

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Tabiatta birçok hayvan ve bitki yüzeyi ıslanmaz (hidrofobik) özelliğe sahiptir. Bu özellikler onlara alışılmışın dışında davranışlar kazandırmıştır. Örnek olarak gecko kertenkelesinin su üzerinde yürümesi, karalâhana sebzesinin kışın donmadan yaşabilmesi bunlardan birkaçıdır. Bu alışılmışın dışındaki durumlar ıslanmaz yüzeylerin endüstride ve günlük hayatta kullanım alanları için ilham kaynağı olmuştur.

Islanmaz yüzeylerin sıvı ile aralarındaki çekim kuvvetinin düşük olması dikkat çeken özelliklerindedir. Bu özelliğı sayesinde üzerindeki sıvı damlası yüksek kontak açısıyla durarak yüzeyi ıslatmamaktadır. Katı sıvı etkileşiminde normalden farklı davranan ıslanmaz yüzeylerin bu farkları ortaya konulduktan sonra kullanım alanları daha da genişleyecektir. Bu tez çalışmasında ıslanmaz yüzeyler üzerine çarpan sıvı jeti akışının normal yüzeylerden farklı olan davranışları ele alınıp incelenmiştir.

Bu tez çalışmasını yapmamda bana imkan sağlayan ve desteğini eksik etmeyen hocam Doç. Dr. K. Süleyman YİĞİT'e, tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen ve bilgilerinden çok istifade ettiğim Yrd.Doç.Dr. Hasan KARABAY'a, ıslanmaz malzeme tedarikini sağlayan ve tez çalışmam sırasında bana yön gösteren Prof. Dr. H. Yıldırım ERBİL'e, ıslanmaz yüzeylerin hazırlanması ve kontak açılarının ölçülmesindeki emeklerinden dolayı Arş.Gör. İkrime Orkan UÇAR'a, teşekkür ederim.

Tez çalışmaları için gerekli olan zaman konusundaki anlayış ve yardımlarından dolayı Yrd.Doç.Dr. Kadriye OKTOR ve Yrd.Doç.Dr. Hakan PEKEY'e teşekkür ederim.

Bu tez çalışması Devlet Planlama Teşkilatı tarafından desteklenen proje kapsamında yapılmıştır (Proje No: 2003K120790). Finansal desteğinden dolayı Devlet Planlama Teşkilatı'na teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ	xiv
SEMBOLLER	xv
ÖZET.....	xvii
İNGİLİZCE ÖZET.....	xviii
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. İslanmaz ve Süper İslanmaz Yüzeyler	5
2.1.1. İslanmaz yüzeylerin kullanım alanları	6
2.1.2. Yüzey gerilim kuvvetleri.....	7
2.1.3. Young eşitliği	8
2.2. Dairesel Hidrolik Sıçrama (D.H.S).....	11
2.2.1. Normal yüzeyler üzerinde D.H.S	12
2.2.2. İslanmaz yüzeyler üzerinde D.H.S	13
2.3. Teorik Çalışma	14
2.3.1. Enerji dönüşümleri	14
2.3.1.1. Suyun yüzeyde aldığı şeklin geometrisi.....	15
2.3.1.2. Suyun yüzeyde aldığı şeklin hacmi.....	18
2.3.1.3. İslanmaz yüzeyde yayılan suyun yüzey gerilim enerjisi.....	19
2.3.1.4. Yeryüzüne dik ıslanmaz yüzeye eğimli su akışının enerji eşitliği	19
2.3.1.4.1. Yüzeye çarpan suyun yüzeyde yayılması	20
2.3.1.4.2. Yüzeyde yayılan suyun yüzeyden yansması.....	21
2.3.2. Suyun yüzeyde meydana getirdiği teğetsel kuvvet	21
2.3.2.1. Kütlelin korunumu	22
2.3.2.2. Momentum denklemi	22
2.4. Literatür Çalışması.....	25
2.4.1. İslanmaz ve normal yüzeyler üzerine damla çarpması çalışmaları.....	27
2.4.2. Katı yüzeye sıvı jeti gönderilmesi.....	34
2.4.3. İslanır yüzeylerde dairesel hidrolik sıçrama (D.H.S).....	35
2.4.3.1. İslanır yatay yüzeylerde D.H.S	35
2.4.3.2. İslanır eğimli yüzeylerde D.H.S.....	38
2.5. Boyutsuz Sayılar	40
2.5.1. Eşdeğer çap	42
2.5.2. Uzama faktörü (U.F)	42
2.5.3. Eşdeğer yayılma faktörü (E.Y.F)	43
2.5.4. Uzama oranı ve genişleme oranı	43
2.5.5. Şekil faktörü (Ş.F.).....	44
BÖLÜM 3. MALZEME VE YÖNTEM	46
3.1. Deney Tesisatı.....	46
3.1.1. İslanmaz malzeme ile kaplanmış yüzeyler.....	47

3.1.2. Su nozulları	48
3.1.3. Hassas terazi.....	48
3.1.4. CCD fotoğraf makinesi	50
3.1.5. Debimetre	50
3.1.6. Tank	50
3.2. Deneyler Sırasındaki Değişkenler.....	51
3.3. Görüntü Analizi.....	53
BÖLÜM 4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	57
4.1. Yayılma	58
4.2. Yayılıp Yansıma (Yayılma ve Yansıma)	65
4.2.1. D.H.S'nin oluşmadığı yansıma	67
4.3. Islanmaz Yüzeylerde Yayılarak Ayrılma.....	68
4.4. Islanmaz Yüzeylerde Yayılıp Sıçrama.....	70
4.5. Islanmaz Yüzeylerde Eşdeğer Çap.....	71
4.5.1. Eşdeğer çapa Reynolds ve Weber sayılarının etkileri.....	73
4.5.2. Eşdeğer çapa jet açısının etkisi	83
4.5.3. Eşdeğer çapa nozul çapının etkisi	89
4.5.3.1. Eşdeğer yayılma faktörü (E.Y.F.)	95
4.5.4. Eşdeğer çapa kontak açısının etkisi.....	100
4.5.5. Eşdeğer çapa akışkan sıcaklığının etkisi	104
4.5.6. Eşdeğer çap özet.....	106
4.6. Uzama Faktörü (U.F)	108
4.6.1. Uzama faktörüne Weber ve Reynolds sayılarının etkileri	108
4.6.2. Uzama faktörüne nozul çapının etkisi.....	110
4.6.3. Uzama faktörüne kontak açısının etkisi	111
4.6.4. Uzama faktörüne jet açısının etkisi	113
4.6.5. Uzama faktörüne akışkan sıcaklığının etkisi.....	114
4.6.6. Uzama faktörü özet	115
4.7. Uzunluk, Genişlik, Uzama Oranı ve Genişleme Oranı	116
4.7.1. Uzama ve genişleme oranlarına We ve Re sayılarının etkileri	117
4.7.2. Uzama ve genişleme oranlarına jet açısının etkisi	121
4.7.3. Uzama ve genişleme oranlarına kontak açısının etkisi	126
4.7.4. Uzama ve genişleme oranlarına nozul çapının etkisi.....	129
4.7.5. Uzama ve genişleme oranlarına akışkan sıcaklığının etkisi.....	130
4.7.6. Uzunluk, genişlik, uzama oranı ve genişleme oranı özet.....	132
4.8. Dikey Islanmaz Yüzeyde Şekil Faktörü.....	133
4.8.1. Dikey ıslanmaz yüzeyde şekil faktörü özet.....	138
4.9. Yansıma Şartları ve Açısı.....	139
4.9.1. Yansımaya Reynolds ve Weber sayılarının etkileri	139
4.9.2. Yansımaya kontak açısının etkisi	143
4.9.3. Yansımaya jet açısının etkisi.....	146
4.9.4. Yansımaya nozul çapının etkisi	150
4.9.5. Yansımaya akışkan sıcaklığının etkisi	152
4.9.6. Yansıma şartları ve açısı özet.....	154
4.10. Teğetsel Kuvvet (F_y)	154
4.10.1. Teğetsel kuvvete Reynolds ve Weber sayılarının etkileri.....	155
4.10.2. Teğetsel kuvvete jet açısının etkisi	159
4.10.3. Teğetsel kuvvete nozul çapının etkisi	162
4.10.4. Teğetsel kuvvete kontak açısının etkisi.....	166

4.10.5. Teğetsel kuvvete akışkan sıcaklığının etkisi	169
4.10.6. Teğetsel kuvvet özet.....	171
4.11. Ortalama Kayma Gerilmesi.....	171
4.11.1. Ortalama kayma gerilmesi özet.....	177
4.12. İslanmaz Yüzey Eğimli ve Nozul Dikey Konumlu	177
4.12.1. Eşdeğer çap	178
4.12.2. Uzama faktörü.....	182
4.12.3. Uzunluk, genişlik, uzama oranı ve genişleme oranı	184
4.12.4. Yansıma	185
4.12.5. Eğik duran ıslanmaz yüzeyde dikey kuvvetler.....	186
4.12.5.1. Dikey kuvvete Reynolds ve Weber sayılarının etkileri.....	187
4.12.5.2. Dikey kuvvete jet açısının etkisi	189
4.12.5.3. Dikey kuvvete kontak açısının etkisi	190
4.12.5.4. Dikey kuvvete nozul çapının etkisi	192
BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	194
5.1. Sonuçlar	194
5.2. Öneriler	201
KAYNAKLAR	203
EKLER.....	211
KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER.....	213
ÖZGEÇMİŞ	214

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: a) Süper hidrofobik, b) Hidrofobik, c) Hidrofilik malzemelerin üzerinde su damlasının genel görünüşü.....	5
Şekil 2.2: İslanmaz yüzey üzerinde sıvı kaymasının şematik gösterimi.....	6
Şekil 2.3: Sıvı-gaz ara yüzeyi molekülleri ve yüzey geriliminin oluşumu (Beyaz, 2007).	8
Şekil 2.4: Katı yüzeyde bulunan sıvı damlasının katı, sıvı ve gaz fazlarının birleştiği noktada meydana gelen gerilim kuvvetleri.	9
Şekil 2.5: Gerçek yüzey alanı ile izdüşüm alanının şematik gösterimi (Wal, 2006).	10
Şekil 2.6: Katı yüzeylerin ıslatma özellikleri ve gerilim dengeleri diyagramı (Zengerle ve Metz, 2007).	11
Şekil 2.7: Su jetinin yüzeye çarpmasıyla oluşan 5 farklı davranışın şematik görünümü	11
Şekil 2.8: Yatay olarak duran bir katı yüzeye dikey su jeti çarpmasıyla oluşan eksenel simetrik D.H.S.....	13
Şekil 2.9: Yeryüzüne dikey ıslanmaz yüzeye eğimli olarak çarpan su jetinin yüzeydeki şekilleri ve kontrol hacmine alınması.	15
Şekil 2.10: Suyun yüzeyde aldığı seklin torus şeklinde ifadesi.	16
Şekil 2.11: Suyun yüzeyde ıslanmaz yüzeye temas eden alanı.....	17
Şekil 2.12: Yeryüzüne dikey olarak duran ıslanmaz yüzeyde momentum ve kuvvet vektörleri.	23
Şekil 2.13: Nilüfer yaprağının elektron mikroskopuyla görünümü (Neinhuis ve Barthlott, 1997).	25
Şekil 2.14: Damlanın Katı Yüzeye çarpmasıyla alabileceği şekiller (Rioboo ve diğ. 2001).	27
Şekil 2.15: Katı yüzeye çarpan sıvı damlasının çarpışma aşamaları (Bussmann, 2000).	28
Şekil 2.16: Damlanın katı yüzeye çarpmasıyla oluşabilecek olayların şematik gösterimi (Bai ve Gossman, 1995).	29
Şekil 2.17: Damlada oluşan sıçrama geçiş bölgesi için Re ve Oh sayıları aralarındaki logaritmik grafik (Moreira, 2005).	30
Şekil 2.18: Yüksek poz ayarında çekilmiş damlanın ıslanmaz yüzeye çarpıp geri sekmesi aşamaları (Richard ve Quere, 2000).	31
Şekil 2.19: Eğimli katı yüzeye çarparak yansıyan damlanın yüksek hızlı kamerayla çekilmiş görüntüsü (Chiu ve Lin, 2005).	33
Şekil 2.20: $\alpha=0^\circ$ ve $\alpha=60^\circ$ açıyla duran katı yüzeye çarpan sıvı damlasının zaman içindeki aldığı şekiller (Fujimoto ve diğ. 2007).	33
Şekil 2.21: Katı bir yüzeye çarpan viskoelastik sıvının sıvı jeti hızıyla aldığı şekillerin yüksek hızlı kamerayla görüntüleri (Miller ve diğ. 2005).	34
Şekil 2.22: Katı yüzeye çarpan sprey damlacıklarının davranışının şematik gösterimi (Naber ve Reitz, 1988).	35
Şekil 2.23: İki sıvı jetinin katı yüzeye çarpışmasıyla oluşan şeklin şematik görünüşü. 1) Serbest jet akışı 2) Jet çarpma bölgesi. 3) İç jet bölgesi 4) Dış jet	

bölgesi 5) Fıskırma oluşumu bölgesi 6) Fıskırma akışı 7) Sürüklenme bölgesi (Kate ve diğ. 2007c).	36
Şekil 2.24: Su jetinin katı yüzeye eğimli olarak çarpmasıyla aldığı şekiller. a) Düzenli yansıma dalgaları b) Mach yansıma dalgaları (Kate ve diğ. 2007a).....	38
Şekil 2.25: Eğik yüzey üzerinde akışın şematik gösterilişi (Togahsi ve diğ. 2004)..	39
Şekil 2.26: Polar koordinatlarda elipsin gösterilişi (Togahsi ve diğ. 2004).....	39
Şekil 2.27: Spreyin düşey yüzeye çarpması deney tesisatı (Weiss, 2005).....	40
Şekil 2.28: İslanmaz yüzeydeki akışkanın izdüşümünün boyutları ($\theta=112^\circ$, $\alpha=45^\circ$)	44
Şekil 3.1: Deney tesisatının şematik görüntüsü.	47
Şekil 3.2. Deneylelerde kullandığımız ıslanmaz yüzeyler üzerinde su damlası ve kontak açılarının genel görünümü.....	48
Şekil 3.3. Deneylelerde kullandığımız ıslanmaz yüzeyler üzerinde su damlası ve kontak açılarının üstten görünümü.....	48
Şekil 3.4: Deneyleler sırasında hassas terazide meydana gelen kuvvet ve momentler.	49
Şekil 3.5: Deneylelerde kullanılan debimetre	50
Şekil 3.6: Dikey olarak duran ıslanmaz yüzeye eğimli çarpan su jetinin görüntüsü .	53
Şekil 3.7: İslanmaz yüzeydeki akışkanın şeklini ifade edilen parametreler a) $\alpha=25^\circ$ b) $\alpha=45^\circ$	55
Şekil 4.1: Dikey olarak duran ıslanmaz yüzeye eğimli su akışı.....	58
Şekil 4.2: Eğimli olarak duran ıslanmaz yüzeye dikey su akışı.....	58
Şekil 4.3: Kontak açısı 112° olan yüzeye 1.75 mm nozul ile su jeti gönderilmesiyle yüzeyde oluşan yayılmanın aynı We sayıları, farklı jet açılarındaki davranışları ($We \approx 190$)	59
Şekil 4.4: Dikey olarak duran ıslanmaz yüzeye su akışının yüzeyde aldığı şeklin geometrisi.....	60
Şekil 4.5: İslanmaz yüzeye yüksek We sayısında çarpan akışkanın anlık görüntüsü ($\theta=102^\circ$, $d=1.75$ mm, $\alpha=30^\circ$).....	62
Şekil 4.6: Dikey ıslanmaz yüzey üzerinde akan suyun kesit görüntüsü	63
Şekil 4.7: İslanmaz yüzeye çarptıktan sonra yayılarak tekrar bir araya birleşen akışkanın birleştiği yerdeki görüntüsü.	64
Şekil 4.8: İslanmaz yüzeyde oluşan sıvı zinciri ($\theta=102^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm)	65
Şekil 4.9: İslanmaz yüzeye eğimle çarpan akışkanın yüzeyde yayılarak yansıması..	65
Şekil 4.10: İslanmaz yüzeyden yansıyan suyun havada ilerlerken damlacıklar haline dönüşmesi.....	67
Şekil 4.11: İslanmaz yüzeye gelen su jetinin yansıma olayının yandan ve önden görünüşü ($\theta=167^\circ$, $\alpha=15^\circ$, $\beta=8$, $d=1.75$ mm, $We=9.4$).....	68
Şekil 4.12: İslanmaz yüzeyde yayılan akışkanın yayılarak ayrılması $d=1.75$ mm $\alpha=45^\circ$ a) $\theta=123^\circ$, $We=166$ b) $\theta=145^\circ$, $We=300$	69
Şekil 4.13: İslanmaz yüzeyde yayılan akışkandaki sıçramaların anlık görüntüsü ($\theta=167^\circ$, $We=230$, $\alpha=45^\circ$).....	71
Şekil 4.14: Yayılma ve yayılıp yansıma olaylarının yandan görünümü a) $\theta= 123^\circ$ b) $\theta= 167^\circ$	72
Şekil 4.15: Yayılma olayının ve su zincirinin oluşumunun genel görünüşü ($\theta=112^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm).....	73
Şekil 4.16: Su jetinin süper ıslanmaz yüzey üzerindeki yayılımının We sayısı ile değişimi. ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm).....	74
Şekil 4.17: Farklı jet açılarındaki Weber, eşdeğer çap değişimi grafiği ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm).....	75

Şekil 4.18: Farklı jet açılarındaki Reynolds, eşdeğer çap değişimi grafiği ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm).....	76
Şekil 4.19: Weber, eşdeğer çap ve jet açısı değişiminin 3 boyutlu grafiği ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm).....	76
Şekil 4.20: Weber, kontak açısı ve eşdeğer çap 3 boyutlu grafiği ($\alpha=30^\circ$)	77
Şekil 4.21: Farklı kontak açılarındaki eşdeğer çap farkları ($d=2$ mm, $\alpha=30^\circ$, $T=20$ $^\circ\text{C}$).....	78
Şekil 4.22: Kontak açısının eşdeğer çap üzerindeki farkının 3 boyutlu grafiği ($\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm).....	78
Şekil 4.23: Farklı kontak açılarında eşdeğer çap farkları ($d=2$ mm, $\alpha=30^\circ$, $T=20$ $^\circ\text{C}$)	79
Şekil 4.24: Kontak açıları arasında büyük fark olan ıslanmaz yüzeylerde aynı yayılmanın gerçekleştiği We sayısı ($d=4$ mm, $\alpha=45^\circ$, $T=20$ $^\circ\text{C}$).....	79
Şekil 4.25: Jet açısı değişiminin çakışma olan We sayısına etkisi ($d=2$ mm, $\alpha=45^\circ$, $T=20$ $^\circ\text{C}$).....	80
Şekil 4.26: Nozul çapı değişiminin çakışma olan We sayısına etkisi ($d=4$ mm, $\alpha=45^\circ$, $T=20$ $^\circ\text{C}$).....	81
Şekil 4.27: Akışkanın sıcaklığı değişiminin çakışma olan We sayısına etkisi ($d=4$ mm, $\alpha=45^\circ$, $T=50$ $^\circ\text{C}$).....	81
Şekil 4.28: Eşdeğer çapın, farklı iki kontak açısındaki yüzeyin, farklı jet açısında We sayısı ile değişimi($d=1.75$ mm, $T=20$ $^\circ\text{C}$).....	82
Şekil 4.29: Kayıp enerjinin We sayısı ile değişimi ($\theta=145^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm)....	83
Şekil 4.30: Kontak açısı 112° olan yüzeye 1.75 mm nozul ile su jeti gönderilmesiyle yüzeyde oluşan yayılmanın aynı We sayıları, farklı jet açılarındaki davranışları ($We\approx 190$)	83
Şekil 4.31: Kontak açısı 167° olan yüzeye 1.75 mm nozul ile su jeti gönderilmesiyle yüzeyde oluşan yayılmanın aynı We sayıları, farklı jet açılarındaki davranışları ($We\approx 55$)	84
Şekil 4.32: Eşdeğer çapın farklı jet açılarında We sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $d=4$ mm)	84
Şekil 4.33: Eşdeğer çapın farklı jet açılarında normal We sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$ $d=4$ mm).....	85
Şekil 4.34: Eşdeğer çapın farklı jet açılarında düzenlenmiş We sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$ $d=4$ mm).....	85
Şekil 4.35: Eşdeğer çapın farklı jet açılarında düzenlenmiş We sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$ $d=1.75$ mm).....	86
Şekil 4.36: Düşük kontak açılı ıslanmaz yüzeydeki su jeti açısının eşdeğer çapa etkisi ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm)	86
Şekil 4.37: Yüksek kontak açılı ıslanmaz yüzeydeki su jeti açısının eşdeğer çapa etkisi ($\theta=167^\circ$, $d=1.75$ mm)	87
Şekil 4.38: Eşdeğer çapın farklı kontak açılarındaki jet açısı ile değişimi ($We\approx 77$, $d=1.75$ mm).....	87
Şekil 4.39: Eşdeğer çapın farklı jet açısı ve We sayısında iki farklı kontak açısı için değişimi ($d=1.75$ mm).....	88
Şekil 4.40: Eşdeğer çapın kontak açısının ıslanmaz özellikteki her değeri için farklı jet açılarındaki değişimi ($We=386$, $d=4$ mm)	89
Şekil 4.41: 1.75 mm ve 4 mm çapındaki nozullarla ıslanmaz yüzeyde su jetinin yayılması	90

Şekil 4.42: Düşük kontak açısındaki ıslanmaz yüzeyde eşdeğer çapa farklı nozulların etkisi a) We sayısı b) Re sayısı ($\theta=112^\circ$ $\alpha=30^\circ$).....	91
Şekil 4.43: Yüksek kontak açısındaki ıslanmaz yüzeyde eşdeğer çapa farklı nozulların etkisi a) We sayısı b) Re sayısı ($\theta=167^\circ$ $\alpha=30^\circ$).....	91
Şekil 4.44: 1.75 mm ve 4 mm çapındaki nozullarla ıslanmaz yüzeyde su jetinin yayılmasın jet açısı ile değişimi ($Q=0.5$ lt/dk).....	92
Şekil 4.45: Nozul çapı farkının farklı kontak açısı ve We sayılarındaki etkisi.....	92
Şekil 4.46: Nozul çapının eşdeğer çapa etkisinin We sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$).....	93
Şekil 4.47: Eşdeğer çapın farklı Re sayılarında nozul çapı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$).....	94
Şekil 4.48: Farklı We sayıları ve jet açılarında iki farklı nozuldaki eşdeğer çap farkları ($\theta=167^\circ$).....	94
Şekil 4.49: Farklı We sayılarında kontak açısının ıslanmaz her değeri için iki farklı nozuldaki eşdeğer çap farkları ($\alpha=30^\circ$).....	95
Şekil 4.50: Eşdeğer yayılma faktörünün We sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$)	96
Şekil 4.51: Eşdeğer yayılma faktörünün Re sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$)	96
Şekil 4.52: Eşdeğer yayılma faktörünün We sayısı ile değişimi ($\theta=145^\circ$, $\alpha=30^\circ$)	97
Şekil 4.53: Eşdeğer yayılma faktörünün Re sayısı ile değişimi ($\theta=145^\circ$, $\alpha=30^\circ$)	97
Şekil 4.54: Eşdeğer yayılma faktörünün We sayısı ile değişimi ($\theta=112^\circ$, $\alpha=30^\circ$)	98
Şekil 4.55: Eşdeğer yayılma faktörünün Re sayısı ile değişimi ($\theta=112^\circ$, $\alpha=30^\circ$)	98
Şekil 4.56: Eşdeğer yayılma faktörünün kontak açısının ıslanmaz her değeri için farklı nozullardaki değişimi ($We=247$, $\alpha=30^\circ$).....	99
Şekil 4.57: Eşdeğer yayılma faktörünün kontak açısının ıslanmaz her değeri için farklı jet açılarındaki iki nozul için değimi ($We=288$, $\alpha=30^\circ$).....	99
Şekil 4.58: Farklı kontak açılarında aynı Weber sayısında akışkanın yüzeyde yayılımı görüntüleri ($We\approx 35$, $\alpha=30^\circ$).....	100
Şekil 4.59: Farklı kontak açılarında aynı Weber sayısında akışkanın yüzeyde yayılımı görüntüleri ($We\approx 44$, $\alpha=20^\circ$).....	100
Şekil 4.60: Farklı kontak açıları için eşdeğer çapın We sayısı ile değişimi ($\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm).....	101
Şekil 4.61: Farklı kontak açıları için eşdeğer çapın We sayısı ile değişimi ($\alpha=30^\circ$, $d=4$ mm).....	102
Şekil 4.62: Kontak açısının ıslanmaz özellikte olan her değeri için eşdeğer çapın We sayısı ile değişimi ($\alpha=30^\circ$ $d=1.75$ mm).....	102
Şekil 4.63: Eşdeğer çapın farklı kontak açılarındaki jet açısı ile değişimi ($We\approx 28$, $d=4$ mm).....	103
Şekil 4.64: Eşdeğer çapın farklı jet açılarındaki kontak açısı ile değişimi ($We=386$, $d=4$ mm).....	103
Şekil 4.65: Farklı sıcaklıklarda eşdeğer çapın We sayısı ile değişimi.....	104
Şekil 4.66: Eşdeğer çapın iki kontak açısı için sıcaklık ile değişimi ($d=1.75$ mm, $\alpha=30^\circ$, $Q=0,5$ lt/dk(sabit)).....	105
Şekil 4.67: Kontak açısının ıslanmaz özellikteki değerleri için eşdeğer çapın sıcaklık ile değişimi ($\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm).....	105
Şekil 4.68: Farklı sıcaklıktaki akışkanın We sayısı ile değişiminin eşdeğer çapa etkisi ($d=1.75$ mm, $\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$).....	106
Şekil 4.69: Sabit Re sayısında sıcaklığın eşdeğer çapa etkisi ($Re=2186$ (sabit), $d=4$ mm, $\alpha=30^\circ$).....	106

Şekil 4.70: Weber sayısı ve jet açısının uzama faktörüne etkisi ($\theta=167^\circ$, $d=4$ mm).	108
Şekil 4.71: Weber sayısı ve jet açısının uzama faktörüne etkisi ($\theta=167^\circ$, $d=4$ mm)	109
Şekil 4.72: Weber sayısı ve jet açısının düşük açıdaki ıslanmaz yüzeyler üzerindeki uzama faktörüne etkisi ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm)	109
Şekil 4.73: Uzama faktörünün farklı jet açılarında We sayısı ile değişimi ($\theta=123^\circ$, $d=1.75$ mm)	110
Şekil 4.74: Su jeti çapının uzama faktörü üzerindeki etkisi ($\theta=112^\circ$, $\alpha=30^\circ$)	110
Şekil 4.75: Uzama faktörünün farklı We sayılarında jet çapı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$)	111
Şekil 4.76: Uzama faktörünün farklı kontak açılarında kıyaslaması için jet açısı ile değişimi ($d=4$ mm, $We\approx 27$)	112
Şekil 4.77: Farklı jet açılarında kontak açısının uzama faktörüne etkisi ($We=288$, $d=1.75$ mm)	112
Şekil 4.78: Farklı jet açılarında uzama faktörünün We sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $d=1.75$ mm)	113
Şekil 4.79: Uzama faktörünün farklı We sayıları için jet açısı ile değişimi ($\theta=102^\circ$, $d=1.75$ mm)	114
Şekil 4.80: Uzama faktörünün farklı jet açılarında akışkanın sıcaklığı ile değişimi ($\theta=102^\circ$, $d=1.75$ mm)	115
Şekil 4.81: Islanmaz yüzeydeki akışkanın şekilleri ve bu şekillerin alanlarına eşit alanda daireler ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm, $We\approx 181$)	116
Şekil 4.82: Farklı jet açılarında yüzeydeki akışkanın şeklinin We sayısı ile genişlemesi arasındaki ilişki ($\theta=123^\circ$, $d=1.75$ mm)	118
Şekil 4.83: Farklı jet açılarında We sayısının W' 'ye etkisi ($d=1.75$ mm $\theta=123^\circ$)	118
Şekil 4.84: Farklı We sayılarında uzama ve genişleme oranlarının jet açısıyla değişimi ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm)	119
Şekil 4.85: Genişleme oranının farklı jet açılarında We sayısı ile değişimi ($\theta=123^\circ$, $d=1.75$ mm)	120
Şekil 4.86: Uzama oranının farklı jet açılarında We sayısı ile değişimi ($\theta=123^\circ$, $d=1.75$ mm)	120
Şekil 4.87: Uzama ve genişleme oranlarının jet açısı ile değişimi ($\theta=123^\circ$, $d=1.75$ mm, $We\approx 60$)	121
Şekil 4.88: Islanmaz yüzeydeki akışkanın uzunluk ve genişliğin farklı We sayılarında jet açısı ile değişimi a) Uzunluk b) Genişlik ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm)	122
Şekil 4.89: Islanmaz yüzeydeki akışkanın uzama ve genişlemesinin kıyaslanması ($\theta=123^\circ$, $d=1.75$ mm)	123
Şekil 4.90: Uzunluk ve genişliğin farklı jet açılarında kıyaslanması ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm)	124
Şekil 4.91: Farklı kontak açılarında jet açısının uzunluğa etkisi ($d=1.75$ mm, $We=288$)	124
Şekil 4.92: Farklı kontak açılarında jet açısının genişliğe etkisi ($d=1.75$ mm, $We=288$)	125
Şekil 4.93: Uzama ve genişleme oranlarının farklı kontak açısı için jet açısıyla değişimi ($d=1.75$ mm, $We=288$)	125
Şekil 4.94: Uzunluk ve genişliğin farklı We sayılarında kontak açısı ile değişimi	126
Şekil 4.95: Uzama ve genişleme oranının farklı We sayılarında kontak açısı ile değişimi	127

Şekil 4.96: Uzama ve genişleme oranlarının farklı jet açısı değerlerinde kontak açısı ile değişimi a) Uzama oranı b) Genişleme oranı ($d=1.75$ mm, $We=288$)	128
Şekil 4.97: Farklı We sayılarında kontak açısının L ve W 'ye etkisi ($d=1.75$ mm, $\alpha=30^\circ$)	129
Şekil 4.98: Nozul çapının uzama ve genişleme oranlarına etkisi ($\theta=112^\circ$ $\alpha=20^\circ$)	129
Şekil 4.99: Akışkan sıcaklığının farklı jet açılarında genişliğe etkisi ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm)	130
Şekil 4.100: Farklı jet açılarında akışkan sıcaklığının genişleme oranına etkisi ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm)	131
Şekil 4.101: Akışkan sıcaklığının farklı jet açılarında uzunluğa etkisi ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm)	131
Şekil 4.102: Farklı jet açılarında akışkan sıcaklığının uzama oranına etkisi ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm)	132
Şekil 4.103: Su jetinin ıslanmaz yüzeyde aldığı şekiller ve bu şekillerle aynı boy ve genişliğe sahip elipsler ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm, $We=181.68$)	134
Şekil 4.104: Şekil Faktörü'nün düşük jet açılarındaki etkisi ($\theta=180^\circ$, $d=1.75$ mm, $We=1152$)	134
Şekil 4.105: Şekil Faktörü'nün farklı We sayılarında kontak açısıyla değişimi ($\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm)	135
Şekil 4.106: Farklı kontak açılarında jet açısı ile Şekil Faktörü arasındaki ilişki ($d=1.75$ mm $We=283$)	136
Şekil 4.107: Şekil Faktörü'nün farklı We sayılarında jet açısıyla değişimi ($\theta=167^\circ$, $d=1.75$ mm)	136
Şekil 4.108: Şekil Faktörü'nün maksimum değer aldığı jet açısı ($\theta=167^\circ$, $d=1.75$ mm, $We=288$)	137
Şekil 4.109: Şekil Faktörü'nün maksimum değer aldığı jet açısı ($\theta=167^\circ$, $d=1.75$ mm, $We=564$)	137
Şekil 4.110: Şekil Faktörü'nün akışkan sıcaklığı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $d=1.75$ mm, $We=281.5$)	138
Şekil 4.111: Dikey olarak duran ıslanmaz yüzeye eğimle çarpan su jetinin yüzeyden yansımaları ($\theta=167^\circ$ $d=1.75$ mm $\alpha=25^\circ$)	141
Şekil 4.112: Farklı jet açılarında yansıma açısının We sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $d=1.75$ mm)	141
Şekil 4.113: Farklı We sayılarında jet açısının yansıma açısına etkisi ($d=1.75$ mm, $\theta=167^\circ$)	143
Şekil 4.114: Düşük kontak açısına sahip yüzeyde yansımanın gerçekleşmemesi ($\theta=112^\circ$, $\alpha=45^\circ$ $d=1.75$ mm)	144
Şekil 4.115: Kontak açısı çok düşük olmayan yüzeyde yansımanın gerçekleşmemesi ($\theta=123^\circ$, $\alpha=45^\circ$, $d=1.75$ mm)	144
Şekil 4.116: 123° kontak açısına sahip yüzeyde yansıma durumları ($\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm)	145
Şekil 4.117: Farklı kontak açıları için yansıma hızının yatay bileşenin değişimi ($\theta=123^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm)	146
Şekil 4.118: Suyun yüzeyden yansımaları görüntüleri ($We\approx 29.17$, $d=1.75$ mm, $\theta=167^\circ$)	146
Şekil 4.119: Suyun yüzeyden yansımaları görüntüleri ($\theta=167^\circ$, $We\approx 71.21$, $d=1.75$)	147
Şekil 4.120: Yansıma açısının jet açısı ile değişimi ($d=1.75$ mm, $We=285$, $\theta=167^\circ$)	147

Şekil 4.121: Farklı We sayılarında yansıma açısının jet açısı ile değişimi ($\theta=160^\circ$, $d=1.75$ mm).....	148
Şekil 4.122: Yansımanın başladığı çarpışma parametresi, K ($\theta=167^\circ$).....	149
Şekil 4.123: Farklı jet açılarındaki yansıma hızının yatay bileşenin We sayısı ile değişimi ($\theta=123^\circ$, $d=1.75$ mm).....	149
Şekil 4.124: Su jetinin ıslanmaz yüzeyde yayılarak yansımaları ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $d=4$ mm).....	150
Şekil 4.125: Su jetinin ıslanmaz yüzeyde yayılarak yansımaları ($\theta=167^\circ$, $d=1.75$ mm, $\alpha=25^\circ$).....	151
Şekil 4.126: Farklı jet açılarında yansıma açısının We sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $d=4$ mm).....	151
Şekil 4.127: Farklı debilerde yansıma açısını akışkan sıcaklığı ile değişimi ($d=1.75$ mm, $\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$).....	152
Şekil 4.128: Farklı Re sayılarında yansıma açısının akışkan sıcaklığı ile değişimi ($d=1.75$ mm, $\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$).....	153
Şekil 4.129: Farklı We sayılarında yansıma açısının akışkan sıcaklığı ile değişimi ($d=1.75$ mm, $\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$).....	153
Şekil 4.130: Teğetsel kuvvet ile Reynolds sayısının değişimi. ($\theta=67^\circ$, $d=4$ mm)...	156
Şekil 4.131: Teğetsel kuvvet ile Weber sayısının değişimi. ($\theta=167^\circ$, $d=4$ mm).....	156
Şekil 4.132: Teğetsel kuvvetin farklı jet açılarında Re sayısı ile değişimi ($\theta=145^\circ$, $d=4$ mm).....	157
Şekil 4.133: Teğetsel kuvvetin farklı jet açılarında We sayısı ile değişimi ($\theta=145^\circ$, $d=4$ mm).....	157
Şekil 4.134: Çok yüksek Re sayılarında kontak açısının teğetsel kuvvete etkisi ($d=4$ mm, $\alpha=30^\circ$).....	158
Şekil 4.135: Teorik ve deneysel verilerin teğetsel kuvvet ve Re sayısı eğrisiyle karşılaştırılması, ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm).....	159
Şekil 4.136: Teğetsel kuvvetin jet açısı ile değişiminin farklı We sayılarında kıyaslanması ($\theta=145^\circ$, $d=4$ mm).....	160
Şekil 4.137: Teğetsel kuvvetin jet açısı ile değişiminin farklı We sayılarında kıyaslanması ($\theta=167^\circ$, $d=4$ mm).....	160
Şekil 4.138: Teğetsel kuvvetin farklı Re sayılarında jet açısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $d=1.75$ mm).....	161
Şekil 4.139: Teorik ve deneysel verilerin teğetsel kuvvet ve jet açısı eğrisiyle karşılaştırılması, ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm).....	162
Şekil 4.140: Farklı çaplardaki nozulla elde edilen teğetsel kuvvetlerin debi ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$).....	162
Şekil 4.141: Farklı çaplardaki nozulla elde edilen teğetsel kuvvetlerin Re sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$).....	163
Şekil 4.142: : Farklı çaplardaki nozulla elde edilen teğetsel kuvvetlerin We sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$).....	163
Şekil 4.143: Farklı çaplardaki nozulla elde edilen teğetsel kuvvetlerin Re sayısı ile değişimi ($\theta=145^\circ$, $\alpha=15^\circ$).....	164
Şekil 4.144: Farklı çaplardaki nozulla elde edilen teğetsel kuvvetlerin Re sayısı ile değişimi ($\theta=145^\circ$, $\alpha=30^\circ$).....	164
Şekil 4.145: Farklı çaplardaki nozulla elde edilen teğetsel kuvvetlerin Re sayısı ile değişimi ($\theta=120^\circ$, $\alpha=30^\circ$).....	165
Şekil 4.146: Teğetsel kuvvetin farklı jet açılarında nozul çapı ile değişimi ($Re=4235$, $\theta=167^\circ$).....	165

Şekil 4.147: Kontak açısı 145° ve 167° olan yüzeyde Reynolds sayısı ile teğetsel net kuvvetin değişimi (d=4 mm, $\alpha=30^\circ$)	166
Şekil 4.148: Kontak açısının teğetsel kuvvet üzerine etkisi (Re=6000, d=1.75 mm, $\alpha=30^\circ$)	167
Şekil 4.149: 4 mm nozul ile 2 farklı ıslanmaz yüzeye gönderilen su jetinin jet açısı ile teğetsel kuvvetin değişimi.....	168
Şekil 4.150: Kontak açısının farklı jet açılarındaki teğetsel kuvvet üzerindeki etkisi (Re=2420, d=1.75 mm).....	168
Şekil 4.151: Sabit debide sıcaklığın teğetsel kuvvete etkisi (Q=0.5lt/dk, $\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$, d=1.75 mm)	169
Şekil 4.152: Sabit We sayısında sıcaklığın teğetsel kuvvete etkisi (We=281.4, $\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$, d=1.75 mm).....	170
Şekil 4.153: Sabit Re sayısında sıcaklığın teğetsel kuvvete etkisi (Re= 4627.5, $\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$, d=1.75 mm).....	170
Şekil 4.154: Ortalama kayma gerilmesinin iki farklı çaptaki nozul için Re sayısı ile değişimi ($\theta=145^\circ$, $\alpha=15^\circ$).....	172
Şekil 4.155: Ortalama kayma gerilmesinin iki farklı çaptaki nozul için Re sayısı ile değişimi	172
Şekil 4.156: Sabit Re ve We sayılarında kayma gerilmesinin sıcaklıkla değişimi $\alpha=30^\circ$, $\theta=167^\circ$ a) Re=4267.3(sabit) b) We=281.4(sabit).....	173
Şekil 4.157: Nozul çapının kayma gerilmesine etkisi ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$, Re=4240) ..	174
Şekil 4.158: Farklı Re sayılarının kayma gerilmesinin kontak açısıyla değişimi (d=1.75 mm, $\alpha=30^\circ$)	174
Şekil 4.159: Farklı Re sayılarının kayma gerilmesinin kontak açısıyla değişimi (d=1.75 mm, $\alpha=30^\circ$).....	175
Şekil 4.160: Kayma gerilmesinin jet açısı ile değişimi (d=1.75 mm, Re=3000).....	176
Şekil 4.161: Kayma gerilmesinin jet açısı ve Re sayısı ile değişimi (d=1.75 mm, $\theta=167^\circ$)	176
Şekil 4.162: Eğimli olarak duran ıslanmaz yüzeye dikey nozulla gönderilen su jetinin farklı hızlarda yüzeyde meydana getirdiği şekiller ($\theta=112^\circ$ $\alpha=45^\circ$ d=4 mm)	178
Şekil 4.163: Farklı jet açılarındaki su jetlerinin yüzeyde yayılması ($\theta=112^\circ$, $\alpha=45^\circ$, d=4 mm, We \approx 164)	178
Şekil 4.164: Dikey ve eğimli olarak yapılan deneylerdeki yayılma alanlarının karşılaştırılması ($\theta=123^\circ$, We \approx 33.5, $\alpha=45^\circ$, d=4 mm) a) Islanmaz yüzey dikey b) Islanmaz yüzey eğimli	179
Şekil 4.165: Dikey ve eğimli olarak yapılan deneylerdeki yayılma alanlarının karşılaştırılması ($\theta=112^\circ$ We \approx 27,5 $\alpha=30^\circ$ d=4 mm) a) Islanmaz yüzey dikey b) Islanmaz yüzey eğimli	179
Şekil 4.166: Dikey ve eğimli olarak yapılan deneylerde We sayısı ile yayılma alanlarının karşılaştırılması ($\theta=112^\circ$ $\alpha=30^\circ$ d=1.75 mm)	180
Şekil 4.167: Eşdeğer çapın We sayısı ile değişim grafiği ($\theta=167^\circ$ d=4 mm).....	180
Şekil 4.168: Yayılma alanlarının normal ve düzenlenmiş We sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, d=4 mm).....	181
Şekil 4.169: Islanmaz yüzeyin dikey ve eğimli olduğu deney şartları için suyun yüzeydeki yayılımının jet açısıyla değişimi ($\theta=112^\circ$, d=4 mm, We \approx 42)	181
Şekil 4.170: Düşük ve yüksek kontak açısına sahip yüzeylerde eşdeğer yayılma faktörünün We sayısı ile değişimi ($\alpha=15^\circ$)	182

Şekil 4.171: Farklı jet açılarındaki uzama faktörünün We sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $d=4$ mm).....	182
Şekil 4.172: Farklı kontak açılarındaki U.F' nin jet açısı ile değişimi ($Re\approx 4350$, $d=1.75$ mm).....	183
Şekil 4.173: Islanmaz yüzeyin dikey ve eğimli olduğu durumlardaki U.F arasındaki farklar ($d=4$ mm, $\theta=167^\circ$, $\alpha=15^\circ$)	183
Şekil 4.174: Farklı kontak açılarındaki ıslanmaz yüzeylerin uzama ve genişleme oranlarının jet açısıyla değişimi ($d=1.75$ mm, $We\approx 147$)	184
Şekil 4.175: Islanmaz yüzeyin dikey ve eğimli olduğu deneylerdeki uzama ve genişleme oranlarının karşılaştırılması ($\theta=167^\circ$, $\alpha=15^\circ$).....	185
Şekil 4.176: Dikey ve eğimli ıslanmaz yüzeydeki boy ve genişliğin karşılaştırılması ($\theta=112^\circ$, $\alpha=30^\circ$)	185
Şekil 4.177: Eğimli ıslanmaz yüzeylerde yansıma ($\theta=167^\circ$).....	186
Şekil 4.178: Eğimli ıslanmaz yüzeylerde yansıma ($\theta=167^\circ$, $\alpha=20^\circ$, $d=4$ mm)	186
Şekil 4.179: Farklı jet açılarında dikey kuvvetin Re sayısı ile değişimi ($\theta=145^\circ$, $d=1.75$ mm).....	187
Şekil 4.180: Farklı jet açılarında dikey kuvvetin We sayısı ile değişimi ($\theta=145^\circ$, $d=1.75$ mm).....	188
Şekil 4.181: Islanmaz yüzeyin dikey ve eğimli olduğu deney şartlarındaki kuvvetin Re sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $\alpha=15^\circ$, $d=4$ mm).....	188
Şekil 4.182: Islanmaz yüzeyin dikey ve eğimli olduğu deney şartlarındaki kuvvetin Re sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $d=4$ mm).....	189
Şekil 4.183: Dikey kuvvetin jet açısıyla değişimi ($\theta=167^\circ$, $d=4$ mm).....	189
Şekil 4.184: Islanmaz yüzeyin dikey ve eğimli olduğu durumlarda ölçülen kuvvetlerin jet açısı ile değişim ($\theta=167^\circ$, $d=4$ mm).....	190
Şekil 4.185: Farklı kontak açısına sahip yüzeylerde meydana gelen kuvvetin Re sayısı ile değişimi ($d=1.75$, $\alpha=15^\circ$)	191
Şekil 4.186: Farklı kontak açısına sahip yüzeylerde meydana gelen kuvvetin Re sayısı ile değişimi ($d=1.75$, $\alpha=25^\circ$)	191
Şekil 4.187: Farklı kontak açısına sahip yüzeylerde meydana gelen kuvvetin jet açısı ile değişimi ($d=1.75$ mm, $Re\approx 4350$)	192
Şekil 4.188: Farklı nozullarda meydana gelen dikey kuvvetin Re sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, a) $\alpha=15^\circ$ b) $\alpha=25^\circ$)	193
Şekil 4.189: Farklı nozullarda meydana gelen dikey kuvvetin Re sayısı ile değişimi ($\theta=145^\circ$, a) $\alpha=15^\circ$ b) $\alpha=25^\circ$)	193

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1: Damlanın Katı bir yüzeye çarpmasıyla oluşabilecek oluşumlara etki eden parametreler (Rioboo ve diğ. 2001).	28
Tablo 3.1: Deneylerde ölçülecek değerler ve ölçme sistemi.....	51
Tablo 3.2: Şekil 3.7'deki şekilleri ifade eden parametreler	54
Tablo 4.1: Her bir kontak açısı için çakışmanın olduğu We sayıları	82
Tablo 4.2: Su jetinin ıslanmaz yüzeyde yayılmasına (eşdeğer çap) etki eden parametrelerin etki şekilleri.....	107
Tablo 4.3: Su jetinin ıslanmaz yüzeyde yayılmasında etkili olan Re ve We sayılarını ifade eden parametreler	107
Tablo 4.4: Su jetinin ıslanmaz yüzeyde uzama faktörüne etki eden parametrelerin etki şekilleri.....	115
Tablo 4.5: Su jetinin ıslanmaz yüzeyde uzama faktörüne etki eden parametrelerin etki şekilleri.....	116
Tablo 4.6: Genişleme oranının (W/D_{ED}) hata aralıkları.....	117
Tablo 4.7: Genişleme oranının (W/D_{ED}) hata aralıkları.....	117
Tablo 4.8: Uzunluk ve genişlik ifadelerine etki eden parametrelerin etki şekilleri.	132
Tablo 4.9: Uzunluk ve genişlik ifadelerinde etki eden Re ve We sayısı parametreleri	133
Tablo 4.10: Şekil Faktörü'ne etki eden parametrelerin etki şekilleri.....	138
Tablo 4.11: Şekil Faktörü'ne etki eden Re ve We sayısı parametreleri.....	139
Tablo 4.12: Yansıma açısına etki eden parametrelerin etki şekilleri.	154
Tablo 4.13: Yansıma açısına etki eden Re ve We sayısı parametreleri	154
Tablo 4.14: Teğetsel kuvvete etki eden parametrelerin etki şekilleri.	171
Tablo 4.15: Teğetsel kuvvete Re ve We sayılarını ifade eden parametrelerin etki şekilleri.....	171
Tablo 4.16: Kayma gerilmesine etki eden parametrelerin etki şekilleri	177
Tablo 4.17: Kayma gerilmesine Re ve We sayılarını ifade eden parametrelerin etki şekilleri.....	177
Tablo 5.1: ıslanmaz yüzeye eğimli olarak gönderilen su jetinin davranışını belirleyen ifadeler ve bu ifadelere etki eden parametrelerin etki şekilleri.....	199
Tablo 5.1: (Devamı) ıslanmaz yüzeye eğimli olarak gönderilen su jetinin davranışını belirleyen ifadeler ve bu ifadelere etki eden parametrelerin etki şekilleri.	200
Tablo 5.2: Reynolds ve Weber sayılarını ifade eden su hızı, viskozite ve yüzey gerilimi parametrelerinin ıslanmaz yüzeye eğimli olarak çarpan suyun davranışını ifade eden parametrelere etki şekilleri.....	201

SEMBOLLER

A	: Yüzeydeki suyun izdüşüm alanı, (m^2)
A_{nozul}	: Nozul kesit alanı, (m^2)
A_{SL}	: Yüzeydeki suyun katı-sıvı arasındaki yüzey alanı, (m^2)
A_{GL}	: Yüzeydeki suyun gaz-sıvı arasındaki yüzey alanı, (m^2)
$\text{Cos}\theta_{\text{app}}$: Görünür kontak açısı, ($^\circ$)
C	: Eşdeğer çaplarla oluşturulan torusun halka kesitinin çevresi, (m)
d	: Nozul çapı, (m)
D_{ED}	: Eşdeğer çap, (m)
E_{σ}	: Yüzey gerilim enerjisi, (J)
E_{kjet}	: Su jetinin kinetik enerjisi, (J)
$E_{\text{kayıp}}$: Kayıp enerjisi, (J)
F_p	: Basınç kuvveti, (N)
F_x	: Normal kuvvet, (N)
F_y	: Teğetsel kuvvet, (N)
g	: Yer çekimi ivmesi, (m/s^2)
K	: Çarpışma parametresi, ($Oh Re^{1.25}$)
L	: Suyun yüzeydeki izdüşümünün boyu, (m)
\dot{m}_1	: Su jetinin kütleli debisi, (kg/s)
\dot{m}_2	: Yansıyan suyun kütleli debisi, (kg/s)
r	: Pürüzlülük faktörü
R_{DHS}	: Dairesel hidrolik sıçrama yarıçapı, (m)
R_0	: Eşdeğer çaplarla oluşturulan torusun halka yarıçapı, (m)
R_1	: Eşdeğer çaplarla oluşturulan torusun yarıçapı, (m)
Q	: Debi, (m^3/s)
T	: Suyun sıcaklığı, ($^\circ C$)
v_1	: Su jeti hızı, (m/s)
v_{1x}	: Su jeti hızının yatay bileşeni, (m/s)
v_{1y}	: Su jeti hızının yüzeye teğetsel bileşeni, (m/s)
v_2	: Suyun yansıma hızı, (m/s)
v_{2x}	: Suyun yansıma hızının yatay bileşeni, (m/s)
v_{2y}	: Suyun yansıma hızının yüzeye teğetsel bileşeni, (m/s)
W	: Suyun yüzeydeki izdüşümünün genişliği, (m)
W_{su}	: Suyun ağırlık kuvveti, (kg)
σ_{GL}	: Hava ile sıvı arasındaki yüzey gerilimi, (N/m)
σ_{GS}	: Hava ile katı yüzey arasındaki yüzey gerilimi, (N/m)
σ_{SL}	: Sıvı ile katı yüzey arasındaki yüzey gerilimi, (N/m)
ϵ	: Geri sekme katsayısı
ρ	: Yoğunluk, (kg/m^3)
μ	: Dinamik viskozite, (kg/ms)
α	: Jet açısı, ($^\circ$)
β	: Yansıma açısı, ($^\circ$)

θ	: Yüzeyin kontak açısı, ($^{\circ}$)
Ω	: Yüzeydeki suyun hacmi, (m^3)
Φ	: Kontak açısı parametresi, ($1 + \cos(180 - \theta)$)
Oh	: Ohnesorge sayısı, (\sqrt{We} / Re)
Re	: Reynolds sayısı, ($\rho v d / \mu$)
We	: Weber sayısı, ($\rho v^2 d / \sigma$)
We_n	: Normal Weber sayısı, ($\rho(v \sin \alpha)^2 d / \sigma$)
We_{α}	: Düzenlenmiş Weber sayısı, ($\rho v^2 d \sin \alpha / \sigma$)

Alt indisler

ED	: Eşdeğer çap
k	: Kinetik
maks	: Maksimum
n	: Normal
GL	: Gaz ve sıvı
GS	: Gaz ve katı
LS	: Sıvı ve Katı

Kısaltmalar

D.H.S	: Dairesel Hidrolik Sıçrama
E.Y.F	: Eşdeğer Yayılma Faktörü
GEO	: Genişleme Oranı
Ş.F	: Şekil Faktörü
U.F	: Uzama Faktörü
UZO	: Uzama Oranı

ISLANMAZ YÜZEYLER ÜZERİNE GÖNDERİLEN SU JETİNİN DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Ali KİBAR

Anahtar Kelimeler: Hidrofobik Yüzey, Dairesel Hidrolik Sıçrama, Su Jeti, Yayılma, Yansıma, Teğetsel Kuvvet, Eşdeğer Çap, Sürüklenme Direncinin Azaltılması

Özet: Bu tez çalışmasında ıslanmaz 5 farklı yüzey üzerine belli bir eğimle gönderilen su jetinin yüzey üzerindeki akışı deneysel olarak incelenmiştir. Islanmaz yüzey olarak kontak açısı $102^{\circ}, 112^{\circ}, 123^{\circ}, 145^{\circ}$ ve 167° olmak üzere beş farklı yüzey ve su jetini oluşturmak üzere 1.75 ve 4 mm çapında iki farklı nozul kullanılmıştır. Su jeti ıslanmaz yüzeye 15° – 45° aralığında farklı açılarda ve 0.5-5 m/s hız aralığında gönderilerek Weber sayısı 2–600, Reynolds sayısı 500–8000 arasında değiştirilerek deneyler yapılmıştır.

Kontak açısı düşük ıslanmaz düşey bir yüzeye belirli bir açı ile gelen su jeti, yüzeye çarptıktan sonra dairesel hidrolik sıçrama olayı meydana gelmekte, sonra yüzey üzerinde merkezden dışa doğru hareketine devam etmektedir. Buna karşılık kontak açısı yüksek olan süperıslanmaz yüzeylerde; su jeti yüzeye çarptığı zaman, dairesel hidrolik sıçrama yapmakta bir süre sonra yansıma yaparak yüzeyden ayrılmaktadır. Yapılan deneylerde, yüzeyin kontak açısına, suyun gönderildiği nozulun çapına, su jetinin hızına ve açısına bağlı olarak, suyun farklı açılarda ve hızlarda yansıma yaptığı deneylerde gözlenmiştir. Bu deneysel çalışma sonucunda, eşdeğer çap, uzama faktörü, eşdeğer yayılma faktörü ve cam plakaya etkiyen teğetsel kuvvetin; Reynolds, Weber sayıları, jetin çapı, jet açısı ve yüzeyin kontak açısı gibi parametrelere bağlı olduğu gösterilmiştir. Yüksek kontak açılı yüzeylerde akışkanın yüzey üzerinde kapladığı alan ve yüzeyde meydana gelen teğetsel kuvvet azalmakta, yansıma açısının artmakta oldu tespit edilmiştir. Katı yüzey akışlarında meydana gelen yüzeyle sıvı arasındaki sürtünme kuvvetinin kontak açısına bağlı olduğu ve kontak açısının artmasıyla önemli oranda düşürülebileceği tespit edilmiştir.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION of BEHAVIOUR of WATER JET FLOW ONTO HYDROPHOBIC SURFACES

Ali KIBAR

Keywords: Hydrophobic Surfaces, Circular Hydraulic Jump, Water Jet, Spreading, Reflection, Tangential Force, Equivalent Diameter, Drag Reduction

Abstract: In this study, the behaviour of an inclined water jet, which was impingement onto hydrophobic surfaces, has been investigated experimentally. The water contact angles on these surfaces were measured as 102° , 112° , 123° , 145° , 167° . Two different nozzles with 1.75 and 4 mm in diameters were used in order to create the water jet with inclination angles between 15° – 45° . The jet velocity varied between 0.5–5m/s, consequently the range of Weber number was 2–600 and Reynolds number 500–8000 during these experiments.

In general, a circular hydraulic jump occurs if a liquid jet hits on a surface. The flowing layer continues to its movement from the centre to outward in keeping touch with the surface. In this study, circular hydraulic jump was also resulted on the superhydrophobic surface, but after a while it reflected from the surface with different speeds and different reflection angles depending on the water contact angle of the surface, diameter of the nozzle, jet velocity and jet angle. It was shown that equivalent diameter, elongation factor and the tangential force on the surface depends on the non-dimensional parameters like Reynolds number, Weber number, and also jet angle and contact angle of the surface. It was determined that the equivalent area which the liquid covers on the surface and the frictional force that appears on the surface decreased and the reflection angle increased on the superhydrophobic surfaces. It was shown that the frictional force of the liquid jet flow on the wall was reduced dramatically depending on contact angle of the hydrophobic surface.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Önümüzdeki yüzyıl teknolojisinde önemli bir yere sahip olacağı kesin olarak kabul edilen nano teknolojinin bir elemanı olan ıslanmaz yüzeylerin, günlük hayatta ve endüstride kullanım alanları her geçen gün artmaktadır. Islanmaz özelliğe sahip bitkiler ve hayvanlar yüzyıllardır dünyada bulunmasına rağmen insanoğlu son yıllarda bu özelliğin farkına varmıştır. Bu yüzden ıslanmaz yüzeyler üzerindeki çalışmalar çok yeni olup özellikle son 10–15 yılda yoğun bir çalışma gerçekleşmiştir ve bu çalışmalar artarak devam etmektedir. İlk olarak nilüfer yaprağından esinlenerek bu yüzeyler keşfedilmiştir. Nilüfer yaprağı yüzeyinin daima temiz olmasının nedeni araştırılmış ve yüzeyde bulunan nano mertebedeki oyuklarda hapsolmuş hava sayesinde düşük yüzey enerjisine sahip olduğu, bu sebeple üzerindeki su damlası, yüzeyi ıslatmayarak yuvarlanırken, kir ve tozları içerisine alarak götürdüğü tespit edilmiştir (Barthlott ve Neinhuis, 1997).

Islanmaz yüzeylerin bir yandan yüzeylerindeki akış olayları deneysel ve teorik olarak incelenmekte diğer yandan da ıslanmaz yüzeyleri oluşturan malzemelerin fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesine çalışılmaktadır. Islanmaz yüzeylerin kullanım alanları tespit edilirken; ıslanmaması, kendi kendini temizlemesi, üzerinde bakteri yaşatmaması, buğulanmayı önlemesi, buzlanmayı önlemesi, katı yüzeyle sıvı kayması oluşturmaması v.b. özelliklerinin ön plana çıktığı görülmektedir (Yu ve diğ. 2005). Islanmaz yüzeylerin bu özelliklerinden istifade edilerek; gemi yüzeyleri, çatılar, antenler, otomobil gövde ve camları, bina cepheleri, boru sistemleri, biyoteknoloji, uçak gövdeleri gibi yerlerde kullanılmaya başlanmıştır (Özgür ve diğ. 2007). Bu kullanım alanları Bölüm 2.2.1’de incelenecektir.

Islanmaz yüzeylerle ilgili yapılan deneysel ve teorik çalışmalara ıslanmaz yüzeylere damla çarpması olayı örnek olarak verilebilir. Bununla ilgili son 10 yıl içinde yüzlerce çalışma yapılmıştır. Islanmaz yüzeylerin düşük serbest yüzey enerjisi sayesinde, normal yüzeylere çarpan damlanın davranışında elde edilemeyecek çok

farklı davranışlar elde edilebilmektedir. Özellikle damlanın çarpmadan sonra yüzeyde yayılarak tekrar bir araya toplanıp geri sekmesi, yüzeye yapışmayarak yuvarlanması ve yüzeyi temizlemesi özelliği en dikkat çeken özelliklerindedir. Hazırlanan bu doktora tezi içinde ıslanmaz yüzeye sıvı jeti çarpması olayı ele alınıp değişik şartlarda deneyler yapılarak incelenmiş ve tıpkı damla çarpmasında olduğu gibi normal yüzeylerden farklı davranışlar yaptığı gözlenmiştir. Bu farklılıklar, deneysel olarak elde edilen sonuçlardan yararlanılarak ortaya konmaya çalışılmıştır.

Katı yüzeyler üzerine sıvı jeti çarpması günlük hayatta ve endüstride karşılaşılan bir durumdur. Çeşmeden akan suyun lavaboya çarpmasıyla oluşan dairesel hidrolik sıçrama olayı, endüstriyel alanda su jetinden yararlanılarak yapılan bir takım çalışmalar, pelton türbinlerinde suyun kanatlara çarpması olayı, örnek verilebilecek olaylardan birkaçıdır.

Islanmaz yüzeylere sıvı çarpması çalışması olarak damlanın veya sprey şeklinde damlacıkların çarpması üzerinde yoğunlaşmıştır. Fakat ıslanmaz yüzeyler üzerine sıvı jeti çarpması olayına literatürde rastlanılamamıştır. Bu sebeple ıslanmaz yüzeye damla çarpması ve sıvı akışları ile normal yüzeyler üzerinde sıvı jeti akışı olaylarından esinlenilerek yeni bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında farklı kontak açalarına sahip ıslanmaz ve süper ıslanmaz yüzeyler üzerine gönderilen dairesel su jetinin davranışları incelenmiştir. Deneyler dikey ıslanmaz yüzeye eğimli olarak su jeti gönderilmesi ve eğimli olarak duran ıslanmaz yüzeye dikey su jeti gönderilmesi olarak genel anlamda iki farklı yapıda tasarlanmıştır. Jet akışı; yayılma, sıçrama, yansıma, yayılıp sıçrama ve yayılıp yansıma olarak 5 farklı davranışa ayrılmış ve bu davranışların metodolojisi ile ıslanmaz bir yüzeye çarpan su jetinin yüzeyde oluşturduğu sürtünmeden kaynaklanan teğetsel kuvvet ve kayma gerilmesi ayrı ayrı incelenmiştir.

Islanmaz yüzeylere gönderilen su jetinin davranışını tespit edebilmek için eşdeğer çap, eşdeğer yayılma faktörü, uzama faktörü, uzama oranı, genişleme oranı, şekil faktörü, teğetsel kuvvetler, dikey kuvvetler ve kayma gerilmesi olmak üzere 9 ayrı ifade tanımlanmış ve bu ifadelere etki eden Reynolds sayısı, Weber sayısı, jet açısı

ve nozul çapı, kontak açısı parametrelerinin etkileri ayrı ayrı incelenmiştir. Dikey ve eğimli yezelerde bu olaylar her biri için ayrı olarak ele alınmış ve aralarındaki farklar ortaya konulmuştur. Bu çalışmada literatürde olmayan bazı ifade ve parametreler ilk defa kullanılmıştır.

Bölüm 2’de ıslanır ve ıslanmaz yezeler arasındaki farklar ortaya konulmuştur. Islanır ve ıslanmaz yezelere sıvı jeti çarpışmaları ve dairesel hidrolik sıçrama olayları incelenmiştir. Literatür alışması verilerek ıslanmaz yüzeye eğimli çarpan su jetinin depoladığı enerji ile ilgili teori geliştirilmiştir. Son olarak ta tezde kullanılan boyutsuz sayılar hakkında bilgi verilmiştir. Bölüm 3’te deneylerde kullanılan malzemelerin tanıtımı yapılarak deney şartları ve nasıl yapıldığı hakkında bilgi verilmiştir. Bölüm 4’te deneylerden elde edilen sonuçlar boyutsuz sayılar kullanılarak grafiklerle birlikte yorumlanmıştır. Bölüm 5’te elde edilen sonuçlar özetlenerek bu tez çalışmasını geliştirmek için yapılabilecek çalışmalar sıralanmıştır.

BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER

Katı cisimler, yüzeylerinin yapısına ve temas ettiği sıvının özelliklerine göre ıslanmazlık özelliği kazanmaktadırlar. Yüzeyin enerji durumu ve sıvının yüzey gerilimi yüzey üzerindeki su damlasının kontak açısının değerinde etkili olan en önemli parametrelerdir. Kontak açısı $0^\circ < \theta < 180^\circ$ aralığında bir değer alabilmektedir. Sıfıra çok yaklaştığında ıslanırılık, 180° 'ye çok yaklaştığında ise ıslanmazlık özelliği artmaktadır.

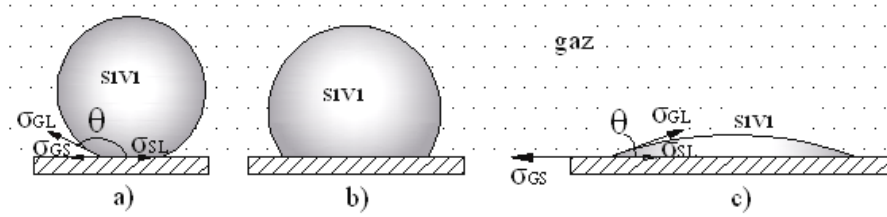
Sıvı moleküllerinin kendi aralarındaki çekim kuvvetleri hava ile aralarındaki çekim kuvvetlerinden çok fazla olduğundan dolayı sıvıların hava ile temas bölgelerinde yüzey gerilimi oluşur. Sıvının katı ile aralarındaki çekim kuvvetinin değeri ise yüzeyin özelliğine göre değişmektedir. Islanmaz yüzeylerin düşük serbest yüzey enerjilerinden dolayı hem sıvı ile hem katı ile aralarında düşük çekim kuvvetleri mevcuttur (Erbil ve diğ. 2003).

Katılar üzerine sıvı jeti akışı endüstride sıkça karşılaşılan bir durumdur. Yüzeye çarpan sıvının davranışını sıvının hızı, viskozitesi, yüzeye çarpma açısı ve yüzeyin durumu gibi parametreler etkilemektedir. Sıvı jeti yüzeye çarptığı bölgede kenarlara ince bir film tabakası halinde yayılmakta ve belli bir süre sonunda sıvı tabakasında ani bir kalınlaşma olmakta ve sıvının hızı düşmektedir. Bu Dairesel Hidrolik Sıçrama (D.H.S) olarak adlandırılan olay birçok araştırmacının dikkatini çekmiş, özellikle hidrolik sıçramanın meydana geldiği çap ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. (Watson, 1964), (Togashi ve diğ. 2004), (Bohr ve diğ. 1997), (Mikielewicz ve Gumkowski, 2005).

Bu bölümde ıslanır ve ıslanmaz yüzeyler arasındaki farklar ortaya konulacak ve katı yüzeylere çarpan su jetinin davranışları incelenecektir. Teorik olarak yüzeyde depolanan yüzey gerilim enerjisi için ifade geliştirilecektir. Literatür çalışması incelenerek tezde kullanılan boyutsuz sayıların tanıtımı yapılacaktır.

2.1. Islanmaz ve Süper Islanmaz Yüzeyler

Islanır (hidrofilik) ve ıslanmaz (hidrofobik) yüzeyler suyla aralarındaki kontak açısına göre adlandırılırlar. Bir yüzey üzerinde duran su damlası yüzeyde; tamamen yayılmışsa yani kontak açısı $\theta < 5^\circ$ ise tamamen ıslanan (süperhidrofilik) yüzey, yayılıyorsa yani kontak açısı $0 < \theta < 90^\circ$ ise bu yüzeylere ıslanan yüzey (hidrofilik) Şekil 2.1 c, küresel bir şekilde duruyorsa yani kontak açısı $90^\circ < \theta < 150^\circ$ ise ıslanmaz (hidrofobik) yüzey Şekil 2.1 b, küreye çok yakın bir şekilde duruyorsa yani kontak açısı $\theta > 150^\circ$ ise süper ıslanmaz (süperhidrofobik) Şekil 2.1 a, yüzey olarak adlandırılır (Özgür ve diğ. 2007). Islanmaz yüzeylerde bulunan gözeneklerde hapis olmuş hava, yüzey üzerinde bulunan sıvının yüzeye temas alanını azaltarak ıslanmazlık özelliği kazandırır (Barthlott ve Neinhuis, 1997). Islanır yüzeyler yüksek yüzey enerjisine sahip olmalarına karşılık ıslanmaz yüzeyler düşük yüzey enerjisine sahiptirler (Agrawal, 2005).

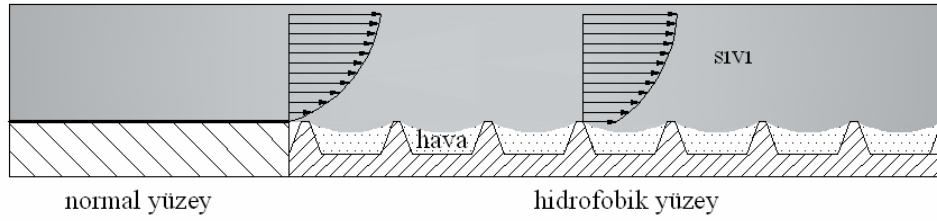


Şekil 2.1: a) Süper hidrofobik, b) Hidrofobik, c) Hidrofilik malzemelerin üzerinde su damlasının genel görünüşü

“Kontak açısını etkileyen en önemli faktörler katının yüzey enerjisi ve pürüzlülüğüdür. Yüzey enerjisi, yüzey gerilimi sonucu ortaya çıkar. Bir kristal yapısı düşünülürse, bu kristalin içindeki bir atom her yönden çekme kuvvetine maruz kaldığı için kararlı bir şekilde yerini koruyabilir. Yüzey atomları için aynı durum söz konusu değildir. Yüzey atomu, içerideki bir atoma uygulanan çekme kuvvetinin yarısını hisseder ve bu yüzden yüzeyden kopma eğilimi gösterir bu da yüzey gerilimi oluşturur. Yüzey gerilimi düştükçe temas açısı da düşer. Yüzey pürüzlülüğünün artması ise hem ıslanır hem de ıslanmaz özelliklerin artmasına neden olur. Hatta pürüzlülük olmadan ulaşılabilecek maksimum değme açısı ıslanmaz bir yüzey için 120° 'yi geçemez. Pürüzlülük yüzeye su damlası arasında hava sıkışmasını sağladığı için aradaki etkileşme miktarını da düşürür, dolayısıyla kontak açısı ıslanmaz yüzeylerde artar.” (Özgür ve diğ. 2007).

Islanmaz yüzey üzerinde birçok mikro oluklar ve bu olukların içerisine hapis olmuş hava bulunmaktadır. Bu hava sayesinde olukların içerisine yüzey geriliminden dolayı sıvı girememektedir. Sıvı ile katı çok az bölgelerden temas etmektedir. Bundan

dolayı sıvı ile katı yüzey arasındaki çekim kuvvetleri azalmaktadır (Erbil ve diğ. 2003). Şekil 2.2’de bu durum şematik olarak gösterilmektedir. Sıvı, ıslanmaz yüzeyden akarken yüzeyde bulunan hava tabakasının üzerinden akıyormuş gibi bir davranış göstermektedir. Normal yüzeylerde sıvı yüzeyden akarken katıyla temas eden bölgelerinde sıvı kayması sıfırken, ıslanmaz yüzeyler üzerinde akan sıvının katı ile temas eden bölgelerinde kayma meydana gelmektedir.



Şekil 2.2: Islanmaz yüzey üzerinde sıvı kaymasının şematik gösterimi

2.1.1. Islanmaz yüzeylerin kullanım alanları

Islanmaz yüzeylerin sahip oldukları özellikler sayesinde birçok kullanım alanı geliştirilmiştir. Bina yüzeylerinin ve gökdelen camlarının temiz kalması, dağ antenlerinin buzlanmaya karşı korunması, trafik ışıklarının temiz kalması, gemi yüzeyleri gibi sürtünmenin önemli olduğu yerlerde sürtünmenin düşürülmesi, tekstilde ıslanmayan ve kirlenmeyen kumaşlar elde edilmesi, paslanmanın önlenmesi, mikro akışlarla biyoteknolojide kullanımı (Acatay, 2004) v.b. alanlarda geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur.

Islanmaz yüzeylerin ıslanmaması özelliğinden yararlanmak için teflon malzemeler mutfak kullanımına bir süredir girmiş bulunmaktadır. Kontak açısı çok yüksek olmayan bir ıslanmaz yüzeye sahip malzeme olan teflon, evlerin mutfaklarında kullanılmaktadır. Islanmama özelliği giysilerde de kullanım alanı oluşturmuştur. Islanmayan ve kirlenmeyen kumaşlar yavaş yavaş günlük hayatımıza girmektedir.

Kendi kendini temizleme özelliği; özellikle dış ortamda bulunan cisimler için büyük önem arz etmektedir. Islanmaz yüzeylerin üzerinden yuvarlanan su damlasının yüzeyde bulunan toz parçacıklarını içerisine alıp yüzeyi temizlemesi özelliğinden

yararlanılarak, bina dış cephelerinin (özellikle gökdelen gibi yüksek binalar) daima temiz kalması için ıslanmaz özelliğe sahip boyalar, camlarının temiz kalması için de şeffaf ıslanmaz malzemeler kullanılmaktadır (Özgür ve diğ. 2007). Ayrıca ıslanmaz olan gemi ve denizaltı yüzeylerinin yosun gibi yabancı maddelerle kaplanması önlenmektedir (Candries, 2001).

Islanmaz yüzeyler buzlanmanın önlenmesi için antenlerde kullanılmaktadır. Ulaşımın zor olduğu dağ antenlerinde buzlanmayla oluşan veri aktarımındaki azalma bu şekilde önlenmektedir. Ayrıca buzlanmama özelliği uçak ve otomobil gövdelerinde de kullanılabilir. Ayrıca buzlanmama özelliği uçak ve otomobil gövdelerinde de kullanılabilir.

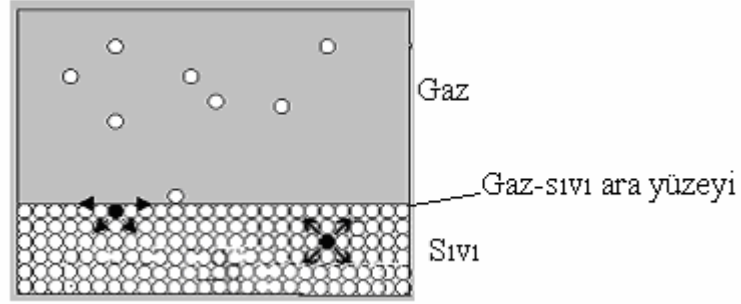
Islanmaz yüzeylerin akışkanlar mekaniğinde kullanım alanları olarak en fazla yüzeyinde oluşturduğu sıvı kayması ve dolayısıyla sürtünmede oluşturduğu azalma dikkati çekmiştir. Makro ve mikro mertebede bu kaymanın gerçekleşebileceği çalışmalarla gösterilmiştir (Perot ve Rothstein, 2004). Sıvı akışındaki sürtünmenin azaltılması ekonomik ve teknolojik olarak büyük yararlar sağlamaktadır. Biyomedikal alanlarındaki mikro akışlarda ve özellikle gemi yüzeylerinde sıvı sürtünmesinin azaltılması büyük önem arz etmektedir. Islanmaz yüzeyler üzerinde akan akışkan katı yüzeyle belli bir kayma oluşturarak akmakta yani sınır şartlarında bir kayma uzunluğu meydana gelmektedir. Bu sayede sürtünmede azalma meydana gelmektedir (Perot ve Rothstein, 2004), (Min ve Kim, 2004) (Watanabe ve Udagawa, 1999).

Mikro akışlarda ıslanmaz yüzeylerin üzerinde meydana gelen sıvı kaymasından yararlanılarak kullanım alanları geliştirilmiştir. Örneğin biyoteknoloji alanında kalbe takılan stentlerin iç cidarı ıslanmaz yapılarak zaman içinde tıkanması önlenmektedir (Özgür ve diğ. 2007).

2.1.2. Yüzey gerilim kuvvetleri

Bütün sıvılarda sıvının çeşidine göre farklı şiddette kohezyon kuvvetleri olarak adlandırılan moleküller arası çekim kuvvetleri vardır. Şekil 2.3'te görüldüğü gibi sıvının iç kısımlarında moleküller birbirlerini her yönden eşit kuvvette çekerler.

Böylece sıvı içerisindeki kuvvetler birbirlerini dengelerler. Sıvı yüzeyinde bulunan sıvı molekülleri ise hava ile temas halindedir. Gaz fazındaki yoğunluk sıvı fazdakinden daha düşük olduğundan, yüzeydeki sıvı molekülleri, hava ile kıyas edildiğinde, sıvı tarafından çok büyük bir kuvvetle çekilirler. Böylece sıvı yüzeyi gerilmiş bir zar gibi durur ve sıvı ile gaz ara yüzeyinde sıvıda yüzey gerilimi meydana gelir (Beyaz, 2007).



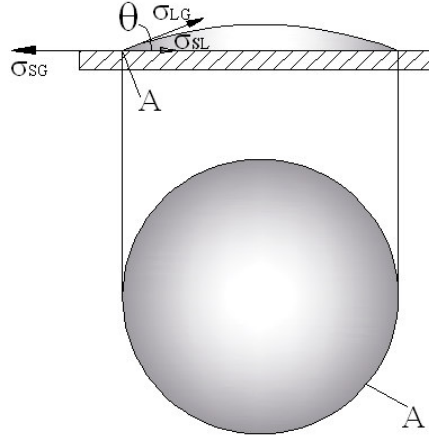
Şekil 2.3: Sıvı-gaz ara yüzeyi molekülleri ve yüzey geriliminin oluşumu (Beyaz, 2007).

“Sıvı içerisindeki moleküller, yüzeydekilere göre daha fazla çekim kuvvetinin etkisi altında bulduklarından potansiyel enerjileri, yüzeydeki moleküllerin potansiyel enerjilerinden daha düşüktür. Çünkü genel olarak bilinmektedir ki bir cisme etki eden çekim kuvvetleri ne kadar fazla ise cismin potansiyel enerjisi o kadar düşüktür. Sıvının iç kısmındaki molekülleri yüzeye çıkararak sıvının serbest yüzeyini artırmak için, sıvı molekülleri arasındaki kohezyon kuvvetlerine karşı iş yapılmalıdır. Bunun sonucu olarak sıvının yüzey bölgesinin molar serbest enerjisi, sıvının diğer kısmının molar serbest enerjisinden yüksektir. Young (1805) sıvı yüzeyinin mekanik özelliklerinin, yüzey üzerine gerilmiş hayali bir zarın mekanik özellikleri ile ilişkilendirilebileceğini gösterdi. Böylece sıvı yüzeyi moleküller arasında mevcut olan kohezyon kuvvetlerinin sonucu olarak, bir bakımdan gerilmiş hayali bir zar gibi daima büzülme isteyen ve mümkün olan en küçük yüzeyi almak isteyen 1 molekül kalınlığında çok ince zar gibi düşünülebilir” (Beyaz, 2007).

2.1.3. Young eşitliği

Katı, sıvı ve gaz fazlarının birleştiği noktalarda üç aktif kuvvet vardır. Şekil 2.4'te gösterilen A noktası (tüm çevre boyunca) bu üç kuvvetin, damlanın katı ile temastaki bütün kenarlarında bir noktada birleşmektedir. Kontak noktalarının geometrik yeri kontak çizgisi olarak adlandırılır. Bu kuvvetlerden katı ile gaz arasındaki yüzey geriliminden kaynaklanan kuvvet (σ_{GS}), ıslanmaz yüzeylerde üç kuvvet arasında en düşük değerde olanıdır. Hidrofilik yüzeylerde ise üç kuvvet arasında en büyük değeri, katı ile gaz arasındaki kuvvet oluşturmaktadır. Bu kuvvetlerden ikincisi katı

ile sıvı arasındaki yüzey gerilimine sebep olan kuvvetlerdir (σ_{SL}). Üçüncüsü olan sıvı ile gaz arasındaki yüzey gerilimi (σ_{LG}) ise bu iki kuvveti dengeleyen bir kuvvet oluştururlar (Moumen, 2006).



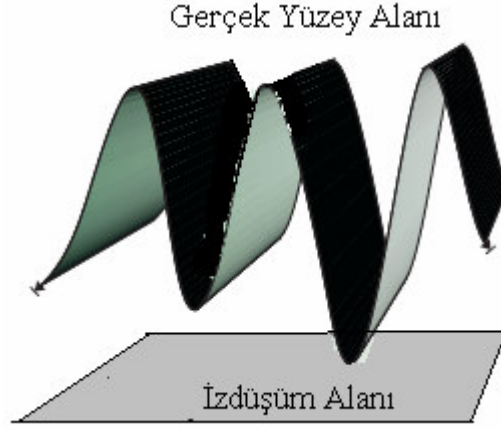
Şekil 2.4: Katı yüzeyde bulunan sıvı damlasının katı, sıvı ve gaz fazlarının birleştiği noktada meydana gelen gerilim kuvvetleri.

Katı yüzey üzerinde durgun olarak duran sıvı damlasının kontak çizgisindeki kuvvetleri dengededir. Kontak açısı θ , kontak çizgisindeki kuvvetlerin dengesiyle meydana gelmiştir ve katı, sıvı ve gazın ara yüzündeki sıvı-gaz, katı-sıvı ve katı-gaz arasındaki açı olarak ifade edilir (Denklem (2.1)). Bu ifade ilk defa Young (1885) tarafından geliştirildiğinden dolayı Young eşitliği olarak anılmaktadır.

$$0 = \sigma_{SG} - \sigma_{LS} - \sigma_{LG} \cos \theta$$

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{SG} - \sigma_{LS}}{\sigma_{LG}} \quad (2.1)$$

Eğer sıvı pürüzlü bir yüzey üzerinde bulunuyorsa ölçülen kontak açısı görünür kontak açısıdır. Şekil 2.5'te görülen gerçek yüzey alanının izdüşüm alanına bölünmesiyle elde edilen pürüzlülük faktörü r (Denklem (2.2)), elde edilir. Denklem (2.3)'te görüldüğü gibi pürüzlülük faktörü, kontak açısı ile çarpılarak görünür kontak açısı ifadesi elde edilir. Bu denklem Wenzel eşitliği olarak ifade edilmektedir (Wenzel, 1936).

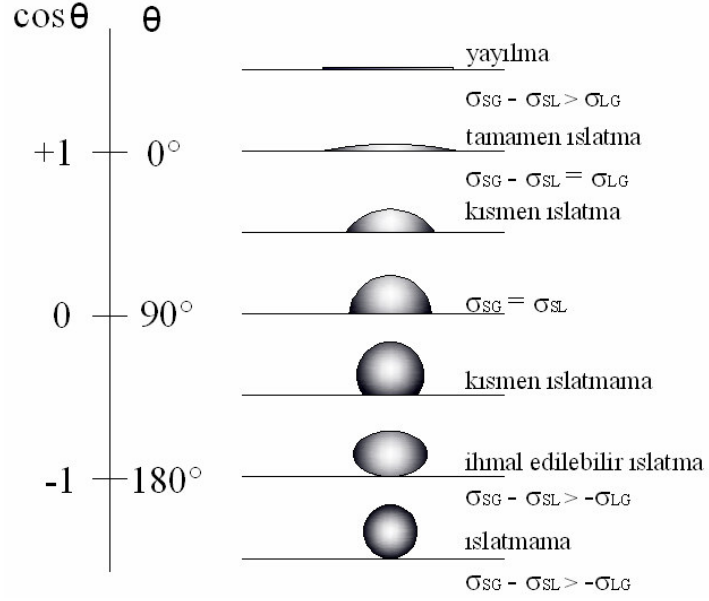


Şekil 2.5: Gerçek yüzey alanı ile izdüşüm alanının şematik gösterimi (Wal, 2006).

$$r = \frac{\text{Gerçek Yüzey Alanı}}{\text{İzdüşüm Alanı}} \quad (2.2)$$

$$\text{Cos } \theta_{app} = r \text{Cos } \theta \quad (2.3)$$

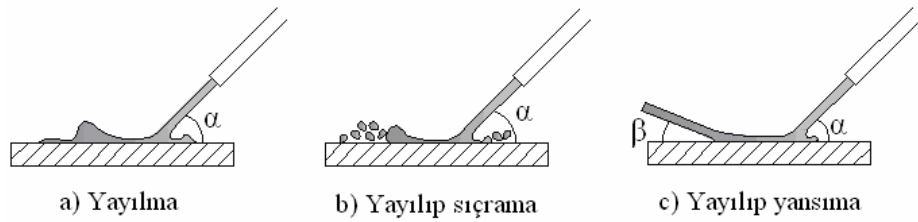
Şekil 2.6'da katı bir yüzeyde bulunan sıvı damlasının alabileceği durum 6 farklı kısma ayrılmış ve her bir durumda oluşan gerilimler dengesi verilmiştir. Kontak açısı 0° ila 180° arasında değer alabilmektedir. Kontak açısının tam olarak 0° veya 180° olması mümkün değildir. Kontak açısı sıvı yüzeye tamamen yayıldığı durumlarda 0° 'ye, tam dairesel bir şekil aldığı durumda ise 180° 'ye çok yakın bir değer almaktadır. Daha önce bahsedildiği gibi normal yüzeylerde katı ile gaz arasındaki çekim kuvvetleri üç kuvvet arasında en güçlü olanıdır. Bu sebeple böyle yüzeylerde sıvı yüzeye iyice yayılmakta ve kontak açısı düşük değerler almaktadır. Fakat ıslanmaz yüzeylerin sıvı ile aralarındaki çekim kuvvetleri düşük olduğundan dolayı; yüzeyle sıvı arasında yüksek kontak açısı oluşabilmektedir. Katı-sıvı ve katı-gaz arasındaki gerilim kuvvetleri sabit ve yatay birbirlerine zıt yönde bulunmaktadır. Sıvı-gaz arasındaki gerilim sabit olmakla birlikte kontak açısına teğet olarak oluşur. Bu gerilimin yatay bileşeni diğer iki gerilim kuvvetlerini dengeleyecek olan kontak açısıyla sıvının yüzeyde bulunmasını sağlar. Şekil 2.6'da her üç gerilim kuvvetlerinin denge eşitlikleri görülmektedir.



Şekil 2.6: Katı yüzeylerin ıslatma özellikleri ve gerilim dengeleri diyagramı (Zengerle ve Metz, 2007).

2.2. Dairesel Hidrolik Sıçrama (D.H.S)

Genel olarak, bir yüzeye sıvı jeti gönderildiğinde yüzeyin ve sıvının özelliklerine ve jetin hızına bağlı olarak yüzeyde; yayılma, yayılıp sıçrama, yayılıp yansıma olmak üzere 3 farklı davranış gözlenmektedir. Şekil 2.7’de yüzeye α açısı ile çarpan sıvı jetinin oluşturabileceği beş farklı davranış şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Su jetinin yüzeye çarpmasıyla oluşan 5 farklı davranışın şematik görünümü

Yayılma ve sıçrama olayları, yani bir sıvı jetinin bir yüzey üzerine çarpması sonucu gerçekleşen akış, birçok araştırmacı tarafından yoğun bir şekilde incelenmiş ve incelenmeye devam edilmektedir. Bununla beraber bu çalışmalar arasında yüzeyin ıslanmaz olma durumunda meydana gelen yansıma ve yayılıp yansıma olayları henüz araştırılmamıştır.

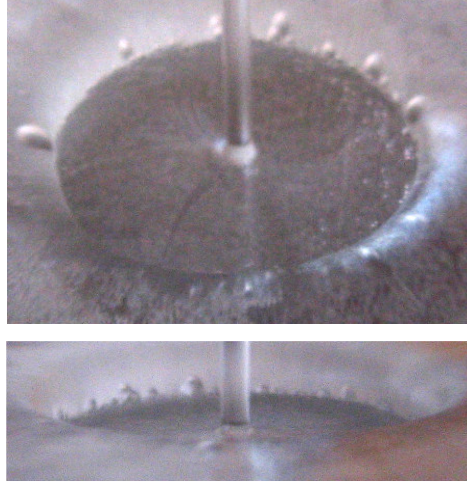
Katı yüzeye çarpan sıvı jeti yüzeyde radyal doğrultuda ince bir film tabakası halinde yayılmakta ve belli bir çaptan sonra sıvı filmi kalınlığında ani bir artış meydana gelmektedir. Bu olaya Dairesel Hidrolik Sıçrama (D.H.S) denilmektedir (Watson, 1964), (Godwin, 1993), (Bohr ve diğ. 1993). D.H.S'den sonraki bölümlerde sıvının hızı azalmaktadır. Yatay duran katı bir yüzeye, dikey sıvı jeti çarpmasıyla oluşan D.H.S aksel simetrik şekildedir. Sıvı jeti belli bir eğimle yüzeye çarptığında aksel simetri bozulur ve çarpma bölgesi etrafında elips şeklinde ince bir sıvı tabakası oluşur. Sıvı jetinin çarpma bölgesiyle D.H.S'nin olduğu yer arasındaki mesafe olan yarıçap en fazla dikkat çeken, üzerinde en fazla çalışma yapılan bir niceliktir. Ayrıca viskozite gibi belli parametreler sayesinde D.H.S poligon, yıldız gibi dairesel olmayan şekiller alabilmektedir. D.H.S olayının niçin meydana geldiği bilim adamları tarafından uzun süre araştırılmıştır (Pelzer, 2001).

2.2.1. Normal yüzeyler üzerinde D.H.S

Bir yüzeye gönderilen sıvı jetinin toplam enerjisini; kinetik enerji, iç enerji ve yüzey gerilme enerjilerinin toplamı oluşturur. Sıvı jeti yüzeye çarptıktan sonra yön değiştirerek yüzeyde radyal doğrultuda dışarı doğru ince bir film tabakası halinde yayılarak akmaya başlar.

Şekil 2.7'deki gibi sıvı jetinin jet açısı α , 90° olduğu takdirde bu yayılma aksel simetrik şekilde gerçekleşir. Çarpma açısının küçülmesi ile aksel simetride bozulur. Akışkan yüzeyde yayılırken ince bir film tabakası ile yüzeyi kaplamaya çalışır. Bu film tabakası oluşumu esnasında suyun birim hacimdeki yüzey alanı da sürekli artar. Yüzey alanının artışı ile akışkanın kinetik enerjisinin bir kısmı yüzey gerilme enerjisine dönüşür. Akışkan yüzeyde yayıldıkça bu dönüşümde artar. Bir kısım enerjide sürtünmelerden dolayı iç enerjiye dönüşerek akışkanın yüzey üzerinde yayılmasını sağlayan kinetik enerjisini azaltır. Dolayısıyla akışkanın yüzey üzerinde yayılmasını sağlayan atalet kuvvetleri azalır ve akışkan yüzey üzerindeki ilerlemesine aynı şekilde devam edemez ve belirli bir noktadan sonra bu sıvı tabakasında ani bir kalınlaşma, suyun hızında da azalma meydana gelir (Şekil 2.8). Bu kalınlaşma olayı akışkanın katı cidar yüzeyinde ince bir tabaka akışından sonra

kalın bir halka halinde birikmesine sebep olur (Tani, 1949), (Olsson ve Türkdoğan, 1966).



Şekil 2.8: Yatay olarak duran bir katı yüzeye dikey su jeti çarpmasıyla oluşan aksenal simetrik D.H.S.

2.2.2. Islanmaz yüzeyler üzerinde D.H.S

Islanmaz yüzeylerde ise yüzeye 90° açıyla gönderilen su jeti D.H.S oluşuncaya kadar yüzey üzerinde yukarıda tanımlandığı gibi hareket eder. D.H.S'den sonra akışkan ıslanmaz yüzeyin yüksek kontak açısından dolayı normal yüzeylerde olduğu gibi ilerleyemez ve kalın bir halka oluşturarak bu halka içinde kalır. Bu halka aksenal simetrik bir yapıdadır. Bu halka içindeki akışkan yüzey üzerinde ilerleyemediği için yüzey gerilme kuvvetlerini yenerek yüzeyden ayrılır. Yani akışkanın tümü yüzeyden dışarı doğru damlacıklar halinde sıçrayarak ayrılır. Jet açısının 90° den küçük olduğu hallerde ise bu halkanın aksenal simetriklik özelliği bozularak akış jetin teğetsel doğrultusuna simetrik iki kola ayrılır. Akışkan halka şeklindeki iki kolda yüzey üzerinde teğetsel doğrultuda hareket ederken bu iki kol tekrar birleşir. Bu birleşmeden sonra akışkan yüzey üzerinde hareketine devam etmesi gerekirken yüzeyin yüksek kontak açısı bu ilerlemeyi engeller adeta bir rampa etkisi yapar ve belli parametrelere bağlı olarak akışkanın yüzeyden dışarı doğru yön değiştirmesine yani yansımaya sebep olur. Bu yansıma olayı yalnızca ıslanmaz yüzeylerde meydana geldiği bu çalışma ile gösterilmiştir.

2.3. Teorik Çalışma

Islanmaz yüzeye eğimli olarak çarpan su jetinin davranışının teorik olarak elde edilebilmesi için enerji, momentum ve süreklilik denklemlerinin kullanılması gerekmektedir. Su jeti yüzeye çarptıktan sonra yüzey üzerinde farklı hızlarla ilerlemektedir. Ortadaki su filmi ile kenardaki halkalardaki akış olayları birbirlerinden farklı davranışlar göstermektedir. Ayrıca bu halkaların kalınlıkları akış boyunca farklı boyutlarda oluşmaktadır. Bütün bu durumlar akışı ifade etmek için bir teori geliştirmeyi güçleştirmektedir. Teorinin geliştirilebileceği fiziksel özellikler şu şekilde sıralanabilir.

- Suyun yüzeyde yayıldığı alan
- D.H.S'nin oluştuğu çap
- Suyun yüzeyde depoladığı yüzey gerilim enerjisi
- Yüzeyde meydana gelen teğetsel kuvvet ve kayma gerilmesi

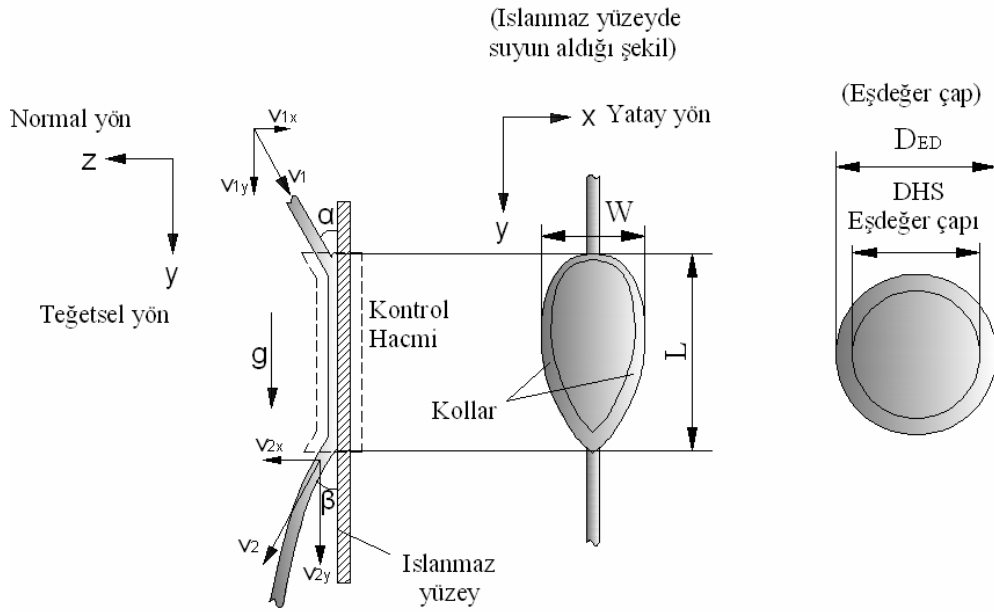
Bu tezde olay deneysel olarak ifade edilmesiyle birlikte; bazı kabullerle ıslanmaz yüzeye çarpan ve yansıyan suyun enerji dönüşümleri ve teğetsel kuvvetin teorik olarak incelenmesi yapılmıştır.

2.3.1. Enerji dönüşümleri

Islanmaz yüzeye eğimli olarak çarpan su jetinin yüzeyde depoladığı yüzey gerilim enerjisinin bulunabilmesi için suyun ıslanmaz yüzeyle ve hava ile temas alanlarının ve hacminin bilinmesi gerekmektedir. Suyun ıslanmaz yüzeyde aldığı şeklin yüzey alanını ve hacmini ölçmek bir hayli zor bir durumdur. Bu ifadeleri bulabilmek için suyun yüzeydeki izdüşüm alanının eşdeğer çapı ve D.H.S'nin oluştuğu alanın eşdeğer çapını kullanarak suyun yüzeydeki şekli torus haline getirilebilir. Belli kabullerle bu ifadelerin yaklaşık olarak bulunabileceği düşünülmektedir. Bu alanların ve hacmin bulunması ile yapılan kabuller ilerleyen bölümlerde anlatılacaktır.

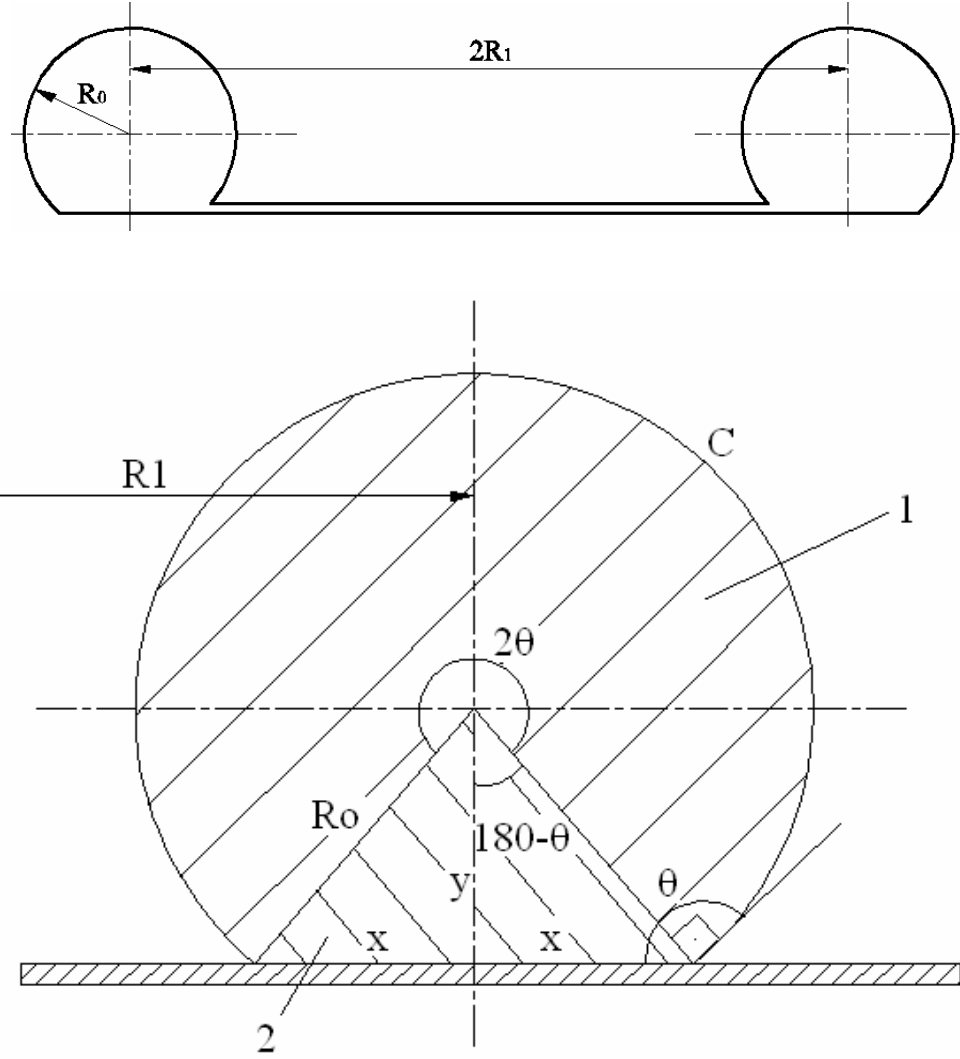
2.3.1.1. Suyun yüzeyde aldığı şeklin geometrisi

Şekil 2.9’da yeryüzüne dikey ıslanmaz yüzeye eğimli olarak çarpan su jetinin yüzeyde aldığı şekil ve bu şeklin kontrol hacmine alınması görülmektedir. Yüzeyde suyun aldığı şeklin alanı, bu şekille aynı alana sahip daire ile ifade edilmektedir (Bakınız bölüm 2.5.1). Nozuldan çıkan su jeti, yüzeye çarptığı noktadan hidrolik sıçramanın gerçekleştiği bölgeye kadar ince film şeklinde su tabakası oluşturmaktadır. Bu film tabakasının kalınlığı suyun ataleti, jet açısı gibi parametrelere göre değişmektedir.



Şekil 2.9: Yeryüzüne dikey ıslanmaz yüzeye eğimli olarak çarpan su jetinin yüzeydeki şekilleri ve kontrol hacmine alınması.

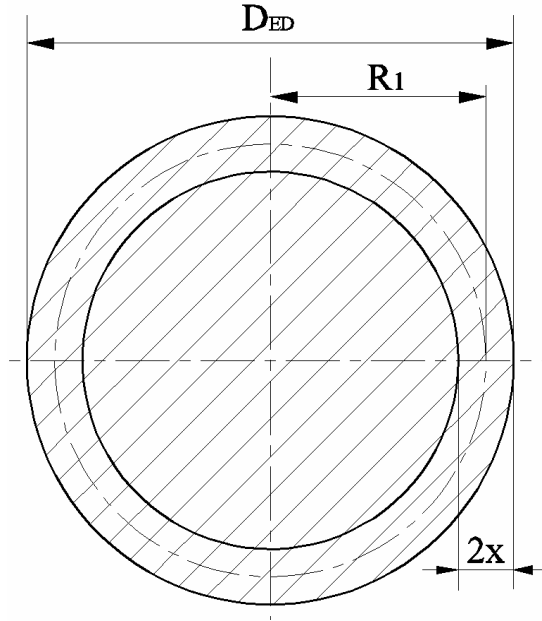
Suyun çarpma bölgesi etrafında oluşan film tabakasının kalınlığı ihmal edilerek ve eşdeğer çaplar kullanılarak suyun yüzeydeki şekli, Şekil 2.10’da görüldüğü gibi bir tarafı düz torus şeklinde ifade edilebilir. Şekil 2.10’da elde edilen torusun yüzeyde kontak açısıyla aldığı şeklin kesiti görülmektedir.



Şekil 2.10: Suyun yüzeyde aldığı seklin torus şeklinde ifadesi.

Suyun, ıslanmaz yüzeyde, yüzeyin sahip olduğu kontak açısıyla aktığı kabulüyle Şekil 2.10'daki geometri oluşturulur. Kesitin katı yüzeyle temas eden kısmı x ve bu kısmın merkeze olan mesafesi y olarak simgelenirirse; x ve y 'nin büyüklüğü Denklem (2.4)'teki gibi ifade edilebilir.

$$y = R_0 \cos(180 - \theta), \quad x = R_0 \sin(180 - \theta) \quad (2.4)$$



Şekil 2.11: Suyun yüzeyde ıslanmaz yüzeyle temas eden alanı

Şekil 2.11’de görüldüğü gibi suyun yüzeydeki izdüşüm alanı, su ile katı arasındaki temas alanı olarak alınmakta, kontak açısından kaynaklanan çok az bir fark ihmal edilmektedir. Bu kabullerle D_{ED} ’nin alanı, suyun ıslanmaz yüzeyle temas eden alanı olarak alınabilir (Denklem (2.5)).

$$A_{SL} = \frac{\pi D_{ED}^2}{4} \quad (2.5)$$

Şekil 2.10’da C ile ifade edilen kesit görüntünün dış çevresi, Denklem (2.6)’da ifade edildiği gibi tam daire çevresinin sahip olduğu açının 2π ’ye oranlanmasıyla bulunabilir. Bu çevre torus şeklin çapı kullanılarak torusun bütün yüzey alanı bulunabilir. Bu alana ortadaki film tabakasının yüzey alanı da eklendiğinde Denklem (2.7)’deki ifade elde edilir.

$$C = 2\pi R_0 \frac{2\theta}{2\pi} \quad (2.6)$$

$$A_{GL} = C(2\pi R_1) + \pi(R_1 - R_0)^2 \quad (2.7)$$

Denklem (2.6)'da ifade edilen C Denklem (2.7)'de yerine konulup gerekli düzenlemeler yapılırsa, suyun ıslanmaz yüzeyde havayla temas alanı Denklem (2.8)'deki gibi ifade edilir.

$$A_{GL} = 4\pi R_0 R_1 \theta + \pi(R_1 - R_0)^2 \quad (2.8)$$

2.3.1.2. Suyun yüzeyde aldığı şeklin hacmi

Şekil 2.10'da gösterilen A_1 alanı Denklem (2.9)'daki gibi ve A_2 alanı Denklem (2.10)'daki gibi ifade edilir.

$$A_1 = \pi R_0^2 \frac{2\theta}{2\pi} \quad (2.9)$$

$$A_2 = xy \quad (2.10)$$

A_1 ve A_2 alanlarının toplamları torusun yarıçapı (R_1) kullanılarak elde edilen çevre ile çarpıldığında suyun hacmi Denklem (2.11)'deki halini alır. İnce film tabakasının kalınlığı ihmal edildiğinden dolayı bu kısımdaki su, hacme eklenmemektedir.

$$\Omega = (2\pi R_1)[A_1 + A_2] \quad (2.11)$$

Denklem (2.9)'daki A_1 ve Denklem (2.10)'daki A_2 alanları, Denklem (2.11)'de yerlerine konulursa Denklem (2.12) eşitliği elde edilir.

$$\Omega = (2\pi R_1) \left[\left(\pi R_0^2 \frac{2\theta}{2\pi} \right) + (xy) \right] \quad (2.12)$$

Denklem (2.4)'teki x 'in ve y 'nin değerleri, Denklem (2.12)'deki yerlerine yazılıp düzenlenirse, suyun hacmi Denklem (2.13)'teki şekliyle ifade edilmiş olur. Denklemde geçen θ 'nın değeri raydan cinsinden, $(180 - \theta)$ ifadesinde geçen θ 'nın değeri ise derece cinsinden alınacaktır.

$$\Omega = 2\pi R_0^2 R_1 \theta + 2R_0^2 \cos(180 - \theta) \sin(180 - \theta) \quad (2.13)$$

2.3.1.3. Islanmaz yüzeyde yayılan suyun yüzey gerilim enerjisi

Gunjal ve diğ. (2005), katı yüzeye damla çarpması ile ilgili çalışmalarında yüzeyde yayılan damlanın yüzey gerilim enerjisini Denklem (2.14)'te belirtildiği gibi tanımlamışlardır.

$$E_\sigma = A_{GL} \sigma_{GL} + A_{LS} (\sigma_{LS} - \sigma_{GS}) \quad (2.14)$$

Denklemden bulunan gaz yani hava ile katı arasındaki yüzey gerilimi (σ_{LS})'nin bilinmesi zorluğundan dolayı Denklem (2.1)'de ifade edilen Young eşitliğinde bulunan σ_{GS} Denklem (2.14)'te yerine yazılarak gerekli işlemler yapılırsa Denklem (2.15) elde edilir (Gunjal ve diğ. 2005).

$$E_\sigma = A_{GL} \sigma_{GL} + A_{LS} [\sigma_{LS} - (\sigma_{LS} + \sigma_{GL} \cos \theta)]$$

$$E_\sigma = \sigma_{GL} [A_{GL} - (A_{LS} \cos \theta)] \quad (2.15)$$

Denklem (2.5)'te ifade edilen A_{SL} ve Denklem (2.8)'de ifade edilen A_{GL} Denklem (2.15)'teki yerlerine konulursa, yüzey gerilim enerjisi Denklem (2.16)'daki şekliyle ifade edilir.

$$E_\sigma = \sigma_{GL} \left[4\pi R_0 R_1 \theta + \pi (R_1 - R_0)^2 - \left(\frac{\pi D_{ED}^2}{4} \right) \cos \theta \right] \quad (2.16)$$

2.3.1.4. Yeryüzüne dik ıslanmaz yüzeye eğimli su akışının enerji eşitliği

Yeryüzüne dikey olarak duran ıslanmaz yüzeye eğimli olarak su jeti çarptığı anda yüzeyde yayılmakta ve daha sonra depoladığı yüzey gerilim enerjisiyle yüzeye normal olarak yükseklik kazanmakta veya yansıma hareketi yapmaktadır. Bu nedenle

enerji eşitliği her iki durum için ayrı ayrı incelenecektir. Birinci enerji eşitliği; yüzeye çarpan su jetinin yüzeyde yayılması, ikincisi ise yüzeyde yayılan akışkanın yüzeyden yansımadır.

2.3.1.4.1. Yüzeye çarpan suyun yüzeyde yayılması

Yeryüzüne dikey olarak duran ıslanmaz yüzeye eğimli olarak gönderilen su jetinin, nozuldan çıktığı anda su jetinin kinetik enerjisi potansiyel enerjisi ve basınç enerjisi mevcuttur. Nozul çıkışından başlayan akış ıslanmaz yüzeyde yayılması ve yansıması sırasında sürekli atmosfere açık olduğundan dolayı basınç enerjisi ihmal edilebilir. Ayrıca akış çok kısa bir mesafede gerçekleştiği için potansiyel enerjide ihmal edilecektir. Böylece nozuldan çıkan suyun yalnızca kinetik enerjisi mevcuttur ve bu enerji suyun yüzeyde yayılmasıyla yüzey gerilim enerjisine dönüşmektedir. Enerjinin bir kısmı bu yayılma esnasında kayba uğramaktadır. Nozuldan çıkan suyun ıslanmaz yüzeyde yayılması esnasındaki enerji dönüşümü Denklem (2.17)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$E_{k_{jet}} = E_{\sigma} + E_{kayip} \quad (2.17)$$

Kinetik enerji denklemi yazılıp, Denklem (2.16)'da ifade edilen yüzey gerilim enerjisi E_{σ} Denklem (2.17)'de yerine konulursa, enerji eşitliği Denklem (2.18)'deki şekliyle yazılır. Suyun ıslanmaz yüzeyde yüzey gerilim enerjisini meydana getiren hız bileşeni yüzeye normal hız bileşeni olduğundan dolayı kinetik enerjinin hesaplanmasında normal hız bileşeni kullanılmaktadır.

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 \Omega \sin \alpha = \sigma_{GL} [A_{GL} - (A_{LS} \cos \theta)] + E_{kayip}$$

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 \sin \alpha (\pi R_0^2 R_1 \theta + R_0^2 \cos(180 - \theta) \sin(180 - \theta)) =$$

$$\sigma_{GL} \left[4\pi R_0 R_1 \theta + \pi (R_1 - R_0)^2 - \left(\frac{\pi D_{ED}^2}{4} \right) \cos \theta \right] + E_{kayip} \quad (2.18)$$

2.3.1.4.2. Yüzeyde yayılan suyun yüzeyden yansması

Islanmaz yüzeyde yayılan su, tekrar birleştiği noktada yüzeye normal olarak yüzeye arasındaki mesafe artmaktadır. Bu artış, yüzeye su arasındaki çekim kuvvetlerine bağlı olarak ya suyun yüzeyden yansmasına veyahut ta tekrar yüzeye yönelmesine sebep olmaktadır. Her iki durumda da su yüzeye normal olarak hız kazanmaktadır. Yani suyun yüzeyde depoladığı yüzey gerilim enerjisi, kinetik enerjiye dönüşmektedir. Yine basınç enerjisi ve potansiyel enerji ihmal edilmektedir. Buradaki kayıp enerji suyun yüzeyde yayılmasında meydana gelen kayıp enerjiden daha düşük boyutlardadır ve ihmal edilmektedir. Böylece yüzeyde yayılıp daha sonra yüzeye normal olarak yükseklik kazanan veya yansıyan suyun enerji dönüşümü Denklem (2.19)'daki şekliyle ifade edilir.

$$E_{\sigma} = E_{k_{yan}} \quad (2.19)$$

Eşitlikler yerlerine yazılarak gerekli düzenlemeler yapılırsa ıslanmaz yüzeyde yayılarak yansıma yapan suyun enerji eşitliği Denklem (2.20)'deki halini almış olur.

$$\sigma_{GL} \left[4\pi R_0 R_1 \theta + \pi (R_1 - R_0)^2 - \left(\frac{\pi D_{ED}^2}{4} \right) \cos \theta \right] = \frac{1}{2} \rho v_{2x}^2 (\pi R_0^2 R_1 \theta + R_0^2 \cos(180 - \theta) \sin(180 - \theta)) \quad (2.20)$$

Yukarıda anlatılan aynı enerji denklemleri yerçekimine dikey nozulla eğimli ıslanmaz yüzeye su jeti gönderilen deney şartlarında da geçerli olmakla birlikte buradaki hız bileşenleri yüzeye normal hız bileşenleri olmaktadır.

2.3.2. Suyun yüzeyde meydana getirdiği teğetsel kuvvet

Islanmaz yüzeye eğimli olarak çarpan su jetinin yüzeyde meydana getirdiği teğetsel kuvvetin bulunabilmesi için; akış olayı kontrol hacmi içerisine alınarak (Şekil 2.9), belli kabullerle kütle korunumu ve momentum denklemlerinden yararlanılmıştır.

2.3.2.1. Kütlenin korunumu

Süreklilik denklemine göre sisteme giren ve çıkan akışkanın kütleli debileri birbirlerine eşittir. Akışın daimi ve tek boyutlu olduğunun kabulüyle birim zamanda kontrol hacmine giren toplam kütle, birim zamanda kontrol hacmini terk eden toplam kütleyle eşittir (Denklem (2.21)) (Munson ve diğ. 1994).

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (2.21)$$

Kontrol hacmine giren ve çıkan kütleli debi denklemleri Denklem (2.22)'deki gibi yazılır.

$$\rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2 \quad (2.22)$$

Akışın daimi ve sıkıştırılmaz olduğunun kabulüyle, akışkanın giriş ve çıkış yoğunlukları sabittir. Böylece kütlenin korunumu eşitliği Denklem (2.23)'teki şekliyle ifade edilebilir.

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (2.23)$$

2.3.2.2. Momentum denklemi

Kontrol hacmine etki eden net kuvvet; yerçekimiyle meydana gelen kütle kuvveti, basınç, viskoz ve tepki kuvvetlerinin toplamından oluşmaktadır (Denklem (2.24), Munson ve diğ. 1994).

$$\sum \vec{F} = \sum \vec{F}_{k\u00fctle} + \sum \vec{F}_{ba\ sin\ \zeta} + \sum \vec{F}_{viskoz} + \sum \vec{F}_{teпки} \quad (2.24)$$

Newton'un ikinci yasasına göre bir sisteme etkiyen dış kuvvetlerin toplamı, sistemin doğrusal momentumunun birim zamandaki değişimine eşittir. Ayrıca kontrol hacmi

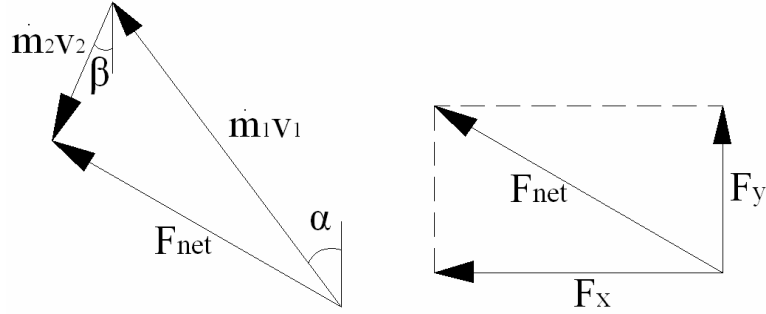
hareketsiz olduğundan ve şeklinde herhangi bir değişiklik olmadığından, sisteme etki eden net kuvvet Denklem (2.25)'teki gibi ifade edilir.

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \int_{KH} \rho \vec{v} d\Omega + \int_{KY} \rho \vec{v} (\vec{v} \cdot \vec{n}) dA \quad (2.25)$$

Akış daimi olduğunda kontrol hacminin momentumu sabit kalır. Kontrol hacminin doğrusal momentumunun zamanla değişimi sıfır olur. Böylece net kuvvet Denklem (2.26)'daki gibi ifade edilir.

$$\sum \vec{F} = \int_{KY} \rho \vec{v} (\vec{v} \cdot \vec{n}) dA \quad (2.26)$$

Yeryüzüne dikey olarak duran ıslanmaz yüzeye α açısıyla çarpıp, β açısıyla yansıyan suyun momentum değişimi ve kuvvet için vektör diyagramı Şekil 2.12'deki gibi çizilir.



Şekil 2.12: Yeryüzüne dikey olarak duran ıslanmaz yüzeyde momentum ve kuvvet vektörleri.

Bu akışın analiz edilmesi için şu kabuller yapılmaktadır.

- Akış bir boyutlu olarak ele alınacaktır.
- Su jeti atmosfere açıktır. Dolayısıyla su jetinin basıncı bütün akış boyunca atmosfere açık olduğundan ihmal edilecektir.
- Nozul çıkışında akış daimidir ve sıkıştırılmazdır.
- Momentum akısı düzeltme faktörü ihmal edilecektir.

Yüzeyde meydana gelen net kuvvet Denklem (2.27)'de gösterildiği gibi; akışkanın ağırlık kuvvetleri, basınç kuvvetleri ve duvarda meydana gelen basınç ve kayma gerilim kuvvetlerinin toplamına eşittir (Çengel ve Cimbala, 2008).

$$\vec{F}_{net} = \vec{W}_{su} + \vec{F}_{p1} + \vec{F}_{p2} + \vec{F}_{p_{du\ var}} + \vec{F}_{\tau_{du\ var}} \quad (2.27)$$

Duvarda meydana gelen basınç ve kayma gerilmesinden dolayı meydana gelen kuvvetlerin toplamını Denklem (2.28)'deki gibi F_{top} olarak ifade edelim.

$$\vec{F}_{top} = \vec{F}_{p_{du\ var}} + \vec{F}_{\tau_{du\ var}} \quad (2.28)$$

Denklem (2.29)'daki gibi dış kuvvetlerin bulunmaması halinde bir kontrol hacminin momentumunun değişim hızı, giren ve çıkan momentum akışlarının hızları arasındaki farka eşittir (Munson ve diğ. 1994).

$$\vec{F}_{net} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 \quad (2.29)$$

Böylece Denklem (2.27), Denklem (2.30)'daki şekliyle yazılabilir.

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = \vec{W} + \vec{F}_{p1} + \vec{F}_{p2} + \vec{F}_{top} \quad (2.30)$$

Sistem atmosfere açık olduğundan dolayı basınç kuvvetleri ihmal edilerek sıfır ($F_{p1}=F_{p2}=0$) alınabilir. Ayrıca akışkanın ağırlığının, net kuvvette etkisi bulunmadığından dolayı ağırlık kuvvetleri de sıfır ($W_{su}=0$) alınır. Böylece duvarda meydana gelen toplam kuvvet Denklem (2.31)'deki gibi ifade edilebilir.

$$\vec{F}_{top} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 \quad (2.31)$$

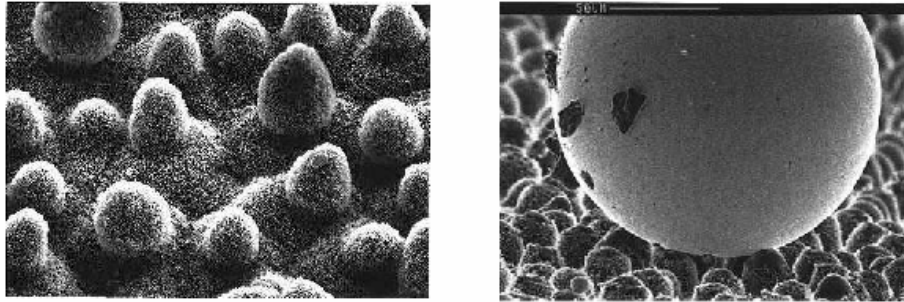
Kuvvet yatay ve dikey olarak bileşenlerine ayrıldığında, kuvvetin yatay ve dikey bileşenleri Denklem (2.32)'deki şekliyle ifade edilirler.

$$F_x = -(\rho Q v_1) \sin \alpha + (\rho Q v_2) \sin \beta, F_y = -(\rho Q v_1) \cos \alpha + (\rho Q v_2) \cos \beta \quad (2.32)$$

2.4. Literatür Çalışması

Son zamanlarda ıslanmaz yüzeyler ve üzerindeki akış olayı birçok araştırmacının dikkatini çekmekte, bu konuda yeni çalışmalar yapılmaktadır. Islanmaz yüzeyler elde edilmesi ve elde edilen bu yüzeylerin akış olaylarında kullanılması ile ilgili birçok çalışmalar yapılmıştır. Literatürde ıslanmaz yüzeylerde jet akışı ile ilgili bir çalışmaya rastlanmazken, ıslanmaz yüzeylerin sürtünmeye etkileri (Keizo ve Udagawa, 1999), damlacık hareketleri (Richard ve Quere, 2000), damlacığın yuvarlanmasına neden olan yüzeyin eğim açıları (Hyvaluoma ve diğ. 2007), damlanın parçalanması (Gunjal ve diğ. 2004), gibi konuların yoğun bir şekilde çalışıldığı görülmektedir.

Neinhuis ve Barthlott (1997), Barthlott ve Neinhuis (1997), nilüfer yaprağının kirli sularda yaşamasına rağmen daima üzerinin temiz olmasının nedenini araştırmışlar, çektikleri elektron mikroskobu fotoğraflarında yüzeyin, 5–10 µm yüksekliğinde ve aralarındaki mesafe 10–15 µm olan birçok küçük tepelerden oluştuğunu, ayrıca yüzeyin mumlu kristal bir yapıda olduğunu gözlemlemişlerdir (Şekil 2.13). Nilüfer yaprağının daima temiz olmasını dolayısıyla kendi kendini temizlemesi özelliğini yüzeyin doku yapısına, dolayısıyla düşük yüzey enerjisine sahip olmasına bağlamışlardır. Bu yüzeylere suyu sevmez, suyu itici anlamlarına gelen hidrofobik (ıslanmaz) yüzey denilmiştir (Wal, 2006).



Şekil 2.13: Nilüfer yaprağının elektron mikroskobuyla görünümü (Neinhuis ve Barthlott, 1997).

Islanmaz yüzeyler üzerine akışkan mekaniğiyle alakalı olarak bu güne kadar yapılan çalışmalarda en fazla dikkat çeken konu yüzeyde oluşan sıvı kayması dolayısıyla sürtünmedeki azalma ve yüzeye çarpan sıvı damlasının davranışı olmuştur. Ayrıca buzlanmama, üzerinde bakteri yaşatmama, buğulanmama v.b. konularda da çalışmalar yapılmıştır. Islanmaz yüzeylerde makro ve mikro mertebede sıvı kayması araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Makro mertebede gemi yüzeyleri, boru akışları (Watanabe ve Udagawa, 1999), gibi yerlerde sürtünmenin azaltılması için ıslanmaz yüzeyler kullanılmıştır.

Katı yüzeyde kayma sınır şartları hakkında Watanabe ve arkadaşları tarafından çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Watanabe ve diğ. 1996). Yaptıkları çalışmalarda ıslanmaz kaplama malzemesi kullanmışlardır. Bu çalışmalardan birisi olan kare ve dikdörtgen kanal içerisinde laminer newtonyen akış için sürtünme direncinde %22 oranında azalma rapor etmişlerdir. Aynı ekip dönel diskle yaptıkları deneylerde sürtünme direncinde en yüksek %25 civarında bir azalma elde etmişlerdir (Watanabe ve Ogata, 1997). Yine aynı ekip silindirik yatay boru için yaptıkları deneyler sonucunda sürtünme direncinde %14'lük bir azalma elde etmişlerdir (Watanabe ve Udagawa, 1999).

Suyun içerisinde bulunan ıslanmaz bir yüzeye hava kabarcığı temas ettiği anda yüzeye çok düşük bir kontak açısıyla yapışmakta ve yüzeyde uzun süre kalmaktadır. Watanabe (1998); bu özellikten istifade ederek gemi gövdelerinin akışkanla temas eden yüzeylerini ıslanmaz malzeme ile kaplamış ve deney süresince geminin altına baş kısmından sürekli hava vermiştir. Hava kabarcıkları ıslanmaz yüzeyle gemi gövdesi arasındaki akışkanın temasını azaltmış sonuç olarak sürtünmede % 10–15 oranında bir azalma elde etmiştir. Neto ve diğ. (2005) yaptıkları çalışmada sınır şartları olarak sıvı kaymasını özellikle ıslanmaz yüzeyler açısından ele alıp geniş bir literatür çalışmasıyla incelemişlerdir.

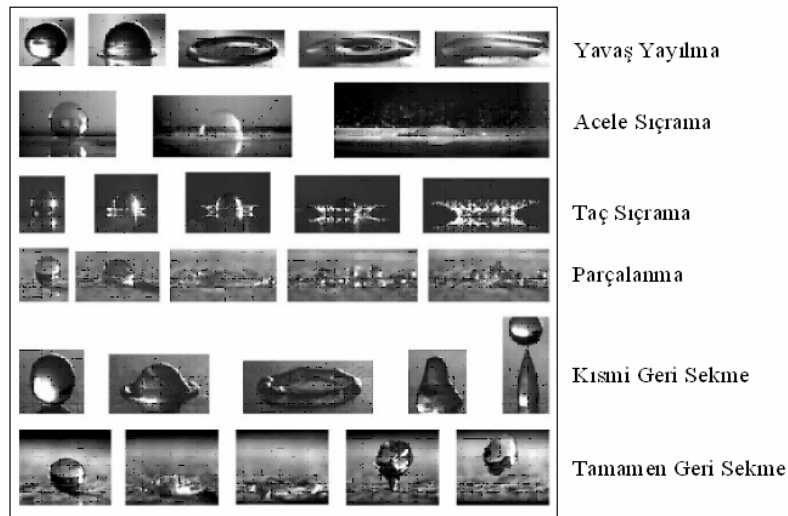
Bu tez çalışmasında yapılan ıslanmaz yüzeyler üzerine jet akışı ile ilgili literatürde herhangi bir çalışma olmamasından dolayı literatürde bulunan farklı konulardan esinlenilerek yeni bir çalışma ortaya konulmuştur. Bu sebepten literatürdeki çalışmaların sonuçlarından pek fazla yararlanılamamış ve literatür incelemesinde

yararlanılan kısımlar verilmiş, sonuçlar üzerinde çok fazla durulmamıştır. Değişik çalışmalarda kullanılan ifadeler tez çalışmasına uyarlanmıştır. Tez çalışmasında; ıslanmaz yüzeylerde akış, normal ve ıslanmaz yüzeylere sıvı damlası çarpması, katı yüzeye sıvı jeti çarpması ve dairesel hidrolik sıçrama gibi konulardan yararlanılmıştır.

2.4.1. Islanmaz ve normal yüzeyler üzerine damla çarpması çalışmaları.

Islanmaz olmayan yüzeylerde damla çarpması çalışmaları çok uzun süredir üzerinde detaylı çalışmalar yapılan bir konudur. Islanmaz yüzeylerin keşfedilmesinden bu güne çok fazla bir zaman geçmemesine rağmen ıslanmaz yüzeyler üzerinde damla çarpması konusunda da birçok çalışma gerçekleştirilmiştir.

Rein (1993), damlanın katı yüzeye çarpması sonucu alabileceği şekilleri 3 ayrı gruba ayırmıştır. Daha sonra Rioboo ve diğ. (2001), yaptıkları çalışmada yüksek hızlı kamera kullanarak Şekil 2.14'te görüldüğü gibi damlanın katı yüzeye çarpma görüntülerini elde etmişler, bunları sınıflandırarak yavaş yayılma, acele yayılma, taç sıçrama, parçalanma, kısmi geri sekme ve tamamen geri sekme olmak üzere 6 ayrı gruba ayırmışlardır. Belirledikleri bu oluşumlara etki eden damlanın hızı, çapı, yüzey gerilimi, viskozitesi ve yüzeyin pürüzlülüğünün etki şekillerini tablo halinde vermişlerdir (Tablo 2.1).



Şekil 2.14: Damlanın Katı Yüzeye çarpmasıyla alabileceği şekiller (Rioboo ve diğ. 2001).

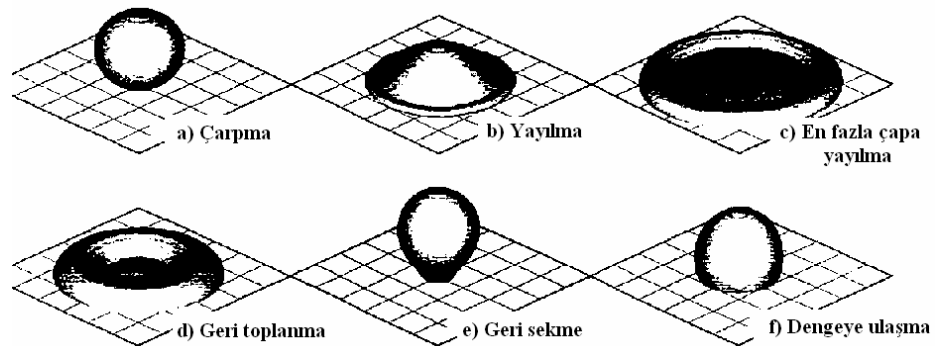
Tablo 2.1: Damlanın Katı bir yüzeye çarpmasıyla oluşabilecek oluşumlara etki eden parametreler (Rioboo ve diğ. 2001).

Değerler	Yavaş yayılma	Acele Sıçrama	Taç sıçrama	Parçalanma	Kısmi geri sekme	Tamamen geri sekme
Hız(U)	↓	↑	↑		↑	↑
Çap (D)	↓	↑				
Yüzey gerilimi(σ)		↓	↑	↑	↓	↑
Viskozite(μ)	↑	↓	↓		↓	
Yüzey pürüzlülük genişliği (R_a)	↓	↑				
Yüzey pürüzlülük dalgaboyu (R_w)		↓			↑	
Geri çekilme kontak açısı (θ_{rec})			↑	↑		↑

Wal (2006), doktora tezi çalışmasında, damlanın katı bir yüzeye çarpmasıyla meydana gelen kayıp enerjinin sebeplerini üçe ayırmıştır.

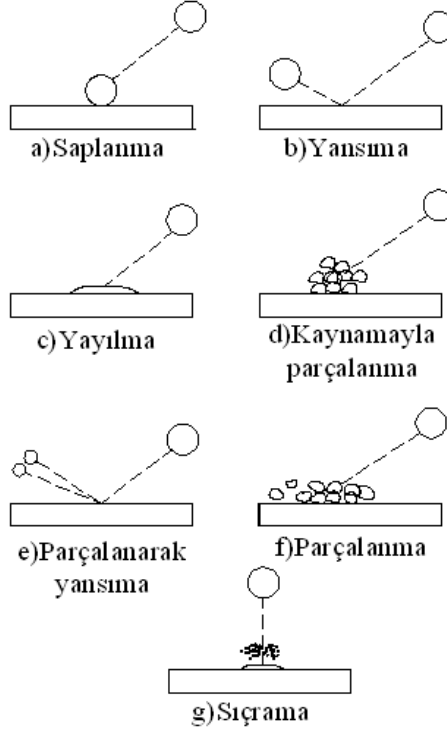
- Viskoz kuvvetler
- Sıvının katı yüzey ile kontak noktalarındaki kontak açısı değişimi
- Yüzeyde oluşan akış yönü değişiklikleri yani girdaplar

Bussmann (2000), yaptığı doktora tezi çalışmasında; katı yüzeye dikey ve eğimli bir şekilde çarpan sıvı damlasının çarpma parametrelerini ve çarpışma sırasında ve sonrasında damlanın aldığı şekil aşamalarını 6 kısma ayırmıştır (Şekil 2.15). Elde ettiği deneysel verileri nümerik verilerle her bir durum için karşılaştırmıştır.



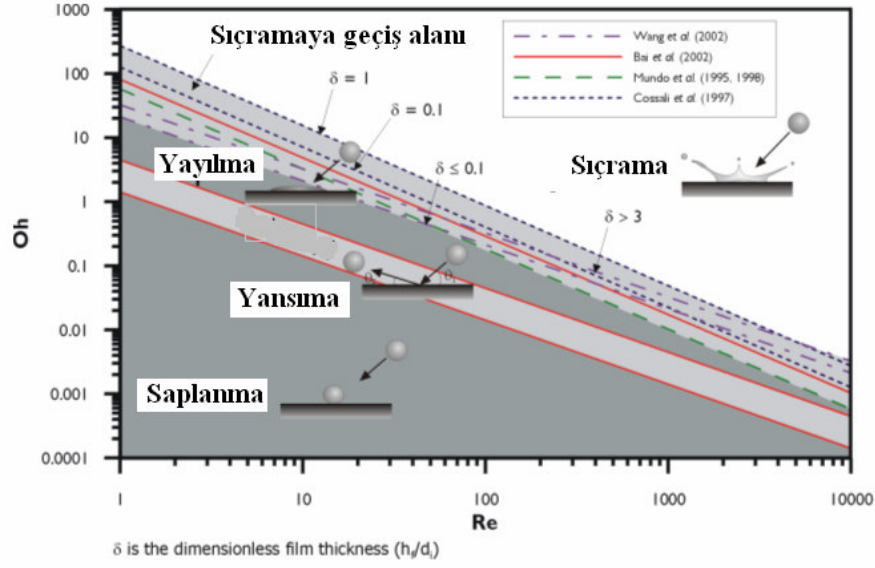
Şekil 2.15: Katı yüzeye çarpan sıvı damlasının çarpışma aşamaları (Bussmann, 2000).

Bai ve Gossman (1995), Şekil 2.16’da görüldüğü gibi yatay bir yüzey üzerine eğimli olarak çarpan damlanın alabileceği şekli 7 ayrı gruba ayırmışlar ve her bir grubun oluşma şartlarını incelemişlerdir.



Şekil 2.16: Damlanın katı yüzeye çarpmasıyla oluşabilecek olayların şematik gösterimi (Bai ve Gossman, 1995)

Mundo ve diğ. (1995), sıçramaya geçiş parametrelerini Ohnesorge ve Reynolds sayılarına bağlı bir grafik üzerinde göstererek bölgelere ayırmışlardır. Daha sonra Wang ve diğ. (2002), Cossali ve diğ. (1997), Bai ve diğ. (2002). Bu konularda çalışmalar yapmışlardır. Moreira (2005), yaptığı çalışmada katı yüzeye çarpan damlanın yansıma, yayılma ve sıçrama arasındaki geçiş bölgeleri üzerine yapılan bu çalışmaları bir grafikte toplamış ve her birisinin farklarını ortaya koymuştur (Şekil 2.17).



Şekil 2.17: Damlada oluşan sıçrama geçiş bölgesi için Re ve Oh sayıları aralarındaki logaritmik grafik (Moreira, 2005).

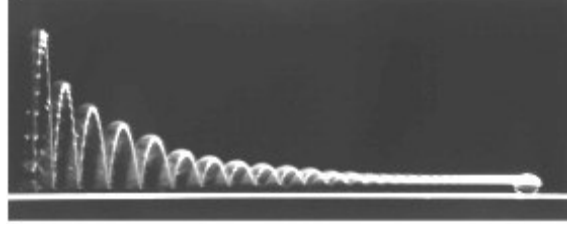
Dressler (2006), yaptığı doktora tezinde, tren yollarındaki tekerlekle raylar arasındaki sürtünmeyi azaltmak için belli sıvıların kullanılabilirliğini araştırmış, bunun için hareket halindeki bir katı yüzeye spreyci damlacıklarının yüzeye çarptıktan sonraki davranışını yüksek hızlı kamera yardımıyla elde ederek deneysel olarak incelemiştir.

Michel ve diğ. (2005), çalışmalarında ıslanmaz ve hidrofilik malzemeler üzerine normal ve eğimli olarak damla çarpmasını hem teorik hem deneysel olarak incelemişlerdir. Teorilerinde yüzey gerilimini de göz önüne alarak süreklilik ve momentum korunumu denklemlerini kullanmışlardır.

Callies ve Quere (2005), katı yüzeylerin ıslanmazlık özellikleri yani ıslanmaz yüzeylerin fiziği hakkında mevcut literatür eşliğinde analiz yapmışlar ayrıca ıslanmaz yüzeyler üzerine damla çarpması dinamiğini tartışmışlardır.

Richard ve Quere (2000), ıslanmaz yüzeye normal olarak çarpan sıvı damlasının geri sekmesini yüksek poza ayarlanmış fotoğraf makinesiyle çektikleri fotoğraflarda deneysel olarak incelemişlerdir (Şekil 2.18). Damlanın farklı çarpma hızlarında elde ettikleri verileri, Denklem (2.33) ile tanımlanan geri sekme katsayısını kullanarak kıyaslamışlardır. Denklemdaki V damlanın çarpma hızı, V' ise geri sekme hızıdır.

$$\varepsilon = \frac{V'}{V} \quad (2.33)$$



Şekil 2.18: Yüksek poz ayarında çekilmiş damlanın ıslanmaz yüzeye çarpıp geri sekmesi aşamaları (Richard ve Quere, 2000).

Attane ve diğ. (2007), ıslanmaz olan ve olmayan katı yüzeylere damla çarpmasının enerji eşitliklerini sürtünmeyi de dahil ederek, üç ayrı teori ile incelemişler ve teorik sonuçlarını mevcut literatürle karşılaştırmışlardır. Özellikle damlanın maksimum yayılma alanı üzerinde durmuşlardır.

Damlanın yüzeye dinamik çarpışmasında yayılmasını incelemek için daha önceki çalışmalarda üç boyutsuz sayı kullanılmıştır. Bu sayılar Reynolds, Weber ve Ohnesorge sayısıdır (Attane ve diğ. 2007).

Issa (2003), damlanın katı yüzeye çarpması hakkında yaptığı doktora tezinde; kritik Weber sayısı tanımlamıştır. Bu sayıyı geri sekme, sıçrama ve yayılma için bir geçiş sayısı olarak kullanmıştır. Çok düşük Weber sayılarında damlanın yüzeye yapıştığını, eğer Weber sayısı kritik Weber sayısının altında ise damlanın parçalanmadan sıçradığını ve kritik Weber sayısı ile damlanın parçalanmaya başladığını rapor etmiştir. Fakat katı yüzeye damla çarpması hakkında yapılan diğer bazı çalışmalarda (Sikalo ve Ganic 2006, Mundo ve diğ. 1995), Weber sayısının damlanın katı yüzeye çarpmasını açıklamada önemli bir boyutsuz parametre olduğundan, ancak tek başına farklı tipteki damla çarpışmalarını sınıflandırmada yeterli olmadığından bahsedilmiştir. Bu çalışmalardan biri olan Mundo ve diğ. (1995)'nin yaptığı çalışmada; geri sekme ve yayılma arasındaki limitleri kritik çarpışma parametresine bağlı olduğunu belirtmişler ve kritik çarpışma parametresini $K_{krit}=57,7$ olarak önermişlerdir Denklem (2.34). Sonradan yapılan birçok çalışmada bu değer referans değer olarak kullanılmıştır (Fukumoto ve diğ. 2002), (Sikalo ve diğ. 2005).

$$K = Re^{1.25} Oh = \sqrt{We} \sqrt{Re} \quad (2.34)$$

Kalantari (2006), yaptığı doktora tezi çalışmasında, katı ve ince film yüzeylere spreyle su akıtılmasını ve çarpma sonrası oluşan damlacık oluşumlarını deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Çalışmasında yoğun olarak yüzeye çarpan akışkanın yüzeyden parçalanarak sıçraması davranışlarını ve etki eden parametreleri yüksek hızlı kamera kullanarak araştırmıştır.

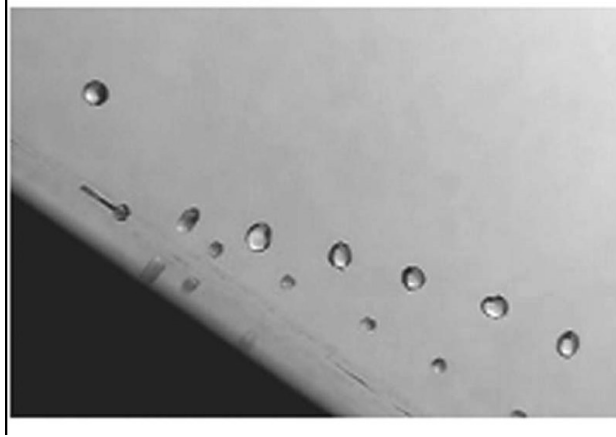
ElSherbini ve Jacobi (2004), çeşitli açılarda bulunan ıslanmaz (hidrofobik) ve ıslanır (hidrofilik) yüzeyler üzerine eğimli olarak çarpan su ve etilen glikol damlalarının çarpışma davranışlarını deneysel olarak incelemiştir.

Vander ve diğ. (2006), yaptıkları deneysel çalışmada sıçramanın gerçekleşip gerçekleşmemeye şartlarını, Reynolds, Weber ve Ohnesorge boyutsuz sayılarını kullanarak ele alıp incelemiştir.

Bartolo ve diğ. (2006), çalışmalarında ıslanmaz yüzeye düşük hızda çarpan damlanın çarpışma karakteristiğini yüksek hızlı kamerayla tespit ederek boyutsuz sayılarla vermişlerdir.

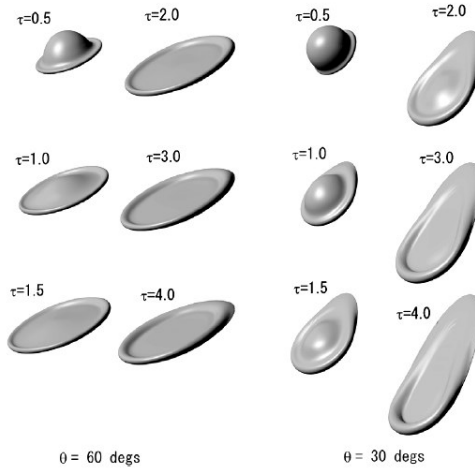
Chen ve Wang (2005), silindirik dönen teflon bir yüzeye çarpan damlanın yüzey gerilim enerjisi, yüzeye çarpma ataleti, sürtünme kuvvetleri ve silindirin dönmesinin etkisiyle yüzeyden yansımaları, sıçraması olaylarını deneysel olarak incelemişler sonuçlarını Weber ve teğetsel Weber boyutsuz sayılarını kullanarak kıyaslamışlardır.

Chiu ve Lin (2005), eğimli yüzeye çarpan bileşik halindeki damlanın yansımalarını teorik ve deneysel olarak incelemiştir (Şekil 2.19). Damlanın yüzeye çarpma hızının normal bileşenini kullanarak düzenlenmiş Weber sayısı tanımlamışlar ve deney sonuçlarını bu sayı ile vermişlerdir.



Şekil 2.19: Eğimli katı yüzeye çarparak yansıyan damlanın yüksek hızlı kamerayla çekilmiş görüntüsü (Chiu ve Lin, 2005).

Fujimoto ve diğ. (2007), sıvı damlasının eğimli yüzeye çarpmasıyla yüzeyde oluşturduğu şekli farklı eğim açıları için deneysel olarak ve VOF tekniğini kullanarak nümerik olarak incelemişler ve sonuçları karşılaştırmışlardır. (Şekil 2.20)



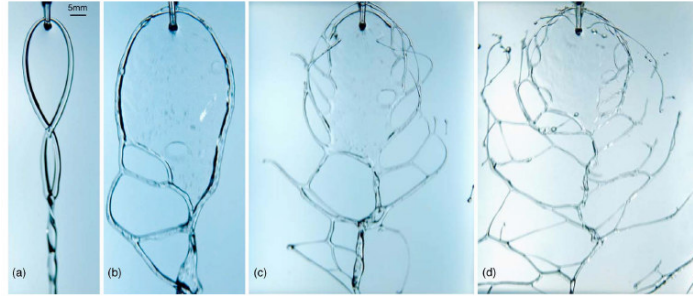
Şekil 2.20: $\alpha=0^\circ$ ve $\alpha=60^\circ$ açıyla duran katı yüzeye çarpan sıvı damlasının zaman içindeki aldığı şekiller (Fujimoto ve diğ. 2007).

ElSherbini ve Jacobi (2006), dikey ve eğimli olarak duran ıslanmaz bir yüzey üzerinden aşağıya doğru yuvarlanan damlanın yüzeye tutunma kuvvetini teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Bu konuda diğer bir çalışma Suzuki ve diğ. (2008), tarafından deneysel olarak yapılmış ve ıslanmaz bir yüzeyden yuvarlanan damlanın davranışları gözlemlenmiştir.

Montavon ve diğ. (1997), sprey uygulamaları için yaptıkları çalışmalarında sıvı parçacıklarının katı yüzeye çarpma eğim açısının damlacıkların çarpışma sonrasında aldıkları şekle etkisini deneysel olarak incelemiştir.

2.4.2. Katı yüzeye sıvı jeti gönderilmesi

Taylor (1966), katı yüzeye eğimli olarak çarpan su jetinin yüzeye çarpmasıyla yüzeyde oluşturduğu basınç kuvvetini iki boyutlu düzlemde analitik olarak incelemiştir. Miller ve diğ. (2005), viskoelastik sıvı ile eğimli olarak pürüzsüz yüzeye sıvı jeti göndermişler sıvının hızıyla yüzeyde aldığı şekil arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Düşük jet hızlarında sıvı zinciri oluşturan sıvıda hızının artmasıyla parçalanmalar olduğunu tespit etmişlerdir (Şekil 2.21).

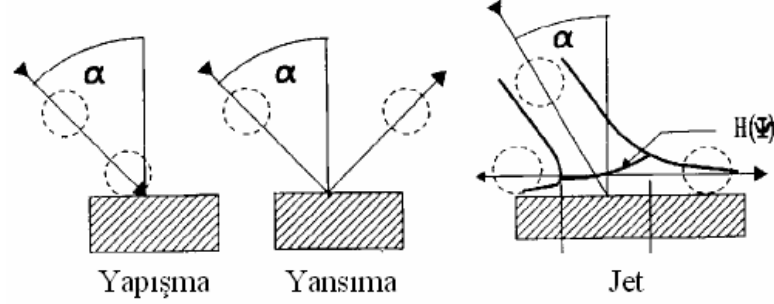


Şekil 2.21: Katı bir yüzeye çarpan viskoelastik sıvının sıvı jeti hızıyla aldığı şekillerin yüksek hızlı kamerayla görüntüleri (Miller ve diğ. 2005).

Eğimli olarak katı bir yüzeye sıvı jeti gönderilmesi üzerine çok fazla çalışma yapılmamıştır. Tong (2003), eğimli bir yüzeye çarpan sıvı jetinin ısı transferini deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. Beltaos (1976), eğimli dairesel sıvı jetinin pürüzsüz katı bir yüzeye çarpmasını deneysel ve analitik olarak incelemiş ve çarpma bölgesinde oluşan kayma gerilmesini ölçerek basınç için yarı ampirik bir yöntem geliştirmiştir. Yapılan diğer bazı çalışmalarda katı yüzeye çarpan dairesel sıvı jetinin yüzeydeki ısı transferi incelenmiştir (Sparrow ve Lovell, 1980), (Stevens ve Webb, 1991).

Kvicinsky ve diğ. (1999), eğimli yüzeye çarpan geniş çaplı su jetinin yüzeyde aldığı şekli ve yüzeyde oluşturduğu basıncı deneysel ve nümerik olarak incelemişler ve

sonuçları karşılaştırmışlardır. Naber ve Reitz (1988), yaptıkları çalışmada yüzeye sprey çarpmasını yapışma, yansıma ve jet akışı olarak 3'e ayırmışlardır. (Şekil 2.22)



Şekil 2.22: Katı yüzeye çarpan sprey damlacıklarının davranışının şematik gösterimi (Naber ve Reitz, 1988).

2.4.3. Islanır yüzeylerde dairesel hidrolük sıçrama (D.H.S)

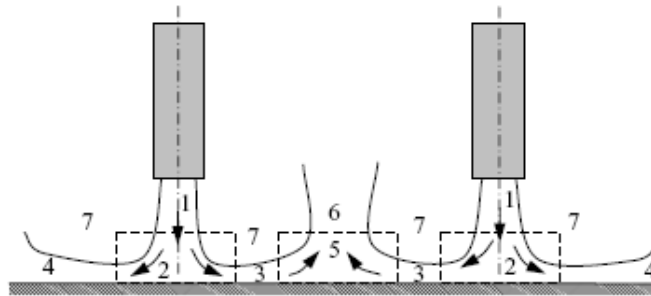
Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde D.H.S olayı genel anlamda katı yüzeylere gönderilen sıvı jetinin doğrultusu normal ve eğimli olarak ikiye ayrıldığı görülür. Katı yüzeyler üzerine, yüzeye dik olarak sıvı jeti gönderilerek meydana gelen D.H.S olayı yoğun bir şekilde çalışılmasına rağmen eğimli yüzeylerde meydana gelen D.H.S hakkında çok fazla çalışma yapılmadığı görülmektedir.

2.4.3.1. Islanır yatay yüzeylerde D.H.S

Hidrolik sıçrama üzerine teorik olarak ilk çalışma Rayleigh (1914) tarafından süreklilik ve momentumun korunumu denklemleri kullanılarak yapılmıştır. Olsson ve Türkdogan (1966), laminer akışta akış profilini araştırmışlar ve hidrolik sıçramanın yarıçapını Reynolds sayısına bağlı olarak belirtmişlerdir. Watson (1964), D.H.S'de, viskozitenin etkisini ilk olarak inceleyen bilim adamıdır. Yaptığı çalışmada lineer momentumun korunumu metodunu kullanarak, probleme analitik olarak bir yaklaşım getirmiş, değişik Reynolds sayılarında deneysel ve teorik çalışmalar yapmıştır. Aynı zamanda Blasius'un alt katman metodunu kullanarak D.H.S'nin yeriyle ilgili bir ifade geliştirmiş ve deneysel verilerle analitik sonuçları karşılaştırmıştır.

Hidrolik sıçrama şeklinin kararsızlığını ilk defa Craik ve diğ. (1981) incelemiştir. Ayrıca Watson'un sıçrama çapıyla ilgili teorisinin kritik altı derinliklerde iyi sonuçlar verdiğini fakat kritik üstü derinliklerde sonuçların tutarlı olmadığını belirtmişlerdir. Bush ve Aristoff (2003) laminar akışta, D.H.S'ye yüzey geriliminin etkisini deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Bush ve Aristoff (2006), diğer bir çalışmada poligon, yıldız, üçgen, kare, kelebek ve kedigözü gibi şekillerde D.H.S oluşumunun şartlarını incelemiştir. Walldorf (2004), D.H.S oluşumunun şeklini 6 kısma ayırmış ve bunların her birerlerinin oluşum şartlarını deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. D.H.S'de dairesel olmayan şekillerin oluşumu diğer bazı çalışmalarda incelenmiştir (Ellegaard ve diğ. 1999).

Kate ve diğ. (2007c), iki sıvı jetinin katı yüzeye normal olarak çarpmasıyla oluşan D.H.S olayını deneysel olarak incelemiştir. Yaptıkları çalışmada çarpışmayı 7 ayrı bölgeye ayırmışlar (Şekil 2.23) ve her iki jetin debilerini ve aralarındaki mesafeleri değiştirerek bu bölgelerin oluşumunu incelemiştir.



Şekil 2.23: İki sıvı jetinin katı yüzeye çarpışmasıyla oluşan şeklin şematik görünüşü. 1) Serbest jet akışı 2) Jet çarpma bölgesi. 3) İç jet bölgesi 4) Dış jet bölgesi 5) Fışkırmaya sebep olan bölge 6) Fışkırmaya sebep olan bölge 7) Sürüklenme bölgesi (Kate ve diğ. 2007c).

Bohr ve diğ. (1993), D.H.S'nin yüzeyde meydana getirdiği dairenin ayrı çapıyla ilgili boyut analizi kullanarak denklem modeli geliştirmişler ve yaptıkları deneylerle karşılaştırmışlardır Denklem (2.35). Buna benzer diğer çalışmada Godwin (1993), Denklem (2.36)'daki modeli geliştirmiştir. Brechet ve Neda (1999) ise yeni bir denklem modeli Denklem (2.37) geliştirerek hem kendi modellerini hem de Bohr'un ve Godwin'in modelini yaptıkları deney sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Burada R_{HS} q debi, g yerçekimi ivmesi, ν kinematik viskozite, d sıvı jetinin çapı, a ve c'de katsayıdır.

$$R_{DHS} = c(\text{Re})^{3/8} (\text{Fr})^{1/4} a = cq^{5/8} \nu^{-3/8} g^{-1/8} \quad (2.35)$$

$$R_{DHS} = c(\text{Re})^{1/3} a \quad (2.36)$$

$$R_{DHS} = q^{2/3} d^{-1/6} \nu^{-1/3} \quad (2.37)$$

Mikielewicz ve Gumkowski (2005), yaptıkları deneysel ve teorik çalışmada D.H.S'den önceki ve sonraki bölgede meydana gelen akışkan kalınlığının, Froude sayısı ile olan ilişkisini karşılaştırmışlardır. Avedisian ve Zhao (2001) D.H.S olayına, yerçekiminin etkisini incelemiştir. Çalışmalarında yerçekimi doğrultusunda ivmeyle hareket eden kabin içerisinde deneylerini yapmışlar ve düşük yer çekimi ile normal yerçekimi arasındaki farkları ortaya koymuşlardır. Hansen ve diğ. (1997) deneylerinde reflektör kullanarak D.H.S'de dalga oluşumlarını deneysel ve teorik olarak incelemiştir.

Gradeck ve diğ. (2006), yatay yönde hareket eden bir yüzey üzerine dikey yönde su jetiyle su akıtılması sonucu oluşan D.H.S şeklini deneysel olarak ele alıp incelemişler, çektikleri fotoğraf bilgilerini bilgisayarda değerlendirerek elde edilen sonuçları, nümerik sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında değişken olarak su jeti ataleti, nozul çapları ve hareketli yüzey hızını kullanarak, D.H.S yarıçapını incelemiştir. Yokoi ve Xiao (1999) daha önceki yapılan D.H.S ile ilgili çalışmaların (Bohr ve diğ. 1993), sonuçlarını nümerik olarak incelemişler ve bu çalışmalarla karşılaştırmışlardır. Aynı ekip diğer bir çalışmada D.H.S'nin şeklini nümerik olarak incelemişler sıvının yüzey gerilim kuvvetinin basınç dağılımında en önemli parametre olduğunu belirtmişlerdir (Yokoi ve Xiao 2002). Bohr ve diğ. (1997), dairesel hidrolik sıçramanın oluşumuyla ilgili viskozitenin etkisini incelemiştir.

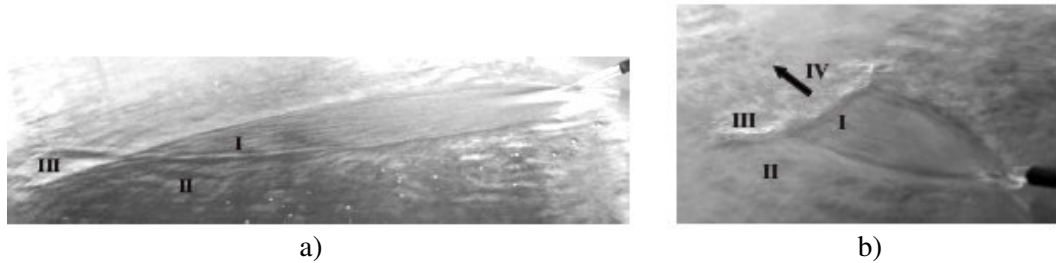
Bohr ve diğ. (1998), yaptıkları teorik ve deneysel çalışmayla D.H.S'yi incelemiştir. Akışkanın çarpma ve D.H.S oluşumu arasında meydana gelen akışın yapısını ve laminer oluşma şartlarını incelemiştir. Jet çapı düşük çaplarda olduğu

zaman D.H.S çapının sabit kaldığını çapın büyümesiyle dalgalanma meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Yakın geçmişte yapılan bazı çalışmalarda dairesel hidrolik sıçramanın nümerik olarak çözümlenmesi için yapılan çalışmalar mevcut literatürle karşılaştırılmıştır (Ferreira ve diğ. 2002, Ferreira ve diğ. 2007). Diğer bazı çalışmalarda da su jetinin yüzeye çarptıktan sonra D.H.S oluşuncaya kadarki bölgede oluşan dalgalar teorik ve deneysel olarak incelenmiştir (Cholemari ve Arakeri, 2005), (Rao ve Arakeri, 2001).

2.4.3.2. Islanır eğimli yüzeylerde D.H.S

Kate ve diğ. (2007a), yatay bir katı yüzeye açılı olarak su jeti göndermişler ve yüzeyde oluşan D.H.S olayını deneysel ve teorik olarak ele alıp incelemişlerdir. Çalışmalarında yatay bir yüzeye 25° den düşük açıyla çarpan su jeti için kritik açı değerini deneysel ve teorik olarak karşılaştırmışlardır. Ayrıca çalışmalarında kritik açıdan daha düşük su jeti yüzeye çarptığında suyun yüzeyde oluşturduğu D.H.S'yi üç bölgeye ayırmışlardır (Şekil 2.24 a), (Şekil 2.24 b). Bu bölgeleri düzenli yansıma dalgaları ve Mach yansıma dalgaları olarak ayrı ayrı incelemişlerdir. Düzenli yansıma dalgalarından (Şekil 2.24 a) Mach yansıma dalgalarına (Şekil 2.24 b) geçişin jet eğim açısının artmasıyla veya su jetinin hızının azalmasıyla gerçekleştiğini ve sonuçların süpersonik sıkıştırılabilir akışlara benzerliğinden bahsetmişlerdir.



Şekil 2.24: Su jetinin katı yüzeye eğimli olarak çarpmasıyla aldığı şekiller. a) Düzenli yansıma dalgaları b) Mach yansıma dalgaları (Kate ve diğ. 2007a).

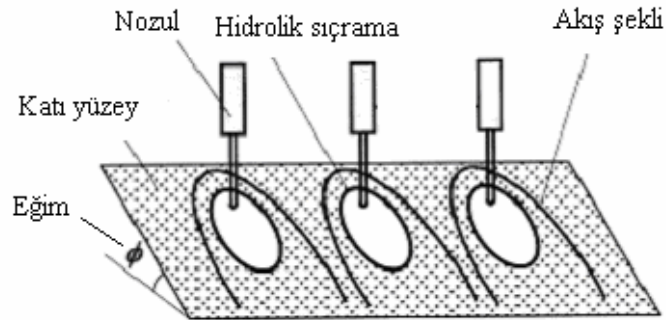
Kate ve diğ. (2007b), yaptıkları diğer bir çalışmada tek bir dairesel sıvı jetinin katı yüzeye eğimli olarak çarpmasıyla oluşan D.H.S çapını sıvı jetinin yüzeye çarpma

açısını değiştirerek teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Ayrıca elde ettikleri sonuçları (Arakeri ve Rao 1996), (Bohr ve diğ. 1993), (Brechet ve Neda 1999), (Godwin 1993)'nin sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır.

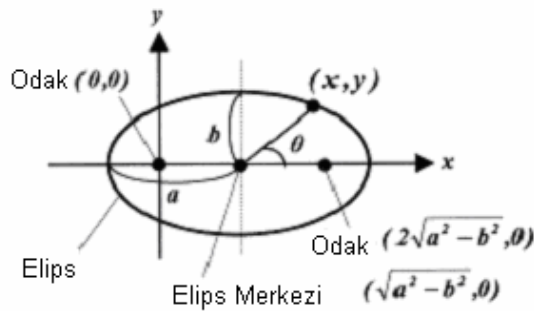
Togahsi ve diğ. (2004), 10° ile 40° arasındaki eğime sahip yüzeyler üzerine dikey yönde su jeti gönderildiği zaman oluşan elips şeklindeki geometri için (Şekil 2.25) polar koordinatları kullanarak (Şekil 2.26) elipsin herhangi bir noktasının koordinatı için Denklem (2.38) ifadesini ve elipsin majör ve minörünün uzunluğu için de Denklem (2.39) ve Denklem (2.44)'teki ifadeleri geliştirmişler ve bu ifadeleri deney sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır.

$$(x, y) = (a \cos \theta + \sqrt{a^2 - b^2}, b \sin \theta) \quad (2.38)$$

$$a = r_j(1 + 0.3 \tan \phi), b = (r_j - \alpha) \cos \phi + \alpha \quad (2.39)$$

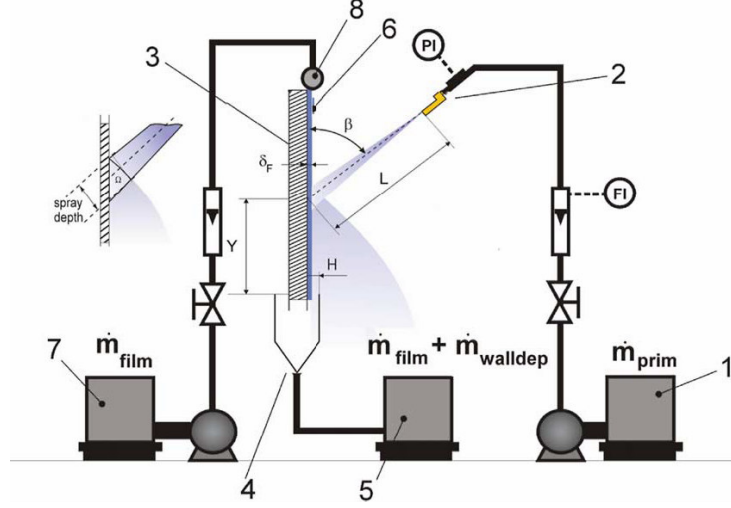


Şekil 2.25: Eğik yüzey üzerinde akışın şematik gösterilişi (Togahsi ve diğ. 2004).



Şekil 2.26: Polar koordinatlarda elipsin gösterilişi (Togahsi ve diğ. 2004).

Weiss (2005), Şekil 2.27’de görülen deney sistemini kullanarak düşey olarak duran katı bir yüzeye spreyci damlacıklarının çarpmasından sonraki davranışlarını incelemiştir.



Şekil 2.27: Spreyin düşey yüzeye çarpması deney tesisatı (Weiss, 2005).

2.5. Boyutsuz Sayılar

Normal yüzeyler üzerine yapılmış D.H.S olayı ile ilgili çalışmalar ele alınıp incelendiğinde sistemde viskoz kuvvetlerin, atalet kuvvetlerinin ve yerçekimi kuvvetlerinin etkin olduğu, ıslanmaz yüzeyler üzerinde yapılan damla çalışmaları incelendiğinde viskoz ve atalet kuvvetlerine ek olarak yüzey gerilim kuvvetlerinin etkin olduğu görülmektedir. Bu nedenle bu tür çalışmalarda araştırmacılar boyutsuz sayı olarak Reynolds, Weber sayılarını temel alarak D.H.S olayını analiz etmeye çalışmışlar ve elde ettikleri sonuçları yayınlamışlardır. İlgili boyutsuz sayılar Denklem (2.40) ve Denklem (2.41)’de verilmiştir.

$$Re = \frac{\text{Atalet kuvvetleri}}{\text{Viskos kuvvetler}} = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (2.40)$$

$$\text{Weber} = \frac{\text{Atalet kuvvetleri}}{\text{Yüzey gerilim kuvveti}} = \frac{\rho d v^2}{\sigma} \quad (2.41)$$

Sıvı akışlarında özellikle viskozitenin ve yüzey geriliminin her ikisinin de etkisini incelemek için Ohnesorge sayısı (Denklem (2.42)) kullanılmaktadır. Bu etkiyi görebilmek için farklı viskozitedeki sıvılar kullanmak gerekmektedir.

$$Ohnesorge = Oh = \frac{\sqrt{We}}{Re} \quad (2.42)$$

Islanmaz yüzeyler üzerinde yapılan damla çarpışması çalışmalarında, damlanın parçalanması, sıçraması arasındaki geçiş için Denklem (2.43)'te verilen sıçrama parametresi tanımlanmıştır (Mundo ve diğ. 1995). Böylece akış olayı incelenirken viskoz kuvvetler ve yüzey gerilim kuvvetleri ve atalet kuvvetlerinin her üçünün de olayda etkisini görmek mümkün olmaktadır (Aramburo, 2004).

$$K = Oh Re^{1.25} \quad (2.43)$$

Eğimli yüzeylere damla çarpması çalışmalarında damlanın yüzeyde yayılmasında etkili olan normal hız bileşeni kullanılarak Denklem (2.44)'te ifade edilen normal Weber sayısı tanımlanmıştır (Sikalo ve Ganic, 2006). Islanmaz bir yüzeye sıvı jeti çarpması olayında da hızın, yüzeye normal ve yüzeye teğetsel hız bileşenleri vardır. Hızın yüzeye normal bileşeni su jetinin yüzeyde yayılmasında etkili olmaktadır. Bu nedenle Weber sayısı tanımlanırken yüzeye gelen su huzmesinin yüzeyin normali yönündeki bileşeninin etkisini tanımlayıp olayı jet açısından bağımsız hale getirmek için; normal Weber sayısı şekliyle tanımlanmaktadır Denklem (2.44) (Chiu ve Lin, 2005), (Sikalo ve Ganic, 2006).

$$We_n = \frac{\rho d (v \sin \alpha)^2}{\sigma} \quad (2.44)$$

Bu tez çalışmasında We sayısını açıdan bağımsız hale getirmek için jet açısının sinüsü ile çarpılarak jet açısına bağlı olarak düzenlenmiş We sayısı Denklem (2.45)'te verilen şekliyle tanımlanmıştır.

$$We_{\alpha} = \frac{\rho dv^2 \sin \alpha}{\sigma} \quad (2.45)$$

Bu tez çalışmasında düşey ve eğimli bir ıslanmaz yüzey üzerine farklı açılarda ve farklı hızlarda gönderilen su jetinin hareketi deneysel olarak incelenmiş ve sonuçlar boyutsuzlaştırılarak Reynolds ve Weber sayısına bağlı olarak verilmiştir. Şekil 4.1’de su jetinin yüzey üzerine çarpması ile oluşan geometrik büyüklükler şematik olarak gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi d jetin çapını, α jetin yüzeye yaptığı jet açısını, β yansıma açısını, W yüzeyde oluşan şeklin maksimum genişliğini, L bu şeklin boyunu, A ise bu şeklin alanını göstermektedir. Bu parametrelerden türetilen diğer boyutsuz parametreler aşağıda verilmiştir.

2.5.1. Eşdeğer çap

Eşdeğer çap, farklı geometrideki şekilleri tek bir ifadeyle tanımlayabilmek için kullanılmaktadır. İfade edilmek istenen şeklin alanı, bu alana eşdeğer olan dairenin çapı eşdeğer çap olarak ifade edilir. Montavon (1997)’nin katı yüzeylere damla çarpması ile ilgili çalışmasında tanımladığı bir parametredir. Aynı parametreyi, eğimli yüzeylerde oluşan elips şeklindeki hidrolik sıçrama için Kate ve diğ. (2007a), Kate ve diğ. (2007b)’de kullanmışlardır. Benzer şekilde bu çalışmada da su jetinin yüzeye çarpması ile yüzeyde oluşan şeklin alanı görüntü analiz programı ile hesap edilerek bu alana eşdeğer olan dairenin çapı bulunarak elde edilmiştir Denklem (2.46).

$$D_{ED} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (2.46)$$

2.5.2. Uzama faktörü (U.F)

Su jetinin yüzeye çarpmasıyla oluşan maksimum boyunun, maksimum genişliğine oranıdır. Uzama faktörüne ait ifade Denklem (2.47)’de görülmektedir. Bu ifade de yine katı yüzeye sıvı damlası çarpması için diğer araştırmacılar tarafından referans değer olarak kullanılmıştır (Montavon ve diğ. 1997), (Kang ve Ng, 2006).

$$UF = \frac{L}{W} \quad (2.47)$$

2.5.3. Eşdeğer yayılma faktörü (E.Y.F)

Kang ve Ng (2006), Kang ve diğ. (2007), yaptıkları çalışmada kullandıkları bir parametredir. Bu parametre damlanın katı yüzeyde yayılması tanımlanırken; damla çapının, damlanın çarptıktan sonra yayılma çapına oranı olarak kullanılmıştır. Ancak bizim çalışmamızda damla yerine sürekli akan su jeti kullanıldığı için benzer şekilde bu çalışmada Eşdeğer Yayılma Faktörü; jet çapının eşdeğer çapa oranı olarak tanımlanmıştır Denklem (2.48). Bu boyutsuz parametre D.H.S olaylarında ilk defa bu çalışmada kullanılmıştır.

$$EYF = \frac{d}{D_{ED}} \quad (2.48)$$

2.5.4. Uzama oranı ve genişleme oranı

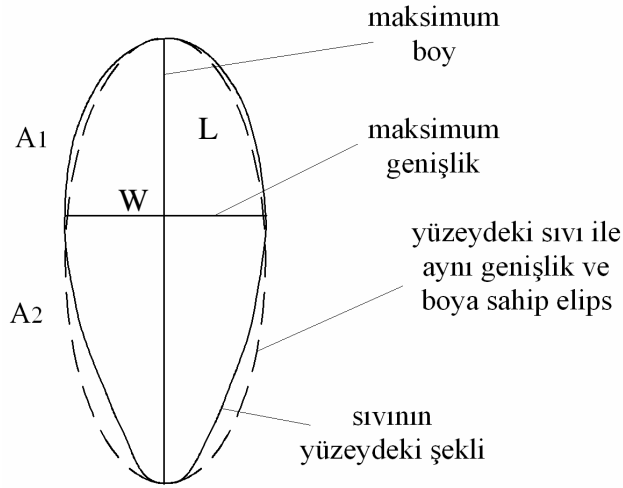
Uzama ve genişleme oranları Togashi ve Azuma (2004) tarafından daha önce tanımlanmış parametrelerdir. Onlar çalışmalarında uzama ve genişleme oranlarını, eğik bir yüzeye dikey olarak çarpan su jetinin oluşturduğu elips şeklindeki hidrolik sıçrama olayında elips şeklin minörü ve majörünü hidrolik sıçrama yarıçapına bölerek elde etmişlerdir. Aynı parametre bu tez çalışmasında ise D.H.S yerine ıslanmaz yüzeye çarpan suyun D.H.S'den sonraki maksimum boyu ve genişliği, maksimum alana eşdeğer alanın çapına (D_{ED}) bölünerek elde edilmiştir Denklem (2.49), Denklem (2.50).

$$UZO = \frac{L}{D_{ED}} \quad (2.49)$$

$$GEO = \frac{W}{D_{ED}} \quad (2.50)$$

2.5.5. Şekil faktörü (Ş.F.)

Islanmaz yüzeye çarpan sıvı jeti yüzeyde elipse benzeyen bir şekil almakla birlikte bu şekil tam olarak bir elips değildir. Sıvı jetinin şekli hakkında bilgi sahibi olabilmek ve elipse ne kadar benzediğini belirlemek için Şekil Faktörü adı verilen bir boyutsuz sayı tanımlanmıştır. Yüzeydeki sıvının şekli tam elips veya daire olduğunda Şekil Faktörü 1 değerini alacaktır. Şekil 2.28’de görüldüğü gibi ıslanmaz yüzeye çarpan akışkanın yatay olarak maksimum genişliğe ulaştığı noktaya (A_1) kadar ve bu noktadan birleştiği noktaya kadar olan bölümün (A_2) şekli hakkında fikir sahibi olunmasını sağlayacak bir boyutsuz sayıdır. Sonuç olarak Şekil Faktörü ıslanmaz yüzeydeki sıvının yüzeyde aldığı maksimum genişliğe ve boya sahip elipsin alanının, sıvının kapladığı alana bölünmesi ile elde edilen boyutsuz bir katsayıdır.



Şekil 2.28: Islanmaz yüzeydeki akışkanın izdüşümünün boyutları ($\theta=112^\circ$, $\alpha=45^\circ$)

Elipsin alanı Denklem (2.51)’de tanımlandığı gibidir.

$$A_{elips} = \pi \frac{L}{2} \frac{W}{2} \quad (2.51)$$

Yüzeydeki akışkanla aynı alana sahip olan dairenin alanı Denklem (2.46)’da tanımlanmıştır. Bu alan, elipsin alanına bölünüp gerekli düzenlemeler yapılırsa Şekil Faktörü Denklem (2.52)’deki halini almış olur.

$$\zeta F = \frac{A_{elips}}{A}$$

$$\zeta F = \frac{\pi \frac{LW}{4}}{\pi \frac{D_{ED}^2}{4}}$$

$$\zeta F = \frac{LW}{D_{ED}^2} \tag{2.52}$$

BÖLÜM 3. MALZEME VE YÖNTEM

Islanmaz yüzeyler üzerinde sıvı jeti olayı incelenirken kullanılan deney tesisatı iki farklı deneyi yapacak şekilde tasarlanmış ve deneye uygun kurulmuştur. Kullanılan deney tesisatları şu iki başlık altında tanımlanabilir;

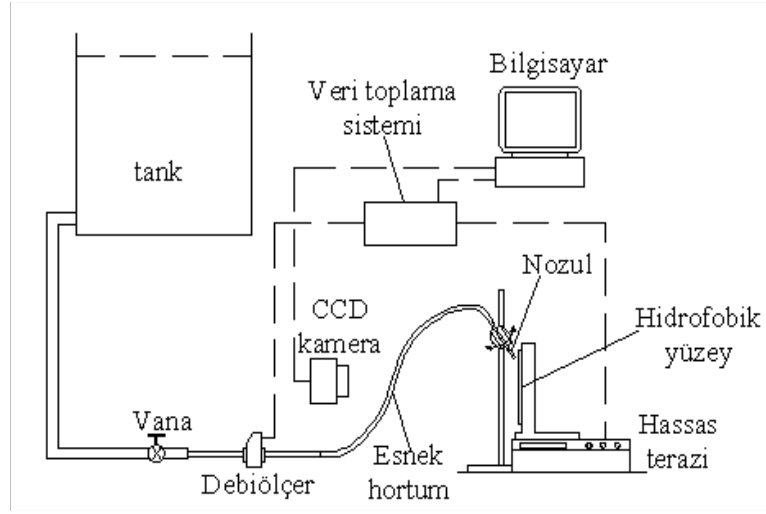
- Islanmaz yüzey ile kaplanmış malzeme; yeryüzüne dikey konumda ve sabit, suyun gönderildiği nozul değişken açılı.
- Nozul yeryüzüne dikey konumda ve sabit, ıslanmaz yüzey ile kaplanmış malzeme değişken açılı.

Katı yüzeyler üzerindeki sıvı sürtünmesini dolayısıyla kayma gerilmesini azaltarak ıslanmaz yüzeylerin kullanılabilirliğini incelemek için teğetsel kuvvetlerin ölçümü yapılmış, oluşan kayma gerilmesini görebilmek için kaplama dikey konumda tutulması düşünülmüştür. Akış olaylarında yerçekiminin etkisini görebilmek ve dikey konumla, eğimli yüzey aralarındaki farklar karşılaştırılarak olayı daha iyi yorumlayabilmek için ıslanmaz yüzey ile kaplanmış malzeme yüzeyi eğimli, su jetinin ise yüzeye dik konumda olmasına karar verilmiştir.

3.1. Deney Tesisatı

Deney tesisatının şematik şekli Şekil 3.1'de görülmektedir. Deneylerde kullanılan akışkan musluk suyudur. Suyun basınçlandırılarak yüzeye gönderilebilmesi için, yaklaşık 5 m yükseklikte bulunan tank kullanılmıştır. Deneyler süresince tankın içerisindeki suyun seviyesinin aynı kalması sağlanmıştır. Tanktan gelen suyun debisi vana yardımıyla ayarlanarak ıslanmaz yüzey üzerine gönderilmiştir. Esnek bir borunun ucuna takılan cam nozullar sayesinde su jetinin açısı rahatlıkla ayarlanabilmiştir. Açı için bir master oluşturulmuş ve açı ayarlanması bu masterla yapılmıştır. Daha sonra CCD kamera ile yandan alınan görüntü bilgisayara aktarılmış ve ayarlanan açı bilgisayarda AutoCAD programı yardımıyla kontrol edilmiştir.

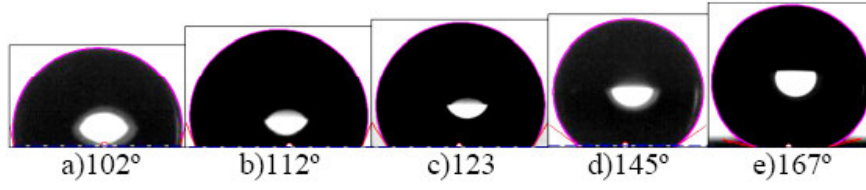
Kuvvet ölçümü yapılacağı durumlarda ıslanmaz kaplı cam plakalar bu deney için tasarlanmış düzeneğe sabitlenerek hassas terazinin üzerine konulmuştur. Yüzeiden yansıyan suyun hassas terazinin üzerine düşmesi engellenmiştir. Suyun debisi debimetre ile suyun ıslanmaz yüzeyde oluşturduğu kuvvet hassas terazi ile ölçülmüş ve elde edilen veriler veri toplama sistemi yardımıyla eş zamanlı olarak bilgisayara kaydedilmiştir. Islanmaz yüzeye tam karşıdan ve yandan makro çekim yapan CCD fotoğraf makinesi ile görüntüler alınmıştır.



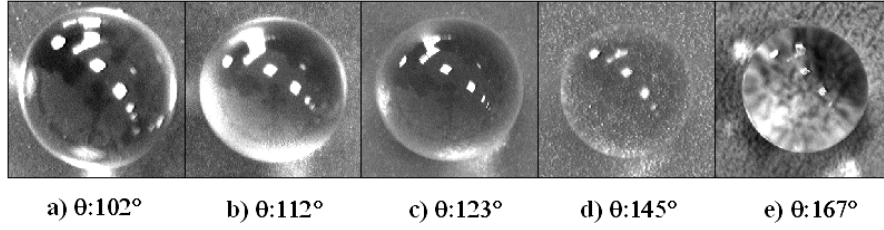
Şekil 3.1: Deney tesisatının şematik görüntüsü.

3.1.1. Islanmaz malzeme ile kaplanmış yüzeyler

Deneylerde 5 adet farklı kontak açlarına sahip ıslanmaz malzeme kaplanmış cam plakalar kullanılmıştır. Bu yüzeylerin kontak açıları 102° , 112° , 123° , 145° ve 167° 'dir. Kontak açıları 112° , 123° , 145° ve 167° olan yüzeyler Erbil ve diğ. tarafından elde edilen polipropilen malzeme ile GYTE Kimya Mühendisliği laboratuvarlarında kaplanarak elde edilmiştir. 102° kontak açılı ıslanmaz yüzey ise plaka yüzeyinin Polinas bioriente PP ambalaj filmi ile kaplanarak elde edilmiştir. Bu plakalar üzerindeki su damlasının oluşturduğu kontak açıları Şekil 3.2'de üstten görünümü ise Şekil 3.4'te görülmektedir.



Şekil 3.2. Deneşlerde kullandığımız ıslanmaz yüzeyler üzerinde su damlası ve kontak açılarının genel görünümü



Şekil 3.3. Deneşlerde kullandığımız ıslanmaz yüzeyler üzerinde su damlası ve kontak açılarının üstten görünümü

3.1.2. Su nozulları

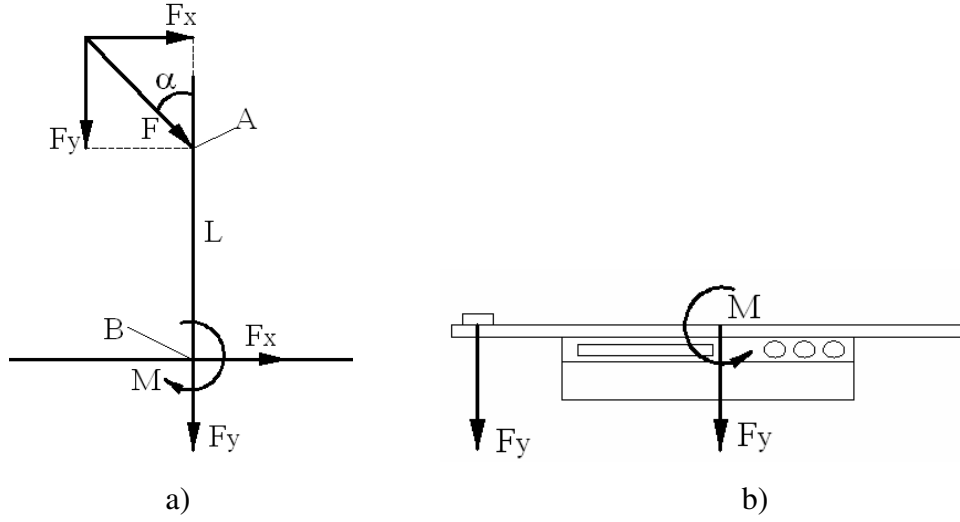
Suyun yüzeye gönderilmesi için iç çapları 1.75 mm ve 4 mm olan iki farklı cam boru nozul olarak kullanılmıştır. Cam boruda tam gelişmiş akış sağlanabilmesi için cam nozulun boyunun çapına oranı laminer akış için $L/d = 0,06Re$, türbülanslı akış için, $L/d = 4,4Re^{1/6}$ şartını sağlayacak şekilde cam boru boyları belirlenmiştir (Çengel ve Cimbala, 2008). Nozullar esnek bir borunun ucuna takılmış ve esnek boru ile beraber bir kısaç yardımıyla ıslanmaz yüzeye deney için gerekli olan açı ile konumlandırılmışlardır. Nozul ıslanmaz yüzeye jet açısına bağlı olarak mümkün olduğunca yakın tutulmaya çalışılmıştır (5-10 mm). Nozulun ıslanmaz yüzey ile yaptığı açının değiştirilmesi nozulu tutan kısaç döndürülerek sağlanmıştır. Açının değeri ise görüntü analizi ile ölçülmüştür.

3.1.3. Hassas terazi

Islanmaz yüzeye çarpan ve yansıyan suyun yüzeyde oluşturduğu net kuvvetin ölçülmesi için hassasiyeti 0,01 gr olan üzerindeki ağırlıkları sıfırlayarak (dara alarak) ölçüm yapan terazi kullanılmıştır. Hassas terazinin momentten etkilenmediği

yalnızca kuvvetin dikey bileşenini ölçtüğü yapılan ölçümler tarafından tespit edilmiştir.

Şekil 3.4 a'da görüldüğü gibi A noktasına belli bir açı ile etki eden kuvvet B noktasına kuvvet ve moment olarak etki eder. Kuvvetin dikey bileşeni F_y , değişikliğe uğramadan B noktasına etki eder. Yatay bileşeni F_x , ise hem kendisi ve aynı zamanda ($F_x L$) kadar bir momentin B noktasına etki etmesini sağlar.



Şekil 3.4: Deneysel düzeneklerde meydana gelen kuvvet ve momentler.

Deneysel düzeneklerde kullanılan terazinin bahsedilen momentten etkilenip etkilenmediğini tespit etmek için çeşitli ağırlıklar terazinin tam ortasına konulmuş ve gösterdiği değer kaydedilmiştir. Daha sonra terazinin üzerine bir kısmı terazinin üstünden taşıyacak uzun bir cisim konulmuş ve darası alınmıştır. Ağırlığı daha önce tespit edilmiş olan cisim terazinin üzerinden uzak bir mesafeye konulmuş ve ölçülen değer kaydedilmiştir (Şekil 3.4 b). Farklı ağırlıktaki cisimlerle farklı uzaklıklara konularak yapılan denemelerde terazinin üzerine konularak okunan değer ile üzerinden uzağa konularak okunan değerlerin aynı olduğu saptanmıştır. Böylece deneylerde, su jetinin ıslanmaz yüzeye çarpması, yansımaları ve yüzeyle aralarındaki sürtünmeyle meydana gelen bileşke kuvvetin yeryüzüne dikey bileşeninin hassas terazi tarafından ölçüldüğü tespit edilmiştir.

3.1.4. CCD fotoğraf makinesi

Suyun ıslanmaz yüzeye çarpmasıyla oluşan geometrik şekillerin görüntü analizinin yapılabilmesi için gerekli olan görüntüler için CCD sensörlü fotoğraf makinesi kullanılmıştır. Islanmaz yüzeyde oluşan şekillerin tespit edilmesi için tam karşıdan yüzeye dik görüntüler, yansıma olayını ve açılarını tespit edebilmek içinde yandan görüntüler alınmıştır. Bu görüntüler bilgisayara kayıt edilerek analiz edilmiştir. Kullanılan fotoğraf makinesi 7,1 Mega piksel çözünürlükte makro çekim yapabilen Canon markadır. Fotoğraflar tripod kullanılarak ıslanmaz yüzeye tam karşıdan ve yandan çekilmiş, çekimlerde makro çekim kullanılmıştır. Fotoğraflarda 1 mm² ye en düşük olarak 900 piksel düşecek şekildedir. Geometrisi belli olan cisimlerle yapılan aynı imaj analizinde ortalama hata payı % 1,2 oranında olduğu görülmüştür.

3.1.5. Debimetre

Suyun debisi ölçme aralığı ve hassasiyeti 0–2 ± %1 litre/dakika olan McMillan S–114–7 marka türbin tipi debimetre ile ölçülmüştür (Şekil 3.5).



Şekil 3.5:Deneylerde kullanılan debimetre

3.1.6. Tank

Yaklaşık olarak 5 m yüksekliğinde bir mesafede bulunan ve 1 m³ hacme sahip bir tank kullanılmıştır. Tanktan gelen su deneylerde kullanılmadan önce filtreden

geçirilmiştir. Tank içindeki su seviyesi sürekli olarak sabit tutulmuş böylece nozuldan çıkan suyun hızı ve debisi kontrol altına alınmıştır

3.2. Deneyler Sırasındaki Değişkenler

Deneyler süresince çevre sıcaklığı ve nemi gibi ortam şartları takip edilmiş ve bu şartların değişiminin en aza indirilmesi sağlanmıştır. Su sıcaklığı 15°C olup $\pm 1,5$ °C değişmiştir. Ortam sıcaklığı ise 22°C olup ± 3 °C değişmiştir. Ortamın bağıl nemi %55 \pm 3 oranında değişmiştir. Değişken olarak suyun çarpma açısı, suyun debisi (hızı), su nozul çapı, yüzeyin kontak açısı ve yüzeyin konumu olmak üzere 5 ayrı değişken durum kullanılmıştır. Ortam şartları ve diğer değişkenler aynı kalmak şartıyla değişkenlerin kombinasyonu sağlanmıştır. Deneylerde kullanılan teçhizat ve ölçüm sistemleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Deneylerde ölçülecek değerler ve ölçme sistemi

Ölçülecek değerler	Ölçme sistemi
Suyun çarpmasıyla oluşan net kuvvet	Hassas terazi
Suyun debisi	Debimetre
Suyun çarpma ve sıçrama açısı	Yandan çekilen fotoğraf
Suyun sıcaklığı	Termokupl
Ortamın sıcaklığı ve bağıl nemi	Termokupl, nemölçer
Suyun yüzeydeki geometrisinin şekli ve boyutları	Yüzeye dik ve yandan çekilen fotoğraf

Deneyler sırasında değişken olarak alınan durumlar başlıklar halinde aşağıda incelenmiştir.

- Su jeti açısının değişimi

Deneylerde su jeti açısı 15°–45° aralığında 5° aralıklarla değiştirilmiştir. Bu açı değerleri nozul ile ıslanmaz yüzey arasındaki açı değerleridir. Nozulu tutan kıskaç döndürülerek rahatlıkla açı değişimi sağlanmıştır. Önceden hazırlanan bir şablon yardımıyla da açı değeri ayarlanmıştır. Yandan fotoğraf çekilerek bilgisayarda CAD programı yardımıyla açı hassas bir şekilde ayarlanmıştır. Aynı su debisinde açı değeri 15° de sabit tutularak ölçümler alınmış daha sonra açı değeri arttırılarak 45°

değerine kadar açılarda deneyler yapılmıştır. Bu deneyler her bir değişken için tekrarlanmıştır.

- Su debisinin değişimi

Tanktan gelen suyun debisi geniş borularına monte edilmiş olan debimetreye ölçülmüş debi değeri de bir vana yardımıyla ayarlanmıştır. Islanmaz kaplı cam plaka deney yapılacak açı değerine ayarlandıktan sonra her bir ayarlanan açı değeri için suyun debisi artırılarak ölçümler alınmıştır. Deneylere başlamadan önce debimetrenin kalibrasyonu yapılmıştır.

- Nozul çapının değişimi

Deneylerde iç çapları 1.75 mm ve 4 mm olmak üzere iki farklı nozul kullanılmıştır. Bir nozulla farklı açı ve debilerdeki ölçümler alındıktan sonra nozul değiştirilerek aynı ölçümler tekrarlanmıştır.

- Islanmaz kaplama malzemesinin değişimi

Farklı kontak açılara sahip 5 ıslanmaz malzemeyle kaplı yüzey kullanılmıştır. Her bir ıslanmaz yüzey için farklı açı ve debilerde her iki nozulla deneyler yapılarak ölçümler alınmıştır. Bu malzemelerle ilgili detaylı bilgi yukarıda verilmiştir.

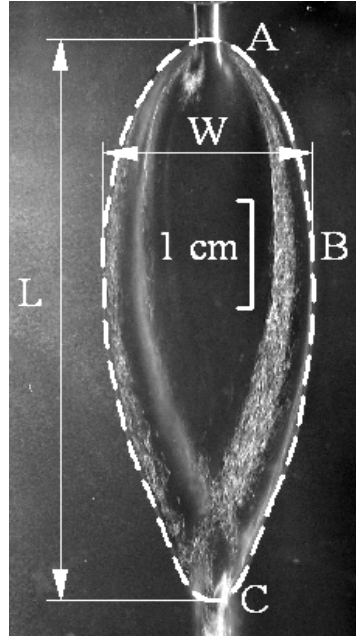
- Islanmaz malzeme kaplanmış malzeme konumunun değişimi

Islanmaz malzeme kaplı cam plakalar iki farklı konumda tutularak deneyler yapılmıştır.

1. Islanmaz malzeme kaplı cam plaka dikey konumda nozul belli bir açı konumunda
2. Nozul dikey konumda ıslanmaz malzeme kaplı cam plaka belli bir açı konumunda

3.3. Görüntü Analizi

Suyun yüzeye çarpma açısı ($15^\circ - 45^\circ$) aralığında değiştirilmiş, ilgili açıların kontrolü CCD kameradan bilgisayara aktarılan görüntülerin analiziyle yapılmıştır. Görüntü analiz programı yardımıyla yüzeye geliş ve yüzeyden yansıma açılarının değişimi, uzama faktörleri, yayılma alanları bilgisayarda analiz edilmiştir. Yapılan deneylerde çekilen fotoğraflarda en düşük $1 \text{ mm}^2 = 900$ piksel olacak şekildedir. Deneyden önce deney sisteminde fotoğraf makinesini ortalayacak şekilde çelik cetvel konulmuştur. Daha sonra cetvel alınarak ıslanmaz yüzeyin konumu, nozul açısı, çevre şartları gibi diğer bütün şartlar sabit kalarak yalnızca suyun debisi değiştirilerek tripoda bağlanmış fotoğraf makinesiyle fotoğraflar çekilmiştir. Yüzeyin konumu değişmediği için o konumda cetvel konularak çekilen fotoğraflardaki ölçüler görüntü analizi için temel alınabilmiştir.



Şekil 3.6: Dikey olarak duran ıslanmaz yüzeye eğimli çarpan su jetinin görüntüsü
($\theta=112^\circ$, $d=1.75 \text{ mm}$, $\alpha=30^\circ$)

AutoCAD veya Matlab programlarıyla ıslanmaz yüzeydeki suyun alanının sınırları elle belirlenerek analiz gerçekleştirilmiştir. Üzerinde 1 mm 'lik bölüntüler olan çelik cetvel bulunan referans alınan şekil AutoCAD'a kopyalanmış bu alanın AutoCAD programında ne kadar alana karşılık geldiği tespit edilmiştir. Daha sonra alanını

hesap edeceğimiz resim AutoCAD'a kopyalanmıştır. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi ıslanmaz yüzeye yayılmış olan suyun en dış kenarları Splyne komutuyla belirlenmiş ve çevrelenen bu alanın AutoCAD'deki değeri okunmuştur. Bundan sonra Denklem (3.1)'deki gibi basit bir doğru orantıyla şeklin gerçek alanı hesaplanmıştır. Maksimum boy, L ve maksimum genişlik, W'de aynı yöntemle bulunmuştur.

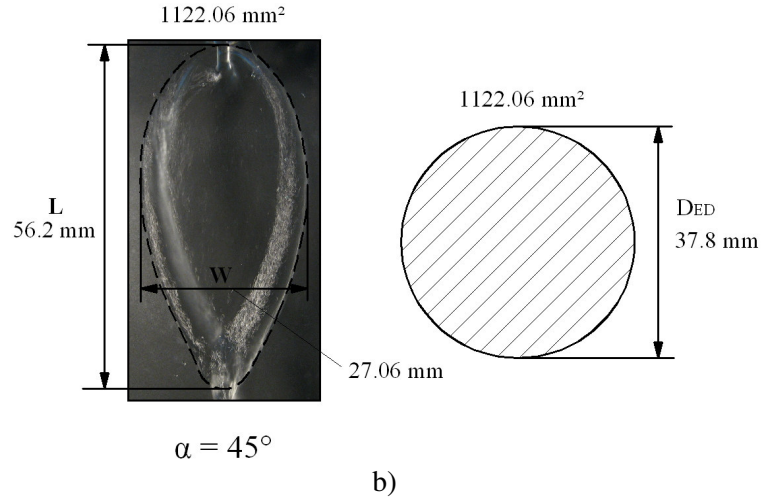
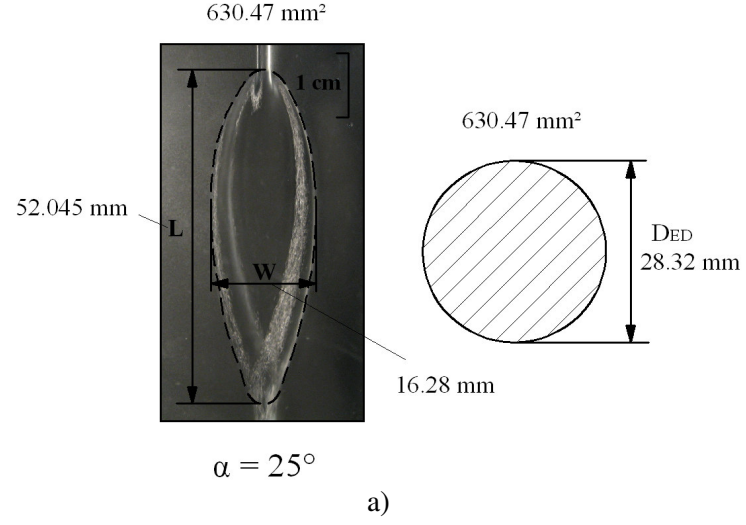
$$A_{\text{Şekil}} = \frac{A_{\text{ŞekilCAD}}}{A_{\text{AutoCAD}}} A_{\text{Referans}} \quad (3.1)$$

Denklem (3.1)'de $A_{\text{Şekil}}$ ıslanmaz yüzey üzerinde bulunan suyun izdüşüm alanıdır. $A_{\text{ŞekilCAD}}$, alanının bulunması istenen $A_{\text{Şekil}}$ 'in AutoCAD'de okunan alanıdır. A_{Referans} , ıslanmaz yüzey üzerine yerleştirilen çelik cetvelle tespit edilen fotoğrafta referans alınan alandır. A_{AutoCAD} ise referans alınan alanın AutoCAD'deki okunan değeridir.

Şekil 3.7'de verilen iki örnekte şeklin boyutları üzerlerinde verilmiştir. Bu boyutlara göre boyutsuz sayıları Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2: Şekil 3.7'deki şekilleri ifade eden parametreler

Parametreler	$\alpha=25^\circ$	$\alpha=45^\circ$
L	52.045	56.2
W	16.28	27.06
D_{ED}	28.32	37.8
U.F	3.196	2.076
L/D_{ED}	1.837	1.486
W/D_{ED}	0.574	0.715
$L W/D_{ED}^2$	1.056	1.064



Şekil 3.7: Islanmaz yüzeydeki akışkanın şeklini ifade edilen parametreler a) $\alpha=25^\circ$ b) $\alpha=45^\circ$

Matlab programı kullanılarak yapılan görüntü analizinde EK-A da verilen program kullanılmıştır. Programın işleyiş sırası şu şekildedir.

- Resmin program tarafından okunması
- Resimdeki referans uzunluğu değerinin girilmesi
- Resim üzerinden referans uzunluğunun her iki tarafının işaretlenmesi
- Program tarafından işaretlenen iki nokta arasında kalan piksellerin hesaplanması
- Referans uzunluğunun hesaplanan değere bölünmesi ve sonucun karesinin ile alınması 1 pikselin kapladığı alanın karşılığının bulunması
- Suyun kapladığı alanın işaretlenmesi

- Program tarafından işaretlenen alanda bulunan piksellerin sayısının belirlenmesi
- Toplam piksellerin 1 pikselin kapladığı alanla çarpılarak gerçek alanın bulunması
- Uzunluk için ve genişlik için noktaların işaretlenmesi
- Program tarafından bir pikselin uzunluğu ile işaretlenen noktalar arasındaki piksellerin çarpılarak uzunluk ve genişliğin bulunması
- Elde edilen değerlerle diğer boyutsuz sayıların hesaplanması

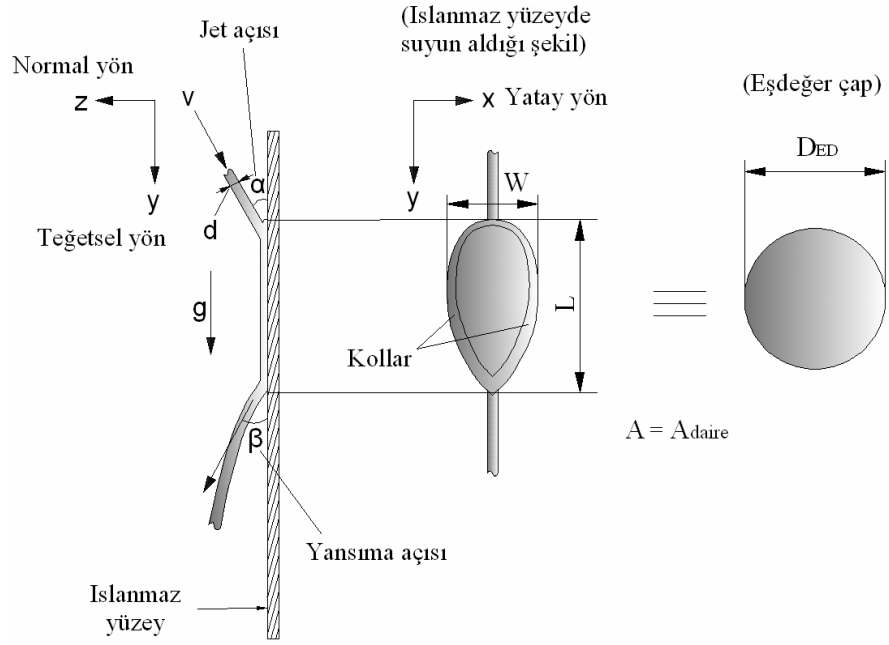
BÖLÜM 4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Islanmaz yüzeyler ile ilgili deneyler genel anlamda iki farklı şekilde yapılmıştır. İlk olarak Şekil 4.1’de görüldüğü gibi düşey bir şekilde duran üzeri ıslanmaz malzeme ile kaplı cam plaka üzerine $15^\circ - 45^\circ$ aralığındaki açılarda su jeti gönderilerek deneyler yapılmıştır. İkinci olarak da Şekil 4.2’de görüldüğü gibi su jetiyle $15^\circ - 45^\circ$ aralığındaki açılarda eğimle duran ıslanmaz yüzeye düşey su jeti gönderilerek deneyler yapılmıştır.

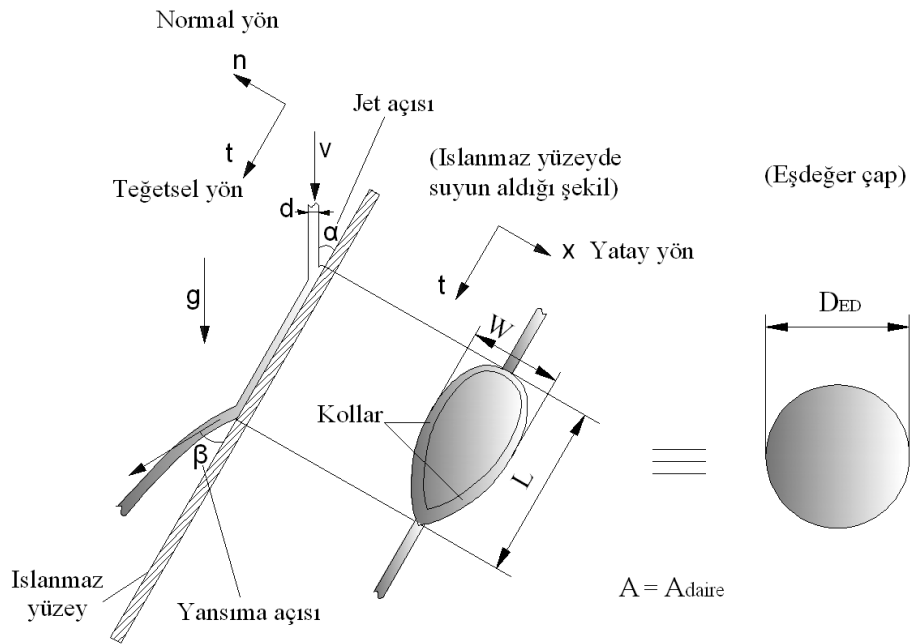
Islanmaz ve süper ıslanmaz yüzeye eğimli olarak çarpan su jetinin yüzeyde yayılıp birleşmesi, sıçraması ve yansımaları olayları ele alınmış, yapılan deneylerden elde edilen bulgular 7 başlık altında incelenmiştir.

- Akışkanın ıslanmaz yüzeyde yayılması
- Akışkanın ıslanmaz yüzeyde yansımaları
- Akışkanın ıslanmaz yüzeyde sıçraması
- Akışkanın ıslanmaz yüzeyde yayılıp sıçraması
- Akışkanın ıslanmaz yüzeyde yayılıp yansımaları
- Islanmaz yüzeyde oluşan teğetsel kuvvetler
- Islanmaz yüzeyde oluşan ortalama kayma gerilmesi

Deneyler sırasında; suyun yüzeye çarpma açısı, suyun debisi (hızı), kaplama malzemesi (yüzeyin kontak açısı) ve nozul çapı değiştirilerek gerekli fotoğraflar çekimleri ve ilgili ölçümler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar boyutsuz sayılarla incelenmiştir.



Şekil 4.1: Dikey olarak duran ıslanmaz yüzeye eğimli su akışı



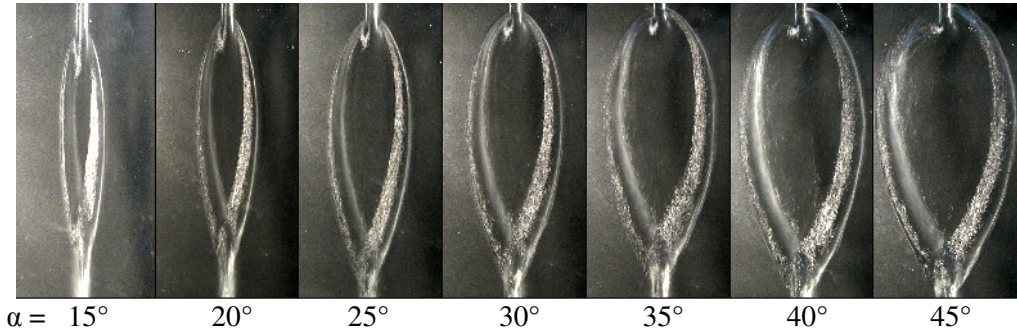
Şekil 4.2: Eğimli olarak duran ıslanmaz yüzeye dikey su akışı

4.1. Yayılma

Yeryüzüne dikey olarak duran ıslanmaz bir yüzeye belli bir eğimle çarpan su jetinin 5 farklı davranış gösterdiği bu tez çalışmasında tespit edilmiş ve ayrı ayrı

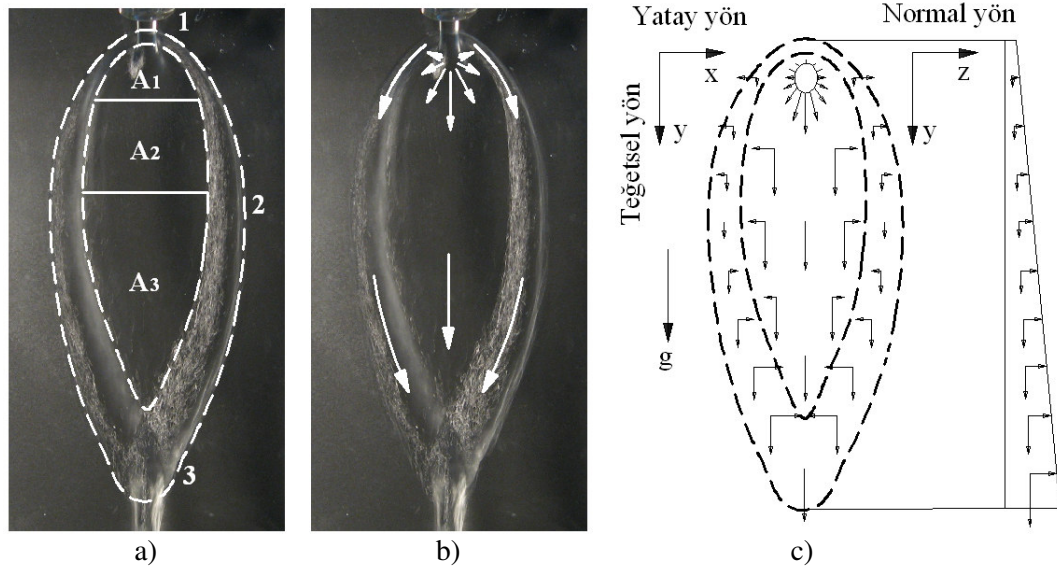
incelenmiştir. Bu farklı davranışların oluşumunda; suyun atalet kuvvetleri, yüzey gerilimi kuvvetleri ve sürtünme kuvvetleri ile yüzeyin hidrofobiklik (kontakt açısı) özelliği etkili olmaktadır. Ayrıca yerçekimi kuvveti de mevcuttur. Fakat akış yerçekimine paralel ve az bir mesafede gerçekleştiğinden yer çekim kuvveti ihmal edilebilir.

Su jetinin yüzeye yaptığı jet açısıyla doğru orantılı olarak suyun bir kısmı dikey olarak çarpma bölgesinin yukarısına yönelmektedir. Akışkanın yukarıya yönlene kısmı yerçekiminin ve suyun kendi içerisindeki kohezyon kuvvetlerinin etkisiyle yanlardaki halka tarafından çekilerek bu bölgeden aşağıya doğru akmaktadır. Çarpma açısı arttırıldıkça yukarıya yönlene akışkan da artmaktadır (Şekil 4.3). Dolayısıyla yukarıya yönlene suyun etkisi için düşük çarpma açılarında yerçekimi tamamen, yüksek çarpma açılarında ise kısmen ihmal edilebileceği düşünülmektedir.



Şekil 4.3: Kontakt açısı 112° olan yüzeye 1.75 mm nozul ile su jeti gönderilmesiyle yüzeyde oluşan yayılmanın aynı We sayıları, farklı jet açlarındaki davranışları (We≈190)

Islanmaz malzemeye kaplanmış dikey veya eğimli olarak duran bir yüzeye $\alpha < 45^\circ$ bir açıyla ve sabit hızda su jeti gönderildiğinde; su, yüzeyde D.H.S oluşuncaya kadar ince bir film tabası şeklinde yayılmaktadır. Daha sonra suyun atalet, yüzey gerilim ve sürtünme kuvvetleri parametrelerine bağlı olarak çeşitli davranışlar göstermektedir. Islanmaz yüzey üzerindeki mikro oluklarda hapsolmuş bir şekilde bulunan hava tabakası, sıvı ile yüzey arasındaki temas alanını azaltmakta, dolayısıyla çekim kuvvetlerini zayıflatmaktadır (Erbil ve diğ. 2003, Keizo ve Udagawa 1999). Şekil 4.4'te görüldüğü gibi su yüzeye çarptıktan sonra yüzey üzerinde ince bir film tabakası ve bu tabakanın her iki tarafında teğetsel doğrultuya simetrik iki kol oluşturan akış olayı meydana gelmektedir.



Şekil 4.4: Dikey olarak duran ıslanmaz yüzeye su akışının yüzeyde aldığı şeklin geometrisi

Akışkan yüzeye çarptıktan sonra düşey olarak Şekil 4.4 a’da gösterilen 1–2–3 yolunu izleyerek hareketine devam eder. Islanmaz yüzeye belli bir eğimle çarpan su jeti, A_1 bölgesinde birim hacimdeki havayla temas eden yüzey alanı sürekli artarak ince bir film tabakası halinde yüzeyde yayılmaya başlar. Bu yayılmayla suyun atalet kuvvetleri yüzey gerilim kuvvetlerine dönüşür. Yüzeye belli bir açıyla çarpan suyun, çarpma yönünde düşey olarak atalet kuvvetleri en yüksek seviyededir. Şekil 4.4 b’de görülen çarpma bölgesinin çevresinde yataydan dikey yukarıya doğru bu kuvvetler gitgide azalmaktadır.

Su yüzeyde ince film tabakası halinde yayılırken belli bir mesafeden sonra su tabakasında ani bir kalınlaşma olur, suyun enerjisi büyük oranda azalır ve suyun hızı yavaşlar (Şekil 4.4 a) içindeki kesik çizgi), bu olay Dairesel Hidrolik Sıçrama (D.H.S) olarak adlandırılır (Craik ve diğ. 1981, Brechet ve Neda 1999). Çarpma bölgesinden yukarı yöndeki (-y) suyun hız bileşeni düşük olduğundan dolayı bu bölgeye su az yönelmektedir (Şekil 4.4 a’da 1 bölgesi). Bu yüzden buradaki D.H.S çarpma bölgesine en yakın seviyede oluşmaktadır. Düşey yönde ise maksimum atalet kuvvetleri bileşeni olduğundan düşeyde maksimum mesafede D.H.S oluşmaktadır (Şekil 4.4 a’da 3 bölgesi).

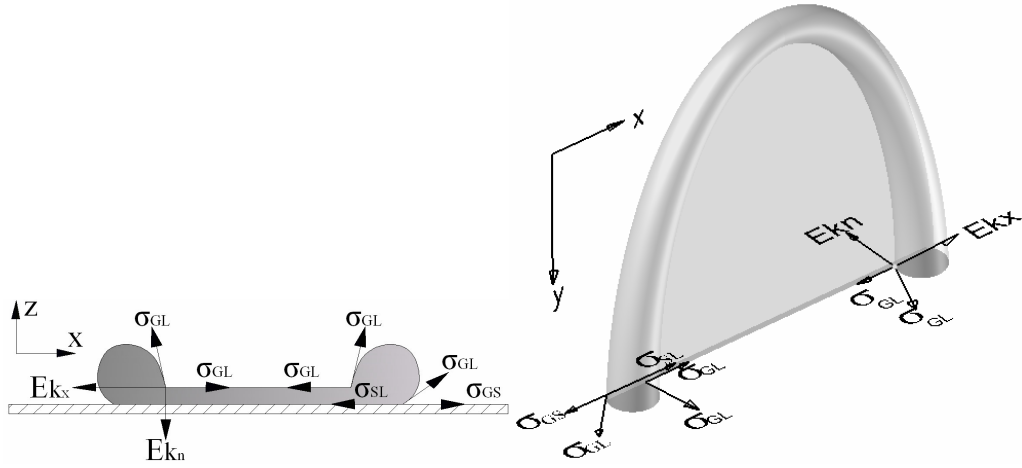
Su jetinin yüzeye çarpma bölgesindeki yataydaki hız bileşenleri (v_x) dikey hız bileşenlerine (v_y) oranla daha düşük seviyelerdedir. D.H.S oluşumundan sonra su yatayda, hızın oluşturduğu atalet kuvvetleri ile su, hava ve ıslanmaz yüzey arasındaki gerilimler tarafından dengelenene kadar mesafe kat eder. Şekil 4.4 a'da dış kesik çizgilerle belirtilen bu mesafeden sonra su yüzeyde yatay olarak akışına devam edemez, yüzeyle sınır bölgelerinde belli bir kontak açısı oluşturarak dikey yönde çarpma noktasına göre teğetsel olarak simetrik iki halka şeklinde akışına devam eder. Yatay yöndeki atalet kuvvetleri dikey yöndeki atalet kuvvetlerine göre daha düşük olması nedeniyle, çarpma bölgesinden yatay doğrultuda halkalar arasındaki mesafe dikey doğrultuya göre daha kısa olmakta, böylece su yüzeyde elipse yakın bir şekil almaktadır (Şekil 4.4).

Çarpma bölgesi A_1 ve daha sonra A_2 alanlarında halka oluşumu yüzey gerilim kuvvetlerine dönüşen atalet kuvvetleri sebebiyle sürekli genişler yani ince film tabakasının alanı artar. Bu dönüşümle atalet kuvvetleri sürekli azalırken yüzey gerilim kuvvetleri artar. Belli bir mesafeden sonra (2 bölgesi) atalet kuvvetlerinin, yüzey gerilim kuvvetlerine dönüşümünü sağlayacak değeri kalmaz. Bu sefer yüzey gerilim kuvvetleri atalet kuvvetlerine dönüşmeye başlar. Sürtünmelerinde etkisiyle akışkanın yataydaki atalet kuvvetleri A_1 - A_2 - A_3 boyunca sürekli azalır. A_3 bölgesine geldiğinde akışkanın katı sınırındaki yatay atalet kuvvetleri su, hava ve ıslanmaz yüzey arasındaki kuvvet dengesi eşitlenir. Kâinattaki bütün cisimler en düşük enerji seviyesinde bulunmak istediğinden su da en düşük enerji seviyesi olan, birim hacimde en düşük yüzey alanını alacak şekilde bulunmak ister (Agraval, 2005). Bunu bozan atalet kuvvetlerinin azalmasıyla su, A_3 bölgesinde dikey olarak birim hacimdeki yüzey alanını sürekli olarak azaltır yani bir araya toplanır. Yüzey gerilim kuvveti suyun yüzeye normal atalet kazanmasına neden olur. Böylece yüzeyde akış halinde bulunan suyun ağırlık merkezi yüzeyden akış boyunca normal yönde uzaklaşır (Şekil 4.4 c). Şekil 4.5'te 102° kontak açısına sahip yüzeyde anlık alınan görüntüde bu durum daha ayrıntılı olarak görülmektedir.



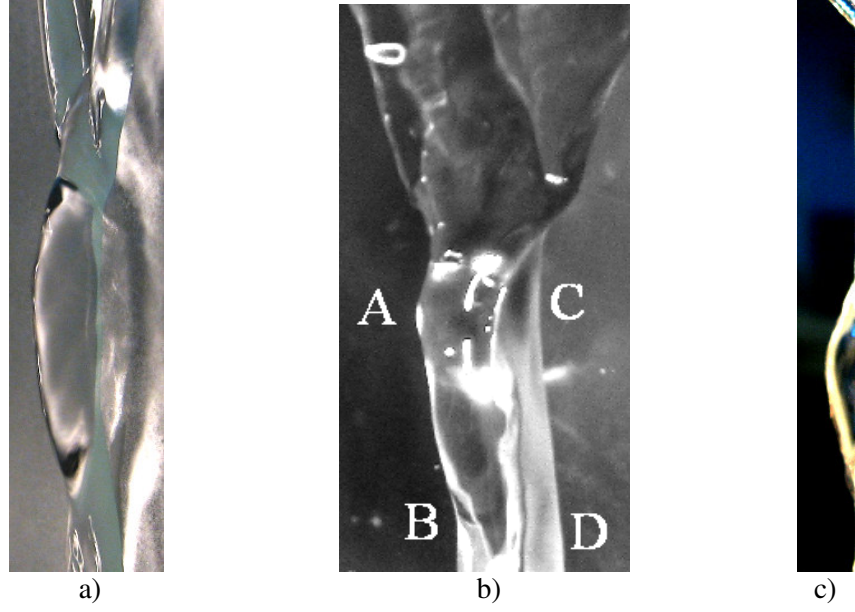
Şekil 4.5: Islanmaz yüzeye yüksek We sayısında çarpan akışkanın anlık görüntüsü
($\theta=102^\circ$, $d=1.75$ mm, $\alpha=30^\circ$)

Ortadaki ince film tabakasının D.H.S bölgelerinde suyun yüzeye çarpma ataletiyle oluşan yüzeye normal atalet kuvvetleri (E_{kn}) ve yüzeye teğet ataletin yatay (E_{kx}) ve dikey (E_{ky}) bileşenleri vardır (Şekil 4.6). İnce film tabakasındaki suyun atalet kuvvetlerini Şekil 4.6'da görülen D.H.S sınırındaki suyun yüzeyine teğet yüzey gerilim kuvvetlerinin (σ_{GL}) iki bileşeni dengelemektedir. Atalet kuvvetlerinin yatay bileşeni dikey yönde A_1 , A_2 , A_3 alanları boyunca suyun birim hacimdeki havayla temas eden yüzey alanının artmasıyla kinetik enerji yüzey gerilim enerjisine dönüşür. Sürtünmelerinde etkisiyle bu bölgede suyun atalet kuvveti sürekli olarak azalır. Bu azalmayla; A_1 , A_2 , A_3 alanları boyunca D.H.S kenarlarındaki yüzeye normal suyun yüzey gerilim kuvvetleri (Şekil 4.6), (σ_{GL}) ince tabakayı yüzeyden normal olarak yukarıya çeker yani ince film tabakasının kalınlığının artmasına sebep olur. Böylece A_1 , A_2 , A_3 alanları boyunca film tabakası kalınlığı sürekli artar.



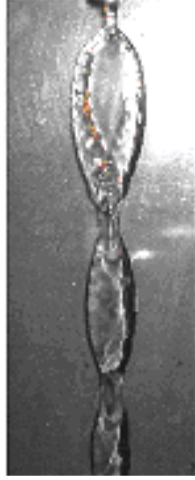
Şekil 4.6: Dikey ıslanmaz yüzey üzerinde akan suyun kesit görüntüsü

Simetrik iki halka çarpma bölgesine belli bir dikey mesafede (3 bölgesi) birleşerek çarpışır (Şekil 4.4). Bir miktar suda ortadaki ince film tabakasından 3 bölgeye ulaşır. Çarpışmanın etkisiyle su yüzeye normal olarak ve yüzeye doğru atalet kazanır ve genişlemek ister (Şekil 4.7). Suyun, yüzeye doğru oluşan ataleti katı yüzeyden içeriye ilerleyemeyeceği için suyu, yüzeyde yanlara doğru yayar. Yüzeyden normal dışarıya doğru yönlenecek ataleti ise hava ile temasta olduğundan havada kolayca ilerler. Yüzeyden normal dışarıya doğru yönlenecek suyun ataleti, suyun kendi içerisindeki kohezyon kuvvetleriyle suyu yüzeyden dışarıya doğru çekmek ister. Kontak açısı düşük ıslanmaz yüzeylerde sıvı ile ıslanmaz yüzey arasındaki çekim kuvvetleri kontak açısı yüksek olana göre daha yüksektir. Yüzeyden dışarıya doğru yönlenecek suyun yüzeye normal atalet kuvveti havayla temasta olduğundan kolayca ilerler fakat yüzeyle su arasındaki yüksek çekim kuvvetlerini yenemediği durumlarda; su bir taraftan yüzey tarafından çekilir diğer taraftan da normal olarak yönlenecek ataletle çekilmek ister böylece su, yüzeye normal olarak genişler ve bu genişlemeyle atalet kuvveti yüzey gerilim kuvvetine dönüşür. (Şekil 4.7 a).



Şekil 4.7: Islanmaz yüzeye çarptıktan sonra yayılarak tekrar bir araya birleşen akışkanın birleştiği yerdeki görüntüsü.

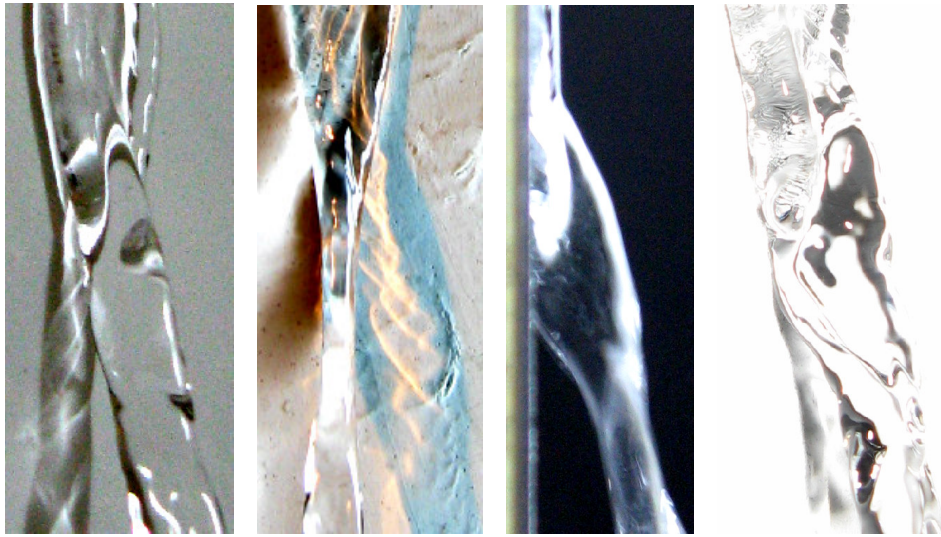
Şekil 4.7’de kenarlardan gelerek ortada birleşen akışkanın birleşmeyle yüzeyden dışarıya doğru ayrılmak istediği görülmektedir. A bölgesinde akışkan kolları çarpıştığı anda akışkan yüzeyden dışarıya doğru ve yüzeye doğru yönelmektedir. Yüzeyden dışarıya doğru yönelen akışkan hava ile temasta olduğundan yüzeye normal ataletle yüzeyden ayrılmak istemektedir. Fakat C bölgesinde yüzeye doğru yönelmiş durumdaki akışkan. Katı yüzeyde ilerleyemeyeceği için kenarlara doğru yayılmaktadır. Dışarıya yönelmiş olan akışkan A’dan B’ye doğru yüzeye yaklaştığı görülmektedir. Suyun dışarıya yönelmiş atalet kuvvetleri su ile yüzey arasındaki çekim kuvvetlerini yenemediği durumlarda C-D yolu boyunca yüzeye temas eden akışkan yüzeyden ayrılamaz. Suyun molekülleri arasındaki kohezyon çekim kuvvetleri A-B güzergâhındaki akışkanı da yüzeye doğru çeker böylece akışkan yüzeyde bir yüzeyden içeriye bir yüzeyden dışarıya doğru yönlenerken yoluna devam eder. Sürtünmelerden dolayı akışkanın yüzeyde kapladığı alan gitgide azalır (Şekil 4.8). Belli bir mesafeden sonra atalet kuvvetinin dönüşümü sağlayacak değeri kalmaz ve yüzey gerilim kuvvetleriyle dengelenir. Bu dengelemeden sonra yüzey gerilim kuvveti suya yüzeye doğru atalet kazandırır ve yüzeye doğru yönlendirir. Böylece su yüzeyde ikinci defa bir yayılma gerçekleştirir ve yüzeyde zincir oluşturarak akışına devam eder. Bu zincir sürtünmelerden dolayı zamanla sönümlenir. Belli bir mesafeden sonra su, yüzeyde kontak açısı oluşturacak şekilde akar (Şekil 4.8).



Şekil 4.8: Islanmaz yüzeyde oluşan sıvı zinciri ($\theta=102^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm)

4.2. Yayılıp Yansımaya (Yayılma ve Yansımaya)

Islanmaz yüzeyde yayılarak tekrar birleşen akışkan belli parametrelere bağlı olarak yüzeyden yansımaya hareketi yapar. Akışkanın yüzeyden yansımada en önemli parametre yüzeyin kontak açısıdır. Yüzeyin kontak açısı akışkan ile yüzey arasındaki çekim kuvvetlerinin bir göstergesidir. Kontak açısının yüksek olması akışkan ile yüzey arasındaki çekim kuvvetlerinin az olması anlamına gelmektedir. Yansımaya olayında etkili olan diğer parametreler; We sayısı, Re sayısı ve jet açısıdır. Farklı şartlardaki yansımaya örnekleri Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9: Islanmaz yüzeye eğimle çarpan akışkanın yüzeyde yayılarak yansımaya

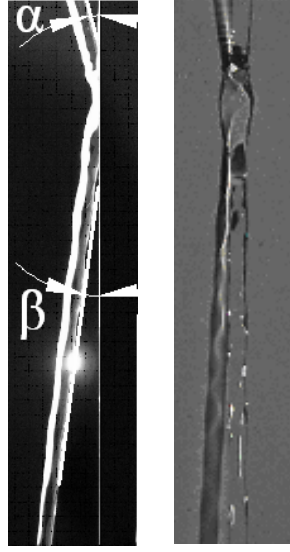
Bölüm (4.1)'deki yayılma olayında anlatıldığı gibi yüzeye belli bir açıyla çarpan su jeti çarpma bölgesinden kenarlara yayılır ve D.H.S olayından sonra iki kol ve ortadan ince film tabakası halinde akışına devam eder. Yalnız yüksek kontak açısına sahip yüzeylerde, su ile yüzey arasındaki düşük çekim kuvvetlerinden dolayı su, yüzeyde düşük kontak açılı yüzeydekenden daha az bir alana yayılır. Daha sonra ince film tabakası halinde ortadan akan su ile kenarlardan halka şeklinde akan su bir noktada birleşirler (Şekil 4.9). Bu birleşmenin etkisiyle yatay olarak içeriye doğru yönelen akış, çarpma etkisiyle yüzeye normal olarak yönelir ve genişler. Bu genişleme suyun yüzey gerilim kuvvetleri tarafından dengeleninceye kadar devam eder. Tabii ki yalnızca yüzeyden normal dışarı doğru genişleme yapabilir. Normal içeriye doğru katı yüzey olduğundan böyle bir genişleme olamaz. Yüzeyden içeriye doğru yönelen akışkan yatay olarak yanlara doğru simetrik olarak yayılır. Yüzeyle su arasındaki düşük çekim kuvvetlerinden dolayı bu yayılma çok büyük oranda olamaz. Aynı zamanda su, katı yüzey sınırlarında yüzeyle yüksek kontak açısı oluşturarak akmaktadır. Yüzeyden normal dışarıya yönelen akışkan ise suyun kendi içerisindeki kohezyon kuvvetleri ile yüzeydeki akışkanı çeker. Yüzeydeki akışkanla yüzey arasındaki adezyon kuvvetlerinin yüzeyin yüksek kontak açılı olmasından dolayı az olmasıyla; normal dışarıya yönelen atalet kuvvetleri, ıslanmaz yüzeyle su arasındaki adezyon kuvvetlerini yenerek suyu yüzeyden ayırır. Bu ayrılıştan sonra yüzeye normal olarak inceleşen su, yüzey gerilim kuvvetleri nedeniyle tekrar bir araya çekilir. Bu sefer yatay olarak genişler. Tekrar yüzey gerilim kuvvetleri tarafından bir araya toplanır ve yüzeye normal olarak genişler. Akış bu şekilde devam ederek zamanla sürtünmelerden dolayı sönümlenir. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi havada ilerleyen su, havayla arasındaki sürtünme kuvvetleri ve yüzey gerilim kuvvetleri etkisiyle damlacıklar haline dönüştüğü deneylerle tespit edilmiştir.



Şekil 4.10: Islanmaz yüzeyden yansıyan suyun havada ilerlerken damlacıklar haline dönüşmesi.

4.2.1. D.H.S'nin oluşmadığı yansıma

Kontak açısı yüksek dikey ıslanmaz bir yüzeye düşük hız ve düşük jet açısıyla su jeti çarptığında suyun yüzeyde oluşturduğu geometri Şekil 4.11'de görülmektedir. Yüzeye çarpan suyun düşük jet açısından dolayı hızının dikey bileşeni normal bileşenine göre daha yüksek değerdedir. Düşük değerdeki bu normal hız bileşeni suyun yüzeyde yayılmasında etkili olmaktadır. Ayrıca yüksek kontak açılı ıslanmaz yüzeyle su arasında düşük çekim kuvvetleri bulunmaktadır. Bu sebeple suyun yatayda ilerlemesine sebep olan yataydaki düşük atalet kuvvetleri suyun yüzey gerilim kuvvetleri tarafından sönmülmektedir. Belli bir mesafede bu kuvvetler dengelenir ve su maksimum yatay genişliğe ulaşır bu esnada yataydaki atalet kuvvetleri ile su, ıslanmaz yüzey ve hava arasındaki gerilim kuvvetleri dengededir. Bu aşamadan sonra yatay atalet kuvvetleri bu kuvvetleri yenebilecek etkisi kalmadığından yatayda yayılan su bir araya toplanmaya başlar. Bu şartlarda suyun yüzeye normal hız bileşeninin düşüklüğü sebebiyle tam olarak D.H.S olayı gerçekleşmez. Suyun normal kesitinde bir miktar incelme meydana gelir. Bu incelme suyun gelme açısıyla ve suyun hızıyla ters orantılı olarak değişir. Bir araya toplanmaya başlayan suyun kesiti de düşey yönde gittikçe artar.

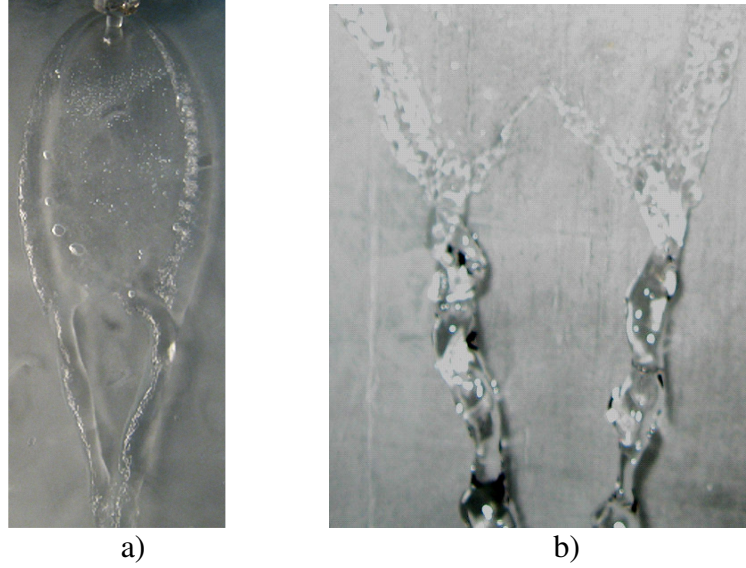


Şekil 4.11: Islanmaz yüzeye gelen su jetinin yansımaya olayının yandan ve önden görünüşü ($\theta=167^\circ$, $\alpha=15^\circ$, $\beta\approx 8^\circ$, $d=1.75$ mm, $We=9.4$)

4.3. Islanmaz Yüzeylerde Yayılarak Ayrılma

Şekil 4.12’de 123° ve 145° kontak açısına sahip bir yüzeye 45° jet açısıyla çarpan suyun yüzeydeki şekli görülmektedir. Suyun yüzeye normal hız bileşeni jet açısının yüksekliğinden dolayı büyük değerlerdedir. Yüzeye çarpan akışkan, normal hız bileşeninin etkisiyle kenarlara yatay olarak büyük bir oranda yayılır. Yüzeyde yayılan akışkanın atalet kuvvetleri sürtünmelerden dolayı azalır. İki kola ayrılan akışkanı suyun yüzey gerilim kuvveti ve suyun katı sınırındaki gerilimler dengeler. Şekil 4.12’de görüldüğü gibi atalet kuvvetlerini suyun yüzey gerilim kuvvetleri karşılayamadığı durumlarda suda kopma meydana gelmekte ve su iki kola ayrılarak akışına iki koldan devam etmektedir. Bu durum yüksek We ve Re sayılarında ve büyük jet açılarında meydana gelmektedir. Ayrıca yüzeyin kontak açısı çok yüksek bir değer olmayan 123° ve 145° değerindedir. Dolayısıyla yüzeyle su arasındaki çekim kuvvetleri çok düşük olmadığından yatay olarak 167° kontak açılı yüzeye göre daha geniş bir alana yayılmaktadır. Su her iki kolda da yüzeyden ayrılarak sıçrama hareketi yapmaktadır. D.H.S’den sonra halka şeklinde düşey yönde akan akışkan suyun yüzey gerilim kuvvetleriyle içeriye doğru çekilmektedir. Fakat iyice birbirinden uzaklaşmış (aradaki suyu iyice germiş) her iki kolu birleştirmek için büyük bir yüzey gerilim kuvveti gerektiğinden su belli bir yerden koparak ayrılır. Ayrıca suyun düşey hız bileşeni etkisiyle üst taraftan bir su akışı bu yırtılmaya

yardımcı olmaktadır. İçeriye doğru yönlenecek halka şeklindeki su akışı, düşey olarak yukarıdan gelen su ile birleşmektedir. Her iki akışın debileri ve hızları farklı değerlerde olduğundan dolayı akış bu bölgede karmaşık bir hal almaktadır.



Şekil 4.12: İslanmaz yüzeyde yayılan akışkanın yayılarak ayrılması $d=1.75$ mm, $\alpha=45^\circ$
a) $\theta=123^\circ$, $We=166$ b) $\theta=145^\circ$, $We=300$

Suyun yırtılma olayı yapılan deneylerde sadece 145° ve 123° kontak açısına sahip yüzeylerde yüksek We sayısı ve yüksek jet açılarında görülmüştür. Diğer kontak açısına sahip yüzeylerde rastlanmamıştır. Yalnız yapılan deneylerde kullanılan cam plakaların yüzey alanları sınırlı olduğu için daha büyük alanlardaki durumlar hakkında bilgi sahibi olunamamıştır. Deneyler sırasında ayrılmaların olduğu şartlardaki veriler eşdeğer çap için kullanılmamıştır.

Bu ayrılma olayı 102° ve 112° kontak açısına sahip yüzeylerde görülmemiştir. 167° kontak açısına sahip yüzeyde yüksek We sayısında kenarlara çok fazla yayılmayan akışkan ortadan yırtılma yerine bir sonraki bölümde anlatılacağı gibi yanlara doğru sıçrama yapmaktadır. Fakat 102° ve 112° kontak açısına sahip yüzeylerde akışkan yüzeyde 123° ve 145° e göre daha fazla bir alana yayılmaktadır. Bu sebeple bu yüzeylerde yırtılma daha kolay gerçekleşebileceği düşünülebilir. Fakat bu yüzeylerde yırtılma olayına rastlanılmamıştır. Deneyin yapıldığı alanlar kısıtlı olduğu için daha yüksek hızlara çıkılmadığından yırtılarak ayrılma olayının şartları tam olarak tespit edilememiştir.

4.4. Islanmaz Yüzeylerde Yayılıp Sıçrama

Islanmaz yüzeyler üzerine çarpan akışkanın yüzey üzerinde kenarlara doğru yayılmasını akışkanın atalet kuvveti sağlar. Bu çarpma ve yüzey üzerinde akış olaylarında; suyun atalet kuvveti, suyun yüzey gerilimi ve akışkanın kendi içindeki ve ıslanmaz yüzeyle arasındaki sürtünme kuvvetleri etkindir. Islanmaz yüzeyler üzerine yüksek hızlı akışlarda yani akışkanın sahip olduğu kinetik enerjinin tamamı diğer enerji türlerine dönüşemediği durumlarda, akışkanın arta kalan kinetik enerjisi yüzey gerilme kuvvetlerini yenerek akışın parçalanmasına yani akışkanın damlacıklar halinde yüzeyden ayrılmasına, sıçramasına sebep olur. Sıçrama olayından sonraki bölümlerde akışkan daha büyük kesitlerde ve daha düşük hızlarda damlacıklar halinde akmaya devam eder. Süper ıslanmaz yüzeylerde akışkan yüzeyde çok fazla yayılamadığından dolayı sürtünme kuvvetleriyle akışkanın ataletinde meydana gelen azalma yani bir nevi sönümlenme düşük kontak açılı ıslanmaz yüzeylerdeki gibi tam olarak gerçekleşemez.

Yüksek ataletle süper ıslanmaz yüzeye çarpan akışkan, yüzeye çarpıp kenarlara doğru yayılırken atalet kuvvetleri yüzey gerilim kuvvetlerine dönüşür bir kısım enerjide sürtünme kuvvetinin etkisiyle iç enerjiye dönüşür. Akışkan, ıslanmaz yüzeyle sınır bölgelerinde yüksek kontak açısı yapacak şekilde bulunur. Süper ıslanmaz yüzeyle akışkan arasındaki düşük çekim kuvvetlerinden dolayı akışkan yüzeyde yayılmasına devam edemez. Belli bölgelerden kollara ayrılır. Bu kollar tekrar akışkanın yüzey gerilim kuvvetleri ile akışkan içerisine çekilir (Şekil 4.13). Atalet kuvvetlerinin daha da artması ile artık bu kollar akışkandan ayrılarak damlacıklar halinde yüzeyden uzaklaşır.

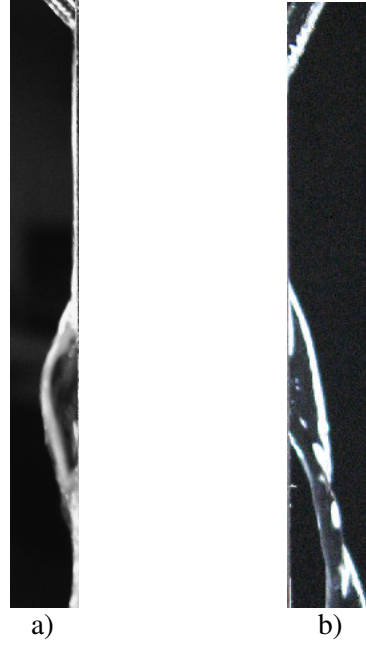


Şekil 4.13: Islanmaz yüzeyde yayılan akışkandaki sıçramaların anlık görüntüsü
($\theta=167^\circ$, $We=230$, $\alpha=45^\circ$)

Yayılp sıçrama olayı suyun ataleti, su jeti açısı, yüzey gerilim kuvveti ve yüzeyin kontak açısına bağlı olarak belli değerlerde gerçekleşmektedir. Sıçrama olayından kaçınmak için düşük jet açılarında deneyler yapılmış ve yüksek jet açılarında yüksek akışkan hızlarına çıkılmamıştır. Çünkü sıçrama olayı akışkanın yayıldığı alanın bulunmasını güçleştirmektedir.

4.5. Islanmaz Yüzeylerde Eşdeğer Çap

Islanmaz yüzeylerde yayılma alanının eşdeğer çap ile ifade edilmekte olduğundan (2.4.1) kısmında bahsedilmiştir. Islanmaz yüzeylerde yayılma alanının incelenmesi için 102° , 112° , 123° , 145° ve 167° kontak açısına sahip olan ıslanmaz yüzeyler kullanılmıştır. Bu yüzeylerden 102° , 112° ve 123° kontak açılı yüzeylerde yayılma olayı gerçekleşmekte (Şekil 4.14 a), 145° ve 167° kontak açılı yüzeylerde ise yayılıp yansıma olayı gerçekleşmektedir (Şekil 4.14 b).



Şekil 4.14: Yayılma ve yayılıp yansıma olaylarının yandan görünümü a) $\theta = 123^\circ$ b) $\theta = 167^\circ$.

Eşdeğer çapı nozul çapından bağımsız hale getirmek için tanımlanan E.Y.F boyutsuz sayısının denklem ile belirlenmesinde 350 deney verisi kullanılmıştır. Denklem (4.1)'deki şekliyle tanımlanan ampirik denklem en küçük kareler yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Denklem, ıslanmaz yüzeylere eğimli jet akışında olayda etkili olan bütün parametreleri içermektedir. Bu parametreler; Weber sayısı, Reynolds sayısı, kontak açısı, jet açısı, nozul çapıdır. Eşitlikte; $r = 0.975$, $R^2 = 0.965$ gibi 350 deney verisiyle ve 5 ayrı değişkenle elde edilebilecek çok yüksek bir değerdir. Denklem, literatürde olmayan bu tez çalışmasında geliştirilmiş yeni bir denklem olup, ıslanmaz yüzeylerde suyun yüzeydeki izdüşüm alanını ifade etmek için genel bir denklemdir.

$$\frac{d}{D_{ED}} = 1.3067 \text{Re}^{-0.3303} [We^\Phi]^{-0.2483} [\Phi]^{3.0647} [\sin(\alpha)]^{-0.7054} \quad (4.1)$$

$$\Phi = 1 + \cos(180 - \theta) \quad (4.2)$$

Denklemdeki Φ ifadesi, kontak açını içeren bir ifade olup Denklem (4.2)'de tanımlanmıştır. Bu ifade Gunjal ve diğ. (2005) tarafından We sayısına $(1 + \cos \theta)$

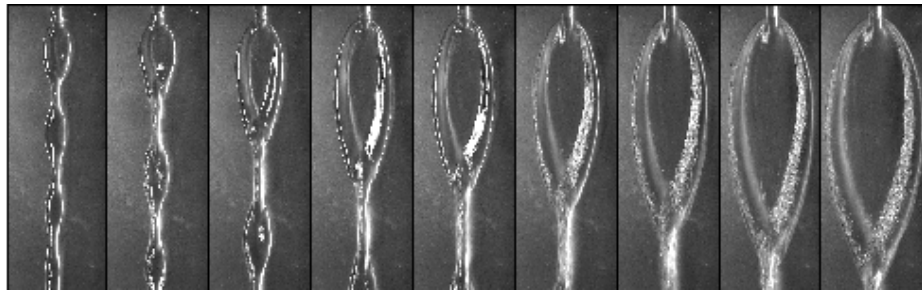
ifadesi eklenerek düzenlenmiş We sayısı olarak tanımlanmıştır. Aynı ifade, bu tez çalışmasında denklem oluşturulurken negatif değerden kaçınmak için kontak açısı 180'den çıkarılarak kullanılmıştır.

Denklem (4.1)'den eşdeğer çapın nozul çapı, Reynolds sayısı, Weber sayısı ve jet açısıyla doğru orantılı, kontak açısıyla ise ters orantılı olarak değiştiği anlaşılmaktadır. Bu parametrelerin eşdeğer çapa etkileri ileriki bölümlerde tek tek ele alınarak incelenecektir.

4.5.1. Eşdeğer çapa Reynolds ve Weber sayılarının etkileri

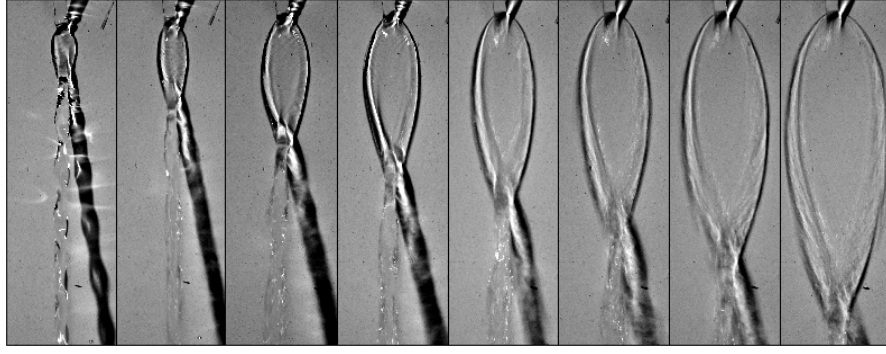
Denklem (2.46) ile ifade edilen eşdeğer çap (D_{ED}), ıslanmaz yüzeye çarpan akışkanın yüzeyde aldığı dairesel olmayan şekilleri tek bir ifadeyle tanımlayabilmek için kullanılmıştır.

Şekil 4.15'te görüldüğü gibi dikey olarak duran düşük kontak açısına sahip ıslanmaz yüzeye sabit jet açısıyla su jeti gönderildiğinde, düşük su jeti hızlarında (We sayısı), su yüzeyde az bir alana yayılmakta su jeti hızının artmasıyla suyun yüzeyde yayıldığı alan dolayısıyla eşdeğer çap artmaktadır. Yüksek kontak açısına sahip süper ıslanmaz yüzeyde de benzer artış gözlenmektedir (Şekil 4.16).



We = 19.32 29.27 45.73 65.85 83.34 102.89 124.49 156.5 182.91

Şekil 4.15: Yayılma olayının ve su zincirinin oluşumunun genel görünüşü ($\theta=112^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm)



We = 11.3 22.3 45.5 60.1 71.0 95.5 123.7 147.2

Şekil 4.16: Su jetinin süper ıslanmaz yüzey üzerindeki yayılımının We sayısı ile değişimi.
($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm)

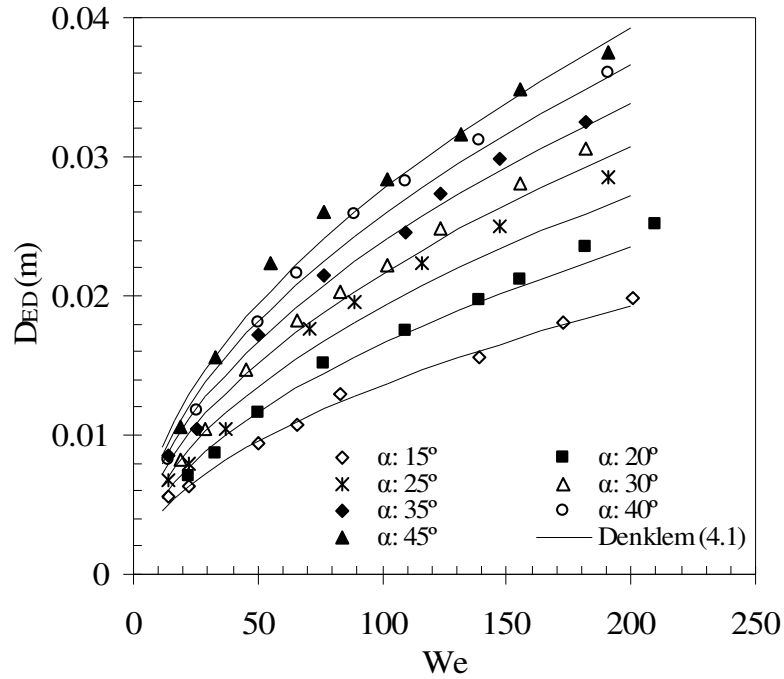
Şekil 4.15'teki resimlerde görülen suyun yüzeyde yayıldığı alanlar analiz edilerek bu alanlara eşdeğer olan çaplar bulunmuş ve sonuçlar Şekil 4.17'de verilmiştir. Atalet kuvvetlerinin yüzey gerilim kuvvetlerine oranı olan We sayısındaki artış; birinci olarak atalet kuvvetlerindeki (akışkanın hızı) artışla, ikinci olarak da akışkanın yüzey geriliminin azaltılmasıyla gerçekleşebilir. Akışkanın hızı arttıkça yüzeyde yayılmasını sağlayan atalet kuvvetleri artmakta böylece akışkan yüzeyde daha fazla bir alana yayılmaktadır. Yüzey gerilimindeki azalma akışkanın molekülleri arasındaki çekim kuvvetlerini zayıflatmaktadır. Böylece yüzey gerilimindeki azalma ile atalet kuvvetlerinin yüzey gerilim kuvvetlerine dönüşümü kolaylaşmakta ve akışkan daha fazla bir alana yayılmaktadır.

Sıvı akışlarında kullanılan diğer bir boyutsuz sayı olan Re sayısı atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranı olarak tanımlanan bir boyutsuz sayıdır. Atalet kuvvetlerinin etkisi bir önceki paragrafta bahsedilmiştir. Viskoz kuvvetlerdeki değişim de akışkanın yüzeyde yayılmasında etkili olan bir parametredir. Viskoz kuvvetlerin azalması akış esnasındaki sürtünme kuvvetlerini azaltacaktır. Viskoz kuvvetlerdeki düşüş, Re sayısını arttıracığından dolayı Re sayısındaki artış akışkanın yayılmasını da arttıracaktır.

Denklem (4.1)'deki eşitliğin her iki tarafı da boyutsuzdur, ayrıca atalet kuvvetleri, viskoz kuvvetler, yüzey gerilim kuvvetleri, yüzeyin kontak açısı, nozul çapı, jet açısı gibi akış olayında etkili olan bütün parametreleri içerdiği için denklem ıslanmaz

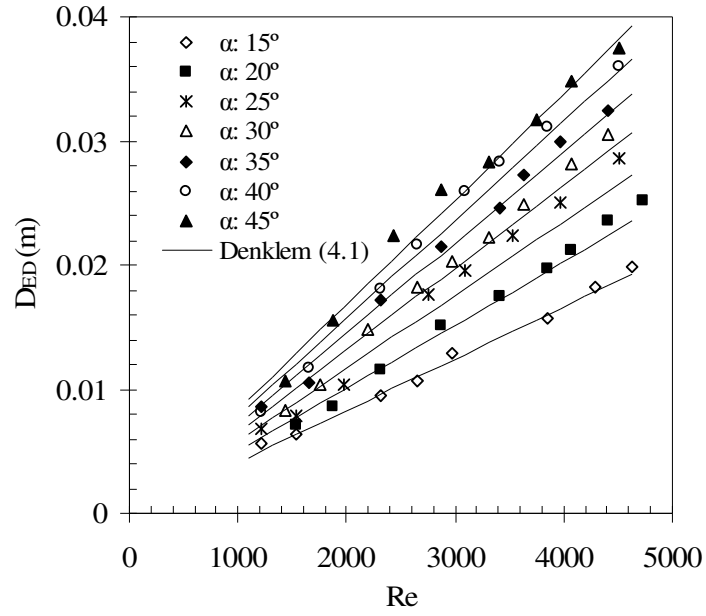
yüzeye çarpan sıvı jetinin yayıldığı alanı ifade etmek için genel bir denklem halini almıştır.

Weber sayısındaki artışa bağlı olarak suyun yüzeyde yayılma alanının artmasıyla birlikte sürtünme kuvvetleri de artmaktadır. Sürtünmedeki artış akışkanın yüzeyde yayılmasını sağlayan atalet kuvvetlerini azalttığından dolayı Weber sayısı artarken D_{ED} 'deki artışta azalma eğilimi görülmektedir (Şekil 4.17).



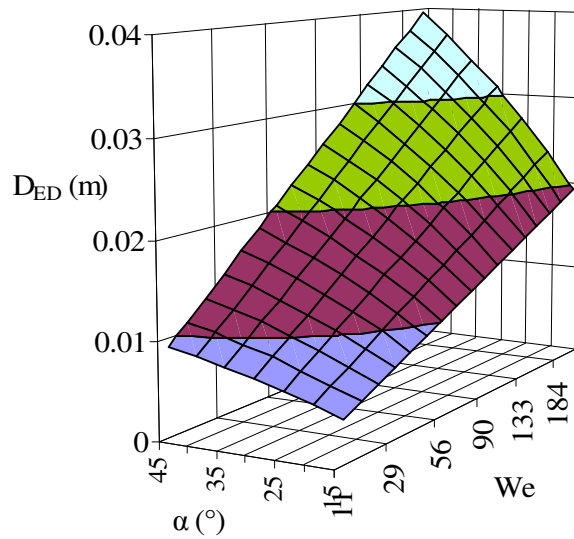
Şekil 4.17: Farklı jet açılarındaki Weber, eşdeğer çap değişimi grafiği ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm)

Şekil 4.17'deki grafikte verilen D_{ED} verileri için Weber sayısı yerine Reynolds sayısı kullanılarak Şekil 4.18 çizilmiştir. Bu grafikten de D_{ED} 'nin Re sayısındaki artışla birlikte arttığı görülmekle birlikte doğrusal bir grafik elde edilmektedir. Her iki grafikte denklemle çizilen eğrilerin, deney verilerini çok iyi karşıladığı görülmektedir. Denklem, Re ve We sayıları ile jet açısındaki değişimin D_{ED} 'ye etkisini çok iyi bir şekilde sağlamaktadır.



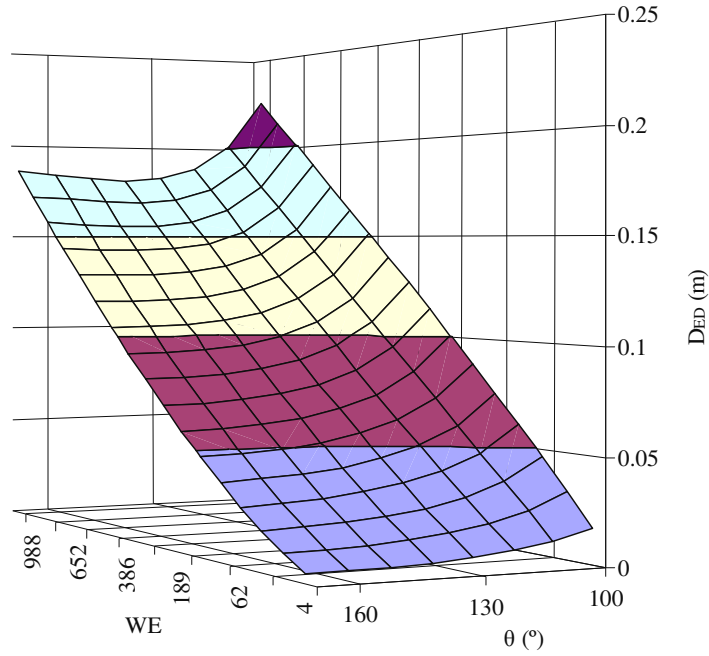
Şekil 4.18: Farklı jet açılarındaki Reynolds, eşdeğer çap değişimi grafiği ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm)

Islanmaz yüzeydeki akış olayında; atalet, viskoz ve yüzey gerilim kuvvetlerinin her üçü de etkili olduğundan dolayı Weber ve Reynolds sayılarının ikisi de her durumda etkili olmaktadır. Fakat suyun yüzeyde yayılmasının artmasıyla sürtünme kuvvetleri de artmakta ve bu artış yüksek atalet kuvvetlerinde Reynolds sayısını daha önemli hale getirmektedir. Sonuçta düşük atalet kuvvetlerinde Weber sayısı, yüksek atalet kuvvetlerinde ise Reynolds sayısının olayı daha iyi ifade etmekte olduğu düşünülmektedir.



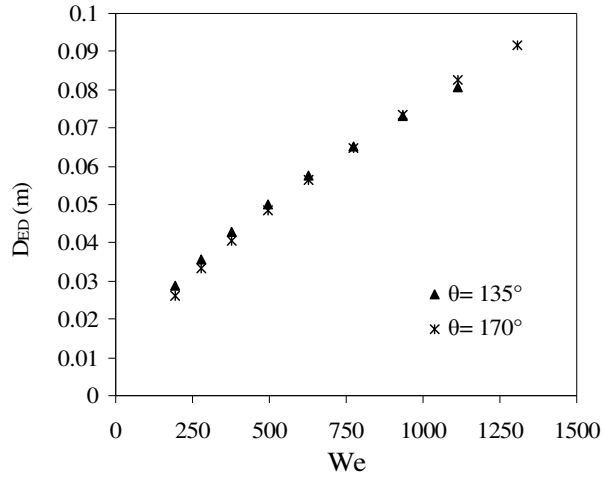
Şekil 4.19: Weber, eşdeğer çap ve jet açısı değişiminin 3 boyutlu grafiği ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm)

Şekil 4.17'deki grafikte kullanılan verilerle, aynı grafik üzerinde farklı jet açılarındaki We sayısı ile D_{ED} değişimi 3 boyutlu olarak çizilmiş sonuç Şekil 4.19'da verilmiştir. Grafikten We sayısı ve jet açısının D_{ED} üzerindeki etkisi aynı anda görülebilmektedir. Deneysel sırasında her durum için üç parametrenin de aynı olmasını sağlamak çok zor bir durumdur. Bu sebeple 3 boyutlu grafiklerin çiziminde Denklem (4.1) kullanılmıştır. Çizilen karşılaştırma grafiklerinde denklemin We sayısı, Re sayısı, kontak açısı ve jet açısı değişimlerini çok az bir farkla karşıladığı belirlenmiştir. Denklemin belirlilik katsayısı (R^2) bunun bir göstergesidir. Böylece deney verileriyle ifade edilemeyen durumların denklemlerle ifade edilmesi yanlış olmayacak ve olayın anlaşılmasında büyük yararlar sağlayacaktır.



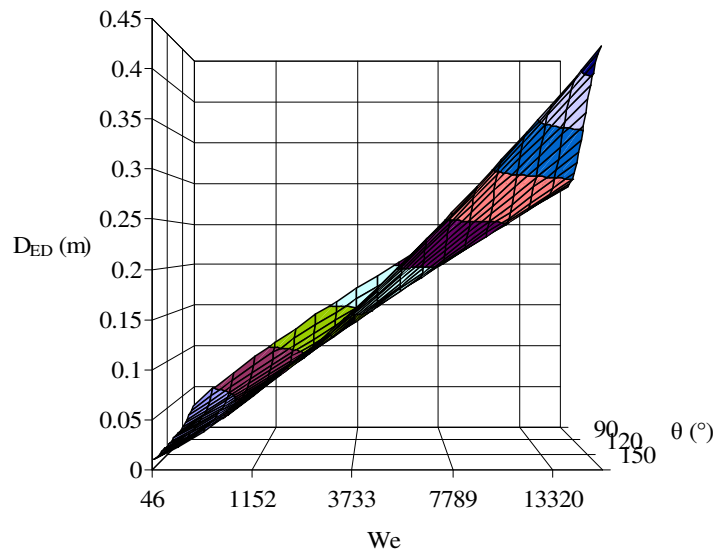
Şekil 4.20: Weber, kontak açısı ve eşdeğer çap 3 boyutlu grafiği ($\alpha=30^\circ$)

Şekil 4.20'de görüldüğü gibi farklı kontak açısına sahip yüzeylerin hepsinde We sayısının artmasıyla D_{ED} 'de artmaktadır. Bu artış yüksek kontak açısına sahip yüzeylerde ve düşük We sayılarında daha fazla değerlerde olmaktadır. We sayısındaki artışla yükseliş eğilimi değişmekte ve düşük kontak açılı yüzey ile yüksek kontak açılı yüzey belli bir We sayısında aynı D_{ED} 'yi oluşturmaktadır. We sayısının bundan sonraki değerlerinde düşük kontak açılı yüzeydeki yayılma daha fazla olmaktadır.



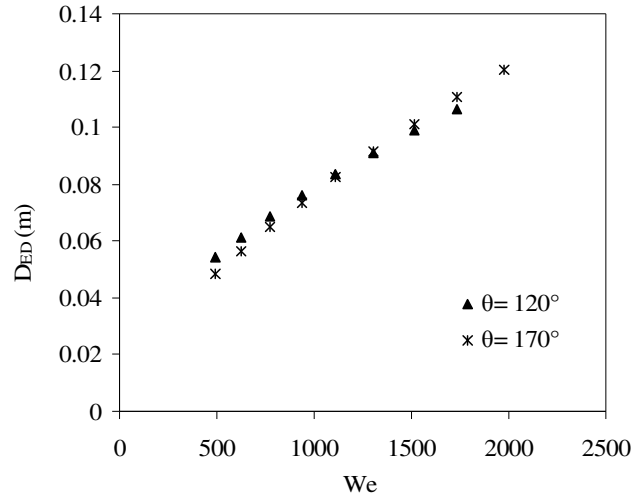
Şekil 4.21: Farklı kontak açılarındaki eşdeğer çap farkları ($d=2$ mm, $\alpha=30^\circ$, $T=20$ °C)

Şekil 4.21'de We sayısının farklı kontak açılarındaki yüzeyler üzerindeki D_{ED} üzerindeki etkisi görülmektedir. 135° ve 170° kontak açısı kullanılarak çizilen eğrilerde We sayısı yaklaşık olarak 700 değerini aldığı anda her iki kontak açısındaki yüzeyde de D_{ED} aynı değeri almakta daha sonra olay tersine dönmektedir. Yani düşük kontak açısındaki D_{ED} 'deki artış daha fazla olmaktadır. Deneyler sırasında We sayısının bu değerlerinden daha düşük değerlerde deneyler yapıldığından deneylerle bu durum tespit edilmemiştir. Bu sonuç Denklem (4.1) ile elde edilen bir sonuçtur. 3 boyutlu olarak bu sonuç Şekil 4.22'de daha ayrıntılı olarak görülmektedir.

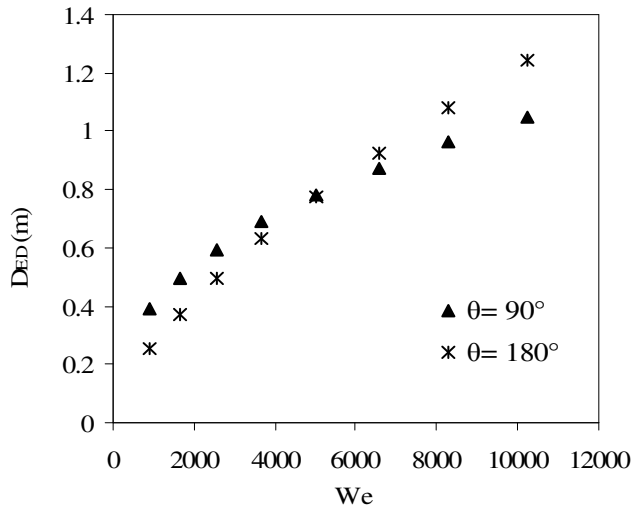


Şekil 4.22: Kontak açısının eşdeğer çap üzerindeki farkının 3 boyutlu grafiği ($\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm)

Yüzeylerin kontak açıları arasındaki farklar arttıkça, her iki kontak açısı için de eşdeğer çapların aynı olduğu We sayısı da artmaktadır. Şekil 4.23'te 120° ve 170° kontak açısı ile yapılan hesaplamalarla çizilen grafikte D_{ED} 'ler yaklaşık olarak We sayısının 1100 değerinde çakışmakta daha sonra olay ters dönmeye başlamaktadır. Şekil 4.24'teki gibi kontak açıları arasındaki fark iyice arttığında çakışma olan We sayısı (≈ 5000) da iyice artmaktadır.



Şekil 4.23: Farklı kontak açıları arasında eşdeğer çap farkları ($d=2$ mm, $\alpha= 30^\circ$, $T= 20$ C°)

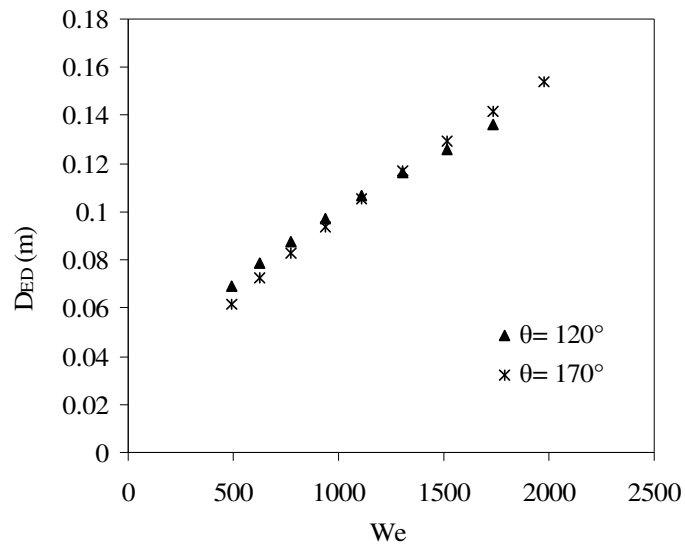


Şekil 4.24: Kontak açıları arasında büyük fark olan ıslanmaz yüzeylerde aynı yayılmanın gerçekleştiği We sayısı ($d=4$ mm, $\alpha= 45^\circ$, $T= 20$ C°)

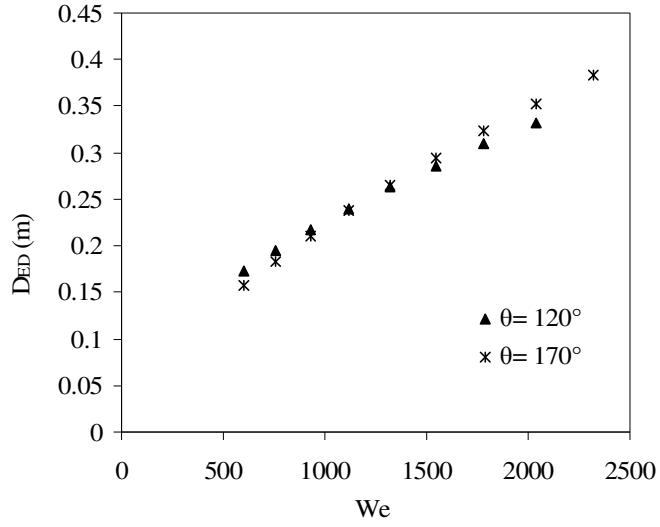
Bu durumun şu şekilde açıklanabileceği düşünülmektedir. Yüksek kontak açısına sahip yüzeylerde sıvının yüzeyde daha az yayılmasını sağlayan yüzey gerilim

kuvvetleri ve sıvı ve yüzey arasındaki düşük çekim kuvvetleridir. Weber sayısının artması ya atalet kuvvetlerinin artması veya sıvının yüzey gerilim kuvvetlerinin azalması ile mümkün olabilmektedir. Atalet kuvvetlerinin yüksek değerler alması yüzey gerilimi tarafından karşılanamamakta ayrıca sürtünmelerin de artmasına sebep olmakta ve yüzey gerilim kuvvetlerinin olayda etkisini azaltmaktadır. We sayısının artmasındaki diğer parametre olan yüzey geriliminin azalması ise yüksek kontak açısına sahip yüzeyde sıvının daha az yayılmasının nedeni olan kontak açısı yani sıvı ile yüzeyin çekim kuvvetlerinin önemini azaltmaktadır. Bu nedenle We sayısının belli değerine kadar yüzey gerilimi etkin olmakta belli bir değerden sonra sürtünmelerdeki artışla yüzey geriliminin önemi azalmaktadır. Bu durum Denklem (4.1) oluşturulurken We sayısının üzeri olarak kontak açısını içeren Denklem (4.2)'de tanımlanan ifadesi kullanılmış böylece We sayısının kontak açısına göre etkisinin değişimi sağlanmıştır. Denklem deney verilerini çok iyi karşılaması bu düşünceyi desteklemektedir.

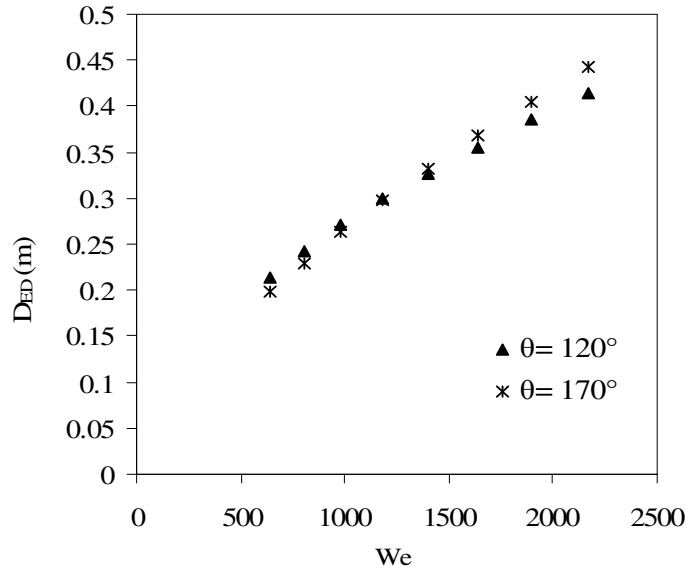
120° ve 170° kontak açısı için Şekil 4.23'te verilen sonuçlara; jet açısı (Şekil 4.25), nozul çapı (Şekil 4.26), ve akışkan sıcaklığı (Şekil 4.27), etkisini görmek için çizilen grafiklerde çakışmanın olduğu ve ters dönüşümün başladığı We sayısında bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Fakat çakışma olan We sayısı değişmemekle birlikte, D_{ED} değişmektedir.



Şekil 4.25: Jet açısı değişiminin çakışma olan We sayısına etkisi ($d=2$ mm, $\alpha=45^\circ$, $T= 20$ C°)

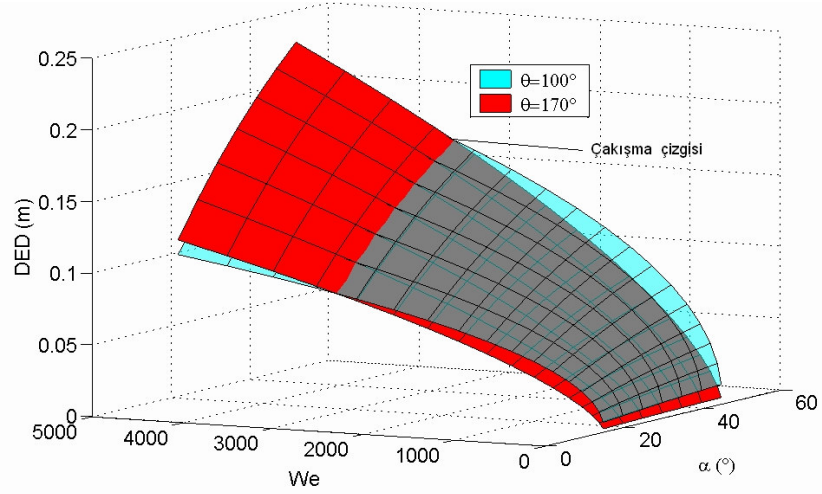


Şekil 4.26: Nozul çapı değişiminin çakışma olan We sayısına etkisi
($d=4$ mm, $\alpha=45^\circ$, $T=20$ C°)



Şekil 4.27: Akışkanın sıcaklığı değişiminin çakışma olan We sayısına etkisi
($d=4$ mm, $\alpha=45^\circ$, $T=50$ C°)

Farklı kontak açılı yüzeyler üzerinde sıvının aynı yayılmayı (D_{ED}) sağladığı We sayısı yalnızca yüzeyler arasındaki kontak açısı farkıyla değişmekte başka bir parametreden etkilenmemektedir. Çakışma olan We sayısının açıdan etkilenmediğini gösterebilmek için jet açısı We sayısı ve D_{ED} den oluşan 3 boyutlu grafik çizilmiştir (Şekil 4.28). Jet açısı arttığı zaman D_{ED} 'nin de arttığı grafikten görülmektedir. Fakat bu artma çakışma olan We sayısını etkilememektedir.



Şekil 4.28: Eşdeğer çapın, farklı iki kontak açısındaki yüzeyin, farklı jet açısında We sayısı ile değişimi ($d=1.75$ mm, $T= 20$ C°)

Aynı We sayısının elde edildiği değerlerin daha ayrıntılı olarak kıyaslanabilmesi için Tablo 4.1 verilmiştir. Tablodan ve grafikten görüldüğü gibi kontak açıları arasındaki fark arttıkça We sayısı azalmaktadır. Düşük kontak açılarında, yüksek kontak açılara göre aradaki fark aynı olmasına rağmen çok büyük We sayılarında çakışma olmaktadır.

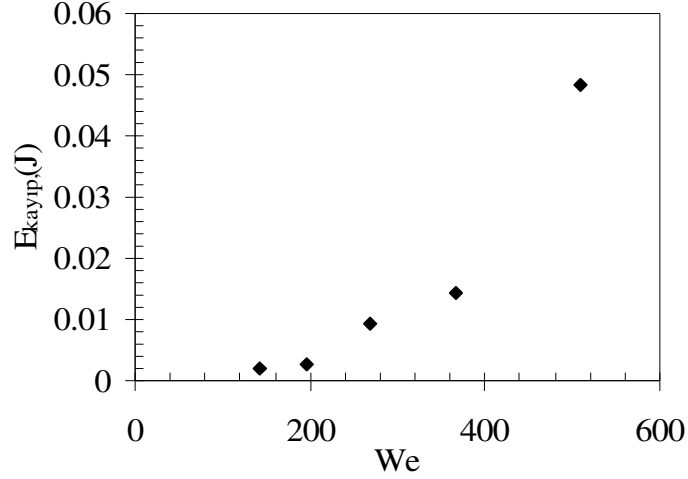
Tablo 4.1: Her bir kontak açısı için çakışmanın olduğu We sayıları

θ	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
90		87650	40800	22250	13850	9500	7300	6000	5400	5200
100			18550	10700	6950	5000	3890	3275	2950	2870
110				5950	4020	2950	2375	2025	1830	1780
120					2600	1950	1560	1350	1250	1215
130						1400	1150	1000	915	895
140							900	790	730	710
150								655	610	595
160									540	527
170										490

Örnek olarak tablo kullanılırken 120° kontak açısına sahip yüzeyle 160° kontak açısına sahip iki ıslanmaz yüzey ele alalım. Her iki yüzeyde de We sayısı 1350 değerini aldığı anda, üzerlerine gönderilen su jeti yüzeyde aynı alana yayılmaktadır.

Denklem (2.18)'de yüzeye çarpan su jetinin enerjisinin, yüzey gerilim enerjisi ve kayıp enerjiye eşit olduğunu gösteren eşitlik tanımlanmıştır. Denklem (2.18)

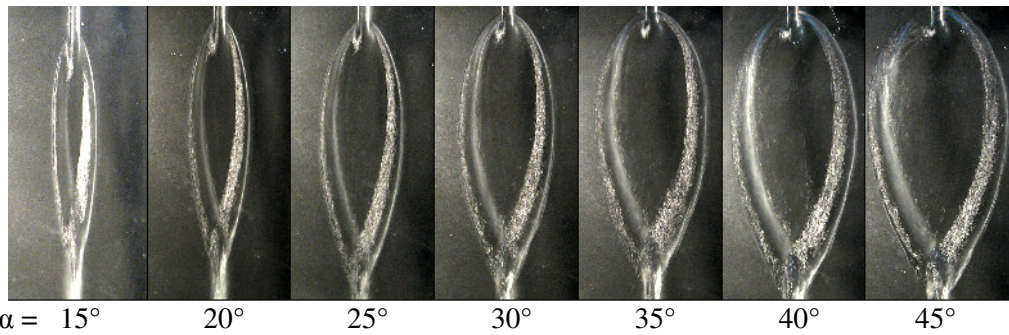
kullanılarak çizilen Şekil 4.29'daki grafikte görüldüğü gibi ıslanmaz yüzeye çarpan su jetinin enerjisinde büyük oranlarda kayıp meydana gelmekte ve bu kayıp We sayısının artmasıyla artmaktadır.



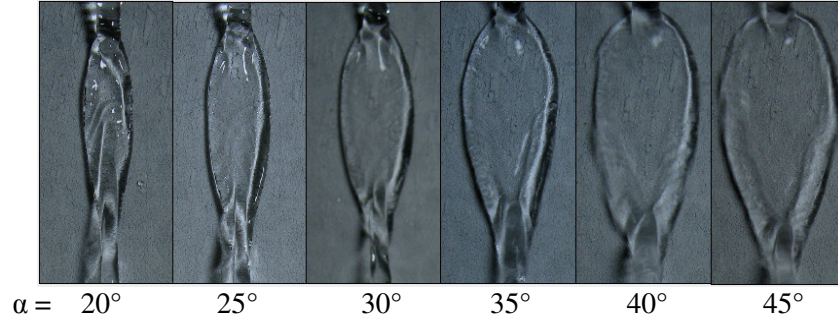
Şekil 4.29: Kayıp enerjinin We sayısı ile değişimi ($\theta=145^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm)

4.5.2. Eşdeğer çapa jet açısının etkisi

Jet açısının artmasıyla suyun yüzeyde yayılmasında önemli oranda etkili olan suyun normal atalet kuvveti bileşeni artmakta böylece su, yüzeyde daha fazla bir alana yayılmaktadır. Bu durum düşük kontak açısı için Şekil 4.30'da yüksek kontak açısı için de Şekil 4.31'de görülmektedir. Jet açısı arttıkça yüzeydeki suyun boyunda (L) çok fazla bir artma olmamasına rağmen genişliği (W) önemli oranda artmaktadır. Sonuç olarak D_{ED} 'nin artmasında W daha etkili olmaktadır.

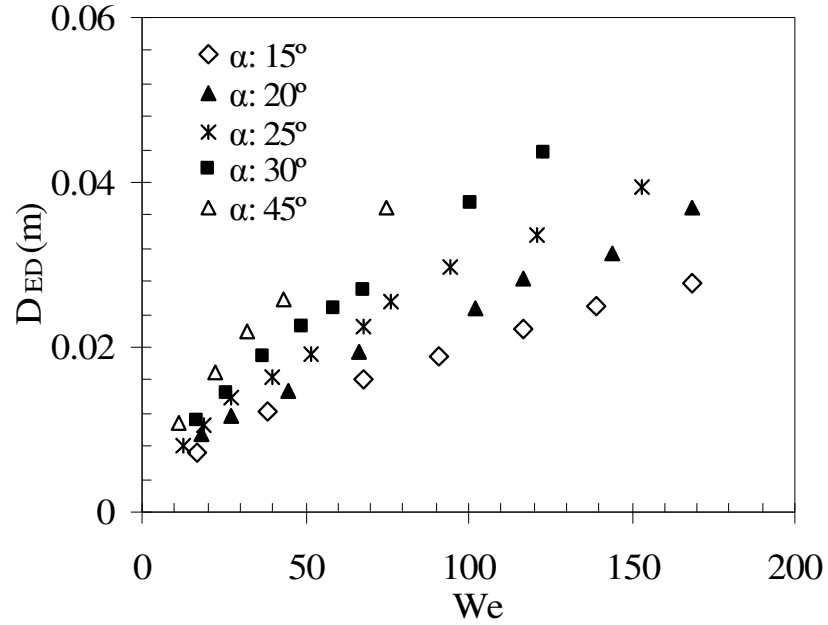


Şekil 4.30: Kontak açısı 112° olan yüzeye 1.75 mm nozul ile su jeti gönderilmesiyle yüzeyde oluşan yayılmanın aynı We sayıları, farklı jet açılarındaki davranışları ($We \approx 190$)

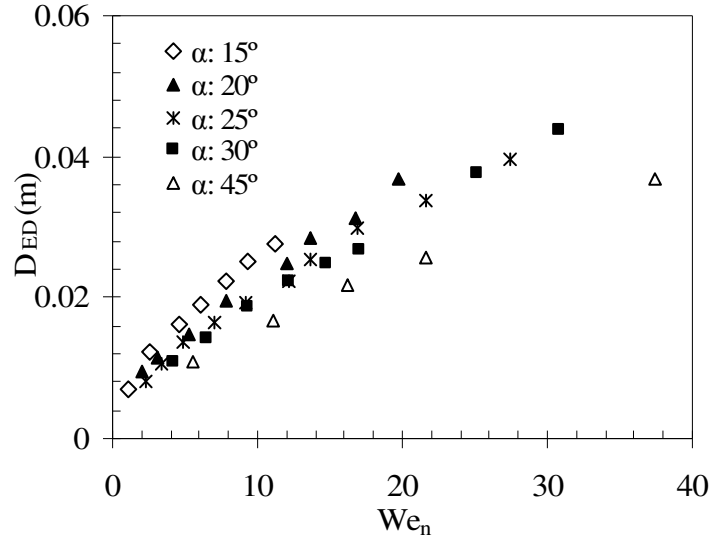


Şekil 4.31: Kontak açısı 167° olan yüzeye 1.75 mm nozul ile su jeti gönderilmesiyle yüzeyde oluşan yayılmanın aynı We sayıları, farklı jet açlarındaki davranışları ($We \approx 55$)

Yüksek kontak açılı yüzeyde 4 mm nozul kullanılarak elde edilen farklı jet açlarındaki eşdeğer çap grafiği Şekil 4.32’de verilmiştir. Jet açısından bağımsızlaştırmak için normal We sayısı ile (We_n) çizilen Şekil 4.33’te eğrilerin biraz daha birbirlerine yaklaşmalarına rağmen tam olarak genelleşmediği görülüyor. Bu durumdan yüzeye normal hız bileşeninin yalnız başına olayda etkili olmadığı anlaşılmaktadır.

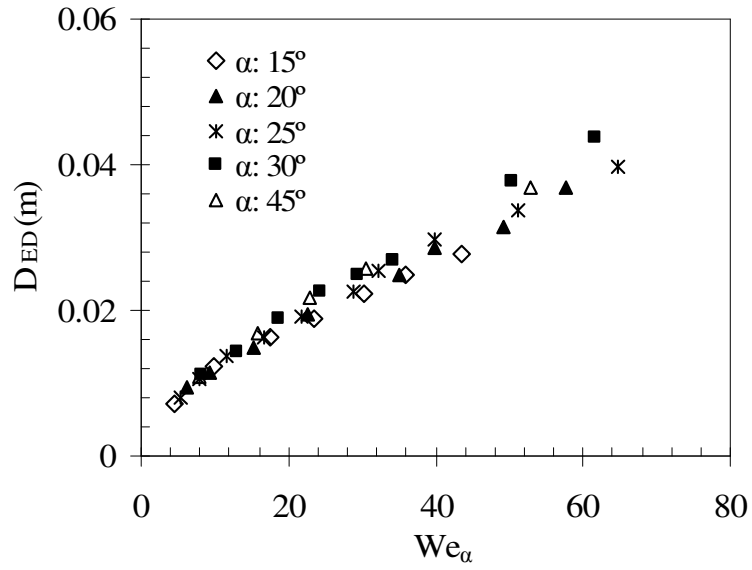


Şekil 4.32: Eşdeğer çapın farklı jet açlarında We sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $d=4$ mm)



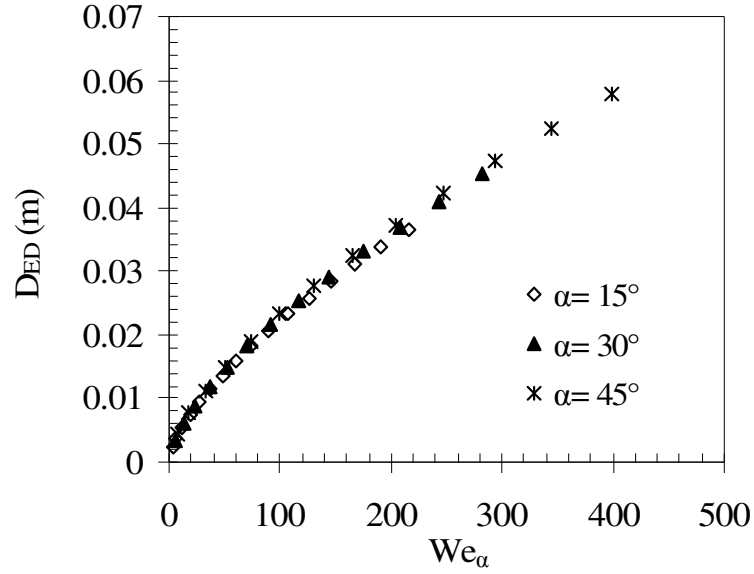
Şekil 4.33: Eşdeğer çapın farklı jet açılarında normal We sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $d=4$ mm)

Düzenlenmiş We sayısı (We_α) ile D_{ED} grafiği çizildiğinde eğrilerin yaklaşık olarak çakıştıkları Şekil 4.34'te görülmektedir.



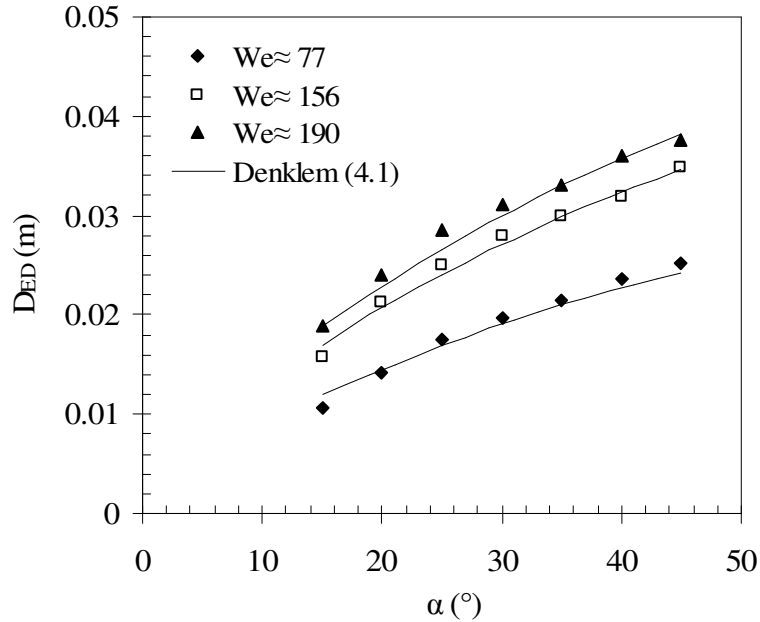
Şekil 4.34: Eşdeğer çapın farklı jet açılarında düzenlenmiş We sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $d=4$ mm)

Denklem (4.1) kullanılarak Şekil 4.35'te düzenlenmiş We sayısı ile D_{ED} grafiği çizilmiştir. Grafikte her açıdaki eğri de üst üste çakışmaktadır. Denklem We_α sayısının jet açısından bağımsız halini karşılamaktadır.

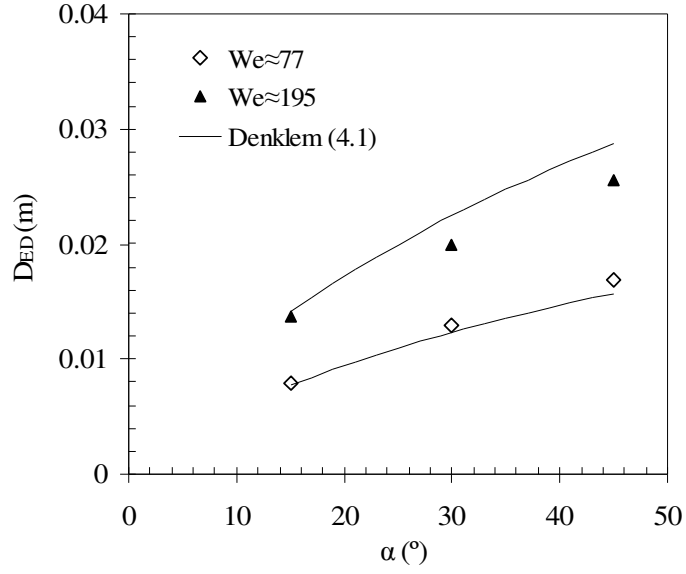


Şekil 4.35: Eşdeğer çapın farklı jet açılarındaki düzenlenmiş We sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $d=1.75$ mm)

Şekil 4.36’da üç farklı We sayısında D_{ED} ’nin jet açısıyla değişim grafiği görülmektedir. Jet açısının artmasıyla D_{ED} ’de artmakta fakat bu artış azalan bir eğilimle olmaktadır. Benzer eğilim yüksek kontak açısı için de gerçekleşmektedir (Şekil 4.37).

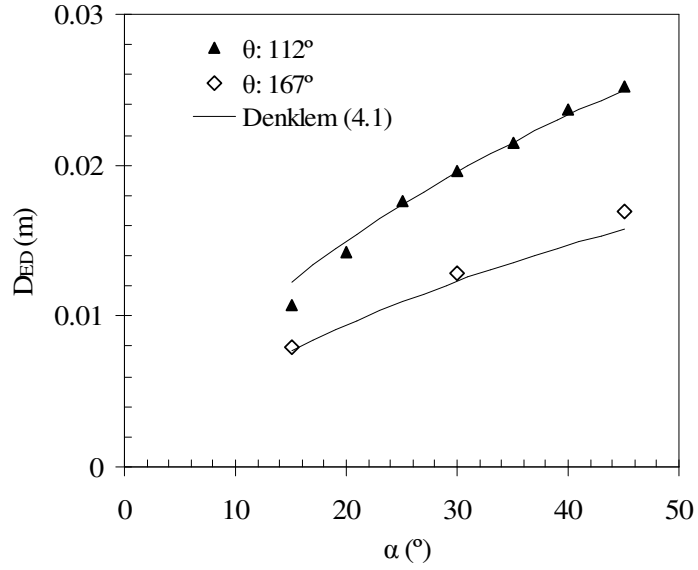


Şekil 4.36: Düşük kontak açılı ıslanmaz yüzeydeki su jeti açısının eşdeğer çapa etkisi ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm)



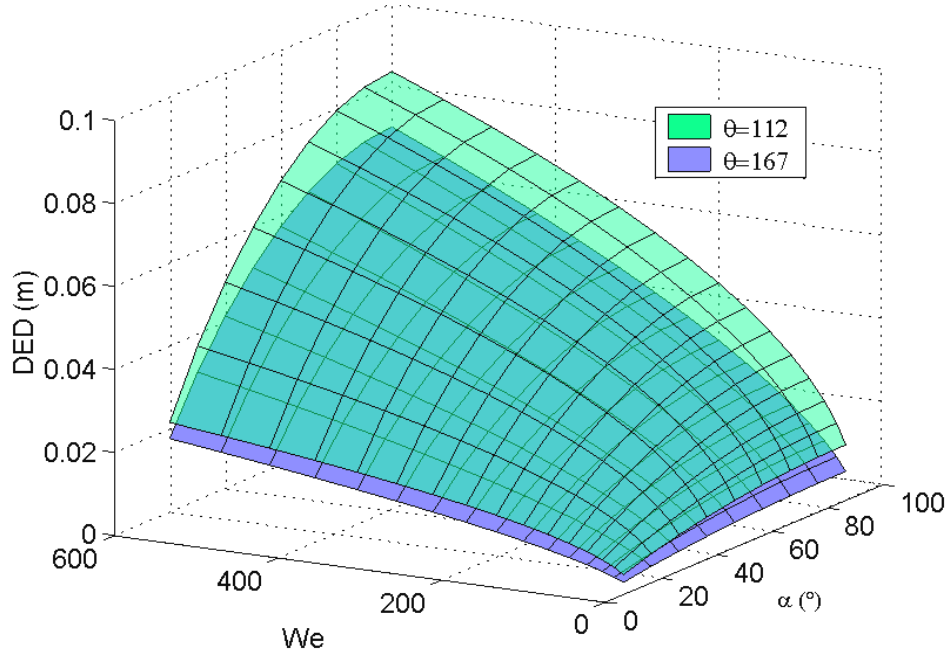
Şekil 4.37: Yüksek kontak açılı ıslanmaz yüzeydeki su jeti açısının eşdeğer çapa etkisi ($\theta=167^\circ$, $d=1.75$ mm)

İki farklı kontak açısına sahip yüzeyde su jeti açısının, eşdeğer çapa etkisi farklı olmaktadır. Bunun için kontak açısı 112° gibi düşük ve 167° gibi yüksek olan iki ıslanmaz yüzeyin birbirine yakın We sayısındaki verileri kullanılarak Şekil 4.38'deki grafik çizilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi jet açısının artmasıyla her iki yüzeyde oluşan eşdeğer çaplar arasındaki fark da artmaktadır.



Şekil 4.38: Eşdeğer çapın farklı kontak açılarındaki jet açısı ile değişimi ($We \approx 77$, $d=1.75$ mm)

Bu durumun yüksek ve düşük kontak açılarında her We sayısındaki etkisini görebilmek için 3 boyutlu olarak Şekil 4.39'daki grafik çizilmiştir. Jet açısındaki artış aynı We sayısında her iki kontak açısı ile elde edilen D_{ED} aralarındaki farkı arttırmaktadır. Ayrıca düşük We sayılarında jet açısının artmasıyla D_{ED} düşük oranda artmakta, yüksek We sayılarında ise artış oranı daha yüksek değerlerde olmaktadır.

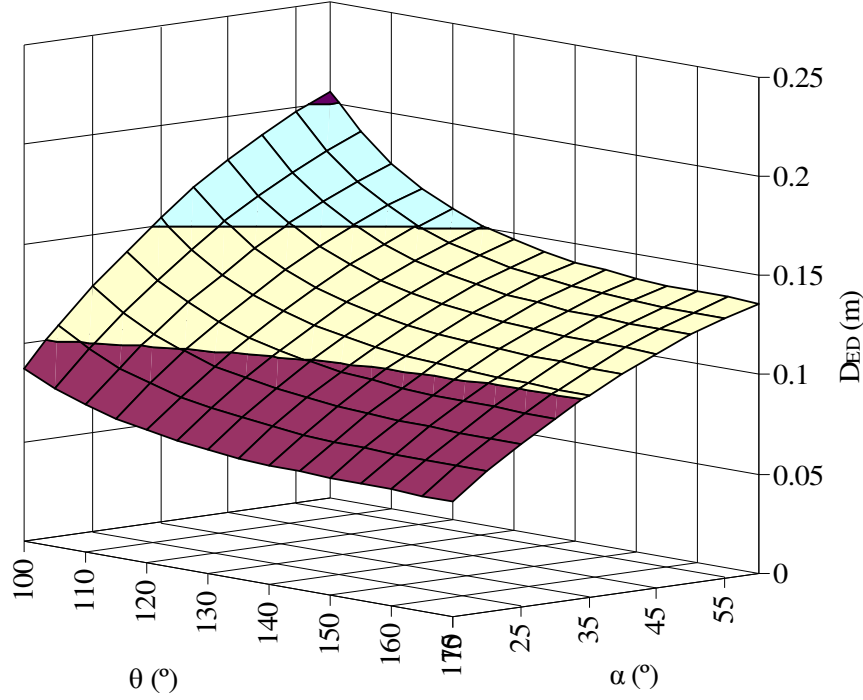


Şekil 4.39: Eşdeğer çapın farklı jet açısı ve We sayısında iki farklı kontak açısı için değişimi ($d=1.75$ mm)

Yüksek jet açılarında akışkan daha fazla bir alana yayılmakta ve bu yayılmanın büyük bir çoğunluğu sıvının yüzeyde genişlemesi ile gerçekleşmektedir (Şekil 4.30). Düşük kontak açılarında akışkan ile yüzey arasındaki yüksek çekim kuvveti etkisiyle daha fazla bir alana yayılan akışkanın ataletinin büyük bir kısmı sürtünmelerle azalmaktadır. Böylece yüzey gerilme enerjisine dönüşen akışkanın geri kalan ataleti azalmaktadır. Yüksek kontak açılı yüzeylerde ise yayılma daha az olmakta ve yüzeyin düşük çekim kuvvetlerinden dolayı akışkanın bir araya toplayan yüzey gerilme enerjisi daha büyük değerlerde olmaktadır. Bu nedenle jet açısındaki artış her iki kontak açılı yüzeyler arasındaki D_{ED} farkını arttırmaktadır.

Jet açısının D_{ED} 'ye etkisi, bütün kontak açılı yüzeyler için 3 boyutlu olarak Şekil 4.40'ta görülmektedir. Kontak açısının her değerinde de D_{ED} 'deki jet açısına bağlı

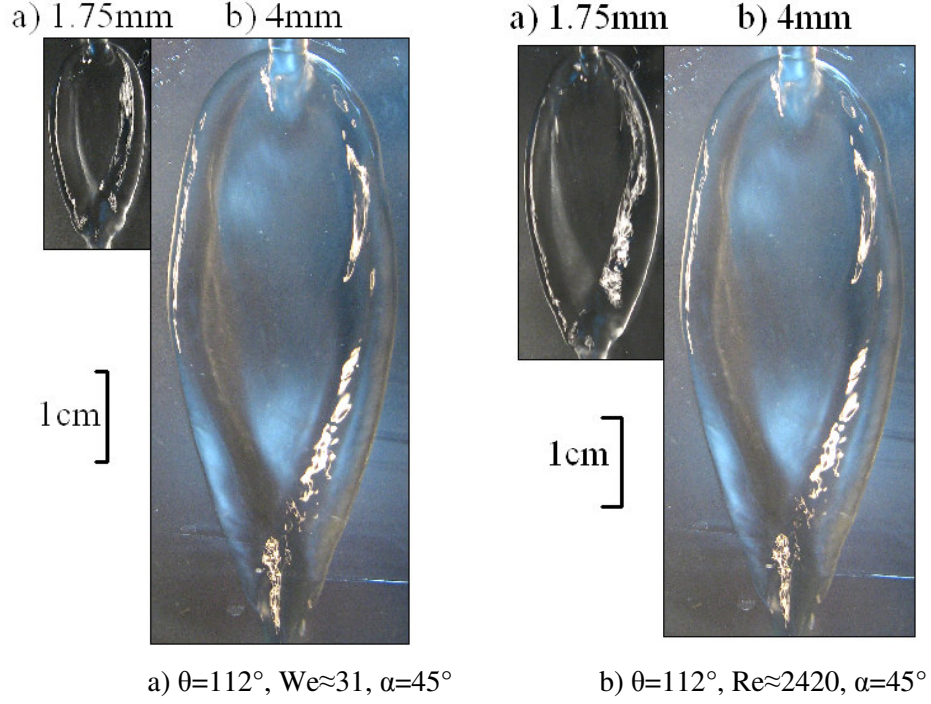
olan artış eğilimi aynı olmakla birlikte, düşük kontak açılarında jet açısı artışı D_{ED} 'yi büyük oranda arttırmakta kontak açısının yükselmesiyle bu artış eğilimi azalmaktadır.



Şekil 4.40: Eşdeğer çapın kontak açısının ıslanmaz özellikteki her değeri için farklı jet açılarındaki değişimi ($We=386$, $d=4$ mm)

4.5.3. Eşdeğer çapa nozul çapının etkisi

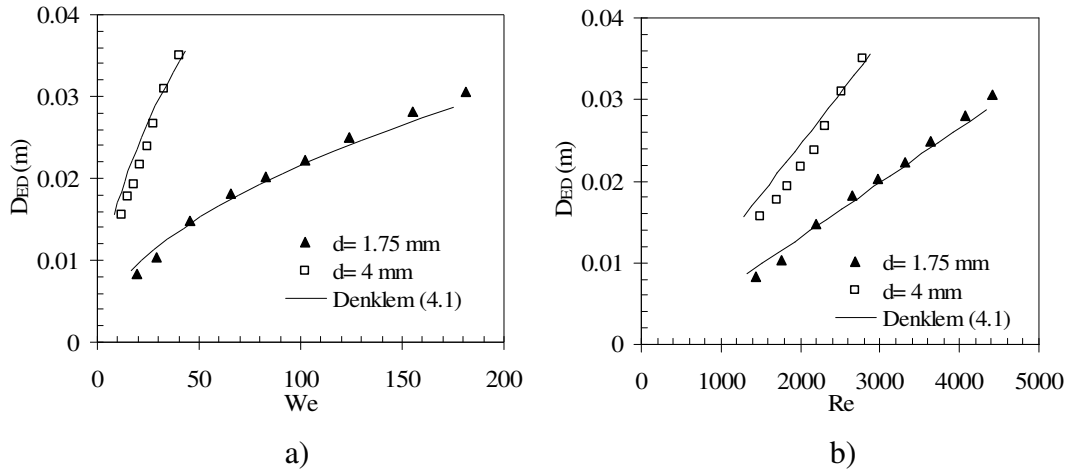
Akışkanın yüzeyde yayılması olayında nozul çapının etkisinin belirlenmesi için deneylerde 1.75 mm ve 4 mm çaplarında iki nozul kullanılmıştır. 112° kontak açısına sahip yüzeye 45° jet açısıyla gönderilen su jetinin her iki nozul için de yüzeydeki yayılması Şekil 4.41'de verilmiştir. Şekil 4.41 a'da aynı We sayısındaki resimler, Şekil 4.41 b'de ise aynı Re sayısındaki resimler görülmektedir. Her iki resim için de diğer bütün şartlar aynıdır. Resimlerden farklı çaplardaki nozullarla elde edilen yayılmalar arasında büyük farklar meydana geldiği anlaşılmaktadır. Yalnız aynı Re sayısındaki resimde aradaki fark aynı We sayısına göre biraz daha azalmaktadır.



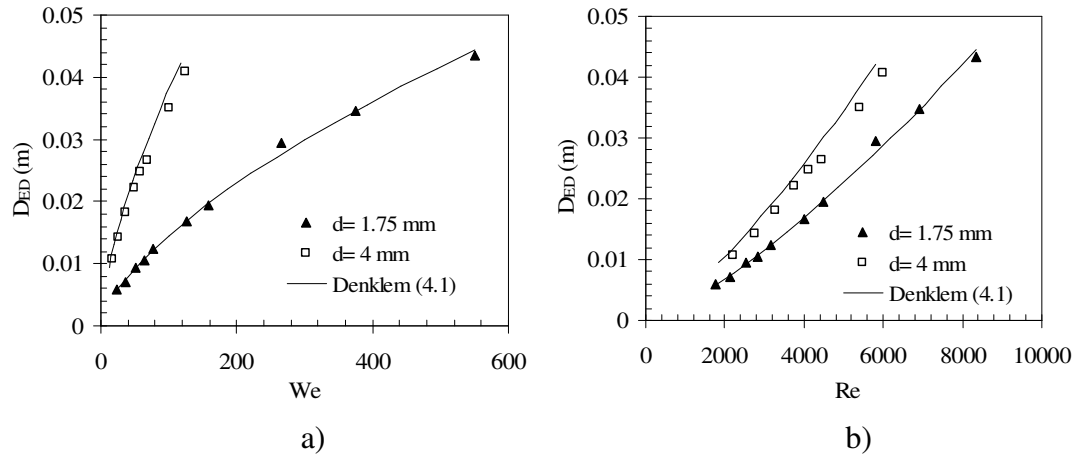
Şekil 4.41: 1.75 mm ve 4 mm çapındaki nozullarla ıslanmaz yüzeyde su jetinin yayılması

Farklı nozullarla yapılan deneylerde eşdeğer çap, We sayısı eğrilerinin her iki nozul için çok farklı çıktığı düşük kontak açısı için Şekil 4.42 a’da ve yüksek kontak açısı için Şekil 4.43 a’da görülmektedir. Aynı eğri Re sayısı ile çizildiğinde eğriler biraz daha birbirlerine yaklaşmaktadırlar (Şekil 4.42 b, Şekil 4.43 b).

Nozul çapındaki değişim yüzey gerilim kuvvetlerini etkilememekle birlikte atalet kuvvetlerini etkilemektedir. Aynı zamanda akışkanın yüzeyde daha fazla bir alana yayılmasıyla orantılı olarak sürtünme kuvvetlerini de etkilemektedir. Atalet ve sürtünme kuvvetlerinin her ikisini de ifade edebilen Re sayısı olduğu için farklı çaplardaki nozulları Re sayısı daha iyi ifade edebilmektedir (Şekil 4.42). Şekillerde, Denklem (4.1) ile çizilen eğrinin deneysel verilere çok yakın çıktığı görülmektedir. Yüksek kontak açısına sahip yüzeylerde de benzer davranış gözlenmektedir (Şekil 4.43). Yalnız yüksek kontak açısına sahip yüzeylerde her iki çapla elde edilen eşdeğer çap eğrileri birbirlerine biraz daha yakın değerlerde olmaktadır.

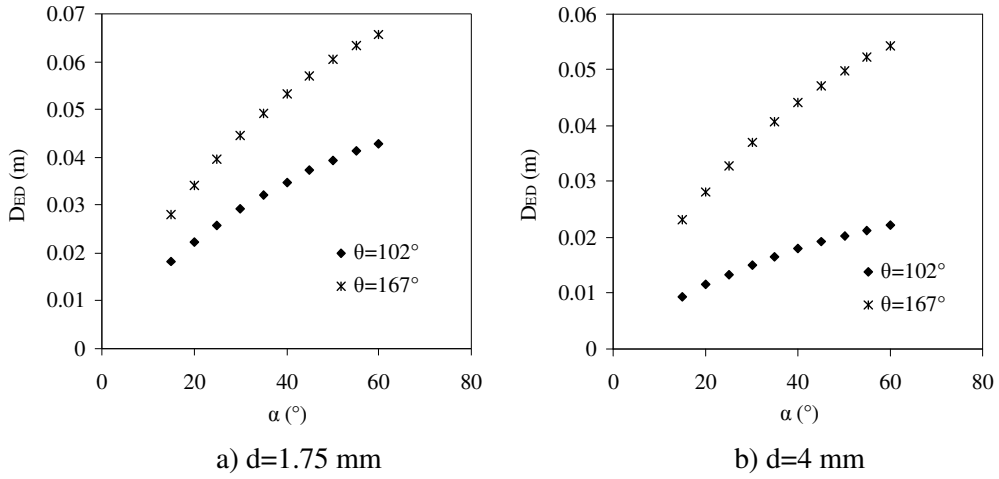


Şekil 4.42: Düşük kontak açısındaki ıslanmaz yüzeyde eşdeğer çapa farklı nozulların etkisi
a) We sayısı b) Re sayısı ($\theta = 112^\circ$, $\alpha = 30^\circ$)



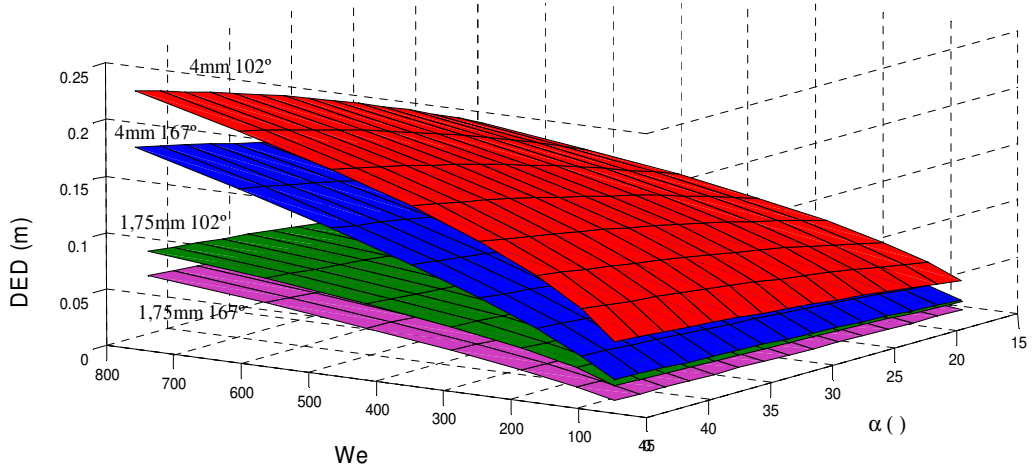
Şekil 4.43: Yüksek kontak açısındaki ıslanmaz yüzeyde eşdeğer çapa farklı nozulların etkisi
a) We sayısı b) Re sayısı ($\theta = 167^\circ$, $\alpha = 30^\circ$)

Şekil 4.44'te yüksek kontak açısına sahip olan 167° ve düşük kontak açısına sahip bir yüzey olan 102° ıslanmaz yüzeyde; 1.75 mm çapındaki nozulda her iki yüzey arasındaki D_{ED} farkı 4 mm çapındaki nozula göre daha az olmaktadır. Her iki grafikte de debi sabit tutulmuştur. Bu sebeple $Q = VA_{nozul}$ denklemiyle 1.75 mm çapındaki nozulda 4 mm çapındakine göre daha fazla bir akışkan hızı meydana gelecektir. Hızın artmasına paralel olarak sürtünmelerde artmaktadır. Böylece sıvının yüzeyde daha az yayılmasını sağlayan yüksek kontak açısının etkisi de azalacaktır. Sonuç olarak aynı debi sağlandığında büyük nozula göre düşük nozul çapında, kontak açısının etkisi azalmakta her iki çapla elde edilen eğriler birbirine daha yakın olmaktadır.



Şekil 4.44: 1.75 mm ve 4 mm çapındaki nozullarla ıslanmaz yüzeyde su jetinin yayılmasının jet açısı ile değişimi ($Q=0.5$ lt/dk)

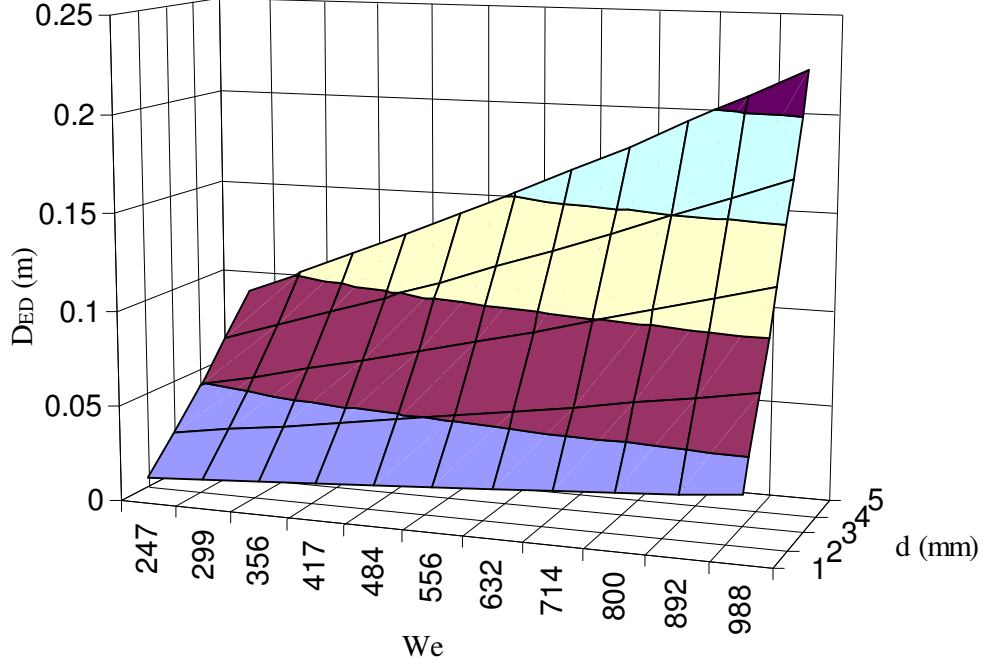
Nozul çapı farkının farklı kontak açısı ve We sayılarındaki etkisi Şekil 4.45'te aynı anda görülmektedir. 1.75 mm çapındaki nozulun farklı kontak açısında D_{ED} 'leri arasındaki fark 4 mm çapındaki nozula göre daha fazla olmaktadır. Bu fark bütün We sayılarına ve jet açısının her değerinde fazlalığını korumaktadır.



Şekil 4.45: Nozul çapı farkının farklı kontak açısı ve We sayılarındaki etkisi.

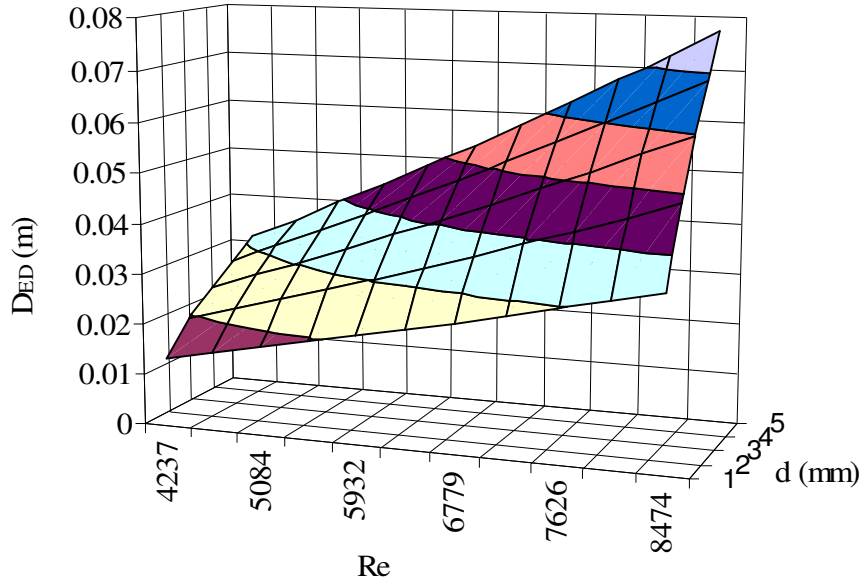
Farklı nozul çaplarının eşdeğer çapa etkisinin We sayısı ile değişiminin görülebilmesi için Şekil 4.46'daki 3 boyutlu grafik Denklem (4.1) kullanılarak çizilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi nozul çapındaki artış aynı We sayısında D_{ED} 'yi de arttırmaktadır. Bu artış düşük We sayılarında az değerlerde olmakta, We sayısının

artmasıyla artış oranı da artmaktadır. Aynı We sayısında nozul çapı ile D_{ED} doğru orantılı olarak değişmektedir.



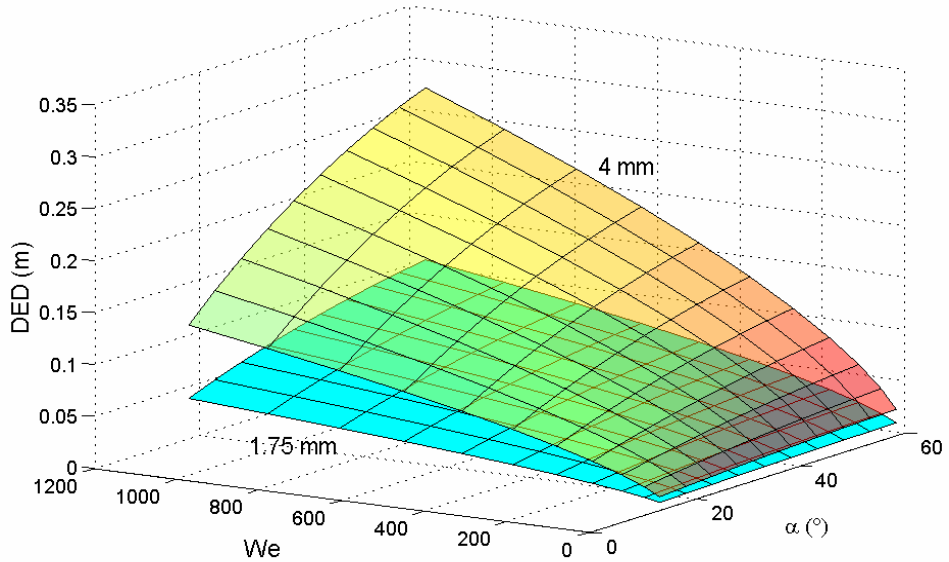
Şekil 4.46: Nozul çapının eşdeğer çapa etkisinin We sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$)

Şekil 4.46'daki Weber sayısı yerine Reynolds sayısı kullanılarak çizilen Şekil 4.47 grafiğinde, We sayısında olduğu gibi Re sayısında da nozul çapındaki artış D_{ED} 'yi arttırmakta fakat artış eğimi daha düşük değerlerde olmaktadır. Nozul çapındaki değişim atalet kuvvetlerini ve dolaylı olarak da sürtünme kuvvetlerini etkilemektedir. Her ikisini de bünyesinde barındıran boyutsuz sayı Re sayısıdır. Nozul çapındaki değişimin yüzey gerilim kuvvetleri üzerinde fazla bir etkisinin olmadığı düşünülmektedir. Fakat yine de yüzeyde akışkanın yayılmasında yüzey gerilim kuvvetlerinin etkisi olmakta sonuç olarak her iki boyutsuz sayı da akış olayını hiçbir durumda tek başına ifade edememektedir. Bu sonuçlardan We sayısı düşük atalet yüksek kontak açısında, Re sayısı ise düşük kontak açısı yüksek atalette daha önemli olduğu kanısına varılmıştır.



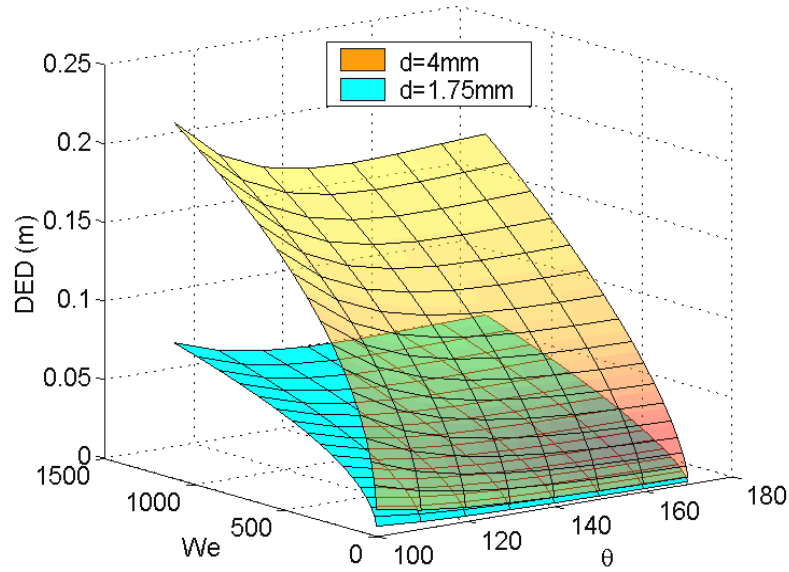
Şekil 4.47: Eşdeğer çapın farklı Re sayılarında nozul çapı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$)

İki farklı çaptaki nozulun eşdeğer çapa etkisinin We sayısı ile değişimi Şekil 4.48’de tek bir grafikte 3 boyutlu olarak çizilmiştir. We sayısının düşük değerlerinde her iki nozul arasındaki D_{ED} farkı az olmakta We sayısının artmasıyla aradaki fark da artmaktadır. Ayrıca jet açısının artmasıyla da nozullar arasındaki D_{ED} farkı artmaktadır.



Şekil 4.48: Farklı We sayıları ve jet açılarında iki farklı nozuldaki eşdeğer çap farkları ($\theta=167^\circ$)

Farklı kontak açısına sahip yüzeylerde nozul çapının eşdeğer çapa etkisi Şekil 4.49'da görülmektedir. Düşük kontak açılarında iki nozul çapının eşdeğer çapları arasındaki fark kontak açısının artmasıyla azalmaktadır. Kontak açısındaki artışla daha az bir alana yayılan akışkanın sürtünme kuvvetlerinin önemi azalmakta yüzey gerilim kuvvetlerinin önemini artmaktadır. Bu sebeple nozullar arasındaki farklar kontak açısının artışıyla birlikte azalmaktadır.



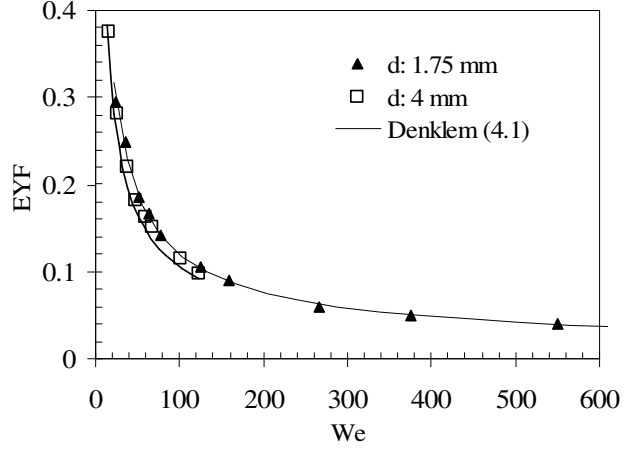
Şekil 4.49: Farklı We sayılarında kontak açısının ıslanmaz her değeri için iki farklı nozuldaki eşdeğer çap farkları ($\alpha=30^\circ$)

4.5.3.1. Eşdeğer yayılma faktörü (E.Y.F.)

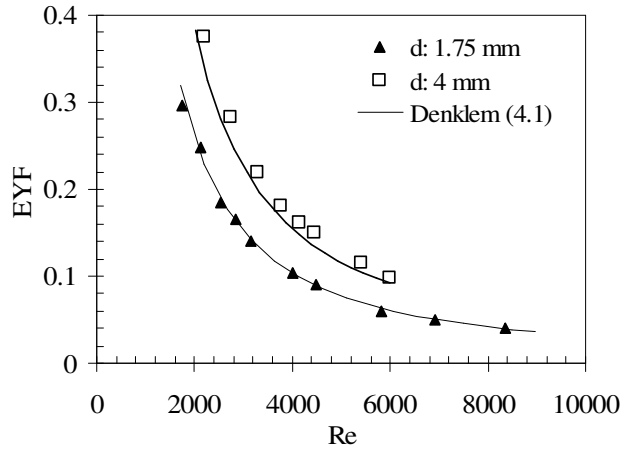
Farklı çaplardaki nozullarla elde edilen eşdeğer çapları nozul çapından bağımsız hale getirmek için eşdeğer yayılma faktörü tanımlanmıştır (Denklem (2.48)).

167° gibi yüksek kontak açısına sahip ıslanmaz yüzeyde, 1.75 mm ve 4 mm çaplarındaki nozulla elde edilen E.Y.F.'nin, We sayısı ile değişimi grafiğinin yaklaşık aynı eğri üzerinde çakıştığı Şekil 4.50'de görülmektedir. Çapı 4 mm olan nozulla yapılan deneylerden elde edilen E.Y.F, çapı 1.75 mm olan nozul ile elde edilenlere göre çok az daha düşük değerler almaktadır. Şekil 4.50'deki grafikte kullanılan Weber sayısı yerine Reynolds sayısı kullanılarak çizilen E.Y.F grafiğiyle iki eğri arasında belirgin bir fark olduğu Şekil 4.51'deki grafikten görülmektedir.

Burada We sayısına göre olay tersine dönmüş ve bu sefer 1.75 mm çapındaki nozul eşdeğer yayılma faktörü 4 mm çarpındaki nozula göre büyük oranda daha düşük değerlerde olmaktadır.



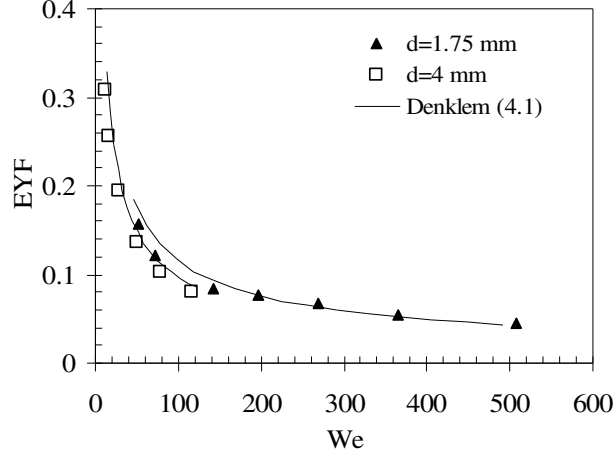
Şekil 4.50: Eşdeğer yayılma faktörünün We sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$)



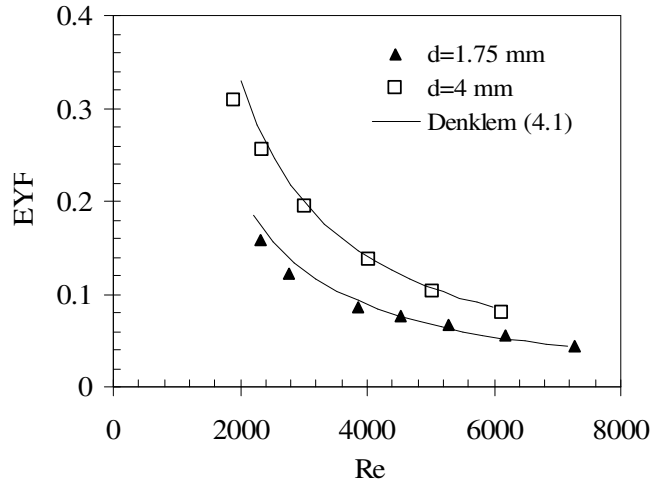
Şekil 4.51: Eşdeğer yayılma faktörünün Re sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$)

Şekil 4.52’de görülen grafikte kontak açısı 145° gibi çok yüksek olmayan bir ıslanmaz yüzeyde eşdeğer yayılma faktörünün We sayısı ile değişim grafiği görülmektedir. Burada 4 mm nozul ile 1.75 mm nozul arasında oluşan fark 167° kontak açılı yüzeyle yaklaşık aynı oranda olduğu görülmekte. Şekil 4.53’te ise aynı eğrinin Re sayısı ile eşdeğer yayılma faktörünün değişimi verilmiştir. 4 mm ile 1.75 mm nozul aralarındaki fark yine ters dönmüş 1.75 mm sonuçları daha düşük değerler

almıştır. Her iki kontak açısıyla elde edilen eğriler arasındaki farklar yaklaşık olarak aynı oranda olmaktadır.

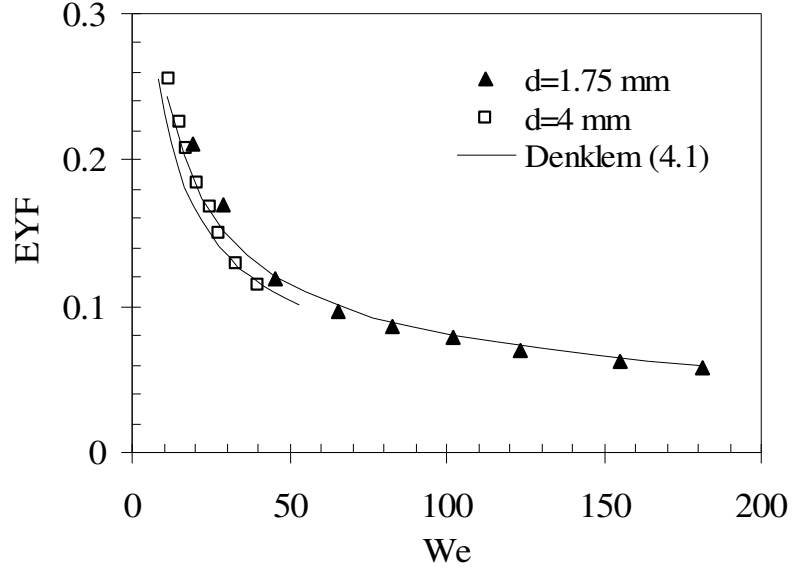


Şekil 4.52: Eşdeğer yayılma faktörünün We sayısı ile değişimi ($\theta=145^\circ$, $\alpha=30^\circ$)

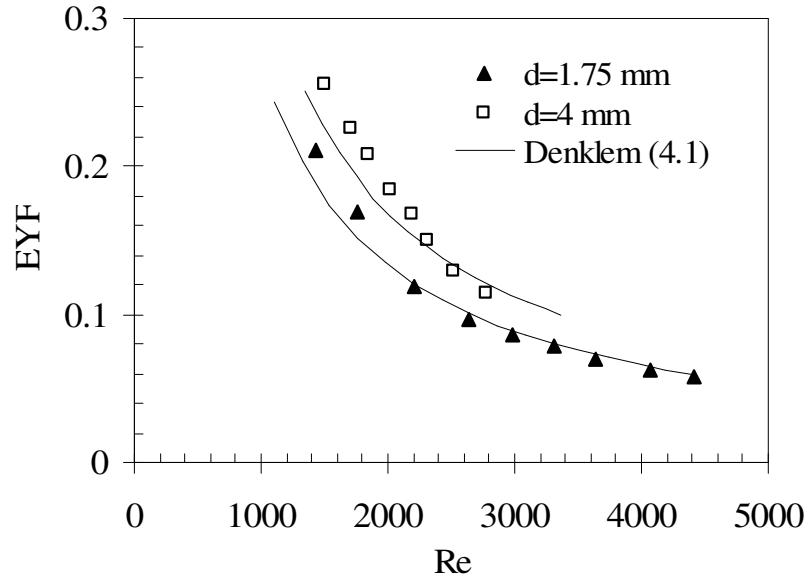


Şekil 4.53: Eşdeğer yayılma faktörünün Re sayısı ile değişimi ($\theta=145^\circ$, $\alpha=30^\circ$)

Şekil 4.54'te kontak açısı 112° gibi düşük bir değerde olan bir ıslanmaz yüzeyde eşdeğer yayılma faktörünün Weber Sayısı ile grafiği görülmektedir. Her iki nozulla elde edilen eğriler arasındaki farklar yine aynı yaklaşıklıkta olmaktadır. Şekil 4.55'te görüldüğü gibi aynı eğri Re sayısı ile çizildiğinde de genel davranışta bir değişiklik gerçekleşmemektedir.

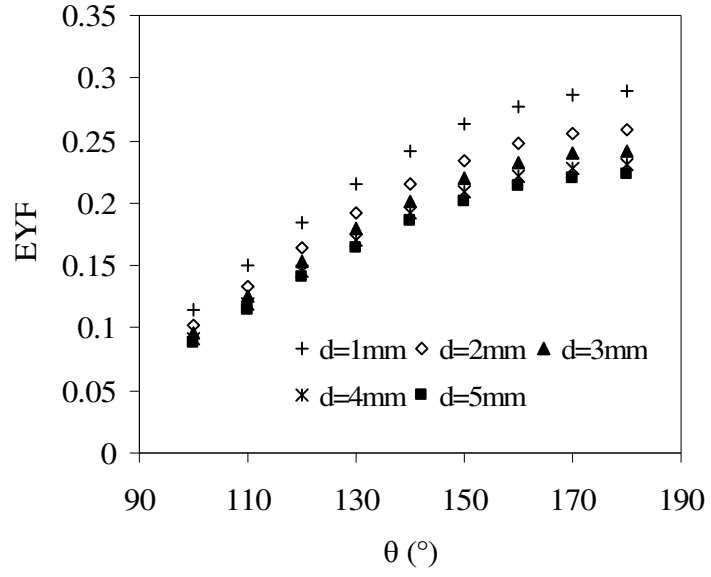


Şekil 4.54: Eşdeğer yayılma faktörünün We sayısı ile değişimi ($\theta=112^\circ$, $\alpha=30^\circ$)



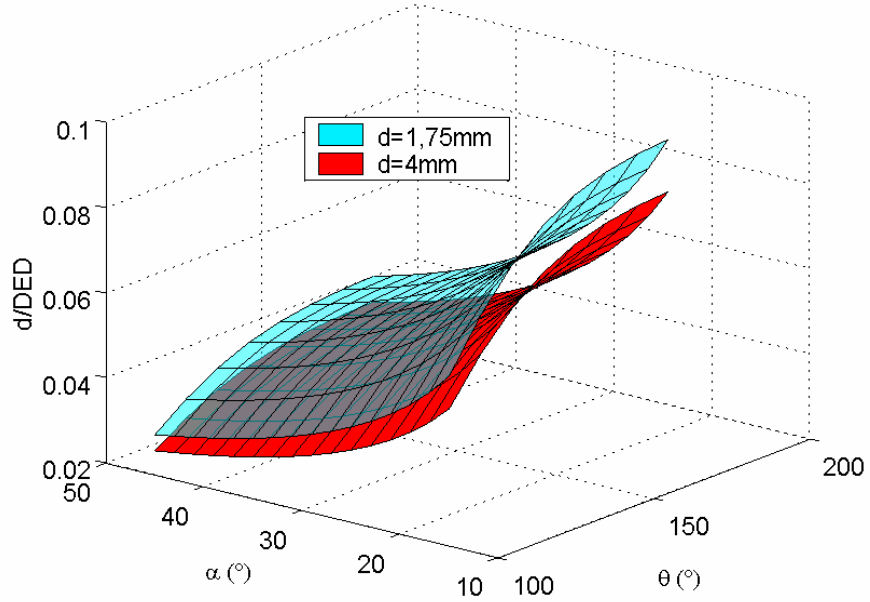
Şekil 4.55: Eşdeğer yayılma faktörünün Re sayısı ile değişimi ($\theta=112^\circ$, $\alpha=30^\circ$)

Denklem (2.48)'de ifade edilen E.Y.F. denklemi kullanılarak farklı kontak açılarında nozul çapı değişiminin E.Y.F.'ye etkisinin görülebilmesi için Şekil 4.56 çizilmiştir. Büyük nozul çaplarında elde edilen E.Y.F. aralarındaki farklar daha az olmakta nozul çapının küçük değerlerinde ise fazla olmaktadır.



Şekil 4.56: Eşdeğer yayılma faktörünün kontak açısının ıslanmaz her değeri için farklı nozullardaki değişimi ($We=247$, $\alpha=30^\circ$)

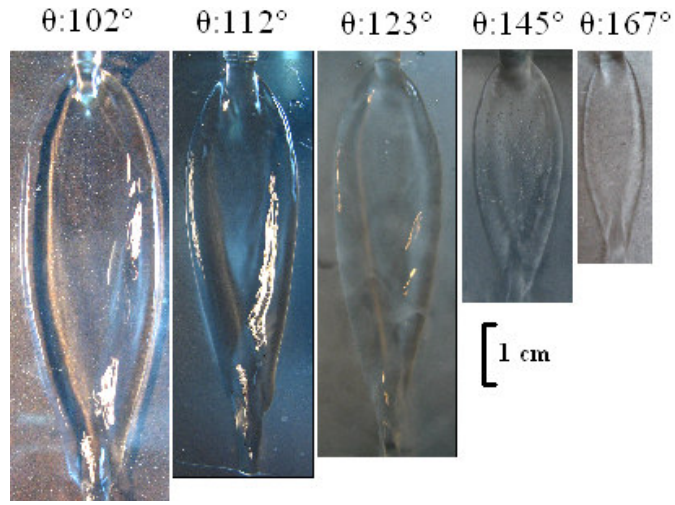
Kontak açısının ve jet açısının her değerinde farklı nozullardaki E.Y.F. farkı Şekil 4.57'de 3 boyutlu olarak verilmiştir. Kontak açısının ve jet açısının her değerinde her iki nozulla elde edilen E.Y.F. arasındaki fark az miktarda ve aynı oranda olmaktadır.



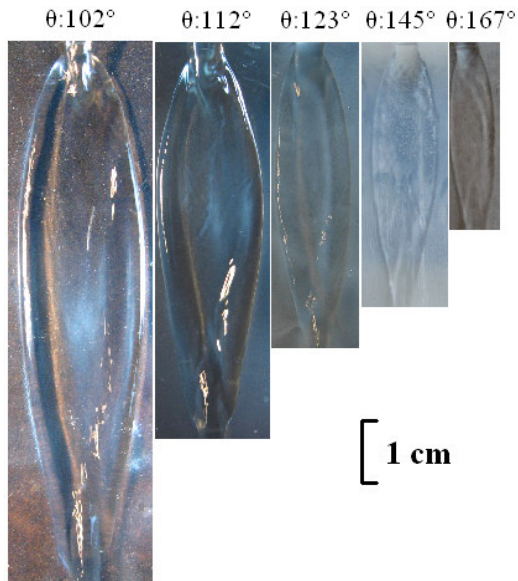
Şekil 4.57: Eşdeğer yayılma faktörünün kontak açısının ıslanmaz her değeri için farklı jet açılarındaki iki nozul için değimi ($We=288$, $\alpha=30^\circ$)

4.5.4. Eşdeğer çapa kontak açısının etkisi

Şekil 4.58'de aynı jet açısında ve yaklaşık olarak aynı We sayısında farklı kontak açılara sahip yüzeyler üzerinde akışkanın yayılması görülmektedir. Kontak açısı arttıkça akışkanın yüzeyde yayılması azalmakta, özellikle yüksek kontak açılarında fark önemli ölçüde artmaktadır. Aynı durum farklı jet açılarında da değişmemektedir (Şekil 4.59).

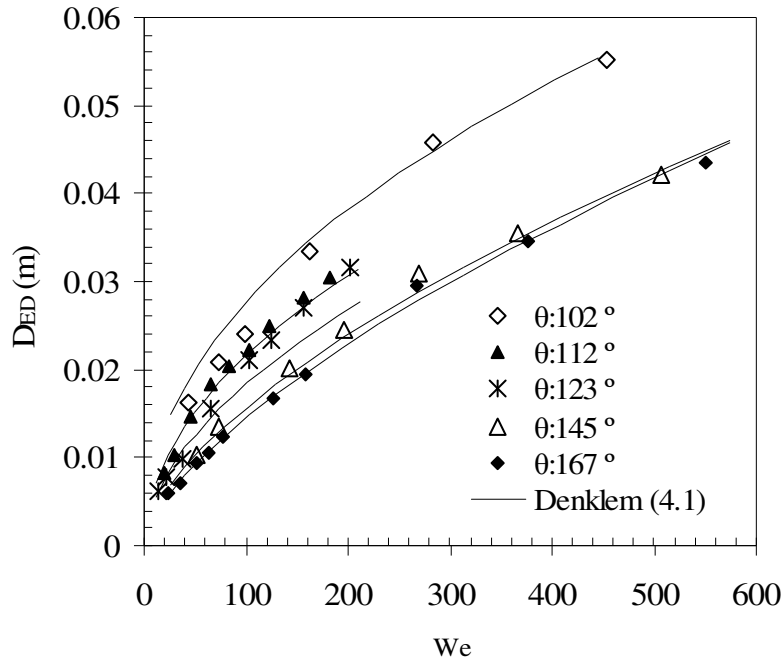


Şekil 4.58: Farklı kontak açılarında aynı Weber sayısında akışkanın yüzeyde yayılımı görüntüleri (We≈35, α=30°)

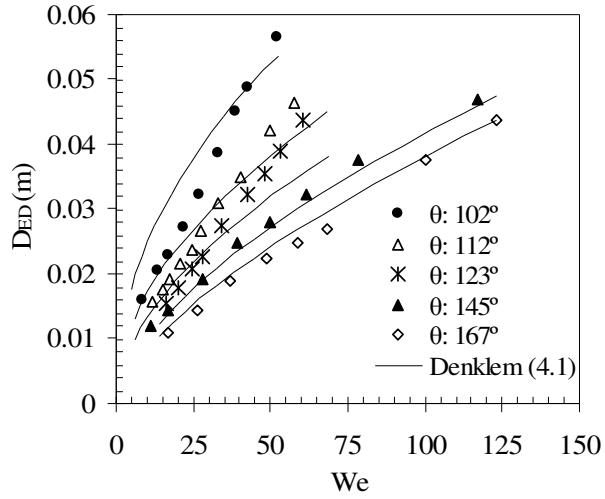


Şekil 4.59: Farklı kontak açılarında aynı Weber sayısında akışkanın yüzeyde yayılımı görüntüleri (We≈44, α=20°)

Şekil 4.60'ta 1.75 mm, Şekil 4.61'de ise 4 mm nozul kullanılarak farklı kontak açısındaki yüzeylerin eşdeğer çapa etkilerini gösteren grafikler verilmiştir. Grafiklerde görüldüğü gibi 1.75 mm çapındaki su jetinde farklı kontak açılarındaki eşdeğer çaplar arasındaki farklar 4 mm çapındaki su jetine oranla daha az olmaktadır. Deneylerde aynı alana sahip yüzeyler kullanıldığından her bir çaptaki nozulda da aynı alanı kaplayabilecek akışkan yüzeye gönderilmiştir. Dolayısıyla su jeti, 1.75 mm nozulla daha yüksek Weber sayılarına çıkmıştır. Su jetinin hızı arttıkça çarpma sonucu yüzeyde oluşan akış daha karmaşık bir hal almakta, türbülanslar, girdaplar ve sürtünmelerle birlikte kayıplar artmakta ve atalet büyük oranda azalmaktadır. Bunun sonucu olarak 1.75 mm nozulda Weber arttıkça eşdeğer çaptaki azalma eğilimi fazla olmakta 4 mm nozuldaki azalma eğilimi ise daha az olmaktadır. 4 mm çapındaki nozulla aynı alanda yayılma gerçekleştirildiği için yüksek We sayılarına çıkılamamıştır. 4 mm nozulda da eşdeğer çapın yüksek Weber sayılarına çıktığında azalma eğiliminde olacağı düşünülmektedir. Elde edilen D_{ED} denklemi (Denklem (4.1)) bu görüşü doğrulamaktadır.

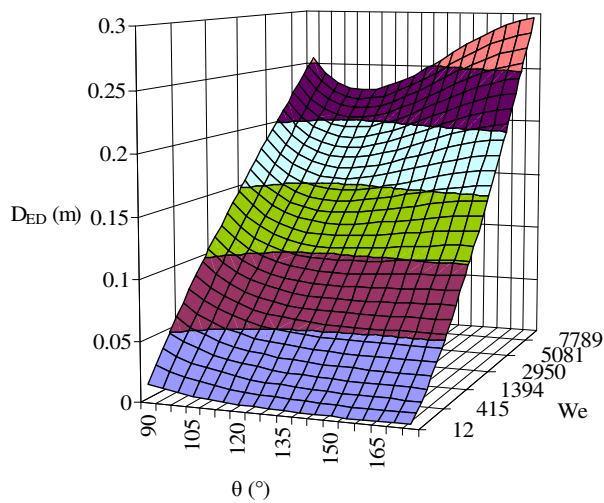


Şekil 4.60: Farklı kontak açıları için eşdeğer çapın We sayısı ile değişimi ($\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm)



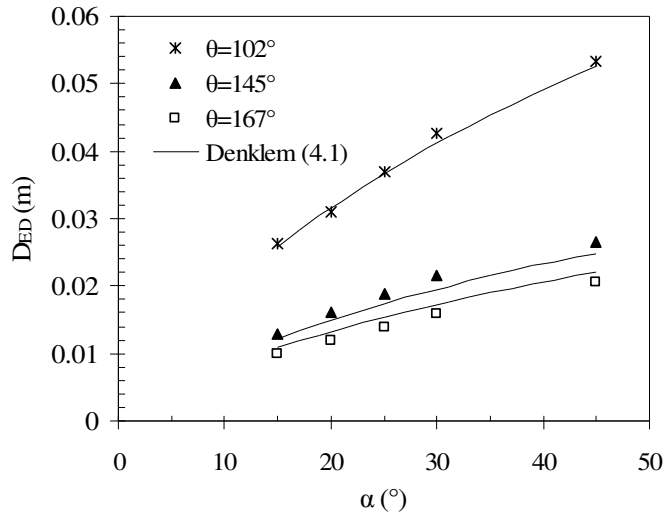
Şekil 4.61: Farklı kontak açıları için eşdeğer çapın We sayısı ile değişimi ($\alpha=30^\circ$, $d=4$ mm)

Denklem (4.1) kullanılarak Şekil 4.62'deki 3 boyutlu yüzey elde edilmiştir. Şekil, farklı We sayılarında, yüzeyin kontak açısı değişiminin D_{ED} 'ye etkisini göstermektedir. We sayısının düşük değerlerinde kontak açısındaki artışla başlangıçta D_{ED} büyük oranda azalmakta (yaklaşık $130-140^\circ$ civarına kadar) daha sonra azalma oranı düşmektedir. We sayısının değerinin büyümesi ile başlangıçtaki düşüş oranı daha da artmakta fakat bu düşüşün bittiği kontak açısı değeri de azalmaktadır. We sayısının belli bir değerinde kontak açısındaki artış D_{ED} 'yi etkilememektedir. We sayısının bundan sonraki bölümlerinde de D_{ED} belli bir kontak açısında minimumdan geçerek kontak açısının artmasıyla artmaktadır.

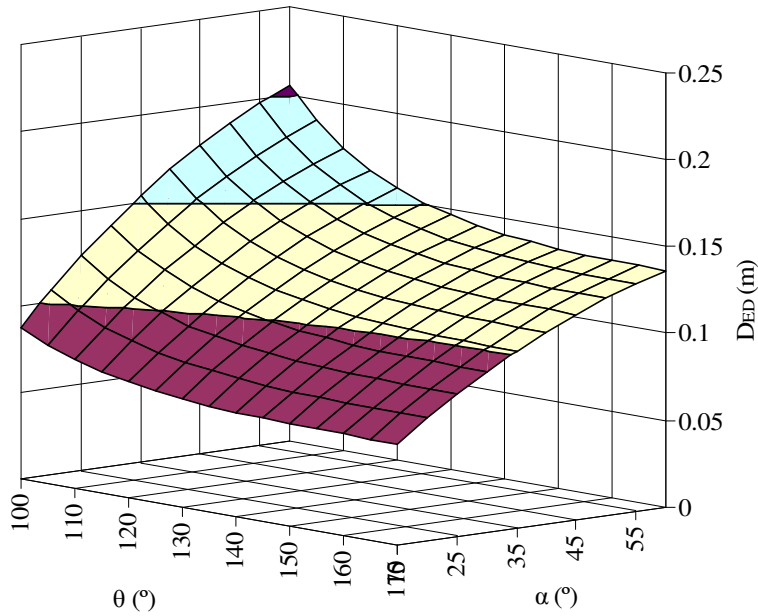


Şekil 4.62: Kontak açısının ıslanmaz özellikte olan her değeri için eşdeğer çapın We sayısı ile değişimi ($\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm)

Şekil 4.63'te farklı jet açılarında kontak açısının eşdeğer çapa etkisi görülmektedir. Aynı şeklin bütün kontak açılarında görülebilmesini sağlamak için de Şekil 4.64 çizilmiştir. Bütün jet açısı değerlerinde de kontak açısındaki artış D_{ED} 'nin azalmasına sebep olmaktadır. Jet açısı arttıkça düşük kontak açılarında eşdeğer çap yüksek değerlerde olmaktadır. Kontak açısının artmasıyla başta büyük azalma eğilimiyle azalmaya başlayan D_{ED} , kontak açısının yaklaşık olarak yine 130° - 140° değerlerinde bu azalma eğilimi büyük oranda düşmektedir.



Şekil 4.63: Eşdeğer çapın farklı kontak açılarındaki jet açısı ile değişimi ($We \approx 28$, $d=4$ mm)

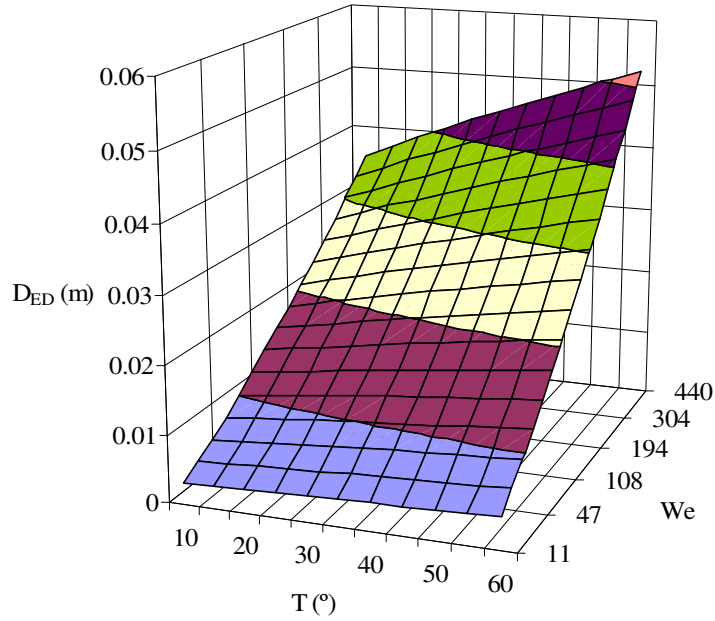


Şekil 4.64: Eşdeğer çapın farklı jet açılarındaki kontak açısı ile değişimi ($We=386$, $d=4$ mm)

4.5.5. Eşdeğer çapa akışkan sıcaklığının etkisi

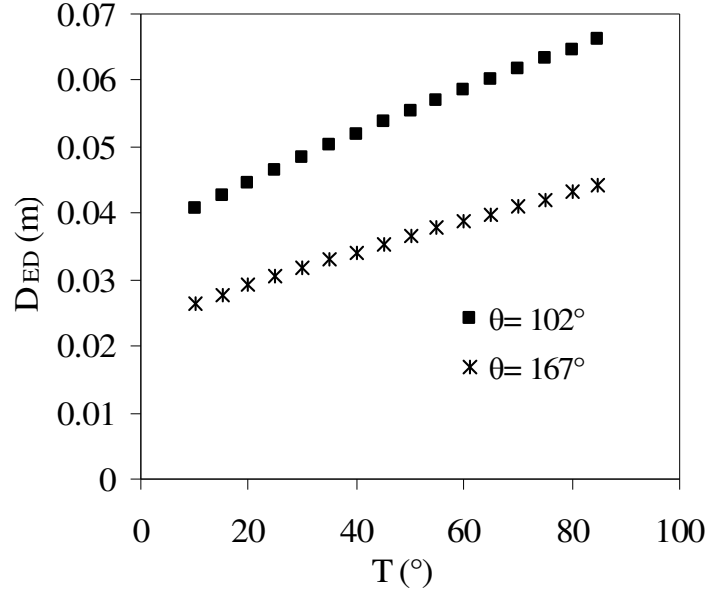
Her ne kadar deneylerde farklı viskozitedeki akışkanlar kullanılsa da kullanılan akışkanın sıcaklığı ile viskozite ve yüzey gerilimi değişmiş ve bu değişimler hesaplamalarda Re ve We sayılarına yansıtılmıştır. Denklem (4.1) ile farklı sıcaklıklardaki suyun verileri kullanılarak Şekil 4.65 çizilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi düşük We sayılarında sıcaklıktaki artışla D_{ED} 'de düşük oranlarda artış gerçekleşmekte ve We sayısı arttıkça bu oran artmaktadır.

Akışkanın sıcaklığındaki artış moleküller arasındaki çekim kuvvetlerini zayıflatacağından dolayı sıvı daha fazla bir alana yayılacak dolayısıyla D_{ED} artacaktır. Ayrıca bu çekim kuvvetlerindeki zayıflama sürtünmeleri de azaltacaktır.

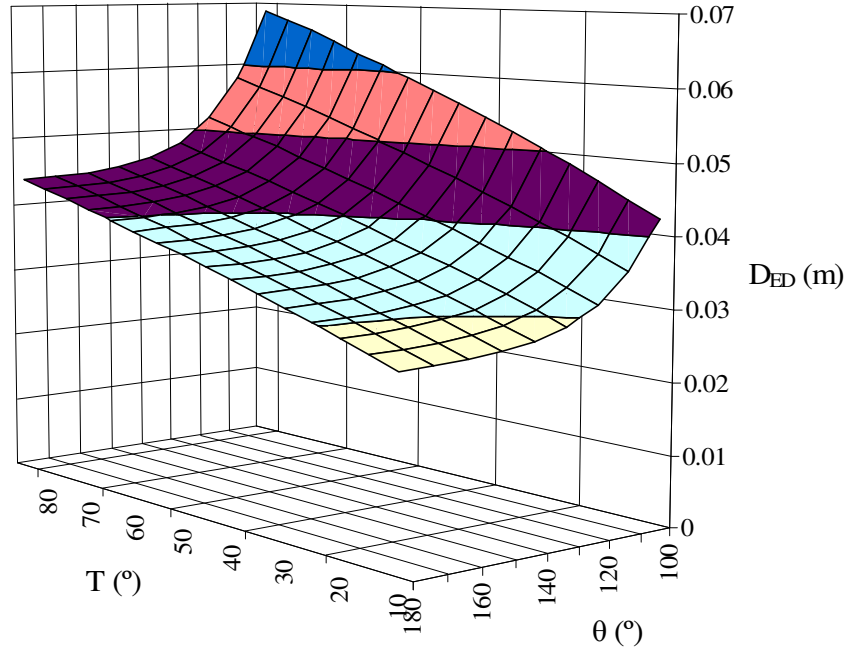


Şekil 4.65: Farklı sıcaklıklarda eşdeğer çapın We sayısı ile değişimi
($d=1.75$ mm, $\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$)

Düşük kontak açılı 102° ve yüksek kontak açılı 167° ıslanmaz yüzey için sıcaklığın D_{ED} 'ye etkisi Şekil 4.66'da görülmektedir. Sıcaklığın artması her iki yüzeyde de D_{ED} 'yi arttırmakta fakat düşük kontak açısına sahip (102°) yüzeyde artış eğilimi daha büyük olmaktadır. Bu durum farklı kontak açılı yüzeylerin hepsi için Şekil 4.67'de 3 boyutlu olarak görülmektedir.

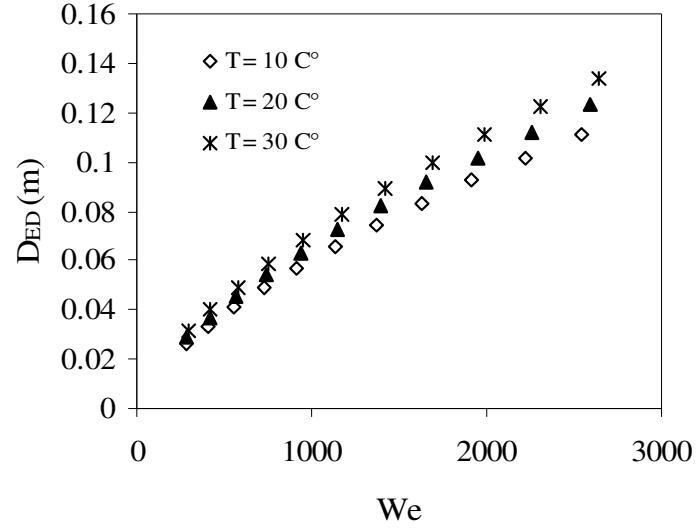


Şekil 4.66: Eşdeğer çapın iki kontak açısı için sıcaklık ile değişimi ($d=1.75$ mm, $\alpha=30^\circ$, $Q=0,5$ lt/dk(sabit))



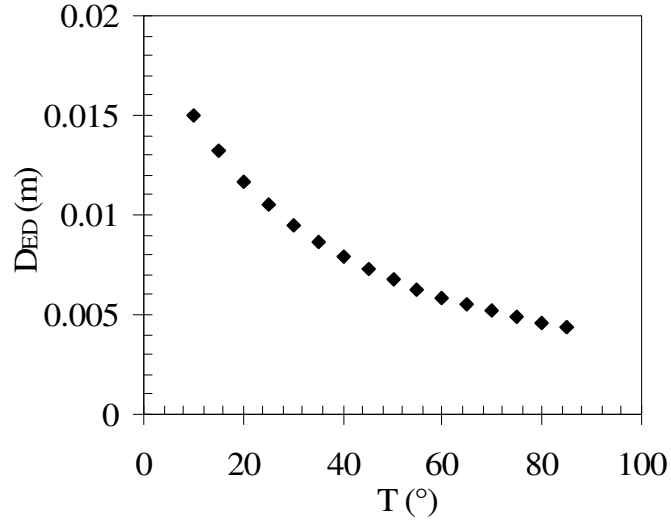
Şekil 4.67: Kontak açısının ıslanmaz özellikteki değerleri için eşdeğer çapın sıcaklık ile değişimi ($\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm)

Farklı sıcaklıktaki akışkanın We sayısı ile değişiminin D_{ED} 'ye etkisi Şekil 4.68'de verilmiştir. We sayısının düşük değerlerinde farklı sıcaklıktaki akışkanla elde edilen D_{ED} aralarındaki fark az olmakta, We sayısındaki artışla aradaki fark da artmaktadır.



Şekil 4.68: Farklı sıcaklıktaki akışkanın We sayısı ile değişiminin eşdeğer çapa etkisi
($d=1.75$ mm, $\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$)

Re sayısı sabit tutularak sıcaklık arttırıldığında D_{ED} büyük oranda düşmekte (Şekil 4.69), bu düşüş oranı sıcaklığın arttırılması ile azalmaktadır.



Şekil 4.69: Sabit Re sayısında sıcaklığın eşdeğer çapa etkisi
($Re=2186$ (sabit), $d=4$ mm, $\alpha=30^\circ$)

4.5.6. Eşdeğer çap özet

Tablo 4.2'de ıslanmaz yüzeye çarpan su jetinin yüzeyde yayılmasına (eşdeğer çap) etki eden parametrelerin etki şekilleri tek bir tabloda verilmiştir. tabloda akışkan

sıcaklığı dışındaki bütün sonuçlar deney verileriyle elde edilmiş olan sonuçlardır. Yalnız akışkan sıcaklığının etkisi Denklem (4.1) kullanılarak elde edilmiştir.

Tablodan görüldüğü gibi kontak açısı hariç bütün parametrelerdeki artış su jetinin ıslanmaz yüzeyde daha fazla bir alana yayılmasına sebep olmaktadır. Yalnızca kontak açısındaki artış yayılmanın azalmasına sebep olmaktadır.

Tablo 4.2: Su jetinin ıslanmaz yüzeyde yayılmasına (eşdeğer çap) etki eden parametrelerin etki şekilleri

	Reynolds (↑)	Weber (↑)	Jet açısı (↑)	Kontak açısı (↑)	Nozul çapı (↑)	Akışkan Sıcaklığı (↑)
Yayılma (Eşdeğer Çap)	↑	↑	↑	↓	↑	↑

Tablo 4.2’de kullanılan Reynolds ve Weber sayıları, deneylerde su jetinin debisi dolayısıyla hızı değiştirilerek değişimi sağlanmıştır. Fakat suyun sıcaklığındaki değişim bu sayılarda kullanılan viskozite ve yüzey gerilimine yansıtılmıştır. Sonuç olarak tabloda verilen sonuçlar daha çok atalet kuvvetlerindeki değişimin karşılığı olmaktadır. Bu sebeple Denklem (4.1) kullanılarak viskozite, yüzey gerilimi ve su jetinin hızının ayrı ayrı etkilerinin tahmin edilebilmesi için Tablo 4.3 verilmiştir. Su jetinin hızının artmasıyla atalet kuvvetleri artmakta böylece akışkan daha fazla bir alana yayılmaktadır. Viskozite ve yüzey geriliminin her ikisinin de artmasıyla su jetinin yayılması artmaktadır. zaten viskozitedeki artış Re sayısını yüzey gerilimindeki artış da We sayısını arttıracığından Tablo 4.2’de verilen Re ve We etkisi sonuçlarıyla aynı sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 4.3: Su jetinin ıslanmaz yüzeyde yayılmasında etkili olan Re ve We sayılarını ifade eden parametreler

	Viskozite (↑)	Yüzey gerilimi (↑)	Su jeti hızı (↑)
Yayılma (Eşdeğer Çap)	↓	↓	↑

4.6. Uzama Faktörü (U.F)

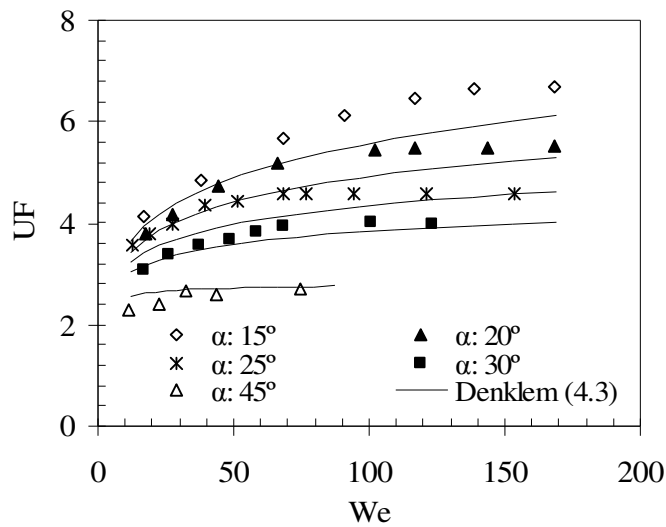
Denklem (2.47) ile tanımlanan uzama faktörü su jetinin yüzeydeki yayılımını karakterize eden diğer bir büyüklüktür. Jet açısı, $\alpha=90^\circ$ olduğunda uzama faktörü 1'e eşit olacaktır. Yani yüzey üzerinde eksenel simetrik bir yayılım gerçekleşecektir.

Uzama faktörü için 350 deney verisi kullanılarak tarafımızdan geliştirilen eşitlik Denklem (4.3)'te verilmiştir. Denklemde $r=0.94$, $R^2=0.90$ 'dır.

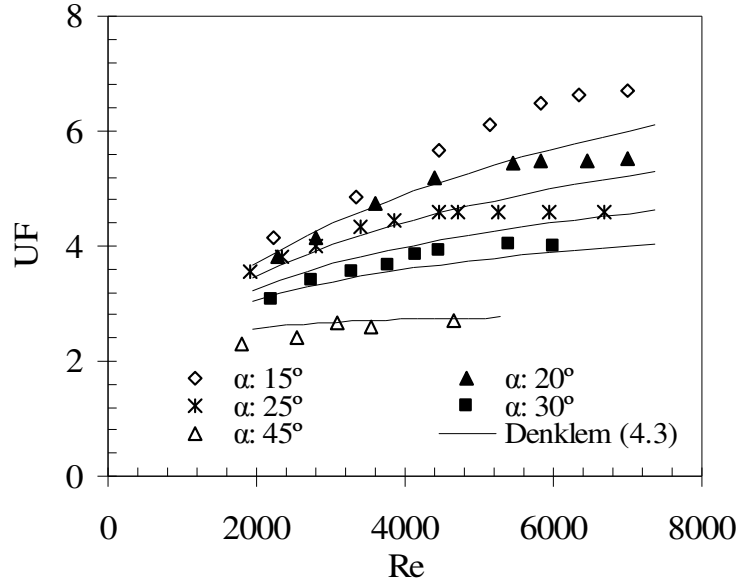
$$UF = 3.28 \cdot 10^{-4} (\ln Re)^{4.727} (We^{\sin \alpha})^{-0.361} (\Phi)^{0.056} (\sin \alpha)^{0.046} \quad (4.3)$$

4.6.1. Uzama faktörüne Weber ve Reynolds sayılarının etkileri

Şekil 4.70'te 167° kontak açısına sahip süper ıslanmaz bir yüzeyde uzama faktörünün farklı jet açılarında We sayısı ile değişim grafiği görülmektedir. Aynı jet açısında su hızının (We) artırılması, belirli bir hıza kadar U.F'yi artırmakta fakat daha sonra hızdaki artışlar U.F'yi etkilememektedir. Bu geçiş jet açısı değeri, α arttıkça daha düşük hızlarda gerçekleşmektedir. Aynı eğrinin Re ile çizilen grafiğinde de aynı sonuçlar görülmektedir (Şekil 4.71). Bu sebeple U.F'ye We sayısı ve Re sayısının ikisinin de etkisinin aynı oranda olduğu düşünülmektedir.

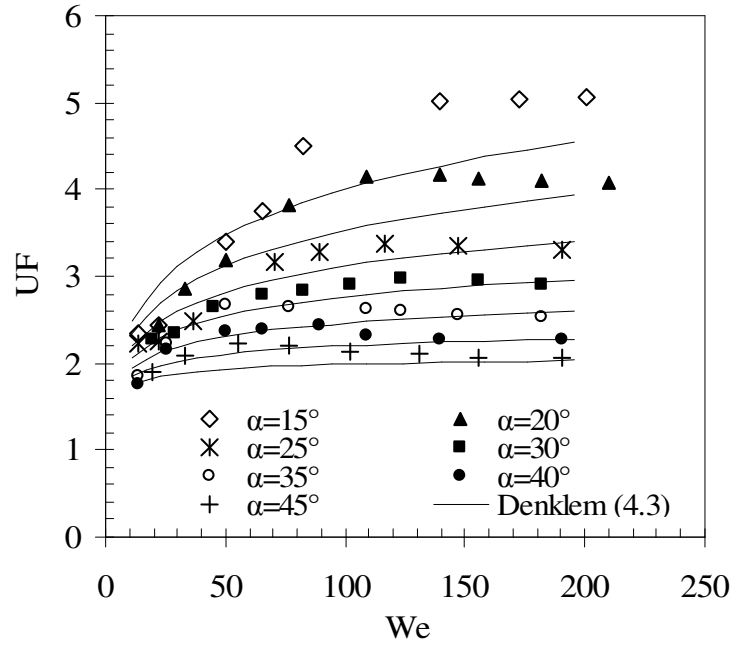


Şekil 4.70: Weber sayısı ve jet açısının uzama faktörüne etkisi ($\theta=167^\circ$, $d=4$ mm).

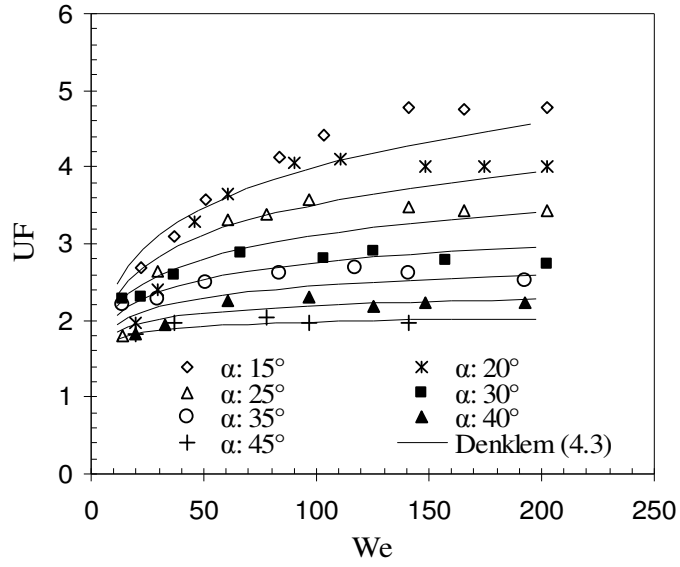


Şekil 4.71: Weber sayısı ve jet açısının uzama faktörüne etkisi ($\theta=167^\circ$, $d=4$ mm)

Şekil 4.72’de kontak açısı 112° ve Şekil 4.73’te kontak açısı 123° olan düşük kontak açılı ıslanmaz yüzeydeki uzama faktörünün We ile değişim grafiği görülmektedir. Şekillerden yüksek kontak açılı yüzeye yaklaşık olarak aynı davranışı gösterdiği görülmektedir.



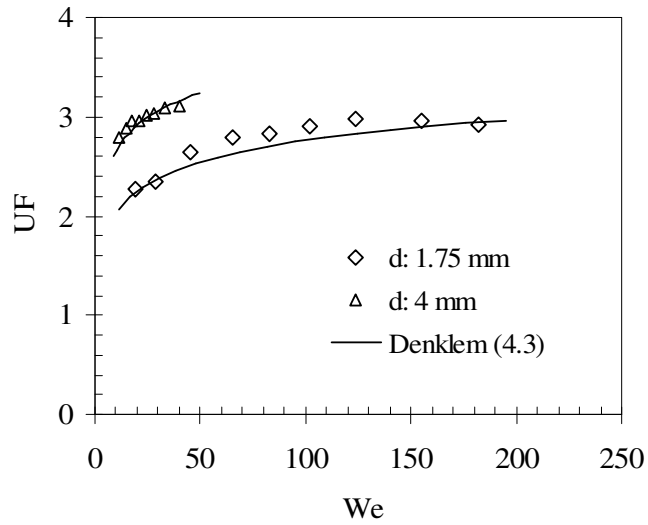
Şekil 4.72: Weber sayısı ve jet açısının düşük açıdaki ıslanmaz yüzeyler üzerindeki uzama faktörüne etkisi ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm)



Şekil 4.73: Uzama faktörünün farklı jet açılarında We sayısı ile değişimi ($\theta=123^\circ$, $d=1.75$ mm)

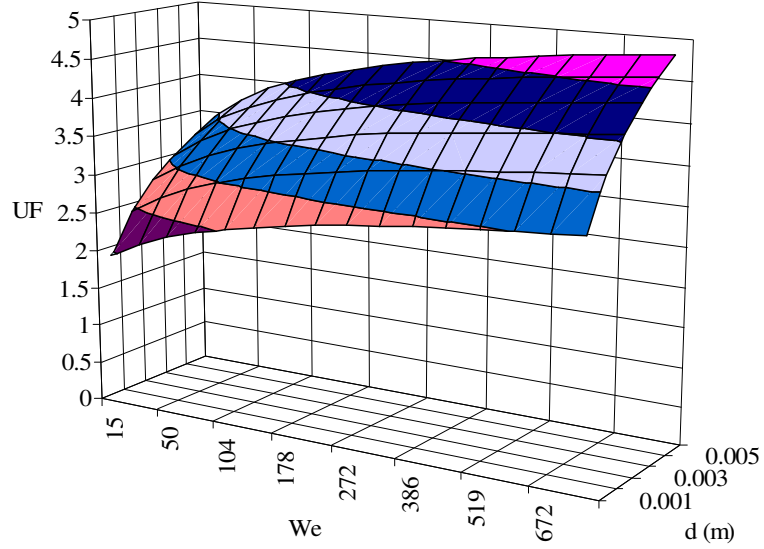
4.6.2. Uzama faktörüne nozul çapının etkisi

Su jetinin yüzeyle yaptığı jet açısı sabit tutulup, sadece su jetinin çapı değiştirilerek, uzama faktörünün Weber ile değişimi incelendiğinde, atalet kuvvetleri artıka U.F'nin büyük nozulda daha fazla arttığı Şekil 4.74'te görülmektedir. Bu deney diğer kontak açılı yüzeylerde farklı jet açılarında tekrarlandığında benzer sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.74: Su jeti çapının uzama faktörü üzerindeki etkisi ($\theta=112^\circ$, $\alpha=30^\circ$)

Nozul çapının, farklı We sayılarında U.F'ye etkisi Şekil 4.75'te görülmektedir. We sayısının değeri ne olursa olsun nozul çapındaki artış U.F'yi azalan bir eğimle arttırmaktadır.



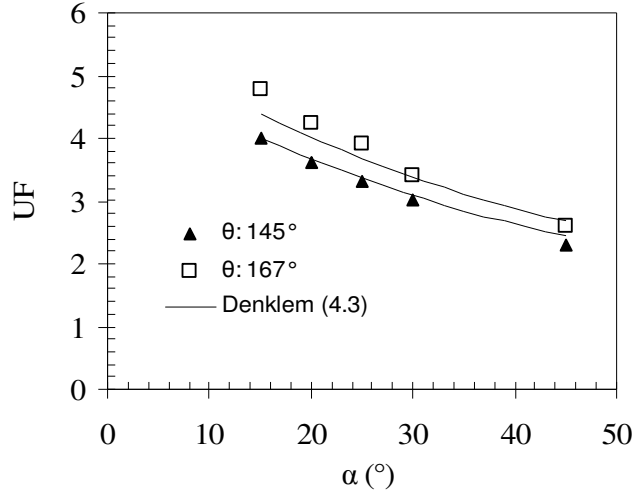
Şekil 4.75: Uzama faktörünün farklı We sayılarında jet çapı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$)

4.6.3. Uzama faktörüne kontak açısının etkisi

Şekil 4.76'da farklı iki kontak açısındaki yüzeyde aynı We sayılarında uzama faktörleri aralarındaki farkların jet açısı ile değişimi görülmektedir. Jet açısı arttıkça uzama faktörü lineer olarak azalmaktadır. Ayrıca her iki kontak açılarındaki U.F arasındaki fark da azalmaktadır. Bu durumdan 145° kontak açısına sahip yüzeyde 167° kontak açısındaki yüzeye göre uzunluğun genişliğe göre daha az olduğu anlaşılmaktadır.

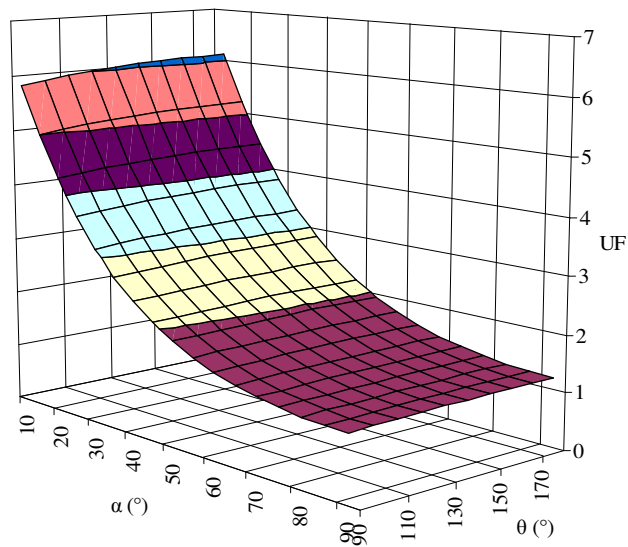
Yüzeyin kontak açısı arttıkça akışkan ile aralarındaki çekim kuvvetleri azalmakta böylece yüzeye çarpan akışkan yüksek kontak açısına sahip yüzeyde suyun yüzey gerilimi ile yanlara çok fazla yayılamamaktadır. Kontak açısı düştükçe yüzeyle akışkan arasında artan çekim kuvvetleri yanlara yayılmayı kolaylaştırmaktadır. Aynı zamanda 167° kontak açılı malzeme su yüzeyden yansıması 145° 'e göre daha erken olmaktadır. Eşdeğer çapa kontak açısının etkisinden bahsedilirken verilen Şekil 4.58 ve Şekil 4.59'da görüldüğü gibi kontak açısı düştükçe akışkanın hem boyu

hem genişliği artmakta fakat boyun genişliğe oranına (U.F) bakıldığında jet açısındaki artmayla artış oranı azalmaktadır.



Şekil 4.76: Uzama faktörünün farklı kontak açılarında kıyaslaması için jet açısı ile değişimi (d=4 mm, We≈27)

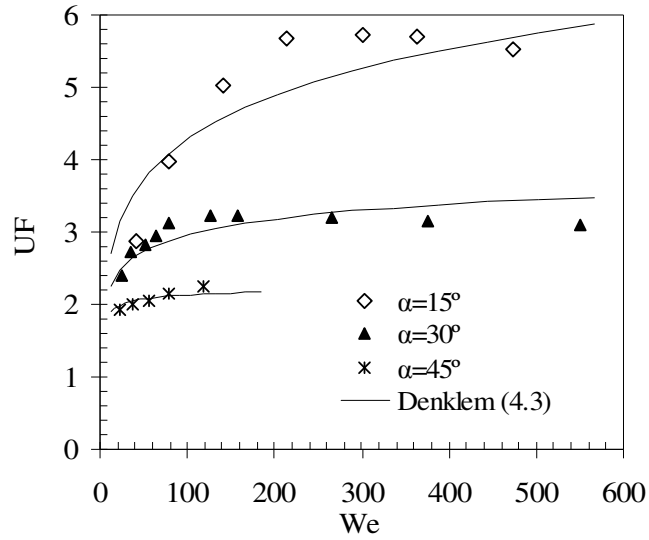
Şekil 4.77'de kontak açısının U.F'ye etkisi farklı jet açılarında üç boyutlu olarak görülmektedir. Kontak açısının artmasıyla U.F'nin az oranda arttığı grafikten anlaşılmaktadır. Grafikten ayrıca jet açısının 90° ye doğru yaklaşırken U.F'nin de 1'e yaklaşması görülmektedir.



Şekil 4.77: Farklı jet açılarında kontak açısının uzama faktörüne etkisi (We=288, d=1.75 mm)

4.6.4. Uzama faktörüne jet açısının etkisi

Islanmaz yüzeye eğimli olarak çarpan akışkanın yüzeyde oluşturduğu şeklin boyunun değerinde yüzeye teğet atalet kuvvetleri, genişliğinin değerinde ise yüzeye normal atalet kuvvetleri etkin olmaktadır. Teğetsel atalet kuvvetlerinin artması akışkanın yüzeydeki boyunun artmasına normal atalet kuvvetlerinin artması ise genişliğinin artmasına sebep olacaktır. Jet açısının düşük değerlerinde teğetsel atalet kuvvetleri, yüksek değerlerinde ise normal atalet kuvvetleri yüksek değerlerde olmaktadır. Bu sebeple jet açısındaki artışla boyu az oranda artan fakat genişliği büyük oranda artan akışkanın, boyun genişliğe oranı olan U.F'yi azaltacaktır. Bu durum eşdeğer çapa jet açısının anlatıldığı kısımda verilen Şekil 4.30'da görülmektedir.

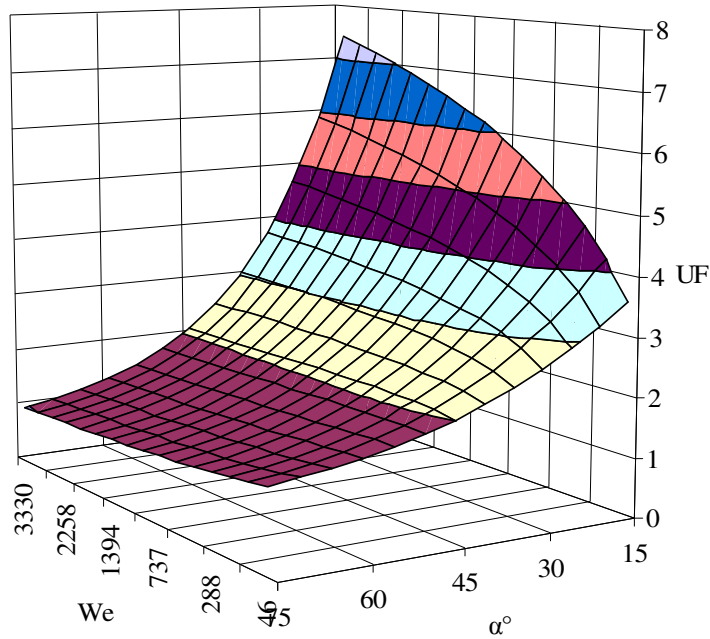


Şekil 4.78: Farklı jet açılarında uzama faktörünün We sayısı ile değişimi
($\theta=167^\circ$, $d=1.75$ mm)

Şekil 4.78'de jet açısının U.F'ye etkisinin ne kadar fazla olduğu görülmektedir. Jet açısındaki artışla U.F büyük oranda azalmaktadır. Jet açısının 45° değerinde yüzeye teğet ve normal atalet kuvvetleri eşit değerdedir. Bu sebeple jet açısı 45° olduğunda, atalet kuvvetlerinin artması U.F'yi fazla etkilememektedir. Akışkan yüksek kontak açısında yanlara çok fazla genişleyememekte ve U.F, 45° jet açısında ataletin artmasıyla çok az bir artış göstermektedir (Şekil 4.78). Düşük kontak açılı yüzeyde ise yanlara daha rahat yayılabilen akışkan 45° jet açısında ataletten etkilenmemekte

ve her atalet kuvvetinde yaklaşık olarak aynı değeri alarak doğrusal bir değişim göstermektedir (Şekil 4.72, Şekil 4.73).

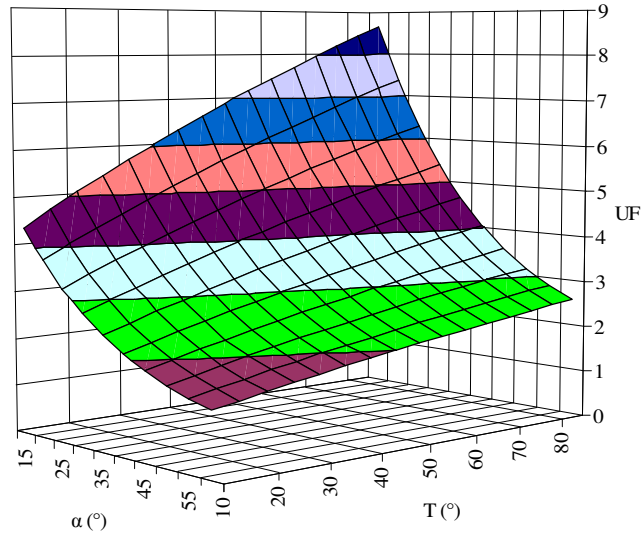
Farklı We sayılarında jet açısı değişiminin $U.F$ 'ye etkileri Denklem (4.3)'le elde edilen Şekil 4.79'da 3 boyutlu olarak görülmektedir. Grafikte jet açısının deneylerde incelenmemiş olan 45° den sonraki değerleri de kullanılmıştır. Jet açısının çok düşük değerlerinde $U.F$ 'nin değeri çok büyük olmakta, jet açısının artmasıyla bu değer sürekli azalmakta ve 1'e yaklaşmaktadır. Jet açısı 90 olduğunda ise 1 olacağından daha önce bahsedilmiştir. Düşük jet açılarında We sayısındaki artış $U.F$ yi çok büyük oranda arttırmasına rağmen jet açısı arttıkça azalmaktadır. Jet açısı 45° olduğunda $U.F$, We sayısının artmasıyla bir değişikliğe uğramamakta, daha büyük değerlerde ise çok az azalma göstererek 1'e yaklaşmaktadır.



Şekil 4.79: Uzama faktörünün farklı We sayıları için jet açısı ile değişimi ($\theta=102^\circ$, $d=1.75$ mm)

4.6.5. Uzama faktörüne akışkan sıcaklığının etkisi

$U.F$ 'nin akışkanın sıcaklığı ile değişiminin görülebilmesi için çizilen Şekil 4.80'de sıcaklık arttıkça $U.F$ 'nin de arttığı görülmektedir. Bu artışın oranı düşük jet açılarında daha fazla olmakta jet açısı arttıkça artış oranı da azalmaktadır.



Şekil 4.80: Uzama faktörünün farklı jet açılarında akışkanın sıcaklığı ile değişimi ($\theta=102^\circ$, $d=1.75$ mm)

4.6.6. Uzama faktörü özet

Tablo 4.4'te dikey ıslanmaz yüzeye eğimli olarak çarpan su jetinin uzama faktörüne etki eden parametreler verilmiştir. Jet açısındaki artış uzama faktörünü azaltırken kontak açısı, nozul çapı ve akışkan sıcaklığındaki artışlar uzama faktörünü arttırmaktadır. Uzama faktörü, Re ve We sayıları ile sabit bir davranış göstermemektedir. Bu sebeple ayrıca açıklanmıştır. Uzama faktörü, Re ve We sayılarının jet açısına bağlı olarak belli değerine kadar artmakta daha sonra sabit kalmaktadır. Re ve We sayılarının çok büyük değerlerinde ise yavaş bir eğimle azalmaya başlamaktadır.

Tablo 4.4: Su jetinin ıslanmaz yüzeyde uzama faktörüne etki eden parametrelerin etki şekilleri

	Reynolds (↑)	Weber (↑)	Jet açısı (↑)	Kontak açısı (↑)	Nozul çapı (↑)	Akışkan Sıcaklığı (↑)
Uzama faktörü	↑(a)	↑(a)	↓	↑	↑	↑
(a)	Reynolds ve Weber sayılarının belli değerine kadar artıyor sonra sabit kalıyor.					

Re ve We sayılarına etki eden parametrelerin U.F'ye etkisinin görülebilmesi için verilen Tablo 4.5'te görüldüğü gibi su jetinin hızının artması yukarıda bahsedildiği

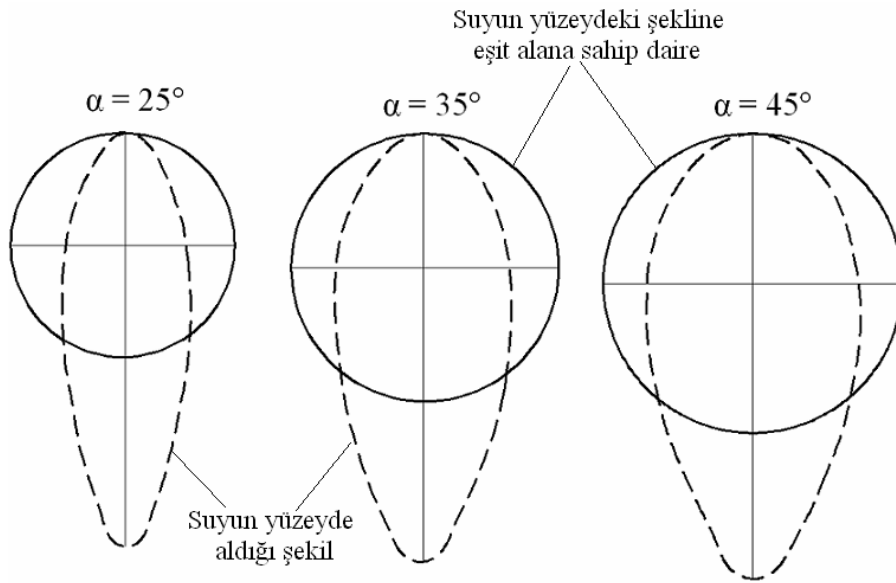
gibi hızın belli bir değerinde kadar artıyor daha sonra sabit kalıyor. Hız çok daha yüksek değerlere çıkarsa U.F azalmaya başlıyor. Yüzey geriliminin artması uzama faktörünü arttırmasına rağmen viskozitedeki artış U.F'yi azaltıyor.

Tablo 4.5: Su jetinin ıslanmaz yüzeyde uzama faktörüne etki eden parametrelerin etki şekilleri

	Viskozite (\uparrow)	Yüzey gerilimi (\uparrow)	Su jeti hızı (\uparrow)
Uzama faktörü	\downarrow	\uparrow	$\uparrow(a)$
(a)	Su jeti hızının belli bir değerinde kadar artıyor sonra sabit kalıyor		

4.7. Uzunluk, Genişlik, Uzama Oranı ve Genişleme Oranı

Uzama ve genişleme oranı yüzeydeki akışkanın kapladığı alanla orantılı olarak ne kadar uzadığı ve genişlediği hakkında bilgi sahibi olunabilmesi için tanımlanmıştır. Şekil 4.30'da verilmiş olan farklı jet açılarındaki şekillerden 25° , 35° ve 45° jet açılarında olanların yüzeyde kapladığı şekiller ve bu şekillerin alanlarına eşit olan daireler Şekil 4.81'de görülmektedir. Jet açısının artması ile şeklin boyundaki uzama az oranlarda artmasına karşılık genişleme önemli oranda artmaktadır.



Şekil 4.81: İslanmaz yüzeydeki akışkanın şekilleri ve bu şekillerin alanlarına eşit alanda daireler ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm, $We\approx 181$)

Uzama ve genişleme oranlarını ifade edebilmek için de yine 350 deney verisi kullanılarak, uzama oranı için Denklem (4.4), genişleme oranı için de Denklem (4.5) elde edilmiştir. Denklem (4.4)'ün belirlilik katsayısı $R^2=0.85$, korelasyon katsayısı $r=0.92$, Denklem (4.5)'in belirlilik katsayısı $R^2=0.87$ korelasyon katsayısı $r=0.93$ 'dür. denklemlerin belirlilik katsayısı çok yüksek olmamasına karşılık korelasyon katsayıları yüksektir. Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'de verilen tablolarda görüldüğü gibi denklemlerle deney verileri arasındaki hata payı oranları çok düşük değerlerdedir. Denklemler 350 deney verisi gibi yüksek bir değerden türetildiği için her bir deney verisinin küçük bir hatası belirlilik katsayısını düşürmektedir. Sonuçta denklemlerin uzama ve genişleme oranının genel davranışını ifade edebileceğini hata payları göstermektedir.

$$\frac{L}{D_{ED}} = 0.0198 (\ln Re)^{2.3382} (We^{\sin \alpha})^{-0.1852} \Phi^{0.0276} (\sin \alpha)^{0.04} \quad (4.4)$$

Tablo 4.6: Genişleme oranının (W/D_{ED}) hata aralıkları

% Hata	<%5	%5- %7,5	%7,5- %10	%10- %12,5	%12,5 - %15	>%15
Sayı	170	80	28	25	7	0

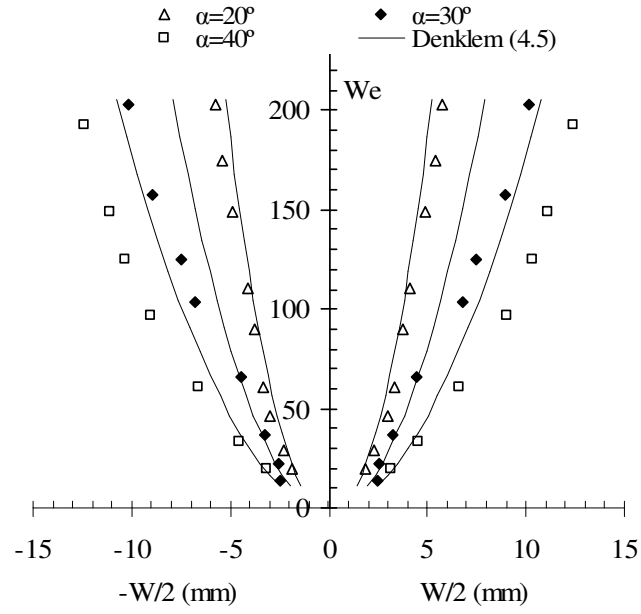
$$\frac{W}{D_{ED}} = 55.72 (\ln Re)^{-2.3382} (We^{\sin \alpha})^{0.1714} \Phi^{-0.0523} (\sin \alpha)^{0.0077} \quad (4.5)$$

Tablo 4.7: Genişleme oranının (W/D_{ED}) hata aralıkları

% Hata	<%5	%5- %7,5	%7,5- %10	%10- %12,5	%12,5 - %15	%15-%20
Sayı	324	0	0	9	10	7

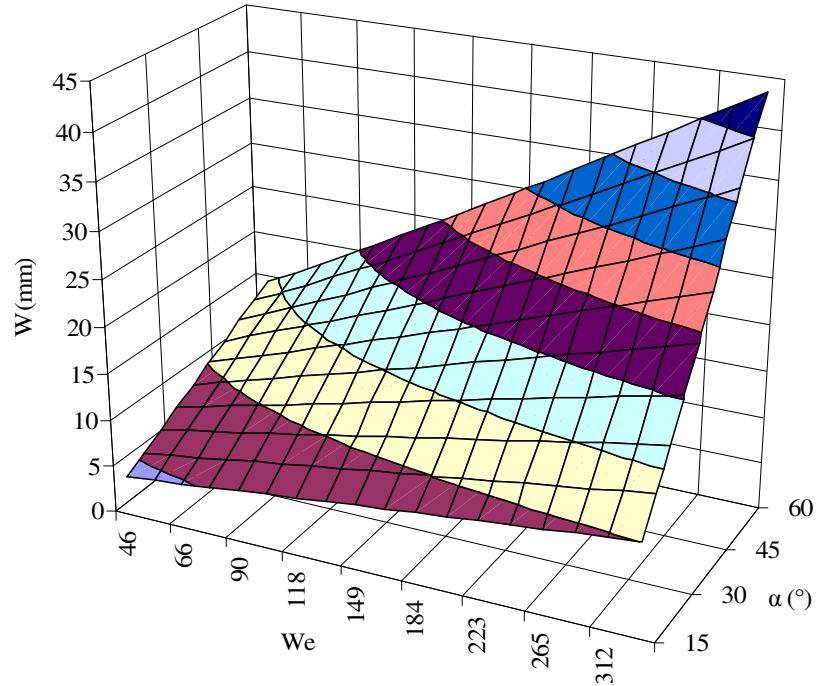
4.7.1. Uzama ve genişleme oranlarına We ve Re sayılarının etkileri

Şekil 4.82'de farklı jet açılarında yüzeydeki akışkanın şeklinin We sayısı ile genişlemesi arasındaki ilişkiyi gösteren grafik verilmiştir. We sayısının artmasıyla jet açısının her değerinde W artmakta, fakat bu artış az da olsa bir azalma eğilimiyle gerçekleşmektedir.



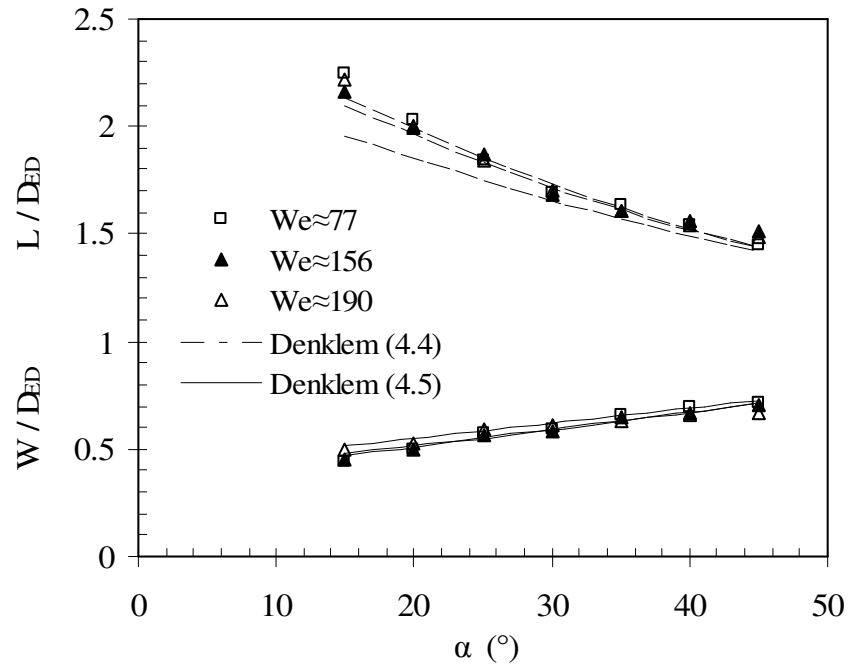
Şekil 4.82: Farklı jet açılarında yüzeydeki akışkanın şeklinin We sayısı ile genişlemesi arasındaki ilişki ($\theta=123^\circ$, $d=1.75$ mm)

Şekil 4.83'te farklı jet açılarında We sayısının W 'ye etkisi görülmektedir. Jet açısının bütün değerlerinde de We sayısının artması W 'yi arttırmaktadır. Jet açısının büyük değerlerinde bu artış oranı büyük değerlerde olmaktadır.



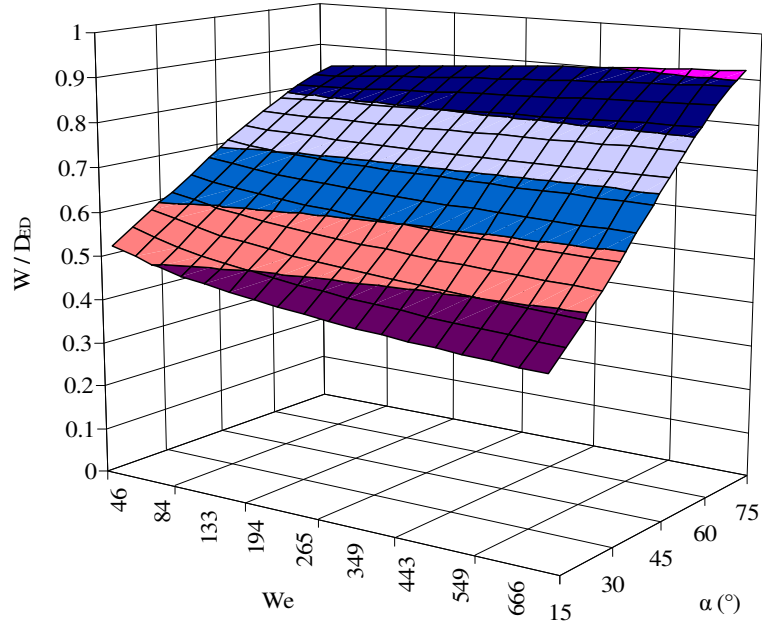
Şekil 4.83: Farklı jet açılarında We sayısının W 'ye etkisi ($d=1.75$ mm $\theta=123^\circ$)

Şekil 4.84'te farklı We sayılarıyla çizilen uzama ve genişleme oranlarının jet açısıyla değimi grafiğinde görüldüğü gibi; We sayısındaki artış, genişleme oranını hemen hemen etkilememekte uzama oranını ise az etkilemektedir. Bu etki düşük jet açılarında daha fazla olmakta, jet açısının artması ile We sayısının etkisi tamamen oradan kalkmaktadır. Sonuç olarak uzama ve genişleme oranları düşük jet açılarında çok az miktarda, yüksek jet açılarında ise hiçbir şekilde We sayısından etkilenmemektedirler.



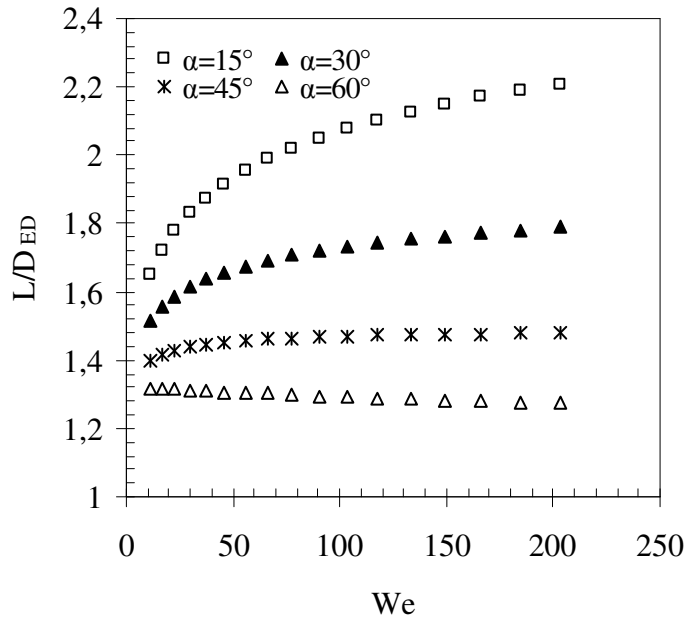
Şekil 4.84: Farklı We sayılarında uzama ve genişleme oranlarının jet açısıyla değimi ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm)

Denklem (4.5) ile çizilen Şekil 4.85'teki grafikte bu etki daha ayrıntılı olarak görülmektedir. Jet açısının düşük değerlerinde We sayısındaki artışla genişleme oranı azalmakta, jet açısının artmasıyla bu azalma oranı yükselmektedir. Jet açısının tam 45° olduğu durumda We sayısı kaç olursa olsun genişleme oranı aynı değerde kalmaktadır. Jet açısının bundan sonraki değerlerinde ise We sayısındaki artışla genişleme oranı da artmaktadır. Bu artış oranı jet açısının artmasıyla daha da büyük değerlerde olmaktadır.



Şekil 4.85: Genişleme oranının farklı jet açılarında We sayısı ile değişimi ($\theta=123^\circ$, $d=1.75$ mm)

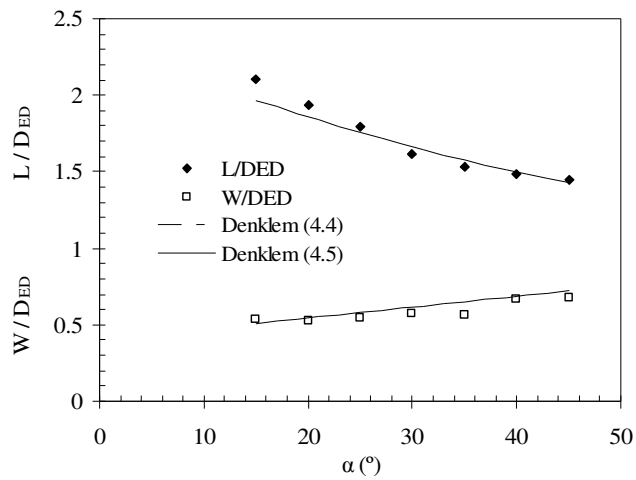
Şekil 4.86’da farklı jet açılarında uzama faktörünün We sayısı ile değişimi grafiği verilmiştir. Jet açısının düşük değerlerinde büyük oranlarda artan uzama oranındaki artış oranı, jet açısındaki artışla düşmektedir. Jet açısı 45° olduğunda ise hemen hemen sabitlenmektedir. Jet açısının daha da artmasıyla uzama oranı düşmektedir.



Şekil 4.86: Uzama oranının farklı jet açılarında We sayısı ile değişimi ($\theta=123^\circ$, $d=1.75$ mm)

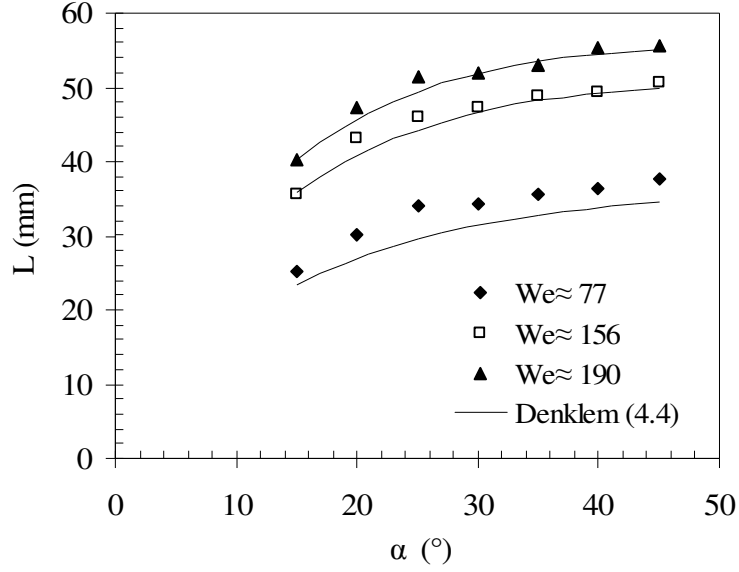
4.7.2. Uzama ve genişleme oranlarına jet açısının etkisi

Şekil 4.87’de uzama ve genişleme oranının jet açısıyla değişimi görülmektedir. Uzama oranı jet açısının artmasıyla azalırken genişleme oranı artmaktadır. Jet açısının artmasıyla şeklin boyunda çok az bir uzama meydana gelmekte, genişlemesinde ise önemli oranda artma meydana gelmektedir (Şekil 4.81). Böylece suyun yüzeydeki alanının artmasında W’nin etkisi L’ye göre daha fazla olmaktadır. Uzama oranı şeklin kapladığı alanda uzunluğun etkisinin ne kadar olduğunu, genişleme oranı ise genişliğinin etkisinin ne kadar olduğunu gösteren boyutsuz parametrelerdir. Bu sayıların değeri 1’den ne kadar uzak değerde olursa şeklin oluşumunda etkilerinin o kadar fazla olduğunu göstermektedir. Düşük jet açılarında şeklin uzunluğunun genişliğine göre çok fazla olması ile uzama oranının değeri 1’den büyük olmakta, genişleme oranı ise 1’den çok düşük olmaktadır. Jet açısındaki artışla şeklin uzaması az oranda artmasına karşılık genişlemesinde büyük oranda artma meydana geldiği için şeklin alanında, genişleme daha etkili olmaktadır. Böylece genişleme oranı jet açısıyla artmasına karşılık uzama oranı azalmaktadır. Ayrıca genişleme oranındaki artma eğilimi düşük oranlarda, uzama oranındaki azalma eğilimi ise büyük oranlarda olmaktadır. Jet açısındaki artış her iki boyutsuz parametreyi de 1’e yaklaştırmaktadır. Jet açısı arttıkça akışkanın yüzeyde aldığı şekil daireye yaklaşmaktadır. Jet açısı 90° olduğunda ise tam daire olacak, dolayısıyla her iki oranda 1 değerini alacaktır.

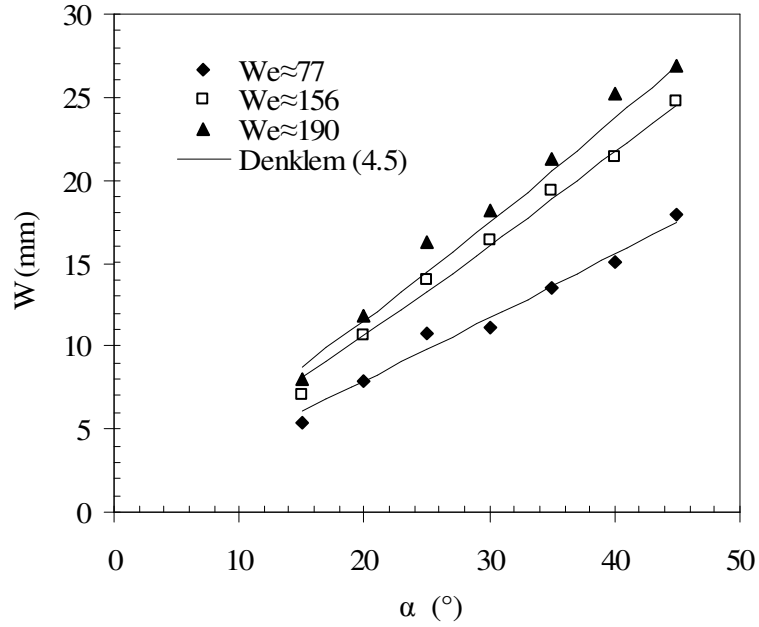


Şekil 4.87: Uzama ve genişleme oranlarının jet açısı ile değişimi ($\theta=123^\circ$, $d=1.75$ mm, $We\approx 60$)

Şekil 4.88’de farklı We sayılarında L ve W’nin jet açısıyla değişim grafiği verilmiştir. Jet açısındaki artışla L azalan bir oranla artmakta ve belli bir jet açısından sonra sabitlenmektedir. Bu durum We sayısının artmasıyla da değişmemektedir. W ise jet açısıyla doğrusal bir artış göstermekte ve We sayısının artmasıyla bu doğrunun eğimi de artmaktadır.



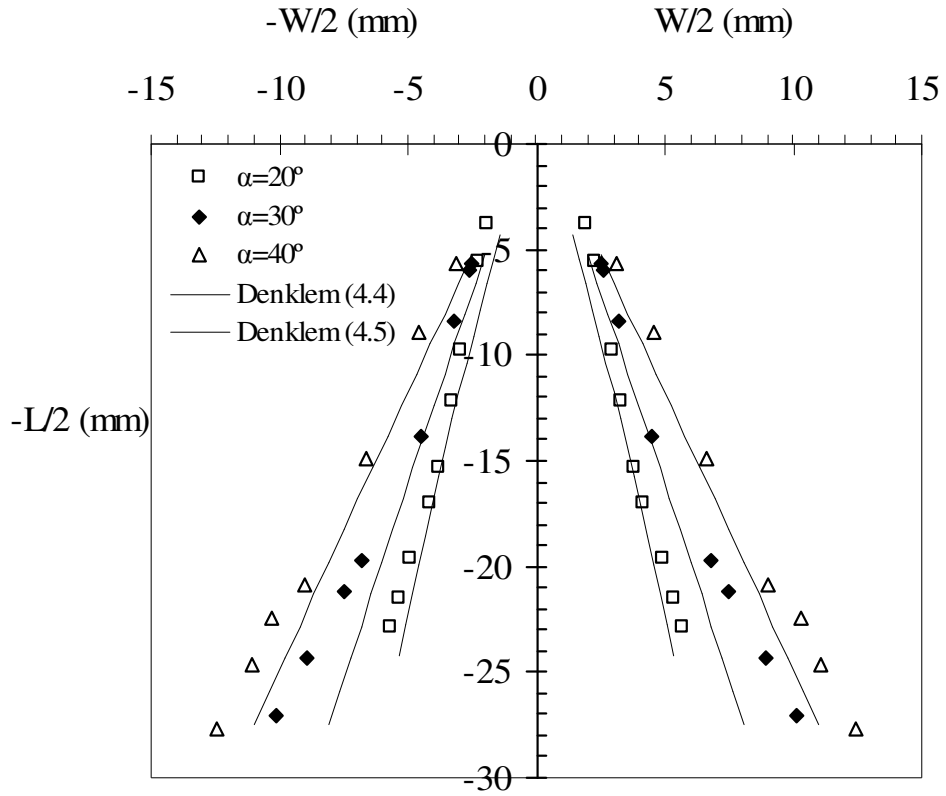
a)



b)

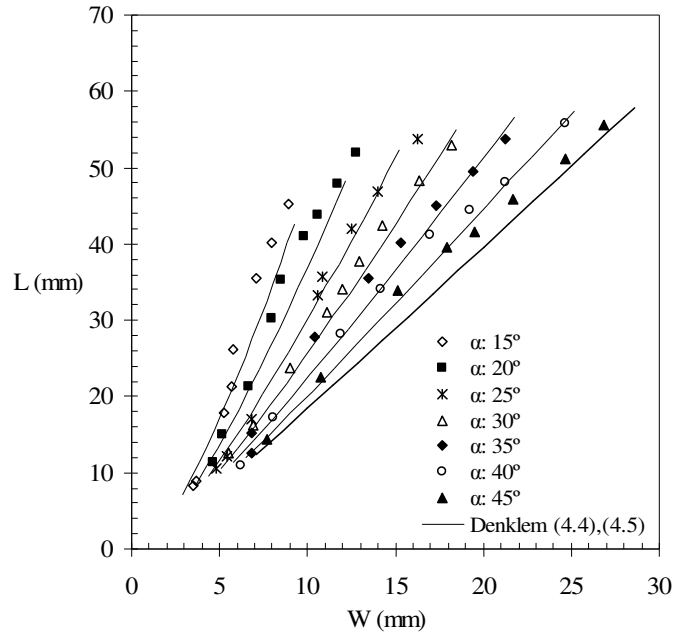
Şekil 4.88: Islanmaz yüzeydeki akışkanın uzunluk ve genişliğin farklı We sayılarında jet açısı ile değişimi a) Uzunluk b) Genişlik ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm)

Yüzeydeki suyun en üst noktası sıfır noktası olarak kabul edilmiş ve suyun yüzeyde uzunluğunun ve genişliğinin yarısı alınarak Şekil 4.89'daki grafik çizilmiştir. Farklı jet açılarında We sayısının ve jet açısının artmasıyla suyun yüzeyde genişlemesi grafikten rahatça anlaşılmaktadır.



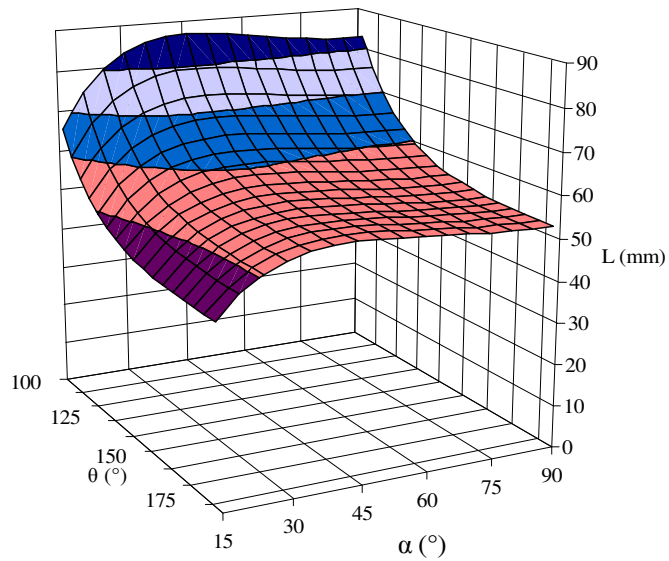
Şekil 4.89: İslanmaz yüzeydeki akışkanın uzama ve genişlemesinin kıyaslanması ($\theta=123^\circ$, $d=1.75$ mm)

Farklı jet açılarının hepsinde de, uzunlukla genişlik doğrusal bir değişim göstermektedir (Şekil 4.90). Akışkanın yüzeyde yayıldığı alan arttıkça farklı jet açıları aralarındaki uzunluk ve genişlik arasındaki oranda artmaktadır.

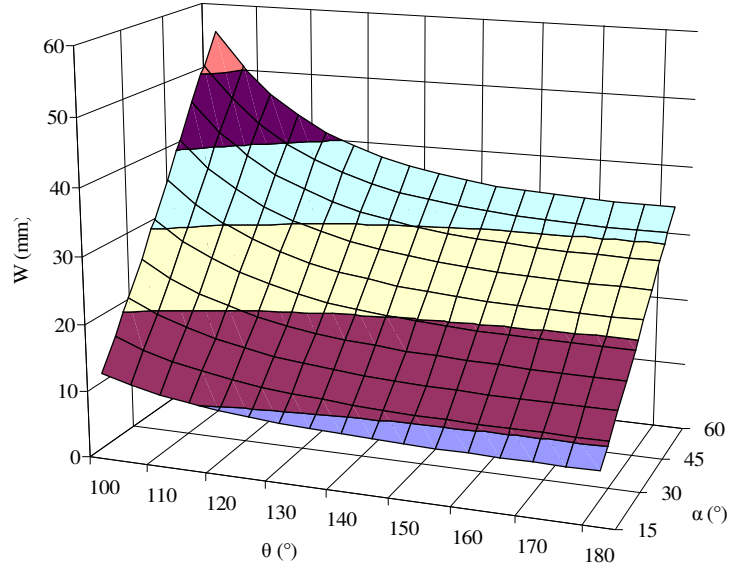


Şekil 4.90: Uzunluk ve genişliğin farklı jet açılarında kıyaslanması ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm)

Şekil 4.91’de farklı kontak açılarında jet açısının uzunluğa etkisi görülmektedir. Düşük jet açılarındaki jet açısı artışı, L’yi büyük oranda arttırmakta fakat jet açısının artmasıyla bu artış oranı azalmaktadır. Jet açısı 45° olduğunda ise L’nin uzaması durmakta ve jet açısının bundan sonraki bölümlerinde çok az miktarlarda azalmaktadır. Akışkanın genişliği ise bütün kontak açısı değerlerinde de jet açısının artmasıyla büyük oranlarda doğrusal olarak artmaktadır (Şekil 4.92).

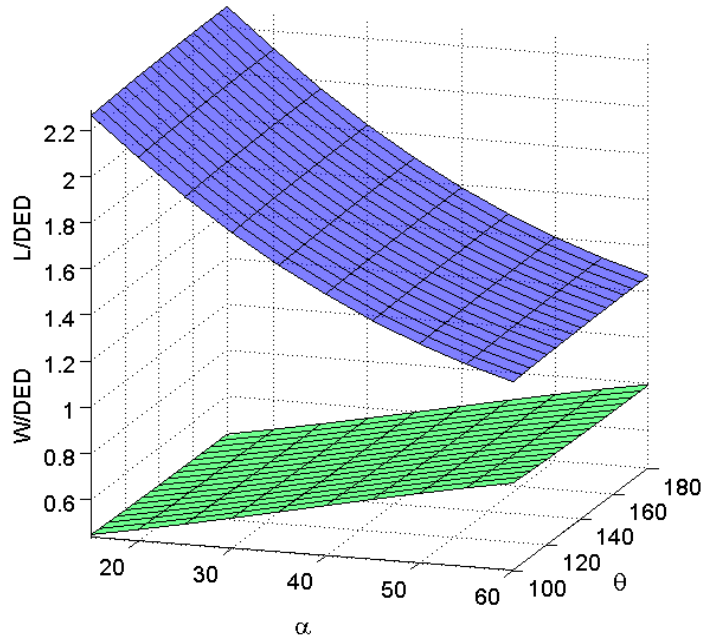


Şekil 4.91: Farklı kontak açılarında jet açısının uzunluğa etkisi ($d=1.75$ mm, $We=288$)



Şekil 4.92: Farklı kontak açılarında jet açısının genişliğe etkisi ($d=1.75$ mm, $We=288$)

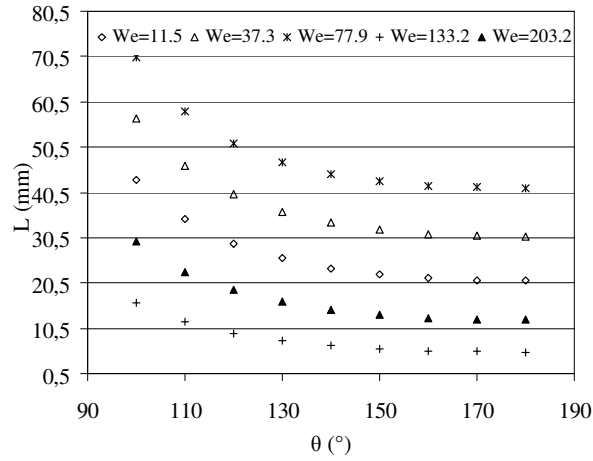
Şekil 4.93'te uzama ve genişleme oranlarının farklı kontak açısı için jet açısıyla değişimi aynı grafikte verilmiştir. Kontak açısının bütün değerlerinde de jet açısının artmasıyla genişleme oranı doğrusal olarak artmaktadır. Uzama oranı ise artan bir eğimle azalmaktadır. Her iki boyutsuz sayı da jet açısının artmasıyla 1 değerine yaklaşmaktadırlar.



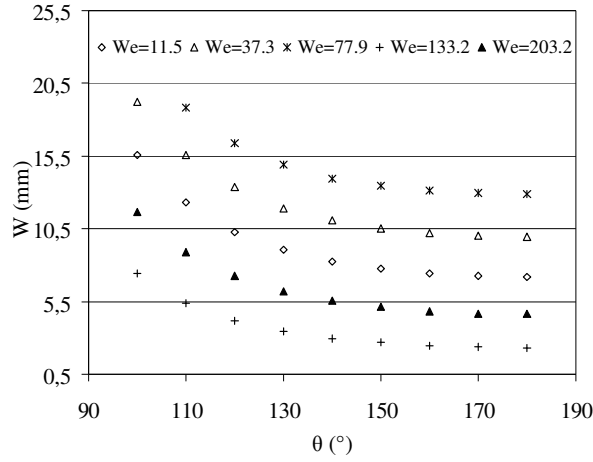
Şekil 4.93: Uzama ve genişleme oranlarının farklı kontak açısı için jet açısıyla değişimi ($d=1.75$ mm, $We=288$)

4.7.3. Uzama ve genişleme oranlarına kontak açısının etkisi

Islanmaz yüzeye belli bir açıyla çarpan suyun yüzeyde aldığı şeklin boyu ve genişliğinin her ikisi de We sayısının değeri ne olursa olsun kontak açısının artmasıyla azalmaktadır (Şekil 4.94). Bu azalma oranı, kontak açısının 140° - 150° civarına kadar büyük oranlarda olmakta daha sonra ise düşmektedir.



a)

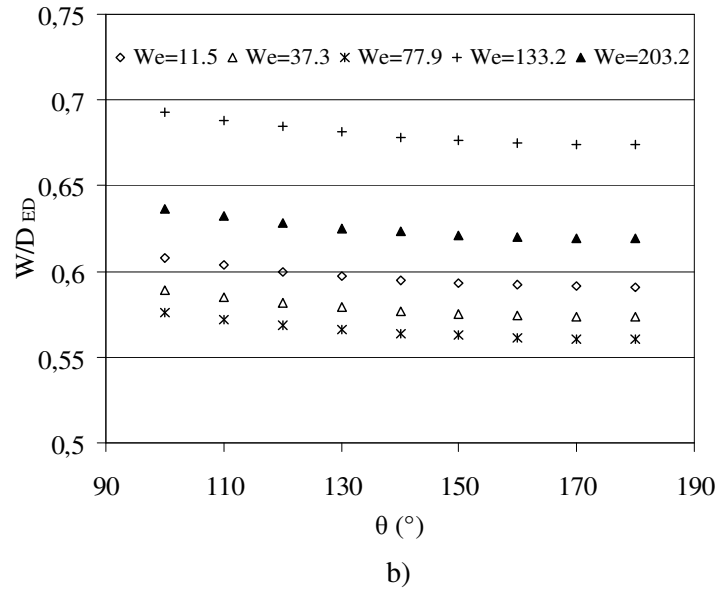
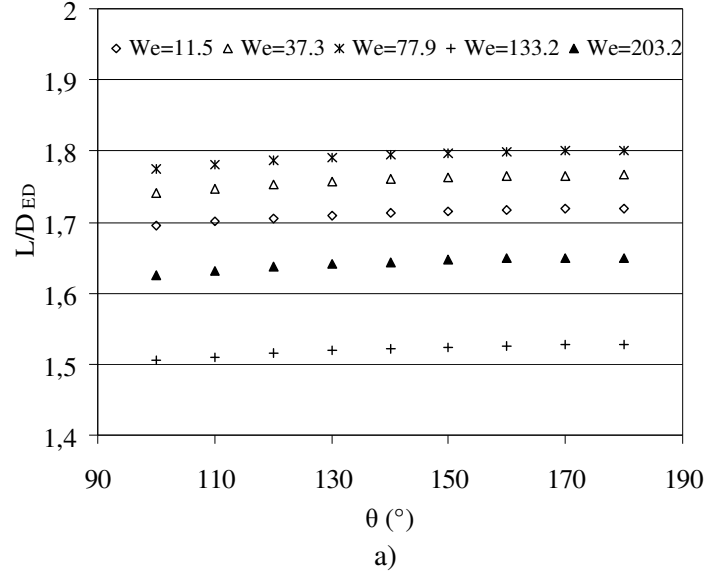


b)

Şekil 4.94: Uzunluk ve genişliğin farklı We sayılarında kontak açısı ile değişimi
a) Uzunluk b) Genişlik ($\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm)

Genişliğin ve uzunluğun her ikisi de kontak açısının artmasıyla azalmasına rağmen W 'nin azalma oranı L 'nin azalma oranından daha fazla olmaktadır. Kontak açısı arttıkça, D_{ED} 'de meydana gelen azalmadaki L 'nin etkisi daha büyük olmakta yani uzunluktaki değişim daha az oranda olmaktadır. Bu sebeple uzama oranı kontak

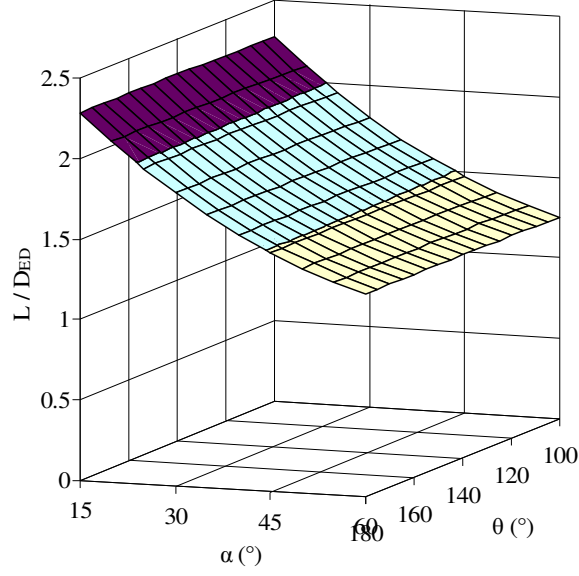
açısının artmasıyla artmakta genişleme oranı ise azalmaktadır (Şekil 4.95). Bu artış ve azalma yine kontak açısının 140° - 150° civarındaki değerinden sonra düşük değerlerde olmaktadır.



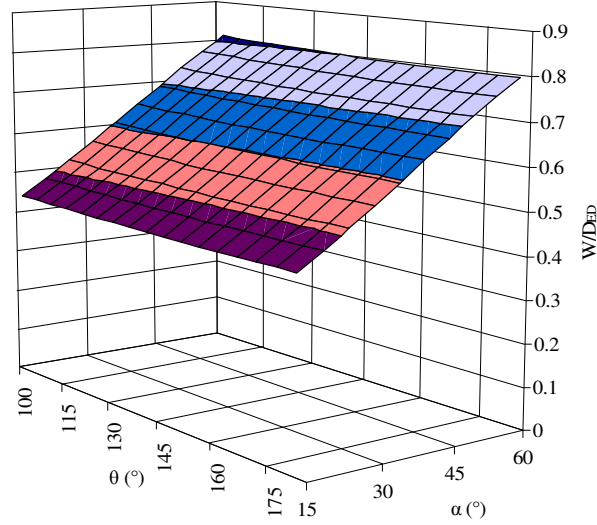
Şekil 4.95: Uzama ve genişleme oranının farklı We sayılarında kontak açısı ile değişimi
a) Uzama oranı b) Genişleme oranı ($\alpha=30^{\circ}$, $d=1.75$ mm)

Uzama ve genişleme oranlarının jet açısının her değerinde, kontak açısı ile değişiminin kıyaslanmasının yapılabilmesi için Şekil 4.96'daki 3 boyutlu grafikler çizilmiştir. Her iki boyutsuz sayı için de kontak açısı ile değişiminde, jet açısının değişmesinin bir etkisinin olmadığı grafiklerden görülmektedir. Jet açısının her

değerinde de, kontak açısındaki artışla, genişleme oranının azalma eğilimi ve uzama oranının artma eğilimi yaklaşık aynı oranlarda gerçekleşmektedir.



a)

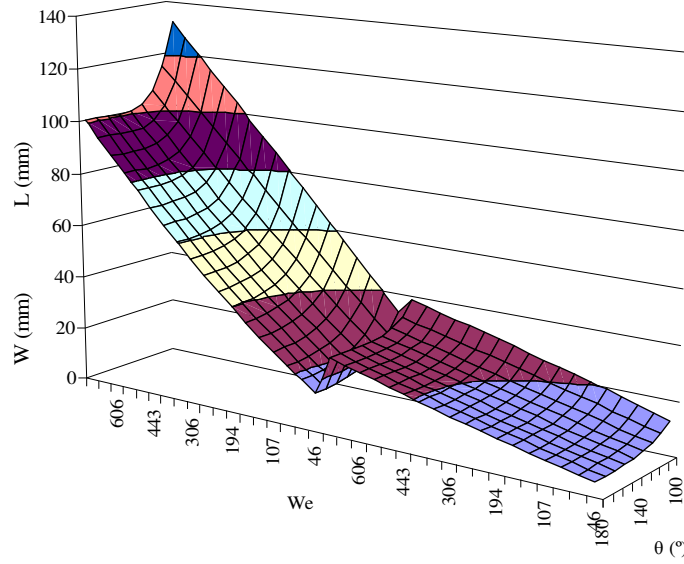


b)

Şekil 4.96: Uzama ve genişleme oranlarının farklı jet açısı değerlerinde kontak açısı ile değişimi a) Uzama oranı b) Genişleme oranı ($d=1.75$ mm, $We=288$)

Farklı We sayılarında kontak açısının L 'ye ve W 'ye etkisi aynı anda Şekil 4.97'de 3 boyutlu grafik olarak görülmektedir. Hem L , hem de W kontak açısının artması ile We sayısının her değerinde de azalmaktadır. Bu artış oranı We sayısının değerinden fazla etkilenmemektedir. Kontak açısının düşük değerlerinde (ıslanmaz özellik olarak) L en büyük değerdedir. L , kontak açısının artmasıyla başta büyük oranda

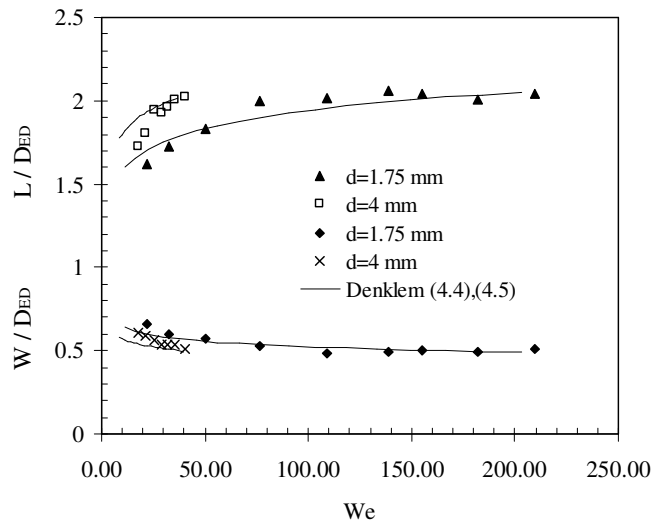
azalmakta, daha sonra bu azalma oranı düşmektedir. Aynı eğilim W için de geçerli olmakla birlikte, W, kontak açısından, L kadar büyük oranda etkilenmemektedir.



Şekil 4.97: Farklı We sayılarında kontak açısının L ve W'ye etkisi ($d=1.75$ mm, $\alpha=30^\circ$)

4.7.4. Uzama ve genişleme oranlarına nozul çapının etkisi

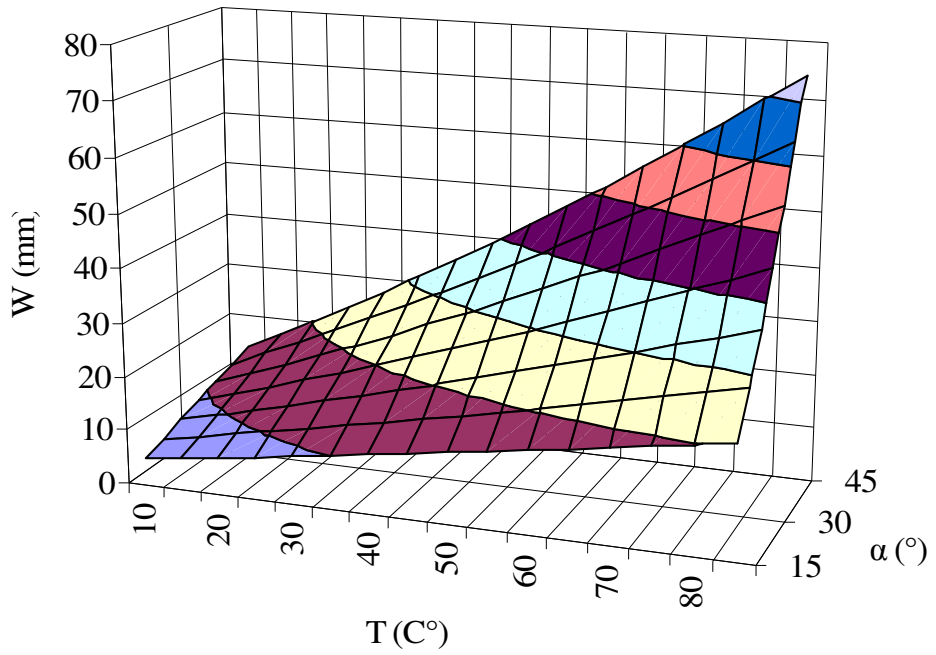
Şekil 4.98'de görüldüğü gibi büyük çaplı nozulla elde edilen genişleme oranı küçük çapa sahip nozula göre daha yüksek olmaktadır. Fakat uzama oranında ise tam tersi gerçekleşmekte bu sefer büyük çaplı nozulla elde edilen uzama oranı daha yüksek olmaktadır.



Şekil 4.98: Nozul çapının uzama ve genişleme oranlarına etkisi ($\theta=112^\circ$ $\alpha=20^\circ$)

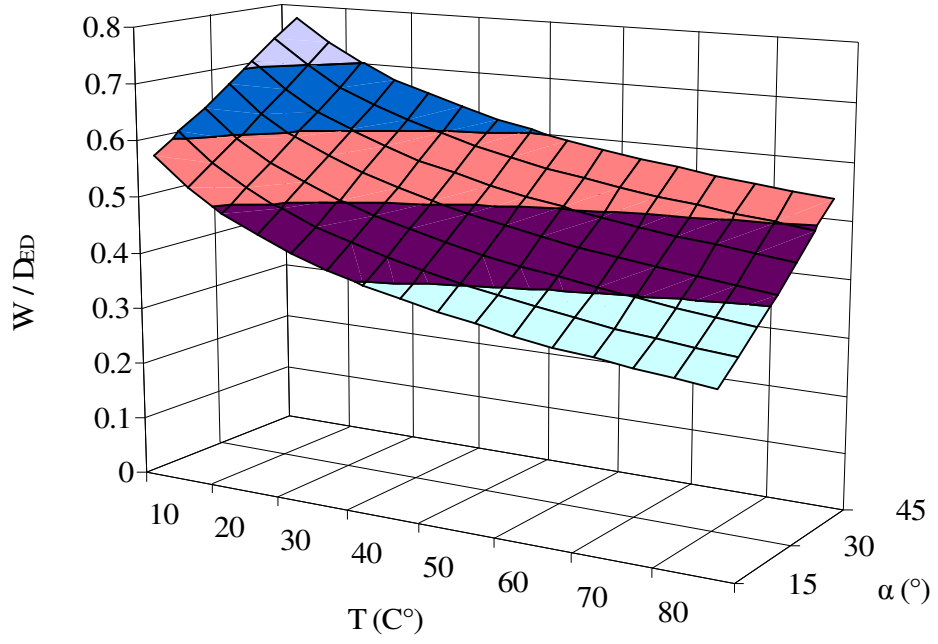
4.7.5. Uzama ve genişleme oranlarına akışkan sıcaklığının etkisi

Denklem (4.4) ve Denklem (4.5) kullanılarak akışkanın sıcaklık değişiminin etkisi hakkında fikir sahibi olunmaya çalışılmıştır. Akışkanın sıcaklığının W üzerindeki etkisi Şekil 4.99’da görülmektedir. Akışkanın sıcaklığının artması jet açısının her değerinde de genişliği arttırmaktadır. Ayrıca grafikten yüksek akışkan sıcaklığında jet açısındaki artışla genişliğin artış eğiminin arttığı görülmektedir.



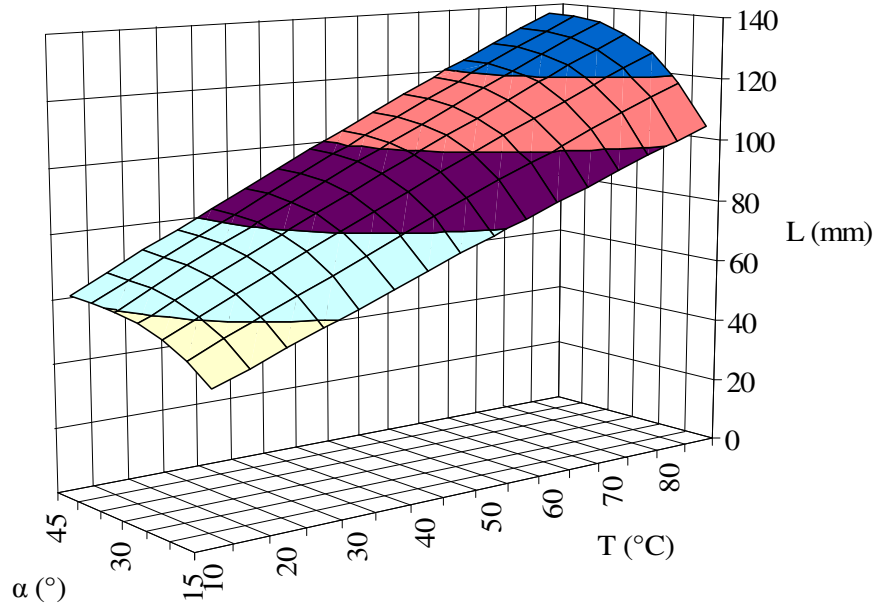
Şekil 4.99: Akışkan sıcaklığının farklı jet açılarında genişliğe etkisi ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm)

Akışkan sıcaklığındaki artış, yüzeydeki akışkanın genişliğini (W) arttırmasına rağmen genişleme oranını (W/D_{ED}) düşürmektedir (Şekil 4.100). Bu durum bize akışkanın sıcaklığının artması ile genişlemenin, akışkanın kapladığı alan üzerindeki etkisinin azaldığını göstermektedir.

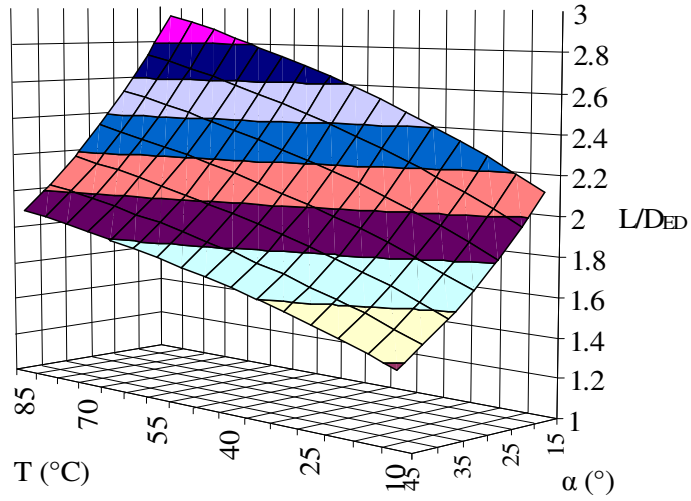


Şekil 4.100: Farklı jet açılarında akışkan sıcaklığının genişleme oranına etkisi ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm)

Akışkan sıcaklığının artması L 'yi de arttırmaktadır (Şekil 4.101). Bu artış jet açısının her değerinde de doğrusal olarak gerçekleşmektedir. Akışkanın sıcaklığındaki artış uzama oranını da azalan bir eğilimle arttırmaktadır (Şekil 4.102). Böylece akışkan sıcaklığının L 'yi W 'ye göre daha fazla arttırdığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.101: Akışkan sıcaklığının farklı jet açılarında uzunluğa etkisi ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm)



Şekil 4.102: Farklı jet açılarında akışkan sıcaklığının uzama oranına etkisi ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm)

4.7.6. Uzunluk, genişlik, uzama oranı ve genişleme oranı özet

Tablo 4.8’de uzama oranı, genişleme oranı, uzunluk ve genişliğe etki eden parametrelerin etkisi verilmiştir. Uzama oranı; kontak açısı, nozul çapı ve akışkan sıcaklığı ile artarken jet açısındaki artışla azalmaktadır. Genişleme oranı ise uzama oranıyla tam ters bir davranış göstermektedir. Uzunluk kontak açısı dışında bütün parametrelerin artmasıyla artmaktadır. Jet açısı ile ise; 45° olana kadar artmakta daha sonra azalmaktadır. Kontak açısı dışındaki bütün parametrelerdeki artış ıslanmaz yüzeye çarpan suyun genişliğini arttırmaktadır. Kontak açısının artması ise genişliği azaltmaktadır.

Tablo 4.8: Uzunluk ve genişlik ifadelerine etki eden parametrelerin etki şekilleri.

	Reynolds (↑)	Weber (↑)	Jet açısı (↑)	Kontak açısı (↑)	Nozul çapı (↑)	Akışkan Sıcaklığı (↑)
Uzama oranı	↑↓ (a)	↑↓ (a)	↓	↑	↑	↑
Genişleme oranı	↑↓ (a)	↑↓ (a)	↑	↓	↓	↓
Uzunluk	↑	↑	↑↓ (a)	↓	↑	↑
Genişlik	↑	↑	↑	↓	↑	↑
(a)	Jet açısının değeri 45° olana kadar artıyor sonra azalmaya başlıyor.					

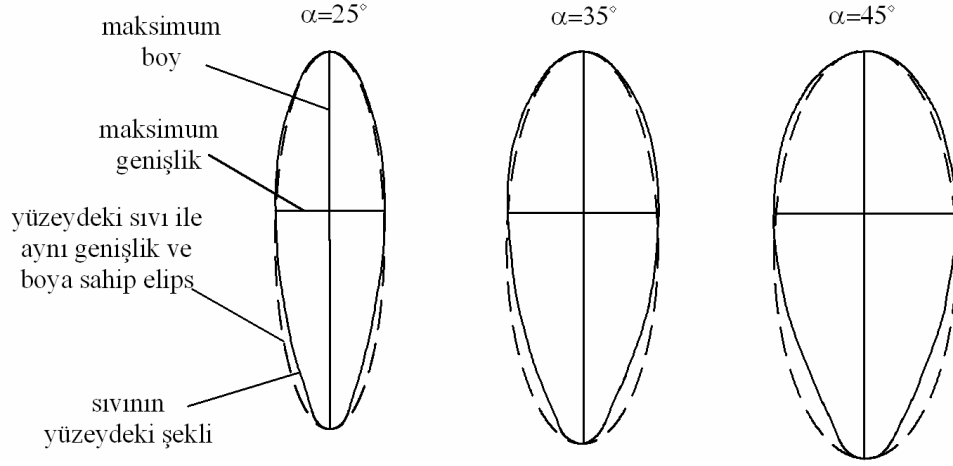
Tablo 4.9’da Re ve We sayılarını ifade eden parametrelerin etkileri verilmiştir. Su jeti hızının artması ıslanmaz yüzeye eğimli olarak çarpan suyun hem genişliğini hem de uzunluğunu arttırmaktadır. Uzama ve genişleme oranları; su jeti hızının artmasıyla jet açısı 45° olana kadar artmakta daha sonra ise azalmaktadır. Viskozitenin ve yüzey geriliminin her ikisinin de artmasıyla hem uzunluk hem de genişliği azaltmaktadır. Uzama oranı ise viskozitenin artmasıyla azalmakta yüzey geriliminin artmasıyla artmaktadır. Genişleme oranı ise viskoziteyle artmakta yüzey geriliminin artmasıyla ise azalmaktadır.

Tablo 4.9: Uzunluk ve genişlik ifadelerinde etki eden Re ve We sayısı parametreleri

	Viskozite (↑)	Yüzey gerilimi (↑)	Su hızı (↑)
Uzama oranı	↓	↑	↑↓ (a)
Genişleme oranı	↑	↓	↑↓ (a)
Uzunluk	↓	↓	↑
Genişlik	↓	↓	↑
(a)	Jet açısının değeri 45° olana kadar artıyor sonra azalmaya başlıyor.		

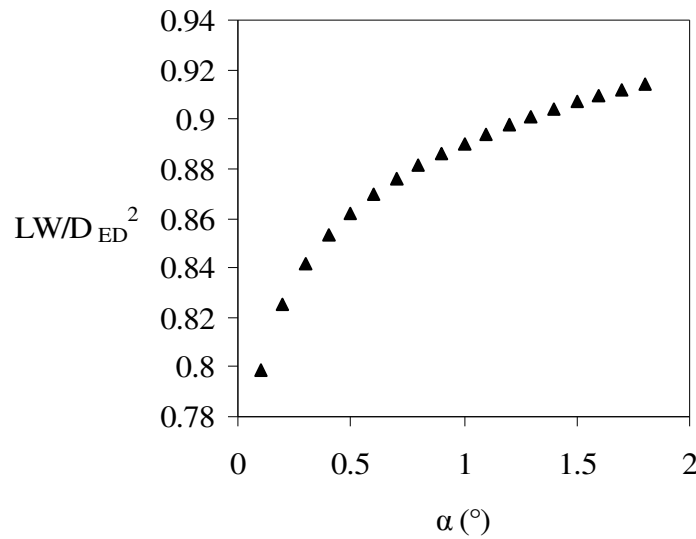
4.8. Dikey Islanmaz Yüzeyde Şekil Faktörü

Şekil 4.103’te 112° kontak açısına sahip yüzeye 1.75 mm nozulla 3 farklı jet açısında gönderilen su jetinin yüzeyde aldığı şekiller verilmiştir. Şekilde deney verileri sürekli çizgiyle ve yüzeydeki akışkanla aynı boy ve genişliğe sahip olan elips de kesikli çizgiyle gösterilmiştir. Suyun yüzeyde aldığı şeklin üst kısmı elipse daha yakın bir şekilde bulunmakta, alt kısmı ise jet açısının artmasıyla sivrileşmektedir. Böylece düşük jet açılarında Şekil Faktörü 1’e daha yakın olmaktadır. Şekil elipsten uzaklaşp sivrileştikçe Şekil Faktörü 1’den uzaklaşmaktadır. Tam elips olduğunda ise 1 değerini alacaktır. Elips şekil bozularak dikdörtgene yaklaştıkça 1’den daha düşük değerler almaya başlayacaktır. Üçgene yaklaştığında ise 1’den büyük değerler almaya başlayacaktır.



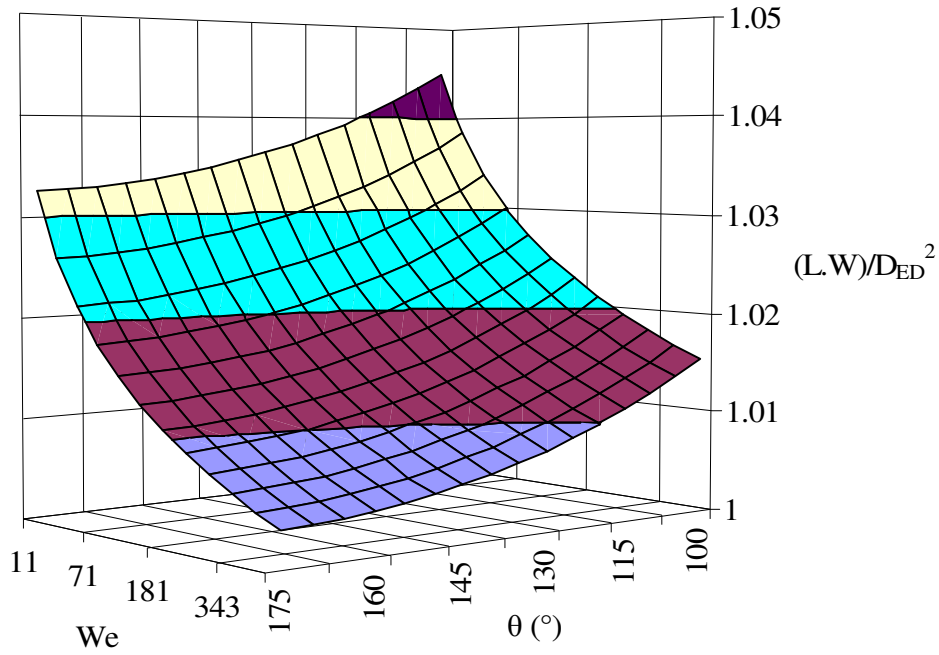
Şekil 4.103: Su jetinin ıslanmaz yüzeyde aldığı şekiller ve bu şekillerle aynı boy ve genişliğe sahip elipsler ($\theta=112^\circ$, $d=1.75$ mm, $We=181.68$)

Şekil Faktörü en küçük değerini suyun yüzeydeki şekli dikdörtgen olduğunda alabilir. Bu durumda Şekil Faktörü $\pi / 4 = 0.7853$ değerini alacaktır. Denklem (4.1), Denklem (4.4) ve Denklem (4.5)'in üçü de kullanılarak elde edilen Şekil 4.104'te görüldüğü gibi elde edilen denklemler ıslanmaz yüzeye çarpan su jetinin davranışını çok iyi bir şekilde ifade edebilmektedir. Şekil Faktörünün alabileceği en küçük değer yüksek kontak açısı, düşük jet açısı ve yüksek We sayısıdır. Jet açısının değeri düştükçe Şekil Faktörü alabileceği en düşük değere yaklaşmakta fakat bu değer altına düşmemektedir.



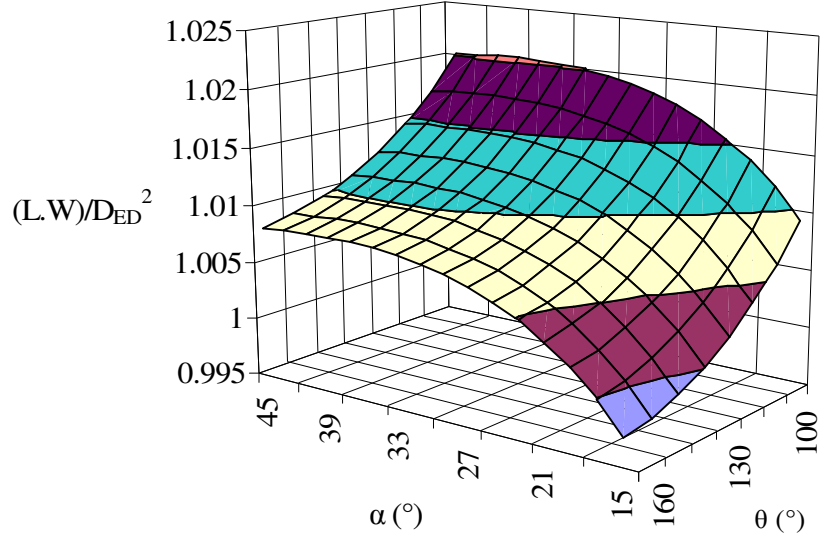
Şekil 4.104: Şekil Faktörü'nün düşük jet açılarındaki etkisi ($\theta=180^\circ$, $d=1.75$ mm, $We=1152$)

Şekil 4.105'te Şekil Faktörü'nün We sayısı ve kontak açısıyla değişimi 3 boyutlu olarak görülmektedir. We sayısının artması Şekil Faktörü'nü kontak açısının bütün değerlerinde düşürmektedir. Aynı zamanda We sayısının her değerinde kontak açısındaki artış, Şekil Faktörünü düşürmekte ve 1'e yaklaştırmaktadır. We sayısındaki artış suyun yüzeyde daha fazla genişlemesine neden olmakta böylece su yüzeyde genişleyerek birleşirken sivri bir duruma gelmektedir. Kontak açısının düşük değerlerinde de yüzeydeki su daha geniş ve birleşme kısmı sivri bir duruma gelmektedir.



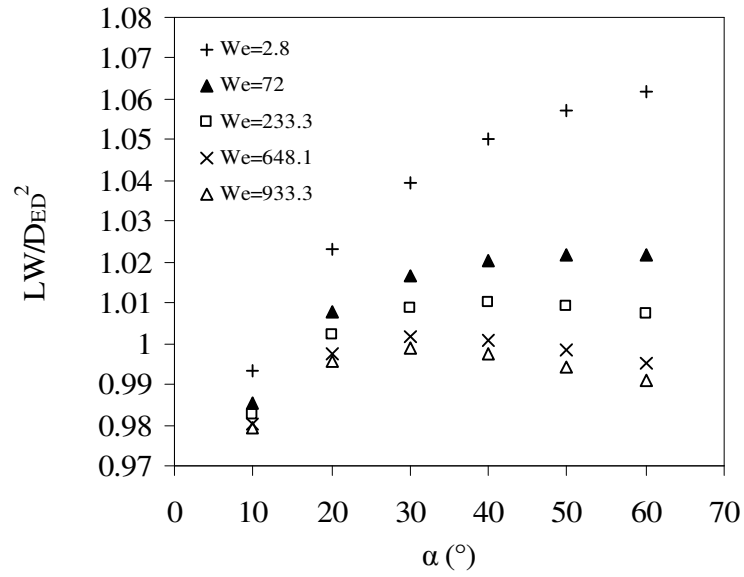
Şekil 4.105: Şekil Faktörü'nün farklı We sayılarında kontak açısıyla değişimi ($\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm)

Şekil 4.106'da farklı kontak açıları Şekil Faktörünün jet açısı ile değişimi grafiği görülmektedir. Kontak açısının her değerinde jet açısındaki artış Şekil Faktörü'nü arttırmakta fakat bu artış düşük jet açıları büyük değerlerde olmaktadır. Jet açısı yaklaşık 30° olduğunda ise sabitlenmekte ve jet açısının bundan sonraki değerlerinde oranı az olan bir düşüş gerçekleşmektedir.



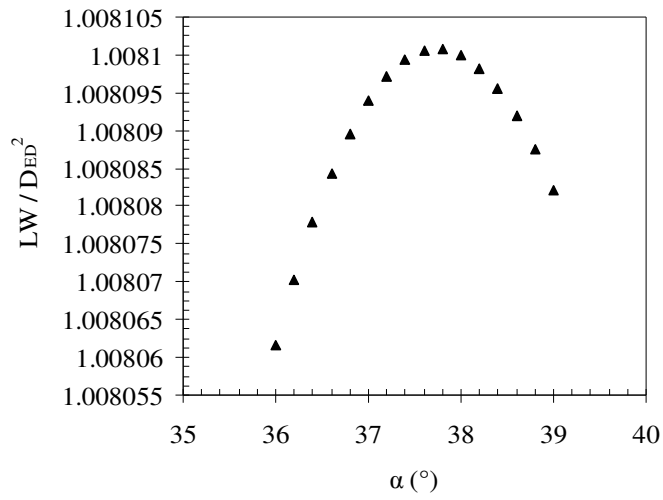
Şekil 4.106: Farklı kontak açılarında jet açısı ile Şekil Faktörü arasındaki ilişki
($d=1.75$ mm $We=283$)

Farklı We sayılarında jet açısının değişimini incelemek için çizilen Şekil 4.107'de görüldüğü gibi, bütün We sayılarında da jet açısının düşük değerlerdeki artış Şekil Faktörü'nü arttırmaktadır. Fakat We sayısının düşük değerlerinde bu artış oranı büyük olmakta, We sayısının büyük değerlerinde ise düşük oranda olmaktadır. Ayrıca We sayısı arttıkça Şekil Faktörü, jet açısının belli bir değerinde maksimum bir değer olarak daha sonra tekrar düşmektedir.

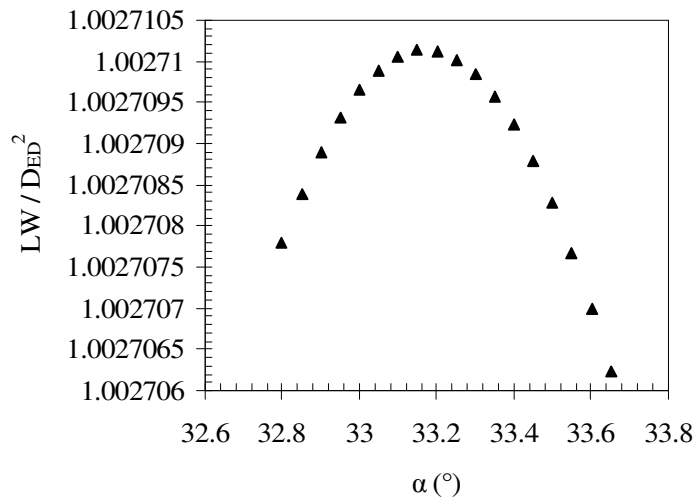


Şekil 4.107: Şekil Faktörü'nün farklı We sayılarında jet açısıyla değişimi
($\theta=167^\circ$, $d=1.75$ mm)

Şekil Faktörü'nün maksimum değer aldığı jet açısının belirlenmesi için Şekil 4.108 ve Şekil 4.109 grafikleri verilmiştir. Grafiklerde Şekil Faktörü'nün maksimum değer olarak düşmeye başlaması daha ayrıntılı olarak görülmektedir. Şekil Faktörü We sayısı 288 olduğunda jet açısının 37.7 değerinde maksimum olmaktadır (Şekil 4.108). Kontak açısının değişmesi bu değeri etkilemediği Şekil 4.106'da görülmektedir. Fakat We sayısının artması ile maksimum değer etkilenmekte ve daha düşük değerler almaktadır. Şekil Faktörü, We nin 564 değerinde 33.2 jet açısında maksimum değer almaktadır (Şekil 4.109).

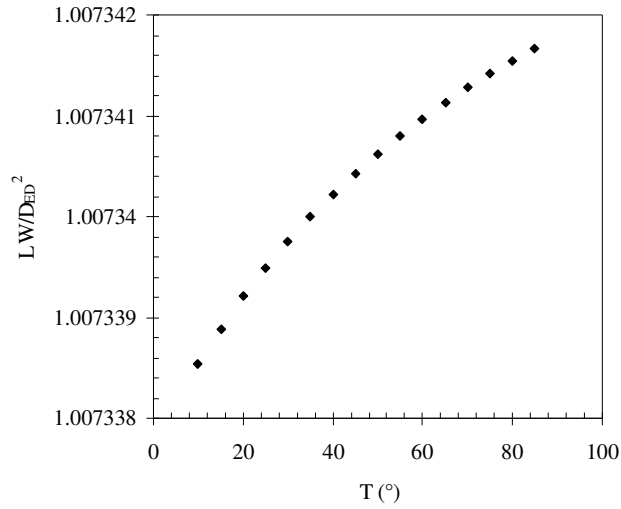


Şekil 4.108: Şekil Faktörü'nün maksimum değer aldığı jet açısı
($\theta=167^\circ$, $d=1.75$ mm, $We=288$)



Şekil 4.109: Şekil Faktörü'nün maksimum değer aldığı jet açısı
($\theta=167^\circ$, $d=1.75$ mm, $We=564$)

Şekil 4.110'da Şekil Faktörü'ne akışkan sıcaklığının etkisi We sayısı sabit tutularak verilmiştir. Sıcaklığın artması Şekil Faktörü'nü arttırmaktadır. Sıcaklığın artması akışkanın hem uzunluğunu hem genişliğini aynı zamanda da yayılmasını yani eşdeğer çapı arttırmaktadır. Fakat bu üç parametreden en fazla artan parametre uzunluk olmaktadır. Böylece akışkanın sıcaklığının artmasıyla yüzeyde daha sivri bir konuma gelmektedir.



Şekil 4.110: Şekil Faktörü'nün akışkan sıcaklığı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $d=1.75$ mm, $We=281.5$)

4.8.1. Dikey ıslanmaz yüzeyde şekil faktörü özet

Tablo 4.10'da Şekil Faktörü'ne etki eden parametreler ve etki şekilleri verilmiştir. Şekil Faktörü nozul çapı ve akışkan sıcaklığının artması ile artmakta diğer parametrelerin artmasıyla ise azalmaktadır. Jet açısının ise belli değerine kadar artmakta daha sonra azalmaktadır. Azalmanın başladığı jet açısı ise We sayısına göre değişmektedir.

Tablo 4.10: Şekil Faktörü'ne etki eden parametrelerin etki şekilleri.

	Reynolds (↑)	Weber (↑)	Jet açısı (↑)	Kontak açısı (↑)	Nozul çapı (↑)	Akışkan Sıcaklığı (↑)
Şekil Faktörü	↓	↓	↑↓ (a)	↓	↑	↑
(a)	Jet açısının belli değerine kadar artıyor sonra düşüyor bu değer We'ye göre değişiyor					

Tablo 4.11’de Şekil Faktörü’ne etki eden Re ve We sayılarını ifade eden parametreler verilmiştir. Şekil Faktörü yüzey geriliminin artmasıyla artmakta, su jeti hızı ve viskozitenin artmasıyla ise azalmaktadır.

Tablo 4.11: Şekil Faktörü’ne etki eden Re ve We sayısı parametreleri

	Viskozite (↑)	Yüzey gerilimi (↑)	Su jeti hızı (↑)
Şekil Faktörü	↓	↑	↓

4.9. Yansıma Şartları ve Açısı

Dikey olarak duran ıslanmaz yüzeye eğimli olarak çarpan su jeti belli parametrelere bağlı olarak yansıma hareketi yapmaktadır. Yüzeye çarparak yayılan akışkanın atalet kuvveti yüzey gerilim enerjisine dönüşmekte, bir kısım atalette sürtünmelere harcanmaktadır. Akışkanın yüzeyden yansımasına sebep olan enerji (kolların birleştiği yerdeki yüzeye normal atalet) yüzey gerilim enerjisidir. Akışkan adeta yüzeyde gerilip kurulmakta ve depoladığı bu enerjiyle yüzeyden yansıma hareketi yapmaktadır. Benzetme yapılırsa, içi su dolu bir balonun katı yüzeye çarpıp yayıldıktan sonra tekrar bir araya toplanarak geri tepmesi olayına benzetilebilir.

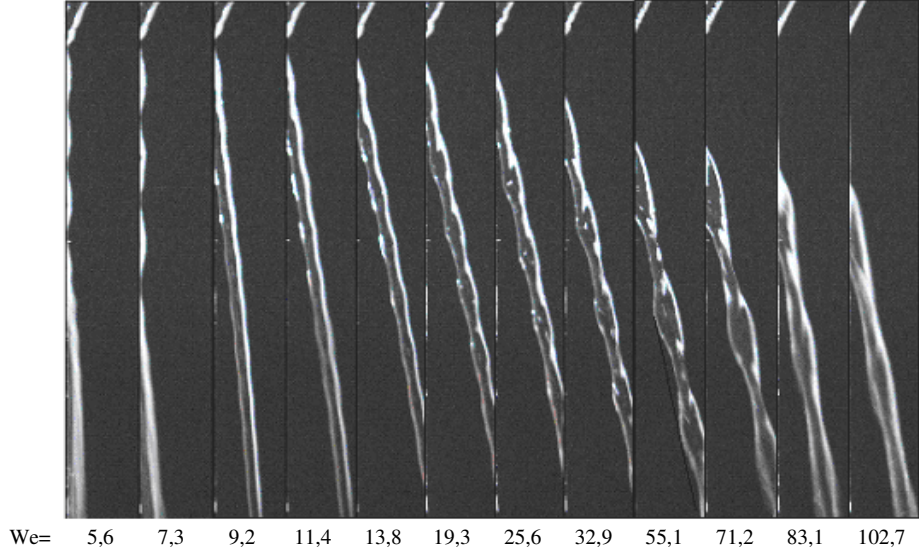
Yapılan deneylerde 102° ve 112° kontak açısına sahip yüzeylerde hiçbir şartta yansıma olayına rastlanmamıştır. Yalnız bu yansımanın olmadığı şartlar deneyin şartları ile sınırlıdır. Farklı şartlarda yansıma olup olmayacağı hakkında bir çalışma yapılmamıştır. 123° kontak açısına sahip yüzeyde ise bazı durumlarda yansıma olmasına rağmen çoğu durumda yansımaya rastlanmamıştır. 145° ve 167° kontak açısına sahip yüzeylerde ise çoğu durumda yansıma olayına rastlanmıştır bazı durumlarda yansımaya rastlanmamıştır. Bu durumlar ileriki bölümlerde incelenecektir.

4.9.1. Yansımaya Reynolds ve Weber sayılarının etkileri

Katı yüzeyin kontak açısı düşük değerlerde olduğunda, akışkan ile yüzey arasındaki yüksek çekim kuvvetlerinden dolayı akışkan daha fazla bir alana yayılmakta böylece

sürtünmelere harcanan atalet artmaktadır. Ayrıca akışkanın yüzeyle arasındaki bu yüksek çekim kuvveti akışkanın yüzeyden yansıma yapamamasında da etkili olmaktadır. Kısacası sürtünmelere harcanan enerji nedeniyle akışkan yeterli yüzey gerilim enerjisi depolayamamaktadır. Depoladığı enerji de yüzeyle arasındaki yüksek çekim kuvvetini yenerek yansıma yapabilecek seviyede olamamaktadır.

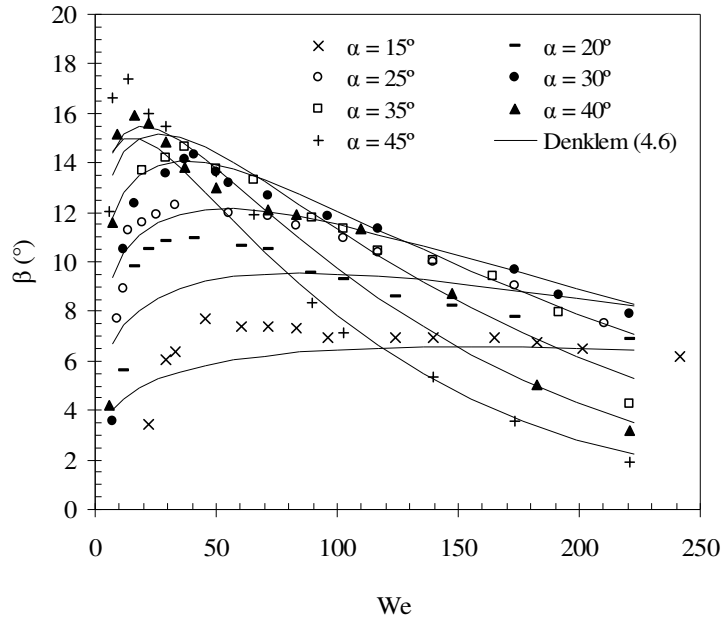
We sayısı atalet kuvvetlerinin yüzey gerilim kuvvetlerine oranı olarak tanımlanmış bir boyutsuz sayıdır. We sayısındaki artış, ya atalet kuvvetlerinin artması yada yüzey gerilim kuvvetlerin azalması ile gerçekleşebilir. Atalet kuvvetlerinin artması ile yüzeye çarpan akışkanın hem sürtünmeleri artmakta hem de akışkanın yüzey gerilim enerjisi artmaktadır. Atalet kuvvetlerinin belli bir değerine kadar yüzey gerilim kuvvetleri ile aralarındaki dönüşüm doğru orantılı olmaktadır. Belli bir değerden sonra yüzey gerilim kuvvetlerinin dönüşümü sağlayacak moleküller arasındaki çekim kuvveti kalmamakta ve sıçramalar olmaktadır. Bu sıçramalar enerjide kayıplar meydana getirmektedir. Böylece We sayısının belli bir değerine kadar yansıma açısı artmakta belli bir değerden sonra ise azalmaktadır. Yüzey gerilim kuvvetlerinin azalması da belli atalet kadar akışkanın yansıma enerjisi depolamasında etkili olmaktadır. Sonuçta ikisini de bünyesinde barındıran We sayısı yansıma olayında etkili bir parametre olmaktadır. Bu durum Şekil 4.111'deki resimlerde açıkça görülmektedir. We sayısının düşük değerlerinde yüzey gerilim kuvvetleri akışkanın yüzeyden yansıma yapacak değerini elde edememektedir. Bu sebeple düşük We sayılarında yansıma olayı oluşmamaktadır (Bu dönüşümde kontak açısının etkisi büyük olmaktadır). We sayısının artmasıyla yüzey gerilim kuvveti akışkanın yansıma yapması için yeterli enerjiyi depolayabilmekte ve yansıma olayı gerçekleşmektedir. We sayısının daha da artmasıyla bu enerji daha yüksek seviyelerde olmakta ve yansıma açısı artmaktadır. We sayısının belli değerlerinden sonra yüzey gerilim kuvveti olarak depolanan enerji seviyesi düşmekte ve yansıma açısında azalma görülmektedir.



Şekil 4.111: Dikey olarak duran ıslanmaz yüzeye eğimle çarpan su jetinin yüzeyden yansımaları ($\theta=167^\circ$ $d=1.75$ mm $\alpha=25^\circ$)

Yansıma açısının tespit edilmesi için 92 deney verisi ile en küçük kareler yöntemi kullanılarak Denklem (4.6) elde edilmiştir. Eşitlikte $R^2=0.905$ 'tir. Eşitlik 3 değişken içermektedir. Bunlar Re sayısı, We sayısı ve jet açısıdır.

$$\beta = 3.4423(\text{Re}^{\cos \alpha})^{0.4833} (e^{We(\sin \alpha)^2})^{-0.0228} ((\sin \alpha)^2)^{1.088} \quad (4.6)$$

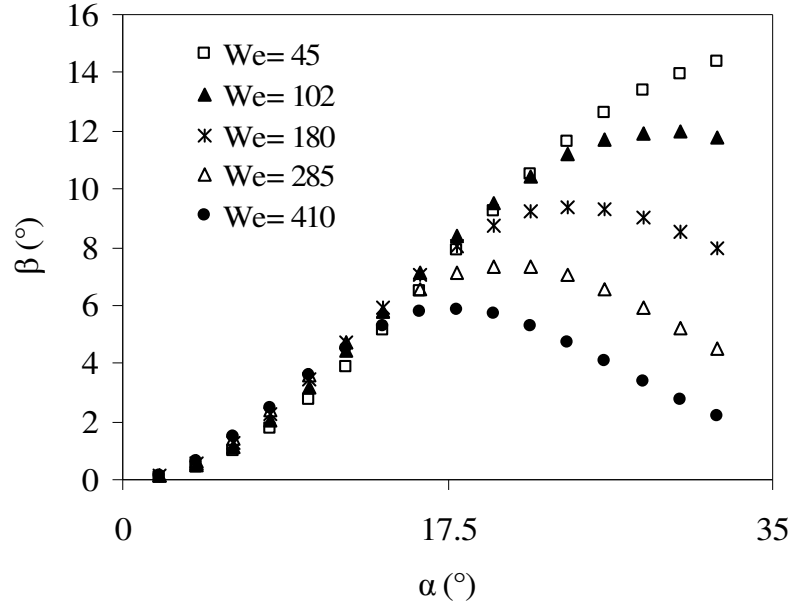


Şekil 4.112: Farklı jet açılarında yansıma açısının We sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $d=1.75$ mm)

Şekil 4.112’de farklı jet açılarındaki yansıma açılarının We sayısı ile değişim grafiği verilmiştir. We sayısının artmasıyla önce artmaya başlayan yansıma açısı belli bir We sayısında maksimum değer aldıktan sonra tekrar azalmaya başlamaktadır. Bu maksimum değer yaklaşık olarak jet açısının %50’si değerlerinde olmaktadır. Bu oran jet açısı arttıkça azalmaktadır. Ayrıca jet açısının artmasıyla, maksimum yansıma açısının oluştuğu We sayısı da azalmaktadır.

Yansıma açısı ve jet açısı arasındaki farkların sürtünmelerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla beraber yansıma açısının jet hızıyla bir maksimum değer alması yalnızca sürtünme kayıpları ile açıklanamaz. Su jetinin hızı arttıkça akışkanın yüzeyde yayılarak kapladığı alanda da artmaktadır. Artan yüzey alanı ile beraber akışkanın yüzey gerilme enerjisi de artmaktadır. Dolayısı ile yüzeydeki akışın birleştiği noktada açığa çıkarak akışkanın yüzeyden tekrar yükselmesine sebep olan enerji seviyesi de artmaktadır. Jetin kinetik enerjisi ile artan bu mekanizma Şekil 4.112’de görülen tepe noktalarına ulaşınca kadar devam etmiştir. Yansıma açısının tepe noktasından sonraki azalma eğilimi ise sürtünmelerden dolayı iç enerjiye dönüşerek birleşme noktasındaki enerji seviyesinin azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Tepe noktalarının jet açısı arttıkça daha düşük hızlarda gerçekleşmesi de bu düşünceyi desteklemektedir.

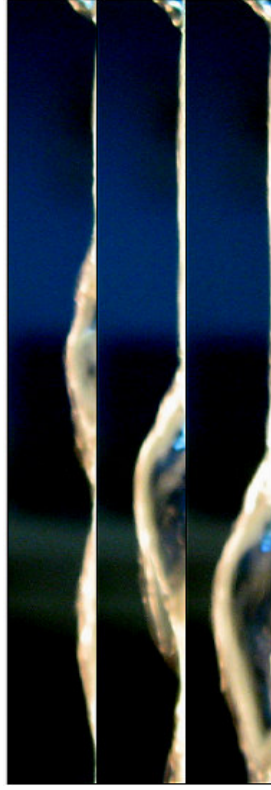
Denklem (4.6) ile çizilen Şekil 4.113’te farklı We sayılarında jet açısının artmasının yansıma açısına etkisi görülmektedir. We sayısının düşük değerlerinde yansıma açısı yüksek değerler almakta, We sayısının yüksek değerlerinde ise bu değer düşmektedir. Fakat We sayısının yüksek değerlerinde jet açısının belli bir değerine kadar çok az daha yüksek yansıma açısı elde edilmektedir.



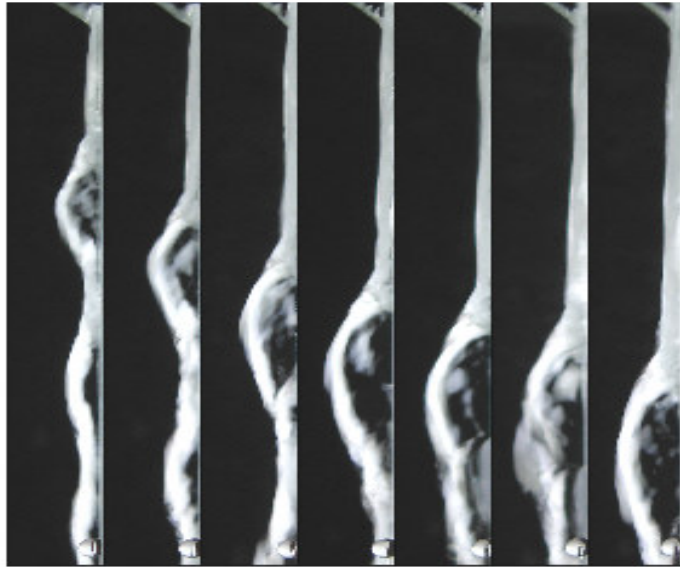
Şekil 4.113: Farklı We sayılarında jet açısının yansıma açısına etkisi ($d=1.75$ mm, $\theta=167^\circ$)

4.9.2. Yansımaya kontak açısının etkisi

Yansıma açısında en etkili parametre yüzeyin kontak açısıdır. 102° ve 112° kontak açılı yüzeyde hiçbir şekilde yansıma görülmemesi (bu tezdeki deney şartlarında) bunun bir göstergesidir. 112° kontak açısına sahip yüzeye gönderilen su jetinin davranışı Şekil 4.114'teki yandan çekilen fotoğraflarda görülmektedir. Akışkan yüzeyde yayıldıktan sonra kolların birleştiği noktada yüzeye normal olarak mesafesini arttırmasına rağmen yüzeyden ayrılamamakta yani yansıma hareketi yapamamaktadır. Şekil 4.115'te ise 123° gibi kontak açısı çok düşük olmayan bir ıslanmaz yüzeyde kolların birleştiği yerde akışkanın yüzeye normal mesafesi 112° kontak açılı yüzeye göre daha fazla olsa da yansıma yapmak için yeterli olamamaktadır.



Şekil 4.114: Düşük kontak açısına sahip yüzeyde yansımanın gerçekleşmemesi
($\theta=112^\circ$, $\alpha=45^\circ$, $d=1.75$ mm)

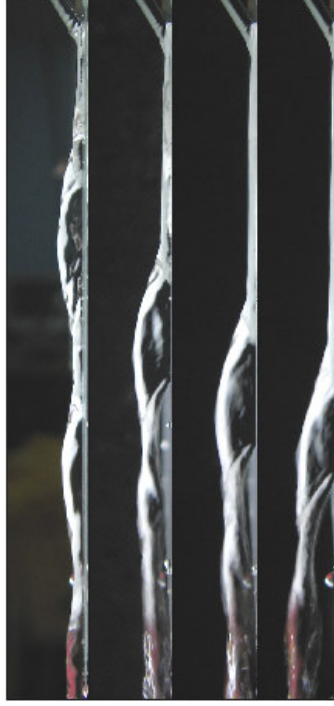


We= 36.8 50.1 71 95.5 116.3 139.1 190.9

Şekil 4.115: Kontak açısı çok düşük olmayan yüzeyde yansımanın gerçekleşmemesi
($\theta=123^\circ$, $\alpha=45^\circ$, $d=1.75$ mm)

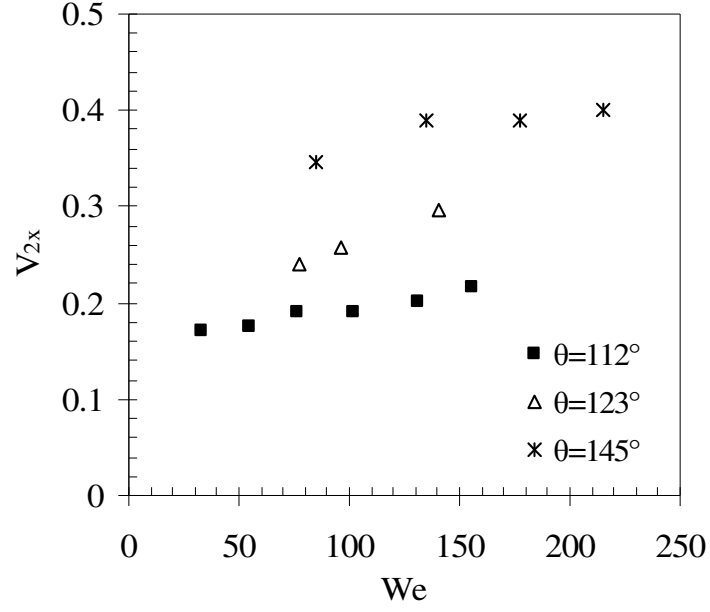
123° kontak açısına sahip yüzeyde yansıma olayı nadir durumlarda görülmüştür. Şekil 4.116'da bunlardan bazıları görülmektedir. Akışkan yüzeyden çok az bir açıyla

yansıma yapmaktadır. Bu yansıma olayı da sabit kalmamaktadır. Bazen yüzeye tutulup devam ettiği bazen ise ayrılarak yansıma yaptığı tespit edilmiştir. Bu yüzden 123° kontak açısına sahip yüzeydeki yansıma olayının şartları tam olarak tespit edilememiştir.



Şekil 4.116: 123° kontak açısına sahip yüzeyde yansıma durumları
($\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm)

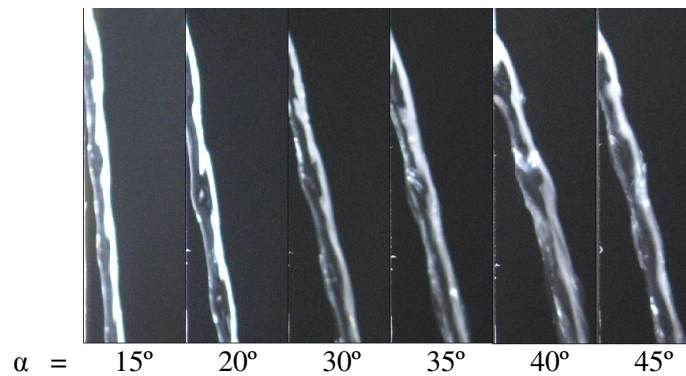
Şekil 4.117’de, Denklem (2.20) kullanılarak elde edilen yansıma hızının yatay bileşenin We sayısı ile değişimi grafiği görülmektedir. Kontak açısının artması suyun yansıma hızının yatay bileşenini arttırmaktadır. 112° ve 123° kontak açısına sahip yüzeylerde yansıma olayına rastlanmamasına rağmen su, yüzeyden normal olarak bir uzaklaşma gerçekleştirmektedir. Bu uzaklaşma yüzeye su arasındaki çekim kuvvetlerini yenemediği için yansıma gerçekleşmemektedir. 145° kontak açısına sahip yüzeyde ise suyun yansıma hızının yatay bileşeni daha büyük değerlerde olmaktadır. Su ile ıslanmaz yüzey arasındaki düşük çekim kuvvetlerinin de etkisiyle su yüzeyden yansıma hareketi yapabilmektedir.



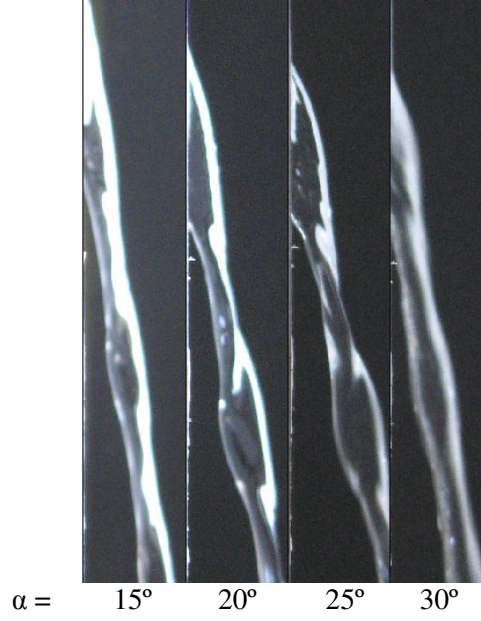
Şekil 4.117: Farklı kontak açıları için yansımaya hızının yatay bileşenin değişimi ($\theta=123^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm)

4.9.3. Yansımaya jet açısının etkisi

Şekil 4.112'deki grafiğin açıklamasında bahsedildiği gibi jet açısının artması ile yansımaya açısı önce artmakta daha sonra ise azalmaktadır. Özellikle düşük We sayılarında jet açısındaki artışla yansımaya açısı sürekli artmaktadır (Şekil 4.118). Bu artış jet açısı arttıkça düşme eğilimindedir. We sayısının daha yüksek değerlerinde jet açısındaki artışla yansımaya açısının düşmeye başladığı jet açısı da düşmektedir (Şekil 4.119). Düşüşün başladığı jet açılarındaki resimlerden akışın daha karmaşık bir hal aldığı görülmektedir.

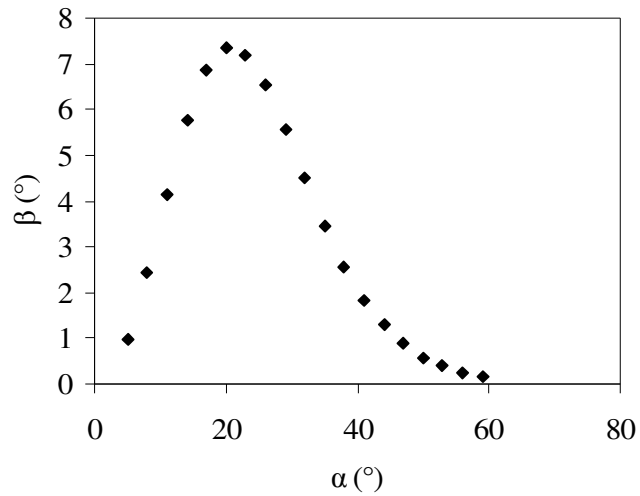


Şekil 4.118: Suyun yüzeyden yansımaları görüntüleri ($We \approx 29$, $d=1.75$ mm, $\theta=167^\circ$)



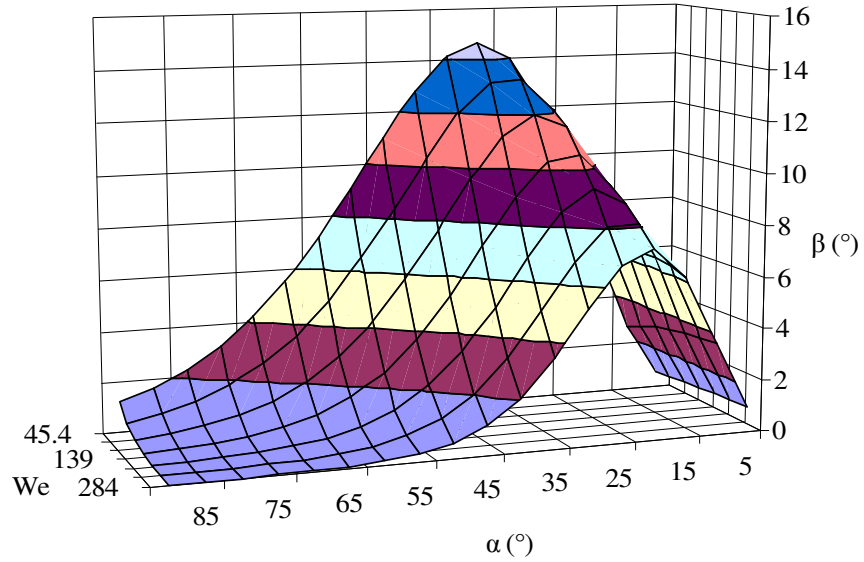
Şekil 4.119: Suyun yüzeyden yansması görüntüleri ($\theta=167^\circ$, $We\approx 71$, $d=1.75$)

Deneyleerde 45° jet açısından büyük değerlerde deney yapılmamıştır. Fakat bu değerden sonra yansımaya açısının iyice düşeceği açıktır. Bu durumun tespit edilmesi için Denklem (4.6) kullanılarak Şekil 4.120 çizilmiştir. We sayısı 285 değerinde sabit tutulup jet açısının artmasıyla yansımaya açısı önce yükselmekte jet açısının değeri yaklaşık 20° olduğunda maksimum değere ulaşmakta daha sonra jet açısının artmasıyla yansımaya açısı da düşmektedir. Yaklaşık 60° jet açısında da sıfır değerini almaktadır.



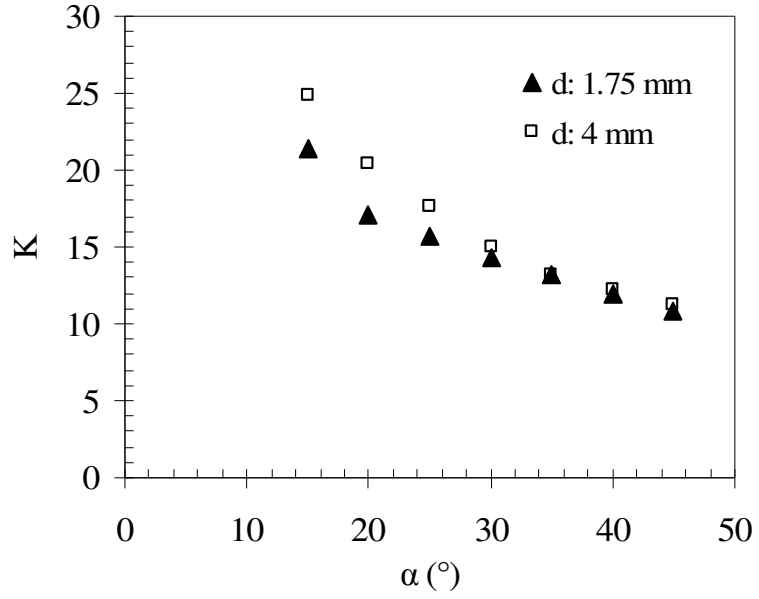
Şekil 4.120: Yansımaya açısının jet açısı ile değişimi ($d=1.75$ mm, $We=285$, $\theta=167^\circ$)

Jet açısının yansıma açısına etkisi, farklı We sayıları için Şekil 4.121'deki 3 boyutlu grafikte verilmiştir. Daha önce bahsedilen yansıma açısının jet açısıyla maksimum değer alması grafikte her We sayısı için görülmektedir. We sayısının artmasıyla yansıma açısının hem maksimum değeri, hem de bu değeri aldığı jet açısı düşmektedir. Grafikte ayrıca deneylerde kullanılmayan 45°'den büyük jet açısında yansıma açısı için denklemin davranışı görülmektedir. 45°'den büyük jet açılarında We sayısının düşük değerlerinde düşük değerlerde de olsa yansıma olmaktadır. We sayısının artmasıyla bu değer düşmektedir. İyice artan We sayısı ve jet açısı ile yansıma açısı sıfır değerini almaktadır.



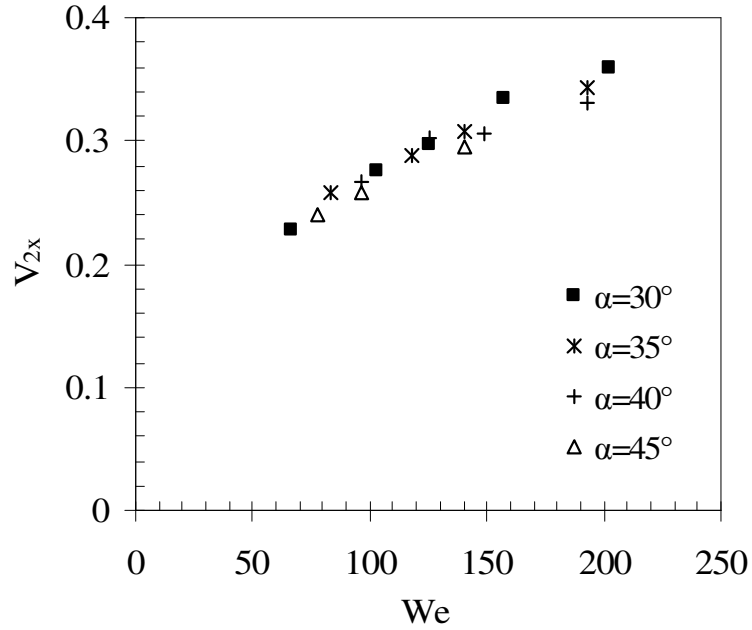
Şekil 4.121: Farklı We sayılarında yansıma açısının jet açısı ile değişimi ($\theta=160^\circ$, $d=1.75$ mm)

Deneysel sırasında yüksek kontak açısına sahip yüzeylerde her şartta yansıma gerçekleşmemiştir. Farklı jet açılarında akışkanın hızı artırılarak yansımanın başladığı şartlar tespit edilmiş ve çarpışma parametresi olarak Denklem (2.43)'te tanımlanan boyutsuz sayı ile Şekil 4.122'de verilmiştir. Farklı çaptaki her iki nozulda da yansımanın başladığı çarpışma parametresi jet açısının 30°'den sonraki değerlerinde yaklaşık aynı olmaktadır. Jet açısının 30°'den daha düşük değerlerinde ise küçük nozul çapında, daha düşük çarpışma parametresi, K değerinde yansıma başlamaktadır.



Şekil 4.122: Yansımanın başladığı çarpışma parametresi, K ($\theta=167^\circ$)

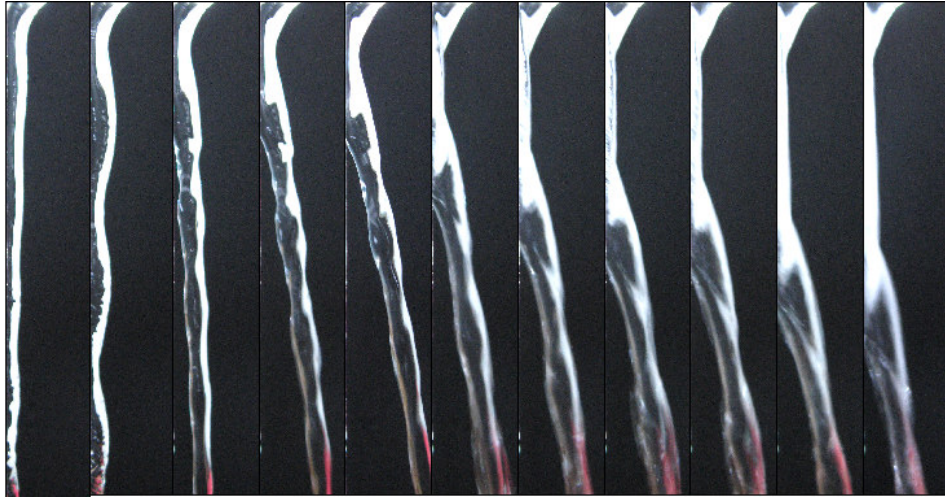
Şekil 4.123'te farklı jet açılarındaki yansıma açısının yatay bileşeninin We sayısı ile değişimi grafiği görülmektedir. We sayısı ile artan yansıma hızının yatay bileşeni, jet açısındaki artışla az oranlarda düşmektedir. We sayısının artmasıyla yüzey gerilim enerjisi olarak depolanan enerji artmakta ve yansıma hızı artmaktadır.



Şekil 4.123: Farklı jet açılarındaki yansıma hızının yatay bileşeninin We sayısı ile değişimi ($\theta=123^\circ$, $d=1.75$ mm)

4.9.4. Yansımaya nozul çapının etkisi

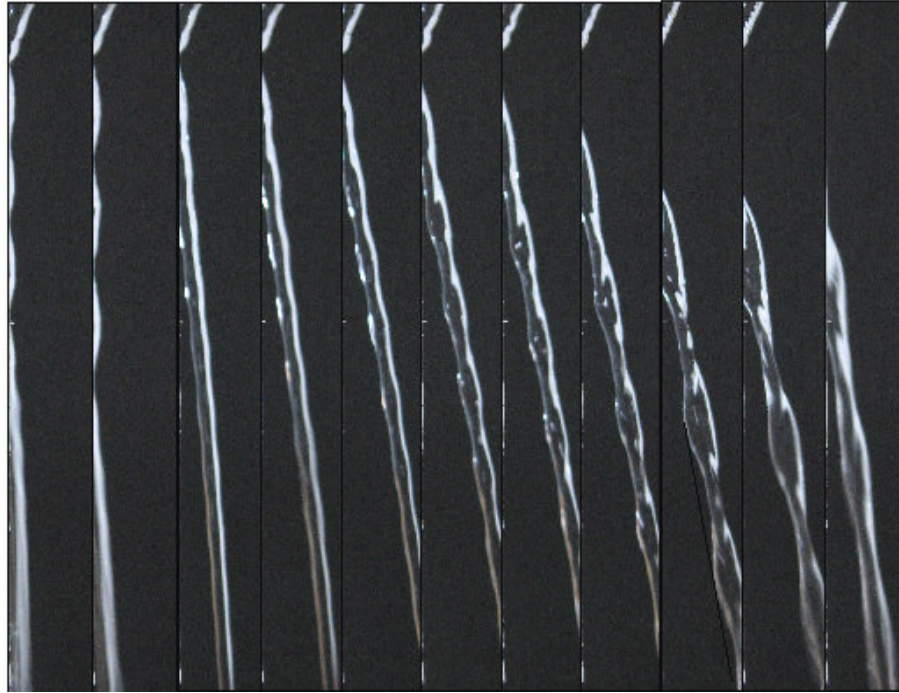
Şekil 4.124'te 4 mm nozul ile 30° jet açısında ıslanmaz yüzeye gönderilen su jetinin yüzeyde yayılarak yansıması görülmektedir. We sayısının düşük değerlerinde akışkan yüzeyden yansıma yapabilecek enerji seviyesini elde edememektedir. We sayısı arttıkça yansımaya neden olan yüzey gerilim enerjisi yeterli seviyeye ulaşabilmekte ve yansıma belli bir We sayısında düşük açılarla başlamaktadır. We sayısının artmasıyla bu enerji seviyesi ve yansıma açısı artmaktadır.



We = 2,76 5,97 6,96 10,4 13,07 22 33,24 35,53 44,46 49,5

Şekil 4.124: Su jetinin ıslanmaz yüzeyde yayılarak yansıması ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $d=4$ mm)

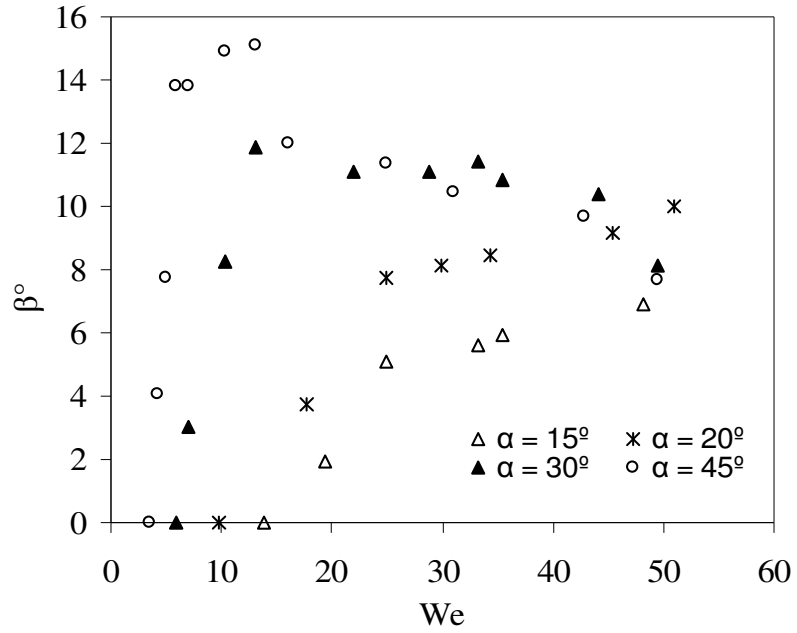
We sayısının daha da artmasıyla enerji dönüşümü bozulmakta ve yansıma açısı düşmeye başlamaktadır. Aynı durum 1.75 mm çapındaki nozul için de Şekil 4.125'te görülmektedir



We = 5,58 7,29 9,23 11,4 13,79 19,26 25,64 32,93 55,15 71,22 83,07

Şekil 4.125: Su jetinin ıslanmaz yüzeyde yayılarak yansması ($\theta=167^\circ$, $d=1.75$ mm, $\alpha=25^\circ$)

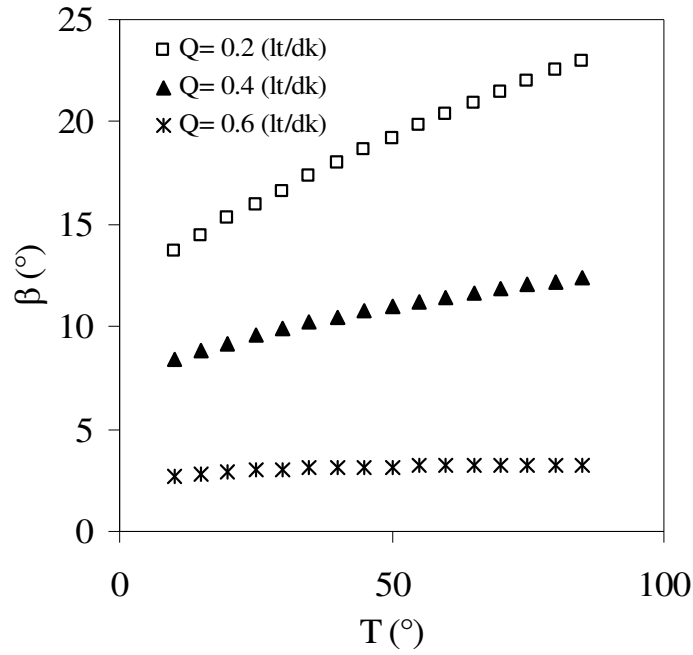
1.75 mm çapındaki nozulla daha büyük yansıma açıları elde edilmektedir. Nozul çapının artmasıyla yansıma açısı düşmektedir. Fakat yapılan deneylerde nozul çapının etkisi tam olarak belirlenememiş ve denkleme eklenememiştir.



Şekil 4.126: Farklı jet açılarında yansıma açısının We sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $d=4$ mm)

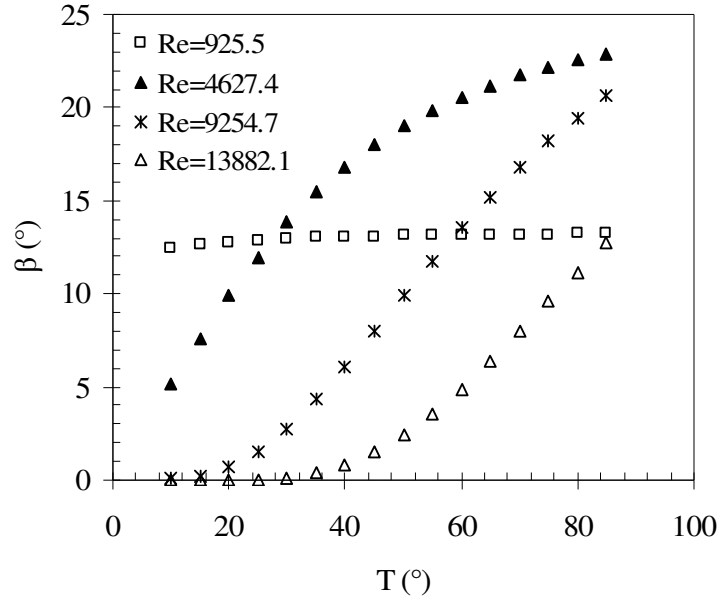
4.9.5. Yansımaya akışkan sıcaklığının etkisi

Deney verilerinden elde edilen Denklem (4.6) kullanılarak akışkan sıcaklığının etkisi tahmin edilmektedir. Şekil 4.127’de sabit debide sıcaklığın artmasının yansıma açısına etkisi görülmektedir. Düşük debilerde sıcaklığın artması yansıma açısını arttırmaktadır. Debinin yükselmesiyle ise bu artış oranı düşmektedir.



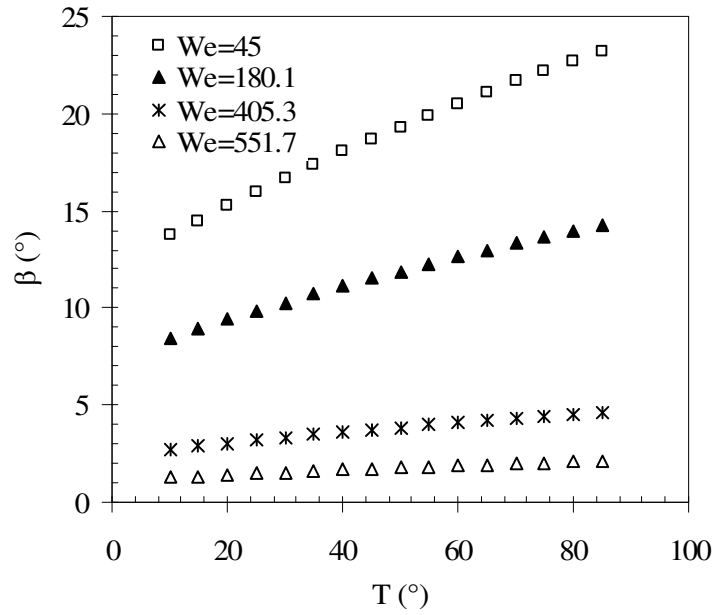
Şekil 4.127: Farklı debilerde yansıma açısını akışkan sıcaklığı ile değişimi
($d=1.75$ mm, $\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$)

Re sayısı sabit tutularak sıcaklığın artmasıyla meydana gelen yansıma açısı farklı Re sayılarında çok farklı davranışlar göstermektedir (Şekil 4.128). Re sayısının düşük değerlerinde sabit kalan yansıma açısının değeri, Re sayısındaki artışla sıcaklığın düşük değerlerinde düşük değerlerde olmakta yansıma açısı sıcaklığın artmasıyla artmaktadır. Yüksek Re sayılarında sıcaklığın belli değerine kadar yansıma gerçekleşmemektedir.



Şekil 4.128: Farklı Re sayılarında yansıma açısının akışkan sıcaklığı ile değişimi ($d=1.75$ mm, $\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$)

Şekil 4.129’da sabit We sayısında sıcaklığın artmasının yansıma açısına etkisi verilmiştir. We sayısının düşük değerlerinde yüksek değerlerde olan yansıma açısı, sıcaklığın artmasıyla artmaktadır. We sayısının yüksek değerlerinde ise sıcaklığın artmasıyla meydana gelen yansıma açısının bu artış oranı düşmektedir.



Şekil 4.129: Farklı We sayılarında yansıma açısının akışkan sıcaklığı ile değişimi ($d=1.75$ mm, $\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$)

4.9.6. Yansımaya şartları ve açısı özet

Tablo 4.12’de yansımaya açısına etki eden parametrelerin etki şekilleri verilmiştir. nozul çapındaki artış yansımaya açısını azaltırken, kontak açısı ve akışkan sıcaklığındaki artış arttırmaktadır. Re ve We sayılarının ise jet açısına bağlı olarak belli değerlerine kadar yansımaya açısı artmakta daha sonra azalmaktadır. Aynı şekilde jet açısı artışı da, Re ve We sayılarına bağlı olarak jet açısının belli değerine kadar artmakta daha sonra ise azalmaktadır.

Tablo 4.12: Yansımaya açısına etki eden parametrelerin etki şekilleri.

	Reynolds (↑)	Weber (↑)	Jet açısı (↑)	Kontak açısı (↑)	Nozul çapı (↑)	Akışkan Sıcaklığı (↑)
Yansımaya açısı	↑↓(a)	↑↓(a)	↑↓(b)	↑	↓	↑
(a)	Re ve We sayılarının belli bir değerine kadar artıyor daha sonraki değerlerde azalmaya başlıyor.					
(b)	We değerine bağlı olarak jet açısının belli değerine kadar artıyor daha sonra azalıyor.					

Tablo 4.13’te yansımaya açısına etki eden Re ve We sayısı parametrelerinin etki şekilleri verilmiştir. Yansımaya açısı yüzey geriliminin artmasıyla artarken viskozitenin artmasıyla azalmaktadır. Su jeti hızı ise yukarıda bahsedildiği gibi belli değere kadar yansımaya açısını arttırmakta daha sonra azaltmaktadır.

Tablo 4.13: Yansımaya açısına etki eden Re ve We sayısı parametreleri

	Viskozite (↑)	Yüzey gerilimi (↑)	Su jeti hızı (↑)
Yansımaya açısı	↓	↑	↑↓(a)
(a)	Re ve We sayılarının belli bir değerine kadar artıyor daha sonraki değerlerde azalmaya başlıyor.		

4.10. Teğetsel Kuvvet (F_y)

Bu tez çalışmasında yapılan diğer bir deneysel inceleme ise, su jetinin yüzeye çarpmasıyla oluşan, yüzeye teğet kuvvetin ölçülmesidir. Islanmaz yüzeye açılı olarak çarpan su jetinin bir süre sonra yüzeyden yansması sonucu oluşan momentum değişimi ve dolayısıyla kuvvet oluşumu hassas terazi yardımıyla ölçülmüştür. Kontak

açısı 102°, 112° olan yüzeye su jeti gönderildiğinde su yüzeyde sadece yayılma hareketi yaptığı fakat yansıma olayı gerçekleşmediği için teğetsel kuvvet ölçümü yapılmamıştır. Kontak açısı 123° olan ıslanmaz yüzeyde ise yansıma her durumda gerçekleşmediği belli parametrelere bağlı olarak değiştiği için bu değerde de teğetsel kuvvet ölçümü yapılmamıştır. Yansıma olayının gerçekleşmediği durumlarda, su yüzeye temas halinde akışına devam etmektedir. Böylece su ile yüzey arasındaki sürtünme kuvvetleri bütün yüzey boyunca etkili olmaktadır. Bu yüzden kuvvet ölçümünden bir sonuca varılamayacağı düşünülerek bununla ilgili ölçümler yapılmamıştır.

Teğetsel kuvvetin ölçülmesi için 145° ve 167° kontak açısına sahip iki yüzey, 1.75 mm ve 4 mm çapında iki farklı nozul 15° – 45° aralığında jet açısı ve çeşitli su jeti hızlarında yapılan 125 deney sonucundan Denklem (4.7) ile verilen eşitlik elde edilmiştir. Eşitlikte $r=0.96$, $R^2=0,94$ 'tür. Eşitlikte kullanılan M_{jet} su jetinin momentumunun teğetsel bileşenidir (Denklem (4.8)).

$$\frac{F_y}{M_{jet}} = 1.025 (Re^\Phi)^{0.3495} (We (\cos \alpha)^2)^{-0.9465} (\Phi)^{-10.3131} (\sin \alpha)^{-0.4315} \left(\frac{d^2}{D_{ED}^2} \right)^{-0.9518} \quad (4.7)$$

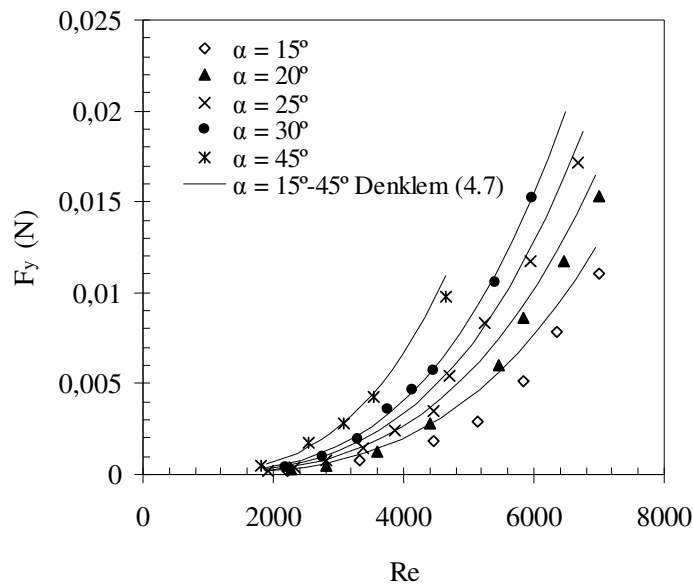
$$M_{jet} = \frac{\pi d^2}{4} \rho V^2 \cos(\alpha) \quad (4.8)$$

Islanmaz yüzeye çarpıp yayılarak yansıma hareketi yapan akışkanın meydana getirdiği teğetsel kuvvetin oluşumunda akışkan ile yüzey arasındaki sürtünmeler etkin olmaktadır. Bu sebeple eşitlik elde edilirken, nozul alanı akışkanın yüzeyde kapladığı alana bölünerek boyutsuz bir sayı elde edilmiş ve bu sayı eşitlikte kullanılmıştır.

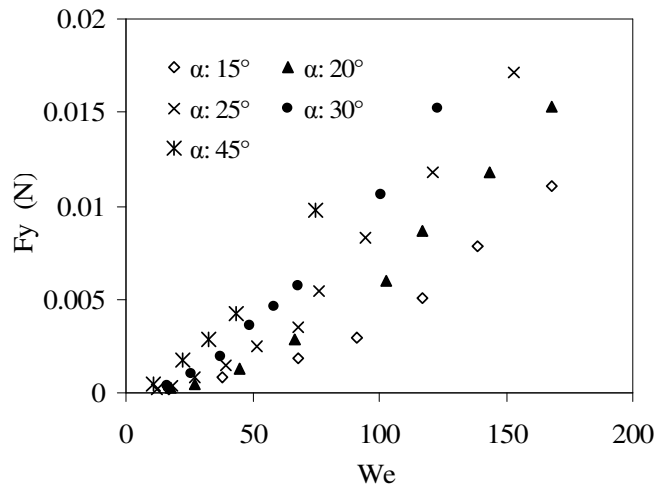
4.10.1. Teğetsel kuvvete Reynolds ve Weber sayılarının etkileri

167° kontak açısına sahip süper ıslanmaz yüzeye, 4 mm çapındaki nozul ile 5 farklı açıyla gönderilen su jetinin hızı artıkça ölçülen kuvvet değeri artmış olup bu artış momentum denklemiyle rahatça anlatılabilir. Islanmaz yüzeylerde kuvvet ile ilgili

yapılan ölçüm sonuçlarından biri farklı jet açılarında 167° kontak açısına sahip yüzey için Re sayısı ile değişimi Şekil 4.130'da verilmiştir. Yüzeye çarpan su jetinin momentum değişiminin düşey yöndeki bileşenleri incelendiğinde yüzeye gelen ve yüzeyden ayrılan suyun hız bileşenleri farklı değerlerde olduğu anlaşılır. Giriş çıkış hız farkının yüzeyde oluşturduğu teğetsel kuvvet bileşeni terazi tarafından ölçülmüş olup bu değer in yüzeydeki sürtünme kuvvetinden dolayı oluştuğu söylenebilir. Aynı grafik Re sayısı yerine We sayısı ile çizildiğinde her bir jet açısı için kuvvet eğrilerinin aralarındaki farkların biraz daha arttığı görülmektedir (Şekil 4.131).

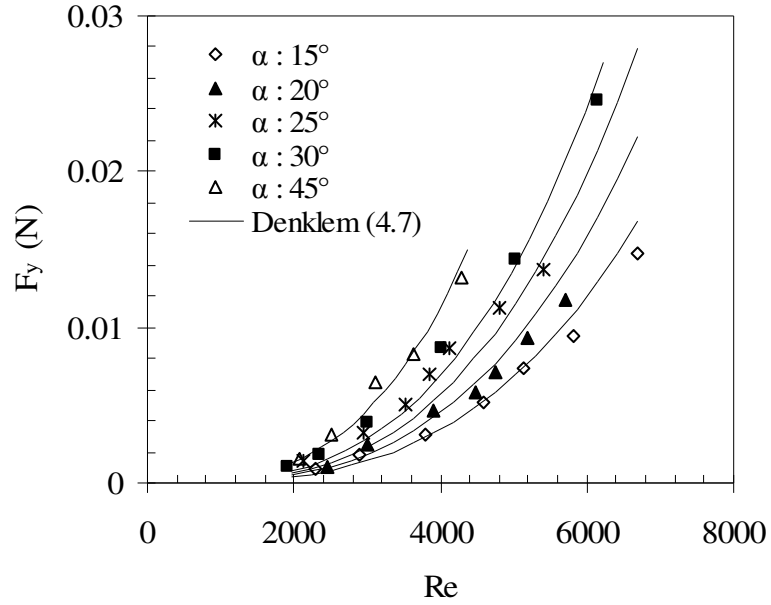


Şekil 4.130: Teğetsel kuvvet ile Reynolds sayısının değişimi. ($\theta=67^\circ$, $d=4$ mm)

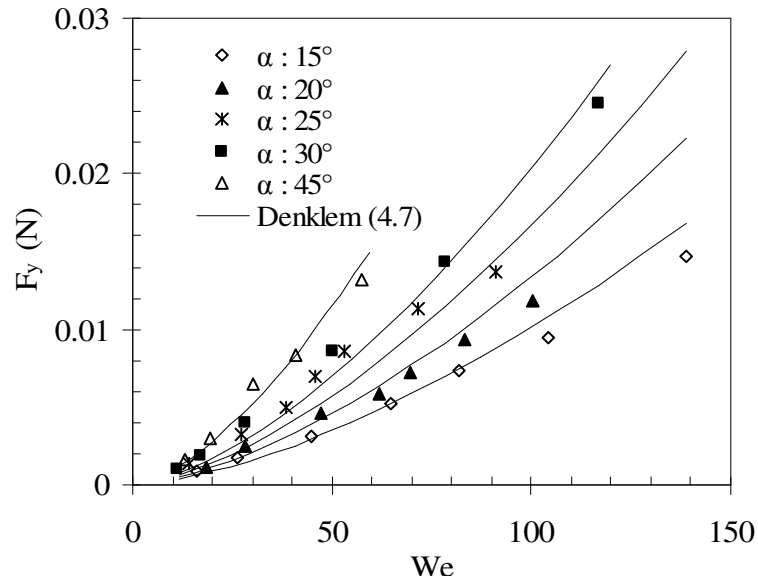


Şekil 4.131: Teğetsel kuvvet ile Weber sayısının değişimi. ($\theta=167^\circ$, $d=4$ mm)

145° kontak açısına sahip yüzey kullanılarak yapılan teğetsel kuvvet ölçümü sonuçları Şekil 4.132'de Re sayısı ile Şekil 4.133'te We sayısı ile verilmiştir. Bu yüzeyde de 167° kontak açısına sahip yüzeydeki hem Re, hem We sayısı ile oluşan aynı davranış meydana gelmektedir.

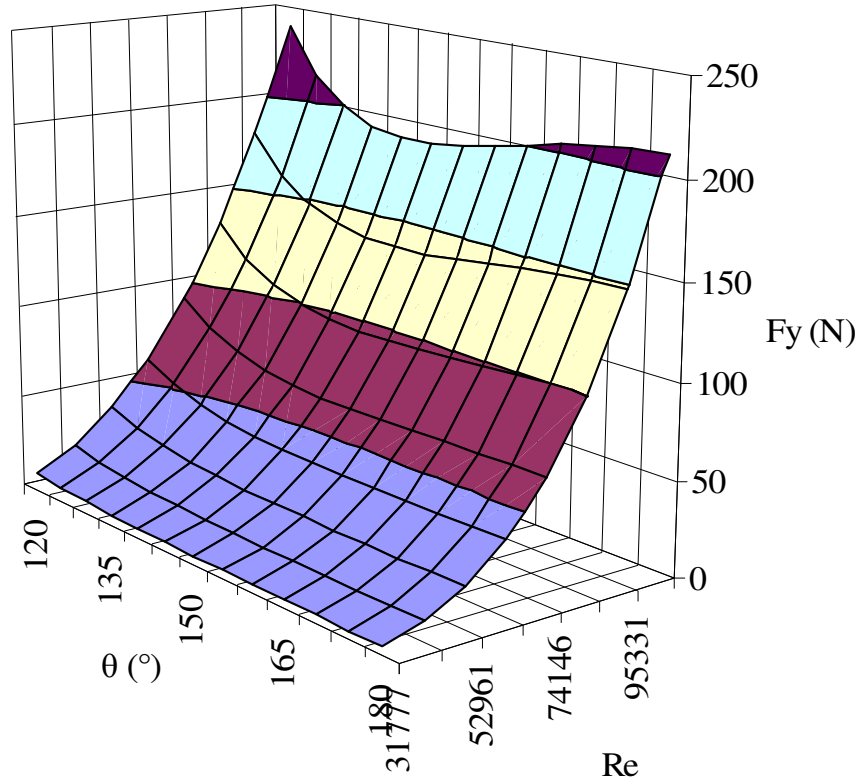


Şekil 4.132: Teğetsel kuvvetin farklı jet açılarında Re sayısı ile değişimi ($\theta=145^\circ$, $d=4$ mm)



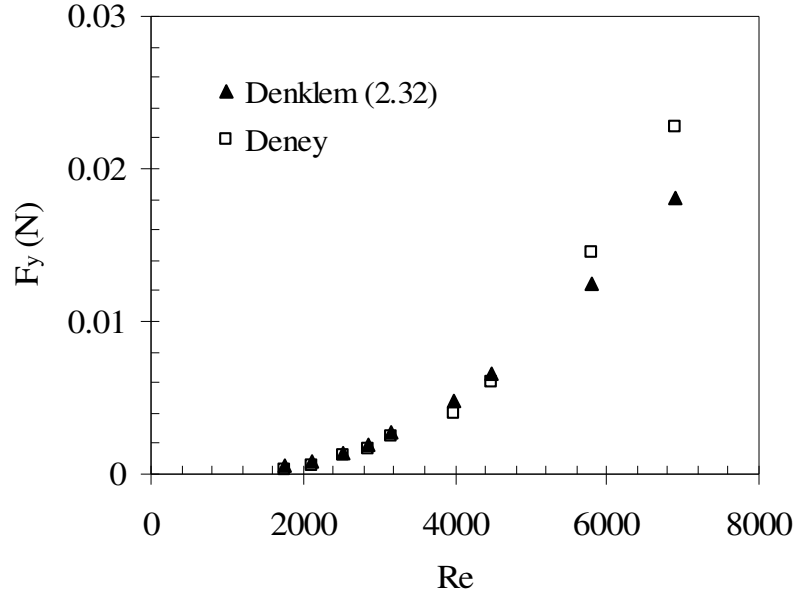
Şekil 4.133: Teğetsel kuvvetin farklı jet açılarında We sayısı ile değişimi ($\theta=145^\circ$, $d=4$ mm)

Şekil 4.134'te çok yüksek Re sayılarında kontak açısının teğetsel kuvvet üzerindeki etkisi görülmektedir. Düşük Re sayılarında kontak açısının artması ile teğetsel kuvvet düşmekte, Re sayısının değeri çok büyüdüğünde ise teğetsel kuvvet önce düşmekte daha sonra minimum bir değer alarak tekrar yükselişe geçmektedir.



Şekil 4.134: Çok yüksek Re sayılarında kontak açısının teğetsel kuvvete etkisi ($d=4$ mm, $\alpha=30^\circ$)

Şekil 4.135'de Denklem (2.32) kullanılarak elde edilen kuvvet eğrisiyle, deneyle elde edilen eğrinin karşılaştırılması verilmiştir. Düşük Re sayılarında deney verileri teorik verilerden daha düşük değerlerde olmakta, Re sayısının artmasıyla deneyle elde edilen veriler daha fazla değerler almaktadır. Teorik ve deneysel veriler arasındaki hata oranı Re sayısına göre değişmekte olup en düşük %8, en yüksek %51 hata elde edilmiştir. Hata oranı yaklaşık olarak Re sayısının 3000 – 4000 arasında minimum değerlerde olmaktadır.

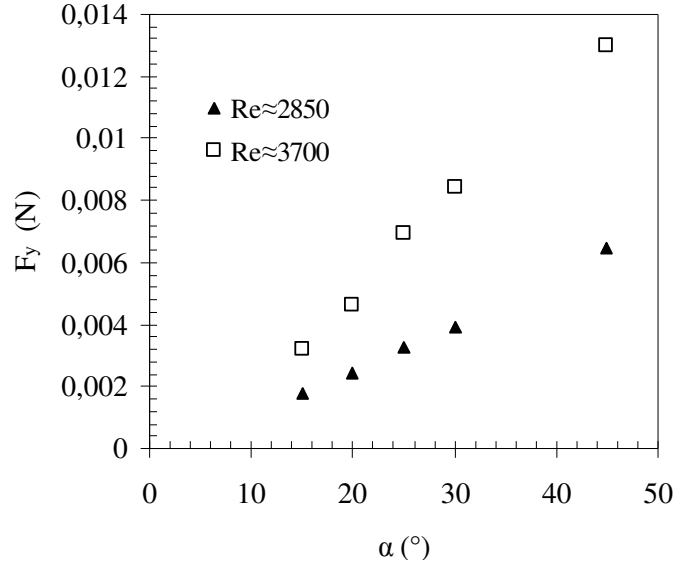


Şekil 4.135: Teorik ve deneysel verilerin teğetsel kuvvet ve Re sayısı eğrisiyle karşılaştırılması, ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm)

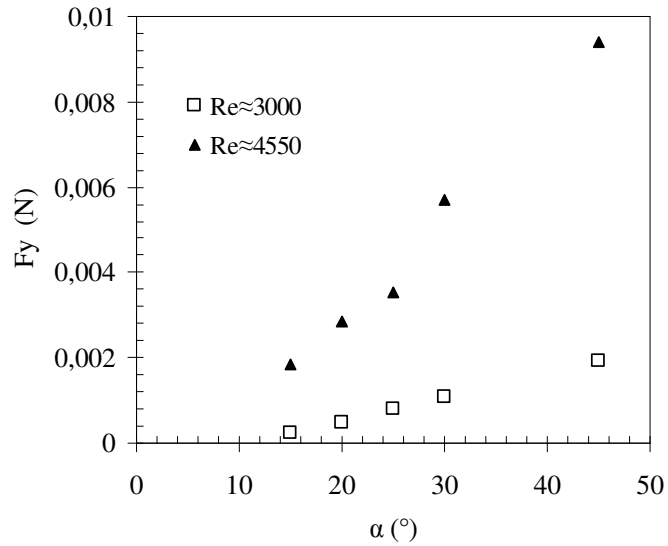
4.10.2. Teğetsel kuvvete jet açısının etkisi

Teğetsel kuvvete jet açısının etkisi Şekil 4.136’da 145° ve Şekil 4.137’de 167° kontak açısına sahip yüzey için görülmektedir. Her iki yüzeyde de jet açısının artması teğetsel kuvveti arttırmaktadır.

Giriş ve çıkış momentumlarının teğetsel bileşeni, teğetsel kuvvetin değerinde etkili olmaktadır. Giriş ve çıkış momentumlarının teğetsel bileşenleri arasındaki fark teğetsel kuvveti oluşturmaktadır. Bu sebeple aynı akışkan hızında jet açısının artması momentumun teğetsel bileşenini düşürecektir. Ayrıca belli yüksek jet açılarında yansıma açısı kısa bir süre büyük değerlerde olmakta daha sonra düşmektedir. Yansıma açısının düşmesiyle çıkış momentumunun teğetsel bileşeni de artmaktadır. Bu iki durumdan jet açısının artmasıyla teğetsel kuvvetin düşmesi gerektiği sonucu çıkmaktadır. Fakat çok farklı olarak jet açısının artması ile teğetsel kuvvet de artmaktadır. Ayrıca bu farklar We sayısının artmasıyla daha büyük değerlerde olmaktadır (Şekil 4.136, Şekil 4.137). Bu durumdan akışkan ile yüzey arasındaki sürtünme kuvvetinin teğetsel kuvvetin oluşumuna neden olduğu sonucuna varılmaktadır.



Şekil 4.136: Teğetsel kuvvetin jet açısı ile değişiminin farklı We sayılarında kıyaslanması ($\theta=145^\circ$, $d=4$ mm)

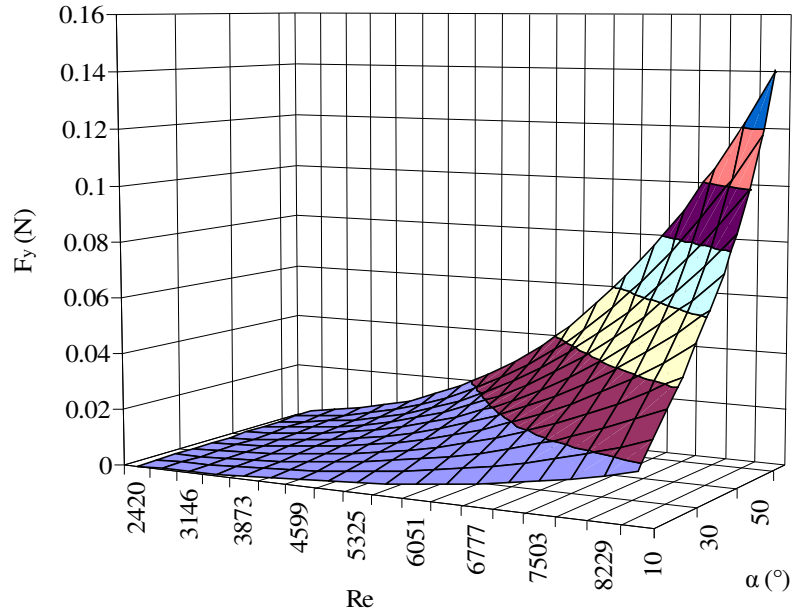


Şekil 4.137: Teğetsel kuvvetin jet açısı ile değişiminin farklı We sayılarında kıyaslanması ($\theta=167^\circ$, $d=4$ mm)

Eğer akışkanın yüzeye çarpma hızı ile yansıma hızı ve jet açısı ile yansıma açısı aynı değerlerde olsaydı teğetsel kuvvet oluşmayacak ve hassas teraziden herhangi bir değer okunamayacaktı. Bu durum akışkan ile yüzey arasında sürtünme kuvvetinin olmadığı anlamına gelmektedir. Jet açısı ile yansıma açısı arasındaki fark büyük oranlarda olmaktadır. Deneylerde her ne kadar akışkanın yansıma hızı tespit edilmemiş olsa da yansıma yapan akışkanın kesitindeki artış süreklilik denklemiyle yansıma hızının giriş hızından daha düşük değerlerde olduğunu göstermektedir.

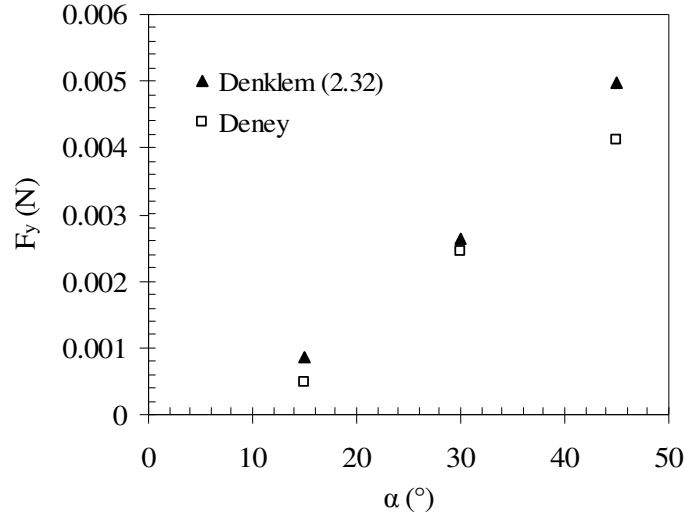
Eşdeğer çap bölümünde anlatıldığı gibi jet açısının artmasıyla akışkanın yüzeyde yayıldığı alan da artmaktadır. Artan yüzey alanıyla orantılı olarak akışkan ile yüzey arasındaki sürtünme kuvvetleri artmakta böylece terazi tarafından ölçülen akışkan ile yüzey arasındaki sürtünmeden kaynaklanan kuvvet artmaktadır. Sonuç olarak ölçülen teğetsel kuvvet akışkanın yüzeyde yayıldığı alan ile doğru orantılı olmaktadır.

Şekil 4.138’de jet açısının teğetsel kuvvete etkisi farklı Re sayıları için 3 boyutlu olarak görülmektedir. Re sayısının düşük değerlerinde jet açısındaki artışla teğetsel kuvvetteki artış az oranda olmakta, Re sayısının artması ile bu artış oranı artmaktadır.



Şekil 4.138: Teğetsel kuvvetin farklı Re sayılarında jet açısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $d=1.75$ mm)

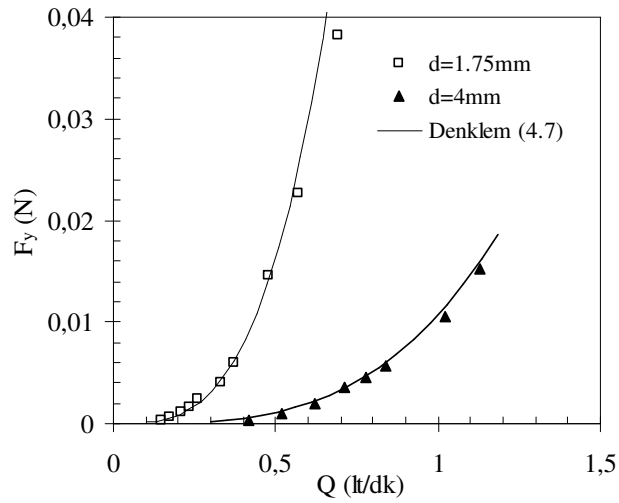
Şekil 4.139’da Denklem (2.32) kullanılarak elde edilen kuvvet değerlerinin jet açısı ile değişimi ile deneylerden elde edilen verilerin karşılaştırılması görülmektedir. Teorik ve deneysel sonuçlar arasındaki hata payı en düşük 30° jet açısında olmakta, en yüksek hata oranı ise 45° jet açısında olmaktadır.



Şekil 4.139: Teorik ve deneysel verilerin teğetsel kuvvet ve jet açısı eğrisiyle karşılaştırılması, ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm)

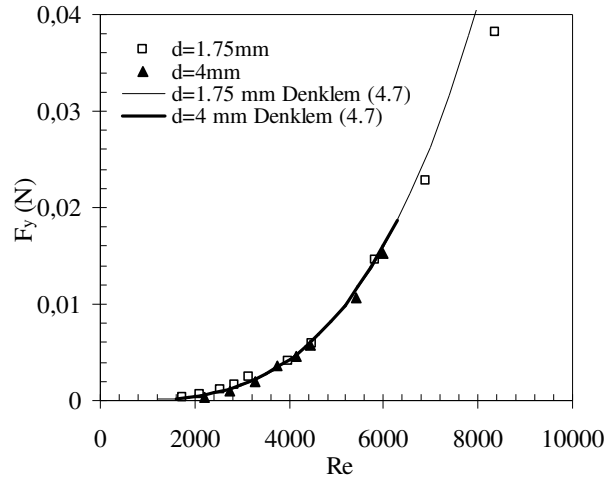
4.10.3. Teğetsel kuvvete nozul çapının etkisi

Farklı çaplardaki nozullarla elde edilen teğetsel kuvvetin debi ile değişimine bakıldığında eğriler arasındaki fark çok fazla olmaktadır. Küçük çaptaki nozulla büyük çaptaki nozuldaki aynı debinin sağlanması için büyük bir hıza çıkılması gerekmektedir. Bu nedenle nozul çapı düştükçe teğetsel kuvvet artmaktadır. Böylece farklı çaplardaki nozulla elde edilen teğetsel kuvveti debi ile ifade etmek doğru olmayacaktır.

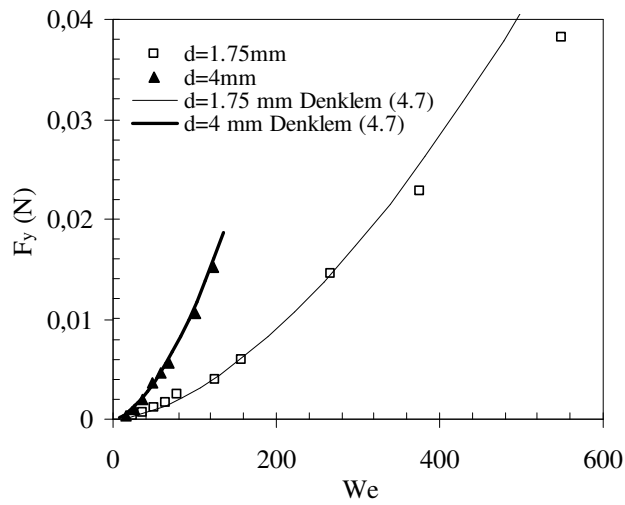


Şekil 4.140: Farklı çaplardaki nozulla elde edilen teğetsel kuvvetlerin debi ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$)

Şekil 4.141’de 1.75 ve 4 mm çapındaki nozullar kullanılarak yapılan kuvvet ölçüm deney sonuçları verilmiştir. Grafikten her iki nozulla ölçülen kuvvetlerin, aynı jet açısında Re sayısı ile değişim eğrilerinin çakıştığı görülmektedir. Farklı jet açılarındaki yapılan deneylerde de aynı sonuç bulunmuştur. Bu durum ıslanmaz yüzeylerde elde edilen teğetsel kuvvetin, aynı Re sayısında nozul çapından bağımsız olduğunu göstermektedir. Aynı eğri We sayısı ile çizildiğinde ise farklı nozullarla elde edilen eğriler arasında büyük fark olmakta ve büyük çaptaki nozulda daha büyük kuvvetler elde edilmektedir (Şekil 4.142). Her iki eğride de elde edilen denklem, deney verilerini çok iyi bir şekilde karşılamaktadır.

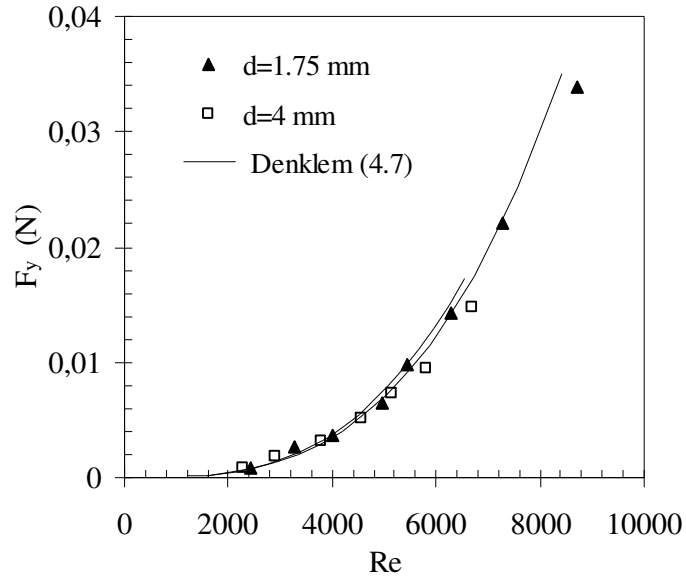


Şekil 4.141: Farklı çaplardaki nozulla elde edilen teğetsel kuvvetlerin Re sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$)

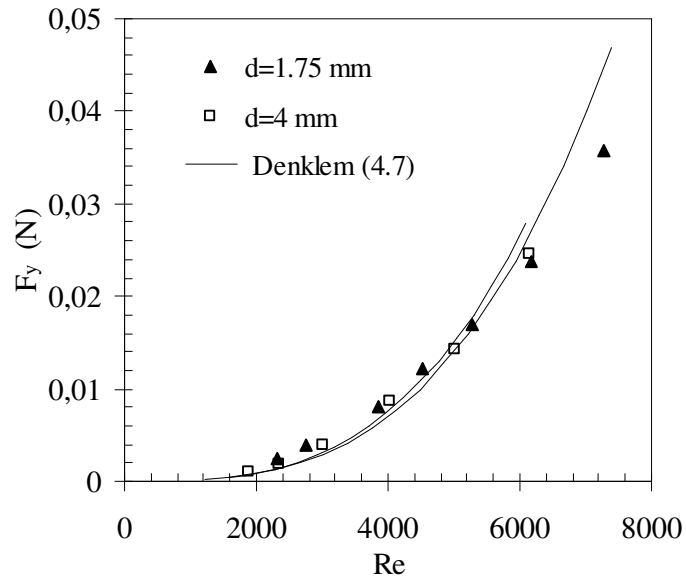


Şekil 4.142: Farklı çaplardaki nozulla elde edilen teğetsel kuvvetlerin We sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$)

Nozul çapının teğetsel kuvvete etkisi için, Şekil 4.143'te 15° jet açısı Şekil 4.144'te da 30° jet açısı için 145° kontak açısındaki deney verileri verilmiştir. Her iki nozulla elde edilen eğrilerin aralarında çok az fark olduğu grafikten görülmektedir. Böylece kontak açısı düştükçe Re sayısının nozul çapından bağımsızlaştırmaya etkisinin azaldığı anlaşılmaktadır.

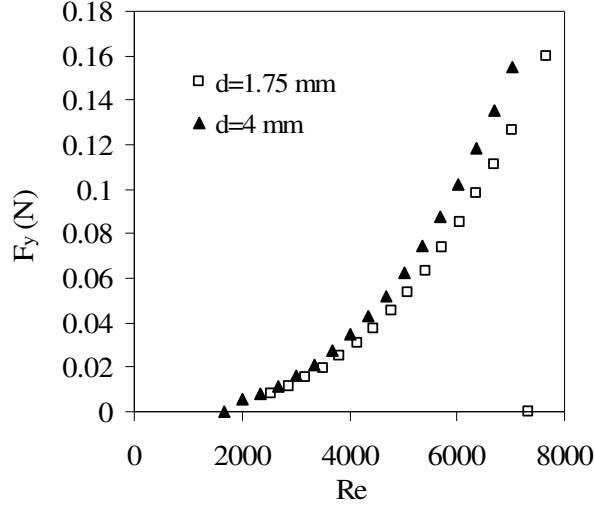


Şekil 4.143: Farklı çaplardaki nozulla elde edilen teğetsel kuvvetlerin Re sayısı ile değişimi ($\theta=145^\circ$, $\alpha=15^\circ$)



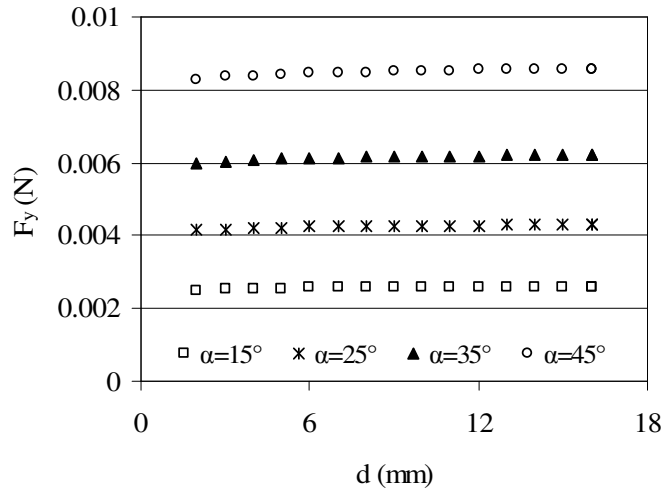
Şekil 4.144: Farklı çaplardaki nozulla elde edilen teğetsel kuvvetlerin Re sayısı ile değişimi ($\theta=145^\circ$, $\alpha=30^\circ$)

Teğetsel kuvvet için elde edilen Denklem (4.7) ile Şekil 4.145'teki grafik çizilmiştir. Grafikten anlaşıldığı üzere kontak açısının düşmesi ile farklı nozullar arasındaki Re sayısı ile meydana gelen genelleme bozulmaktadır. Özellikle bu fark Re sayısının artmasıyla artmaktadır.



Şekil 4.145: Farklı çaplardaki nozulla elde edilen teğetsel kuvvetlerin Re sayısı ile değişimi ($\theta=120^\circ$, $\alpha=30^\circ$)

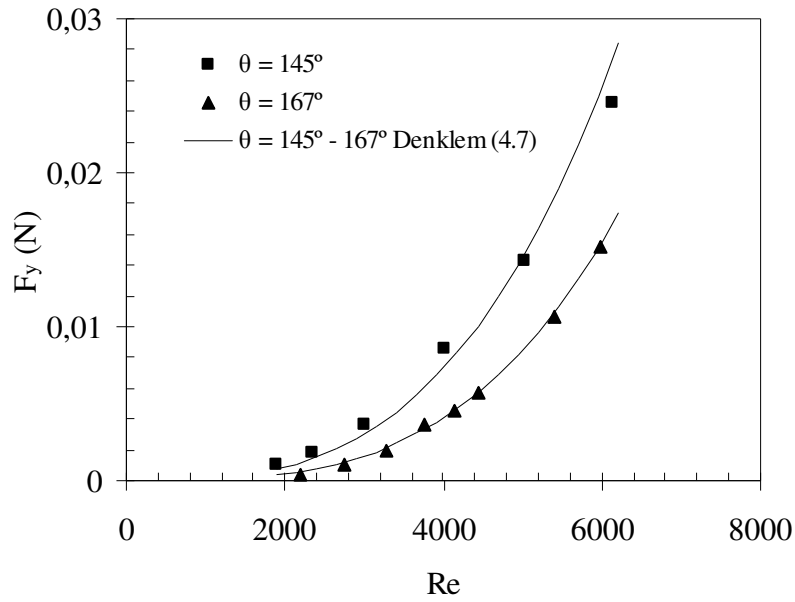
Şekil 4.146'da Denklem (4.7) ile elde edilen farklı jet açılarında nozul çapının teğetsel kuvvete etkisi görülmektedir. Aynı Re sayısında nozul çapının artmasının teğetsel kuvvet üzerine bir etkisinin olmadığı, geniş bir nozul çapı aralığı için denklem tarafından sağlandığı grafikten anlaşılmaktadır.



Şekil 4.146: Teğetsel kuvvetin farklı jet açılarında nozul çapı ile değişimi ($Re=4235$, $\theta=167^\circ$)

4.10.4. Teğetsel kuvvete kontak açısının etkisi

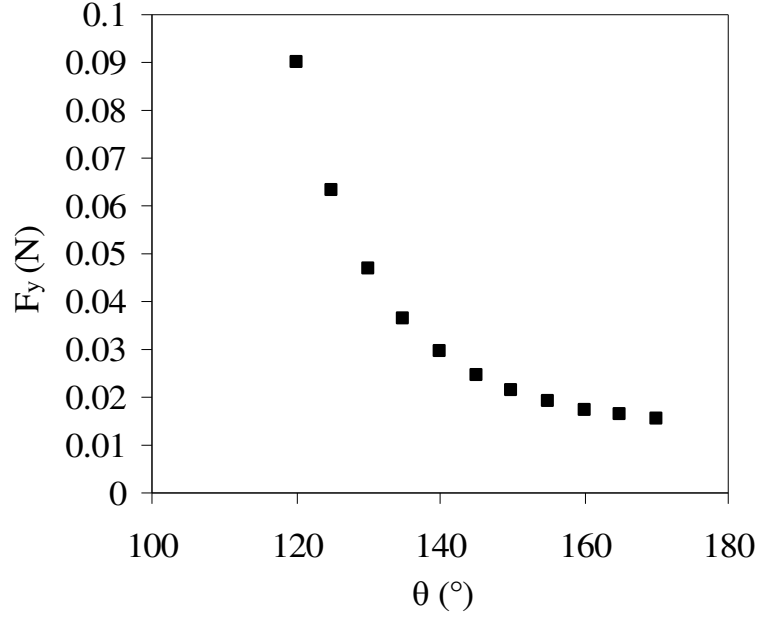
Şekil 4.147’de iki farklı kontak açısına sahip yüzeylerde meydana gelen teğetsel kuvvetler arasındaki farkın Re sayısı ile değişimi grafiği görülmektedir. Kontak açısı arttıkça, akışkan yüzeyde daha az bir alana yayılmaktadır. Teğetsel kuvvetler akışkanın yüzeydeki alanıyla doğru orantılı olarak değişmekte, ayrıca ıslanmaz yüzeylerin kontak açısının artması akışkan ile aralarındaki çekim kuvvetinin azalması anlamına gelmektedir. Böylece hem daha az bir alana yayılan hem de akışkan ile aralarındaki çekim kuvveti daha az olan yüksek kontak açısına sahip yüzeyde teğetsel kuvvet daha düşük değerlerde olmaktadır. Ayrıca Re sayısının artmasıyla her iki nozulla elde edilen teğetsel kuvvetler arasındaki fark da artmaktadır. Re sayısının artmasıyla akışkanın daha fazla bir alana yayıldığından bahsedilmişti böylece yayılma alanıyla doğru orantılı olan teğetsel kuvvetler arasındaki fark Re sayısının artmasıyla artmaktadır.



Şekil 4.147: Kontak açısı 145° ve 167° olan yüzeyde Reynolds sayısı ile teğetsel net kuvvetin değişimi ($d=4$ mm, $\alpha=30^\circ$)

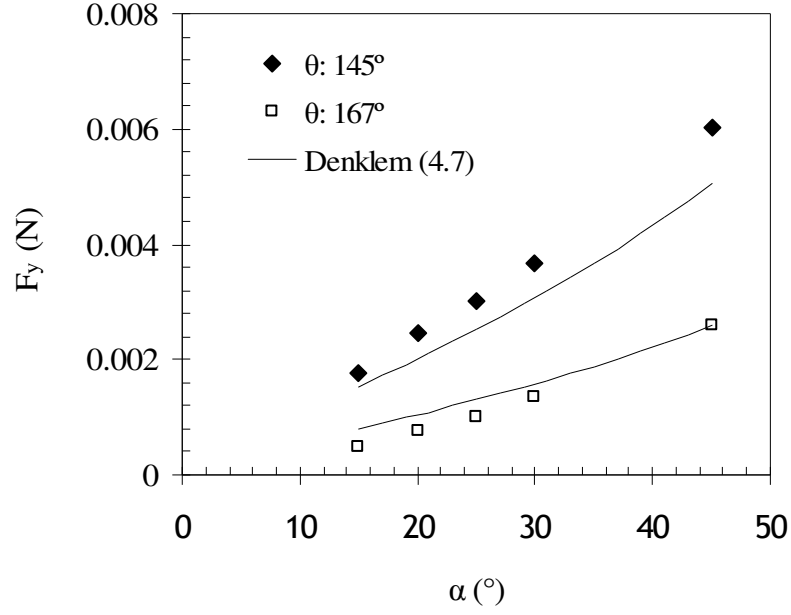
Şekil 4.148’de kontak açısının artmasının teğetsel kuvvet üzerine etkisinin ne kadar fazla olduğu görülmektedir. Kontak açısının artmasıyla teğetsel kuvvet büyük oranlarda düşmekte, bu düşüş özellikle düşük kontak açılı ıslanmaz yüzeylerde

büyük oranlarda olmaktadır. Bu durum ıslanmaz yüzeylerde sürtünmenin ne derece düşürülebileceğinin bir göstergesidir.



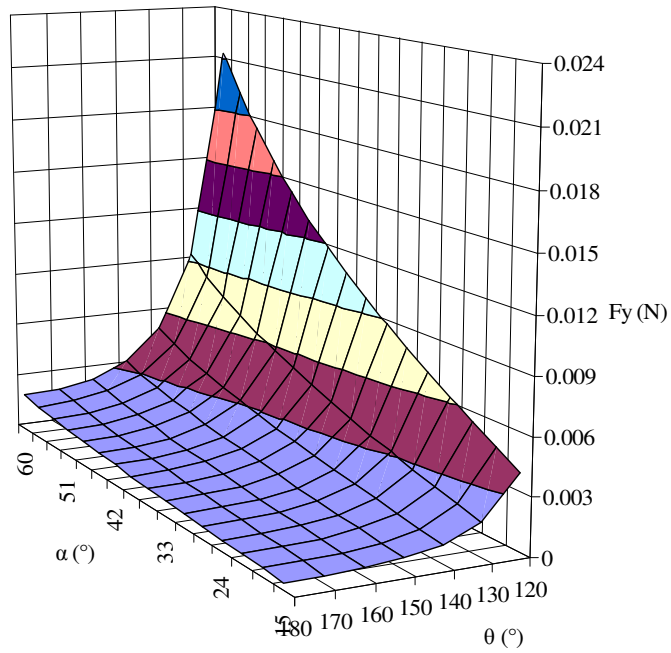
Şekil 4.148: Kontak açısının teğetsel kuvvet üzerine etkisi ($Re=6000$, $d=1.75$ mm , $\alpha=30^\circ$)

Farklı kontak açısına sahip yüzeylerde meydana gelen teğetsel kuvvetler arasındaki farkın jet açısının artmasıyla daha da arttığı Şekil 4.149’da görülmektedir. Jet açısının artması ile düşük kontak açısına sahip yüzeyde daha fazla bir alana yayılan akışkanın yüzeye meydana getirdiği sürtünme kuvvetleri artacaktır. Büyük kontak açısına sahip yüzeyde ise jet açısının artmasıyla nispeten daha düşük bir alana yayılan akışkanın yüzeye aralarındaki sürtünme kuvveti azalacaktır. Böylece jet açısının artmasıyla farklı kontak açısındaki yüzeylerde meydana gelen teğetsel kuvvetler arasındaki fark da artmaktadır.



Şekil 4.149: 4 mm nozul ile 2 farklı ıslanmaz yüzeye gönderilen su jetinin jet açısı ile teğetsel kuvvetin değişimi.

Kontak açısının farklı jet açlarındaki teğetsel kuvvet üzerindeki etkisi Şekil 4.150'de 3 boyutlu olarak görülmektedir. Düşük jet açılarında kontak açısındaki artışla teğetsel kuvvet düşük oranlarda düşmesine karşılık jet açısının artmasıyla bu düşüş oranı daha büyük değerlerde olmaktadır.

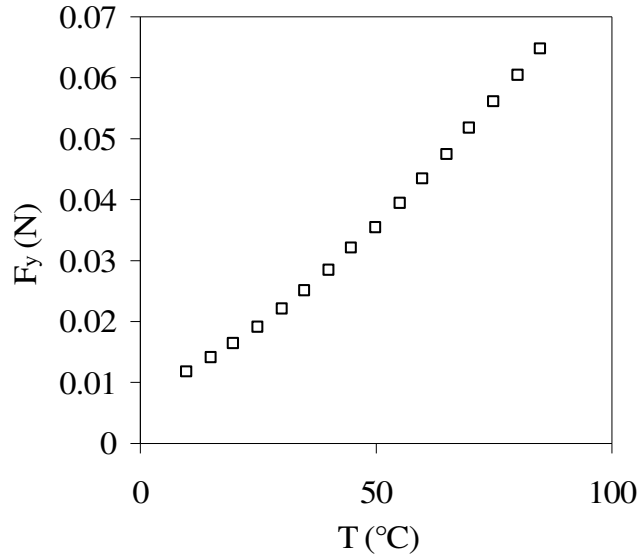


Şekil 4.150: Kontak açısının farklı jet açlarındaki teğetsel kuvvet üzerindeki etkisi ($Re=2420$, $d=1.75$ mm)

4.10.5. Teğetsel kuvvete akışkan sıcaklığının etkisi

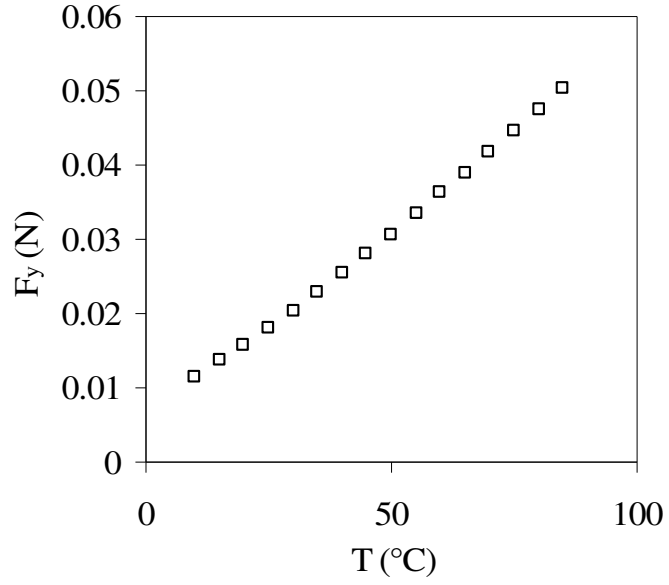
Akışkan sıcaklığının etkisinin teğetsel kuvvet üzerinde nasıl bir etkisinin olabileceği hakkında fikir sahibi olabilmek için teğetsel kuvvet (Denklem (4.7)) ve eşdeğer çap (Denklem (4.1)) için elde edilen denklemler kullanılmıştır. Teğetsel kuvvete akışkan sıcaklığının etkisi debi sabit tutularak Şekil 4.151’de, We sayısı sabit tutularak Şekil 4.152’de, Re sayısı sabit tutularak Şekil 4.153’te verilmiştir.

Aynı nozul çapında debi sabit tutularak çizilen grafikte sıcaklığın artmasıyla teğetsel kuvvette artan bir eğimle artmaktadır (Şekil 4.151). Sıcaklığın artması daha önce bahsedildiği gibi moleküller arasındaki bağı zayıflattığından dolayı sabit debide akışkan yüzeyde daha fazla bir alana yayılacak ve yüzeyle aralarındaki çekim kuvveti artacaktır.



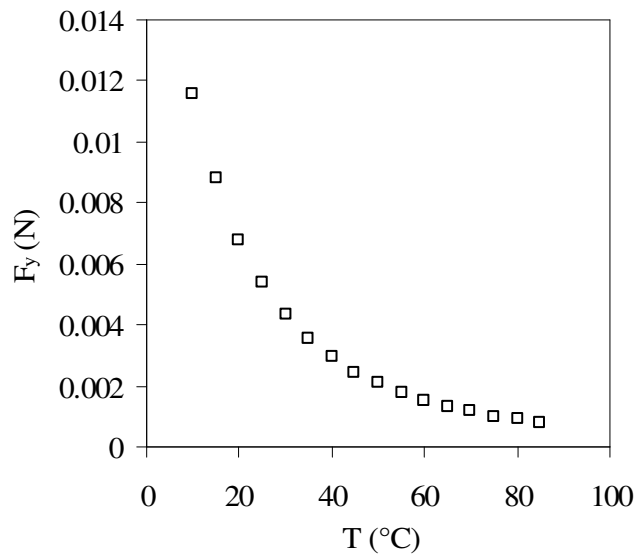
Şekil 4.151: Sabit debide sıcaklığın teğetsel kuvvete etkisi ($Q=0.5\text{lt/dk}$, $\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $d=1.75\text{ mm}$)

Sıcaklığın We sayısı sabit tutularak çizilen Şekil 4.152’de de debinin sabit tutulmasındaki sonuca yakın sonuç elde edilmiştir. Yine sıcaklığın artması ile teğetsel kuvvet artış göstermekte ve bu artış az oranda artma eğiliminde gerçekleşmektedir.



Şekil 4.152: Sabit We sayısında sıcaklığın teğetsel kuvvete etkisi ($We=281.4$, $\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm)

Sabit debi ve sabit We sayısı ile çizilen grafik, Re sayısı sabit tutularak çizildiğinde ise olay tersine dönmektedir (Şekil 4.153). Sabit Re sayısında sıcaklığın artmasıyla teğetsel kuvvet de azalmaktadır. Sıcaklığın artması yüzey gerilim katsayısını az oranda düşürmesine karşılık viskoziteyi önemli oranda düşürmektedir. Aynı Re sayısının sağlanması için de akışkan hızı sıcaklığın artmasıyla büyük oranda artmaktadır.



Şekil 4.153: Sabit Re sayısında sıcaklığın teğetsel kuvvete etkisi ($Re= 4627.5$, $\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm)

4.10.6. Teğetsel kuvvet özet

Tablo 4.14'te teğetsel kuvvete etki eden parametrelerin etki şekilleri verilmiştir. Kontak açısının artmasıyla azalan teğetsel kuvvet diğer bütün parametrelerin artmasıyla azalmaktadır. Yalnız nozul çapındaki artışla yüksek kontak açılarında teğetsel kuvvet sabit kalmakta düşük kontak açılarında ise düşmektedir.

Tablo 4.14: Teğetsel kuvvete etki eden parametrelerin etki şekilleri.

	Reynolds (↑)	Weber (↑)	Jet açısı (↑)	Kontak açısı (↑)	Nozul çapı (↑)	Akışkan Sıcaklığı (↑)
Teğetsel Kuvvet	↑	↑	↑	↓	↓ (a)	↑
(a)	Yüksek kontak açısında nozul çapından bağımsız oluyor. Kontak açısının düşük değerlerinde ise nozul çapı arttıkça teğetsel kuvvet düşüyor.					

Tablo 4.15'te teğetsel kuvvete; Re ve We sayılarını ifade eden parametrelerin etki şekilleri verilmiştir. Su jetinin hızı ve yüzey geriliminin artmasıyla teğetsel kuvvet artmakta viskozitenin artmasıyla ise azalmaktadır.

Tablo 4.15: Teğetsel kuvvete Re ve We sayılarını ifade eden parametrelerin etki şekilleri.

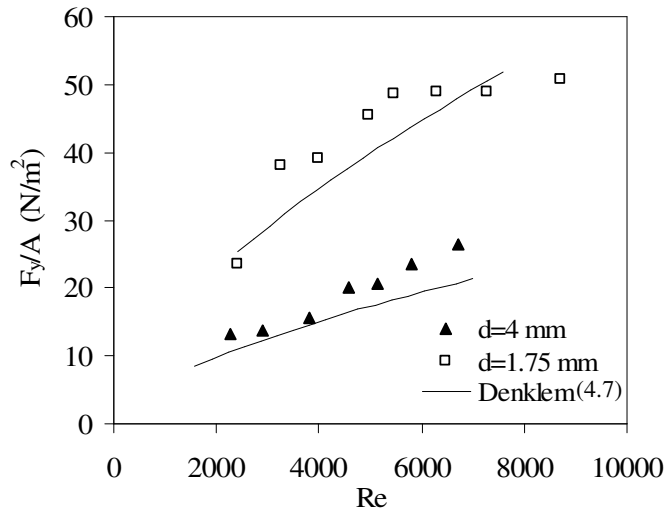
	Viskozite (↑)	Yüzey gerilimi (↑)	Su jeti hızı (↑)
Teğetsel Kuvvet	↓	↑	↑

4.11. Ortalama Kayma Gerilmesi

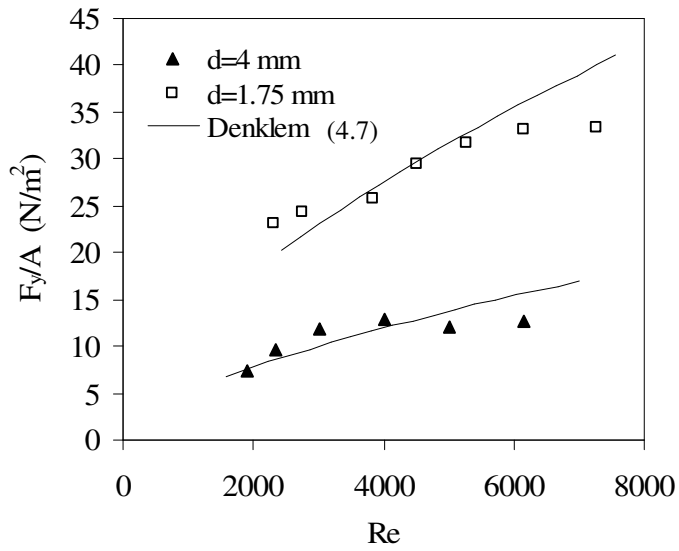
Islanmaz yüzeye çarpan akışkanın yüzeyde kapladığı alan teğetsel kuvvet için önemli bir parametre oluşturmaktadır. Bu sebeple teğetsel kuvvet eşitliği (Denklemler (4.7)) elde edilirken, nozul alanının yüzeydeki akışkanın alanına bölümü ile elde edilen boyutsuz sayı kullanılmıştır. Teğetsel kuvvetin, akışkanın yüzeyde kapladığı alana bölünmesiyle ortalama kayma katsayısı tanımlanmıştır (Denklemler (4.9)).

$$\tau_{ort} = \frac{F_y}{A} \quad (4.9)$$

Kayma gerilmesi 15° jet açısı için Şekil 4.154'te ve 30° jet açısı için Şekil 4.155'te verilmiştir. Re sayısının artmasıyla kayma gerilmesi de artmaktadır. Ayrıca 1.75 mm çapındaki nozulda artış oranı 4 mm çapındaki nozula oranla daha büyük değerlerde olmaktadır.

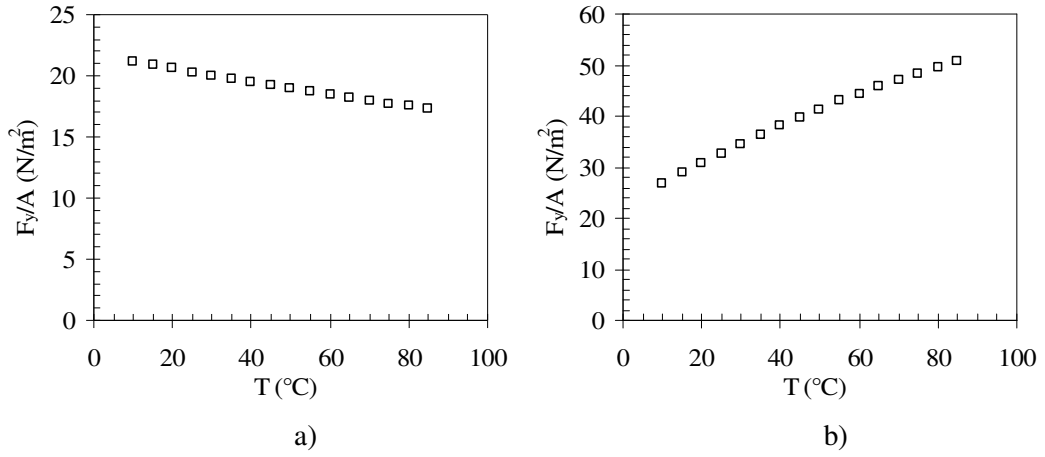


Şekil 4.154: Ortalama kayma gerilmesinin iki farklı çaptaki nozul için Re sayısı ile değişimi (θ=145°, α=15°)



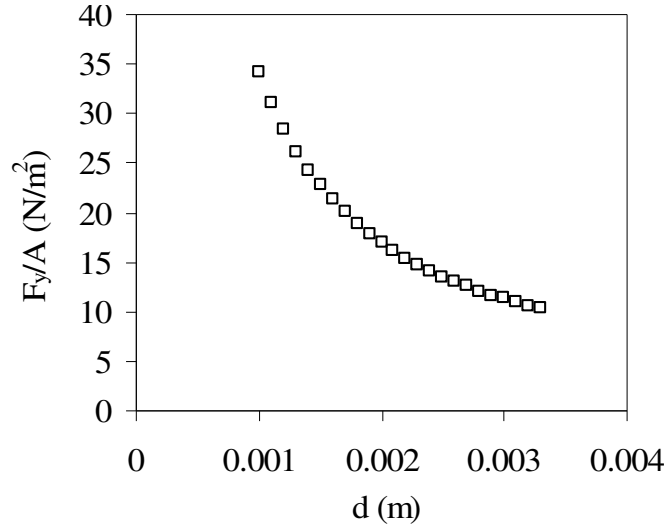
Şekil 4.155: Ortalama kayma gerilmesinin iki farklı çaptaki nozul için Re sayısı ile değişimi (θ=145°, α=30°)

Şekil 4.156(a)'da Re sayısı, Şekil 4.156(b)'de ise We sayısı sabit tutulduğunda sıcaklıktaki değişimin kayma gerilmesine etkisi verilmiştir. Re sayısı sabit tutulup sıcaklık arttırıldığında kayma gerilmesi düşmekte, We sayısı sabit tutulup sıcaklık arttırıldığında ise kayma gerilmesi artmaktadır. Bu sonuçlar Denklem (4.1) ve Denklem (4.7) kullanılarak elde edilmiştir. Re sayısı sabit tutulduğunda sıcaklık ile hem kuvvet hem de akışkanın yüzeyde kapladığı alan düşmektedir. Fakat kuvvetteki düşüş alandaki düşüşten daha büyük oranlarda olduğundan dolayı kayma gerilmesi sabit Re sayısında sıcaklığın artması ile doğrusal olarak düşmektedir. Sabit We sayısında ise sıcaklığın artması ile kayma gerilmesi de artmaktadır.



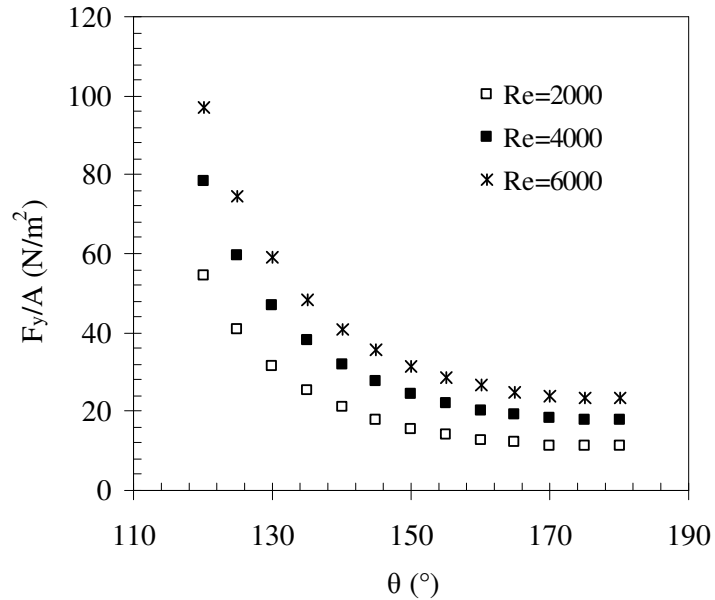
Şekil 4.156: Sabit Re ve We sayılarında kayma gerilmesinin sıcaklıkla değişimi $\alpha=30^{\circ}$, $\theta=167^{\circ}$ a) $Re=4267.3$ (sabit) b) $We=281.4$ (sabit)

Nozul çapının kayma gerilmesi üzerindeki etkisini değerlendirebilmek için Denklem (4.7) kullanılarak Şekil 4.157 çizilmiştir. Nozul çapındaki artış sabit Re sayısında kayma gerilmesinin değerini düşürmektedir.



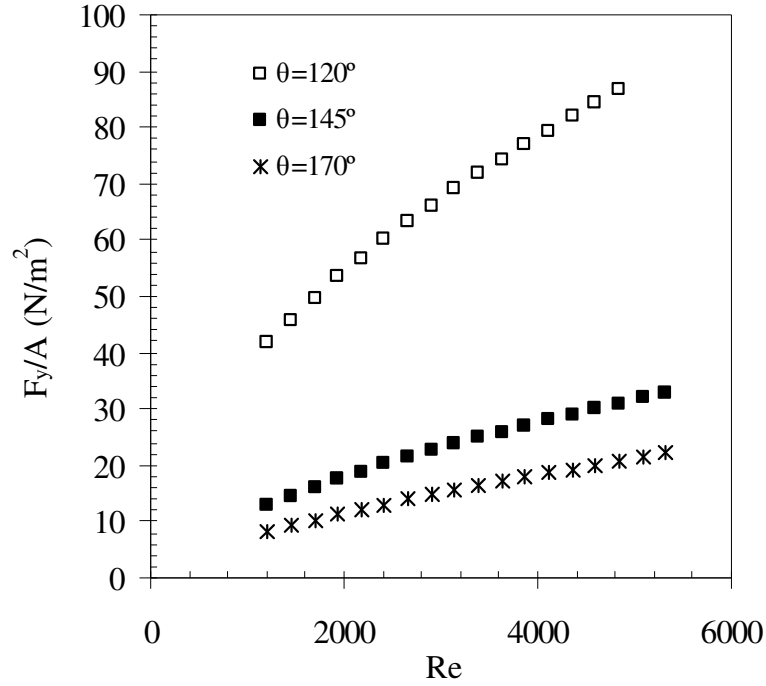
Şekil 4.157: Nozul çapının kayma gerilmesine etkisi ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $Re=4240$)

Farklı Re sayılarındaki kontak açısıyla kayma gerilmesi arasındaki fark Şekil 4.158'de görülmektedir. Kontak açısındaki artış kayma gerilmesini düşürmektedir. Bu düşüş özellikle düşük kontak açısına sahip ıslanmaz yüzeylerde daha büyük oranlarda olmaktadır. Ayrıca Re sayısının daha yüksek değerlerinde kayma gerilmesi daha yüksek değerler almakta fakat genel davranış bozulmamaktadır.



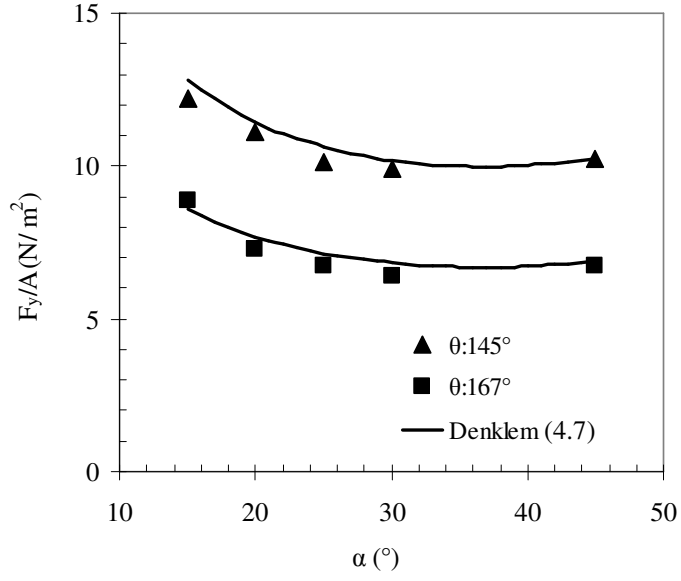
Şekil 4.158: Farklı Re sayılarının kayma gerilmesinin kontak açısıyla değişimi ($d=1.75$ mm, $\alpha=30^\circ$)

Farklı kontak açısına sahip yüzeylerin hepsinde Re sayısının artmasıyla kayma gerilmesi de artmaktadır (Şekil 4.159). Fakat kontak açısı düştükçe kayma gerilmeleri arasındaki fark artmaktadır. Re sayısındaki artışla bu fark iyice artmaktadır. Yalnız bu artış bütün kontak açıları için düşük orandaki azalma eğilimiyle olmaktadır.



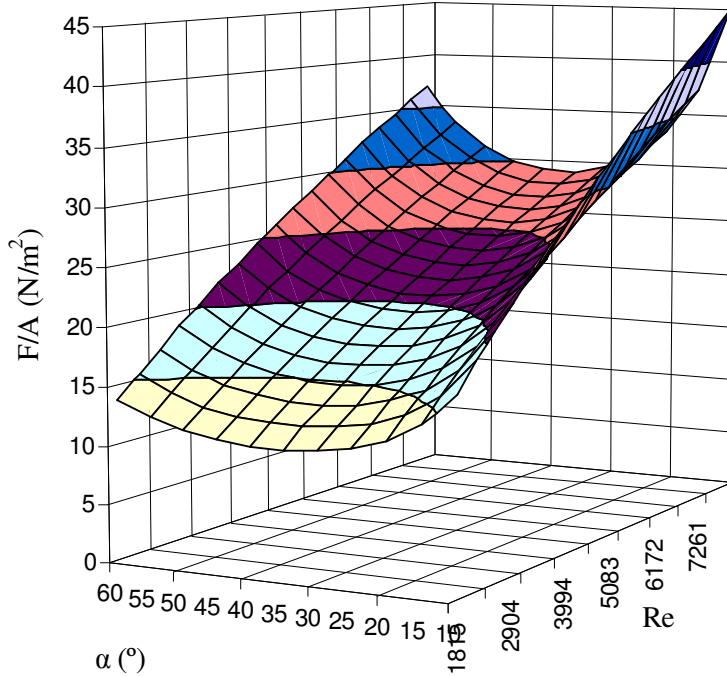
Şekil 4.159: Farklı Re sayılarının kayma gerilmesinin kontak açısıyla değişimi (d=1.75 mm, $\alpha=30^\circ$)

Şekil 4.160'da 145° ve 167° kontak açısına sahip yüzeylerde meydana gelen kayma gerilmesinin jet açısı ile değişim grafiği görülmektedir. Kayma gerilmesi jet açısının artmasıyla başta düşmekte daha sonra minimum bir değerden geçerek tekrar yükselmektedir. Bu minimum nokta her şartta 36.7 değerinde olmaktadır. Nozul çapının veya kontak açısının değişimi bu değeri değiştirmemektedir.



Şekil 4.160: Kayma gerilmesinin jet açısı ile değişimi ($d=1.75$ mm, $Re=3000$)

Kayma gerilmesinin geniş bir Re sayısı aralığında minimum değerinin etkisini görebilmek için Şekil 4.161'deki 3 boyutlu grafik çizilmiştir. Kayma gerilmesinin geniş bir Re sayısı aralığında minimum değerinin Re sayısının bütün değerlerinde aynı olduğu grafikten görülmektedir.



Şekil 4.161: Kayma gerilmesinin jet açısı ve Re sayısı ile değişimi ($d=1.75$ mm, $\theta=167^\circ$)

4.11.1. Ortalama kayma gerilmesi özet

Tablo 4.16’da kayma gerilmesine etki eden parametrelerin etki şekilleri verilmiştir. Kontak açısı ve nozul çapındaki artış kayma gerilmesini azalmaktadır. Re sayısı, We sayısı ve akışkan sıcaklığındaki artış ise kayma gerilmesini azaltmaktadır. Jet açısının 36.7° değerine kadar azalan kayma gerilmesi 36.7° jet açısında minimum değer almaktadır. Jet açısının bundan sonraki değerlerinde ise jet açısıyla artmaktadır.

Tablo 4.16: Kayma gerilmesine etki eden parametrelerin etki şekilleri

	Reynolds (↑)	Weber (↑)	Jet açısı (↑)	Kontak açısı (↑)	Nozul çapı (↑)	Akışkan Sıcaklığı (↑)
Kayma gerilmesi	↑	↑	↓↑ (a)	↓	↓	↓
(a)	Jet açısının 36.7 değerine kadar azalıyor daha sonra artıyor.					

Tablo 4.17’de kayma gerilmesine etki eden Re ve We sayısı parametreleri verilmiştir. Dinamik viskozitenin artmasıyla azalan kayma gerilmesi yüzey gerilimi ve su jeti hızının artmasıyla artmaktadır.

Tablo 4.17: Kayma gerilmesine Re ve We sayılarını ifade eden parametrelerin etki şekilleri.

	Viskozite (↑)	Yüzey gerilimi (↑)	Su jeti hızı (↑)
Kayma gerilmesi	↓	↑	↑

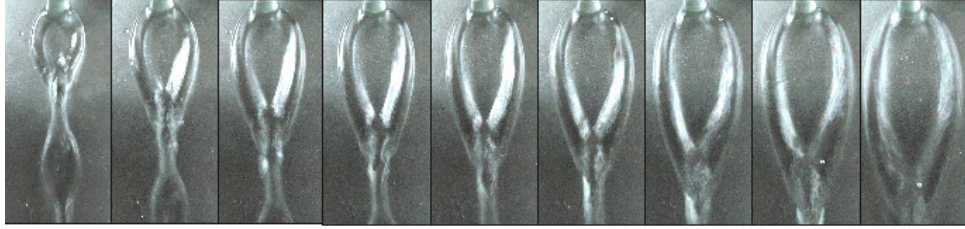
4.12. Islanmaz Yüzey Eğimli ve Nozul Dikey Konumlu

Nozul yeryüzüne dikey bir şekilde tutulup ıslanmaz kaplama malzemesiyle kaplanmış olan yüzeyin eğimi değiştirilerek bir önceki deneyle aynı şartlarda deneyler yapılmıştır. Islanmaz yüzey olarak 102° 112° 123° 145° ve 167° kontak açılara sahip 5 yüzey, 1.75 mm ve 4 mm çapında iki nozul ve 15°–45° aralığında jet açıları kullanılmıştır. Yalnız kuvvet ölçümünde 15°–30° jet açısı aralığı kullanılmıştır. Daha önce anlatılan kaplama dik nozul değişken eğimli konusunda

olduğu gibi burada da olayın fiziksel yapısı yaklaşık aynı olmakla birlikte bazı farklılıklar meydana gelmektedir. Bu yüzden aynı durumlar bu deney durumları için ayrıntılı bir şekilde incelenmeyerek kısaca bahsedilecek ve aralarındaki farklar ortaya konacaktır.

4.12.1. Eşdeğer çap

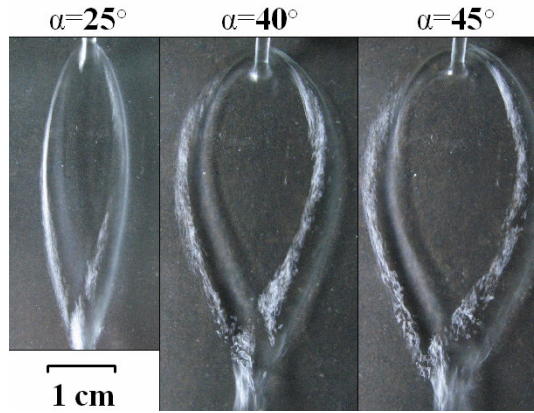
Şekil 4.162’de eğimli ıslanmaz yüzeye gönderilen dikey su jetinin yüzeyde yayılması görülmektedir. Daha önce bahsedildiği gibi suyun hızının artması yüzeydeki yayılma alanını arttırmaktadır.



We = 13.82 16.89 18.53 20.26 22.99 25.89 28.96 33.32 42.97

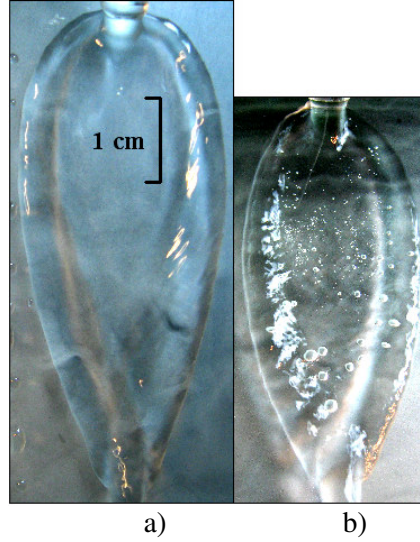
Şekil 4.162: Eğimli olarak duran ıslanmaz yüzeye dikey nozulla gönderilen su jetinin farklı hızlarda yüzeyde meydana getirdiği şekiller ($\theta=112^\circ$ $\alpha=45^\circ$ $d=4$ mm)

Şekil 4.163’te farklı jet açılarındaki su jetlerinin yüzeyde yayılması görülmektedir. Jet açısındaki artış yüzeydeki suyun boyunu az oranda arttırmasına rağmen genişliğini önemli oranda arttırmaktadır.

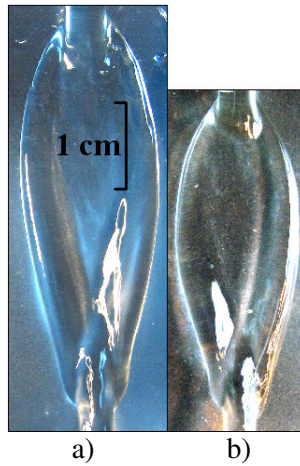


Şekil 4.163: Farklı jet açılarındaki su jetlerinin yüzeyde yayılması ($\theta=112^\circ$, $\alpha=45^\circ$, $d=4$ mm, $We\approx 164$)

Eğimli olarak duran ıslanmaz yüzeye dikey su jeti gönderildiğinde su yüzeyde dikey olarak durduğu duruma göre biraz daha az bir alana yayıldığı Şekil 4.164 ve Şekil 4.165'te görülmektedir. Her iki durum için yayılma alanının farklı olmasının yerçekiminin etkisi olduğu düşünülmektedir.



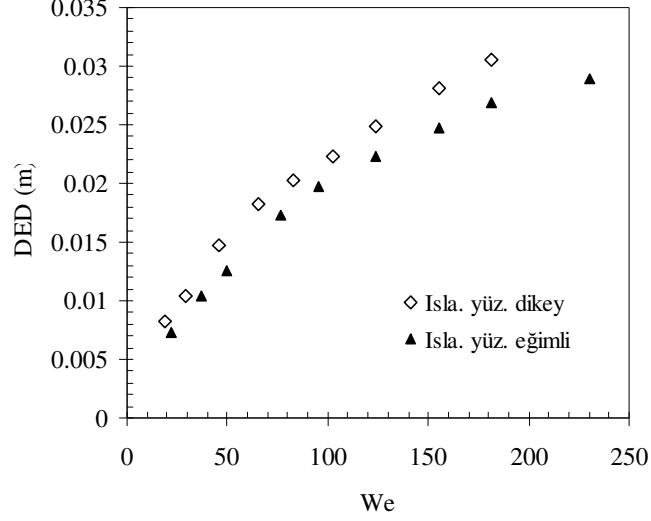
Şekil 4.164: Dikey ve eğimli olarak yapılan deneylerdeki yayılma alanlarının karşılaştırılması ($\theta=123^\circ$, $We\approx 33$, $\alpha=45^\circ$, $d=4$ mm)
a) Islanmaz yüzey dikey b) Islanmaz yüzey eğimli



Şekil 4.165: Dikey ve eğimli olarak yapılan deneylerdeki yayılma alanlarının karşılaştırılması ($\theta=112^\circ$, $We\approx 27$, $\alpha=30^\circ$, $d=4$ mm)
a) Islanmaz yüzey dikey b) Islanmaz yüzey eğimli

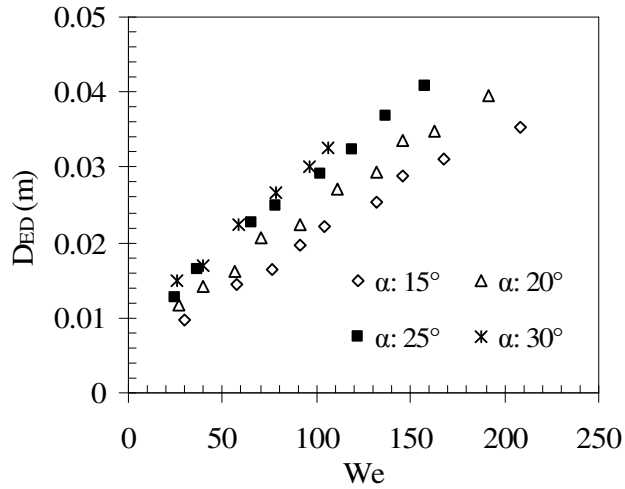
Islanmaz yüzey dikey ve eğimli arasındaki yayılma farkı Şekil 4.166'da 112° kontak açısına sahip yüzey için görülmektedir. We sayısının düşük değerlerinde aradaki fark

az olmakta We sayısındaki artışla her iki durum için meydana gelen D_{ED} arasındaki fark da artmaktadır.

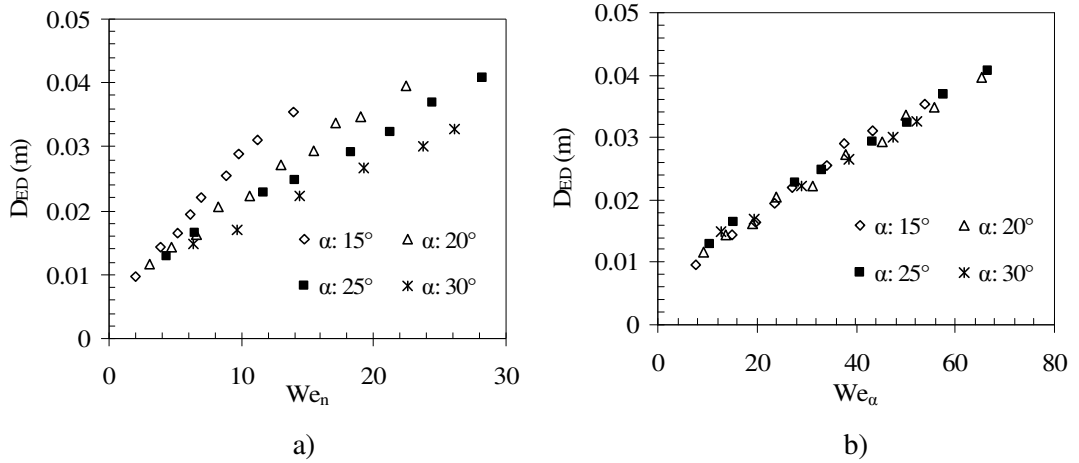


Şekil 4.166: Dikey ve eğimli olarak yapılan deneylerde We sayısı ile yayılma alanlarının karşılaştırılması ($\theta=112^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $d=1.75$ mm)

Şekil 4.167'de D_{ED} 'nin farklı jet açlarındaki We sayısı ile değişimi grafiği verilmiştir. İslanmaz yüzey dikey olduğundaki davranışların aynısı görülmektedir. Aynı grafik D_{ED} 'yi jet açısından bağımsız hale getirmek için tanımlanan düzenlenmiş We sayısı kullanılarak çizildiğinde ıslanmaz yüzey dikey deneylerinde olduğu gibi burada da her açdaki eğri üst üste çakışmaktadır (Şekil 4.168 b). Fakat yine normal We sayısı ile çakışma olmamaktadır (Şekil 4.168 a).

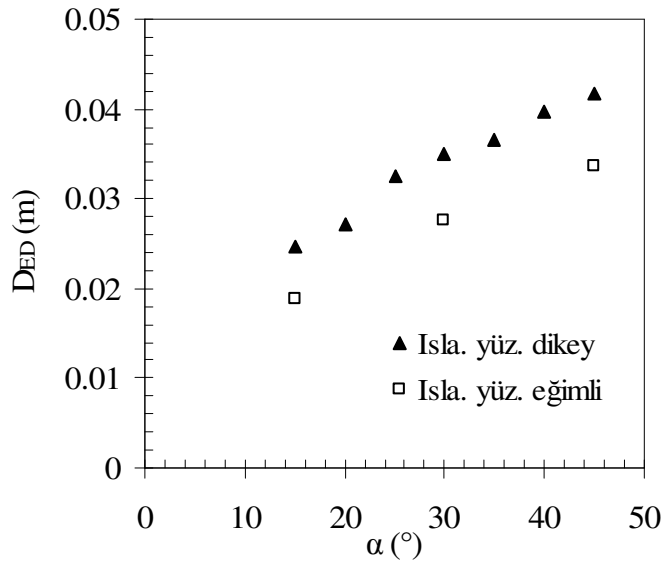


Şekil 4.167: Eşdeğer çapın We sayısı ile değişim grafiği ($\theta=167^\circ$, $d=4$ mm)



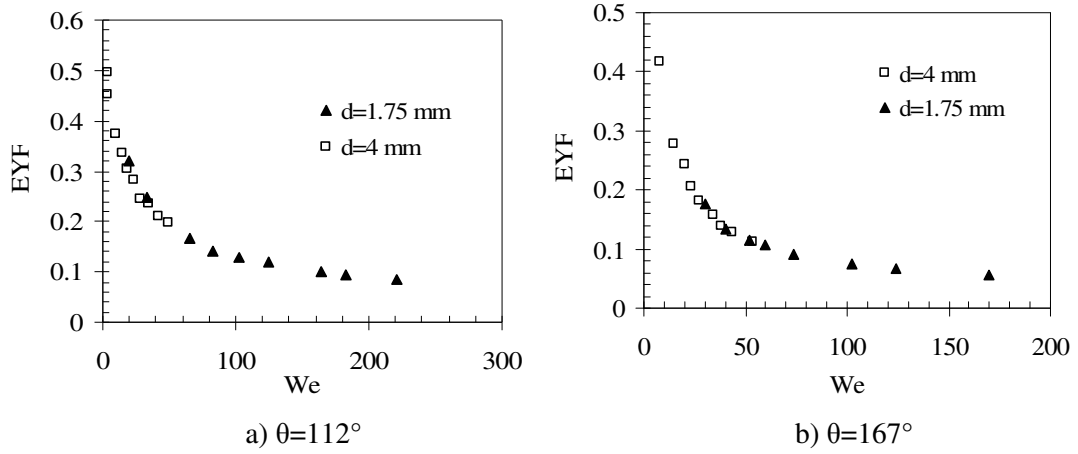
Şekil 4.168: Yayılma alanlarının normal ve düzenlenmiş We sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $d=4$ mm)

Şekil 4.169’da jet açısının etkisi her iki deney durumunda da görülmektedir. Islanmaz yüzey eğimli olduğu durumda jet açısının artmasıyla meydana gelen yayılma daha az oranlarda olmaktadır.



Şekil 4.169: Islanmaz yüzeyin dikey ve eğimli olduğu deney şartları için suyun yüzeydeki yayılımının jet açısıyla değişimi ($\theta=112^\circ$, $d=4$ mm, $We \approx 42$)

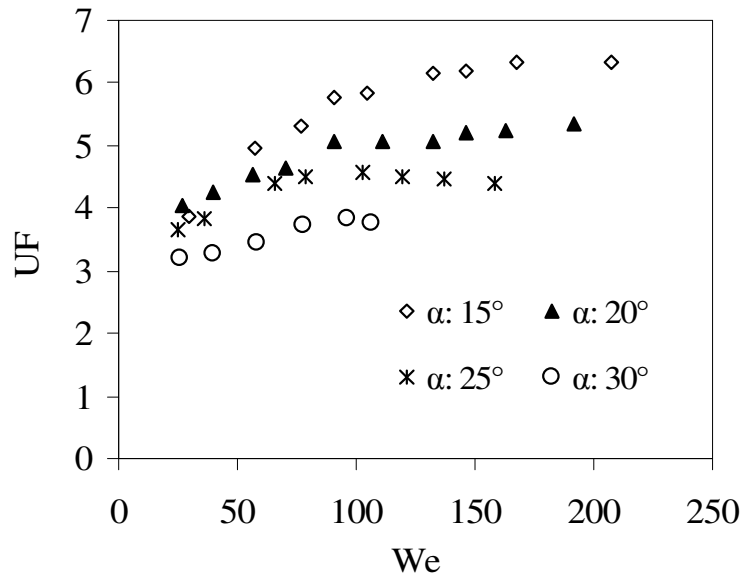
D_{ED} 'yi nozul çapından bağımsız hale getirmek için tanımlanan E.Y.F'nin hem yüksek kontak açısına sahip hem de düşük kontak açısına sahip yüzey için Şekil 4.170'te We sayısı ile değişimi verilmiştir. Her iki yüzey için de E.Y.F eğrileri farklı nozul çaplarında üst üste çakışmaktadır. Böylece D_{ED} ıslanmaz yüzeyin eğimli olduğu deneylerde de E.Y.F sayısı ile nozul çapından bağımsız hale gelmiştir.



Şekil 4.170: Düşük ve yüksek kontak açısına sahip yüzelerde eşdeğer yayılma faktörünün We sayısı ile değişimi ($\alpha=15^\circ$)

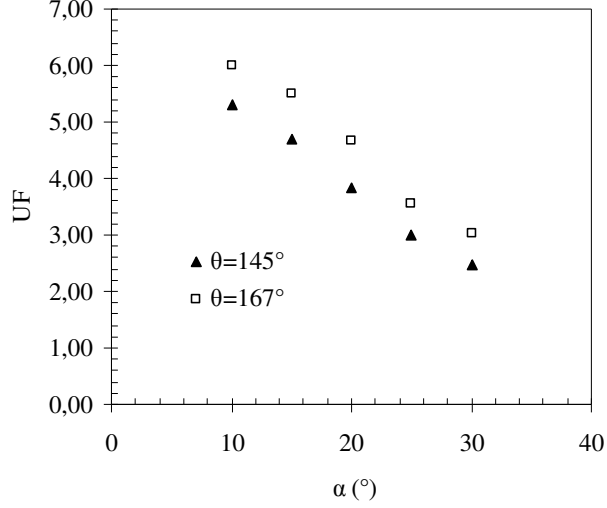
4.12.2. Uzama faktörü

Şekil 4.171’de uzama faktörünün We sayısı ile değişimi grafiği verilmiştir. Yine ıslanmaz yüzeyin dikey olduğu deneylerdeki gibi U.F belli bir We sayısına kadar artmakta daha sonra ise sabitlenmektedir. Ayrıca jet açısının artması ile U.F’de azalmaktadır.



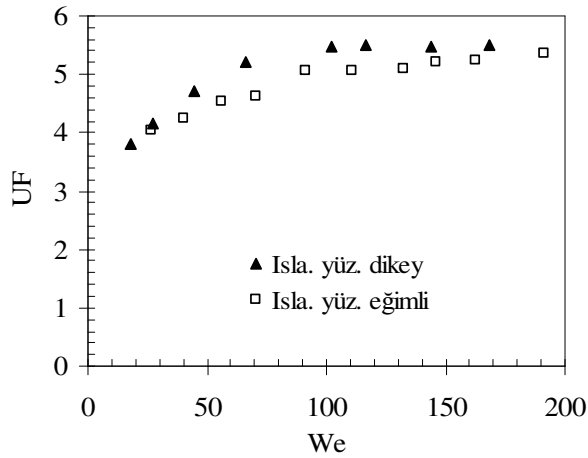
Şekil 4.171: Farklı jet açılarındaki uzama faktörünün We sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $d=4$ mm)

Farklı iki kontak açısındaki U.F'nin jet açısı ile değişimi Şekil 4.172'de verilmiştir. Düşük kontak açısına sahip ıslanmaz yüzeyde U.F daha düşük değerlerde olmaktadır. Bu, kontak açısı azaldıkça genişlik uzunluğa nazaran daha fazla oranda arttığı anlamına gelmektedir.



Şekil 4.172: Farklı kontak açılarındaki U.F'nin jet açısı ile değişimi ($Re \approx 4350$, $d=1.75$ mm)

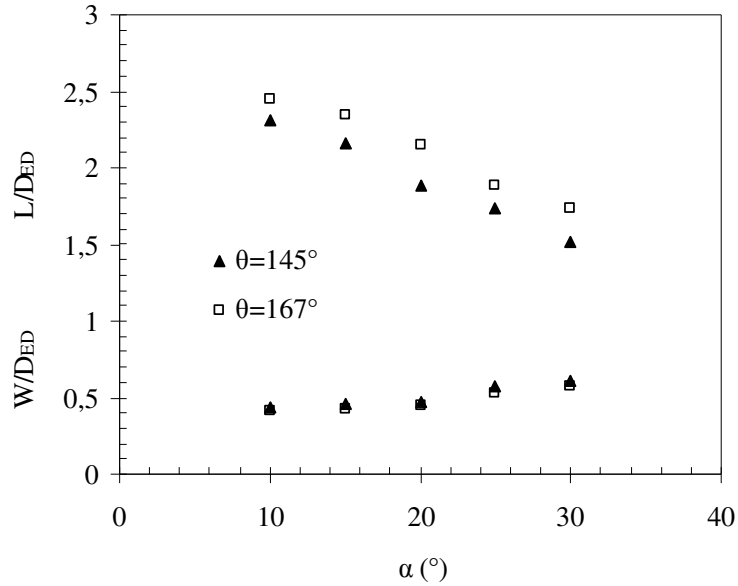
Şekil 4.173'te ıslanmaz yüzeyin dikey ve eğimli olduğu durumlardaki U.F arasındaki farklar görülmektedir. Yüzey dikey olduğunda daha büyük değerlerde U.F elde edilmektedir. Bu fark We sayısındaki artışla azalmaya başlamaktadır. ıslanmaz yüzey dikey olduğunda yerçekimi suyu uzatmada daha etkin bir rol oynamakta eğimli olduğunda ise jet açısı kadar etkisi azalmaktadır.



Şekil 4.173: ıslanmaz yüzeyin dikey ve eğimli olduğu durumlardaki U.F arasındaki farklar ($d=4$ mm, $\theta=167^\circ$, $\alpha=15^\circ$)

4.12.3. Uzunluk, genişlik, uzama oranı ve genişleme oranı

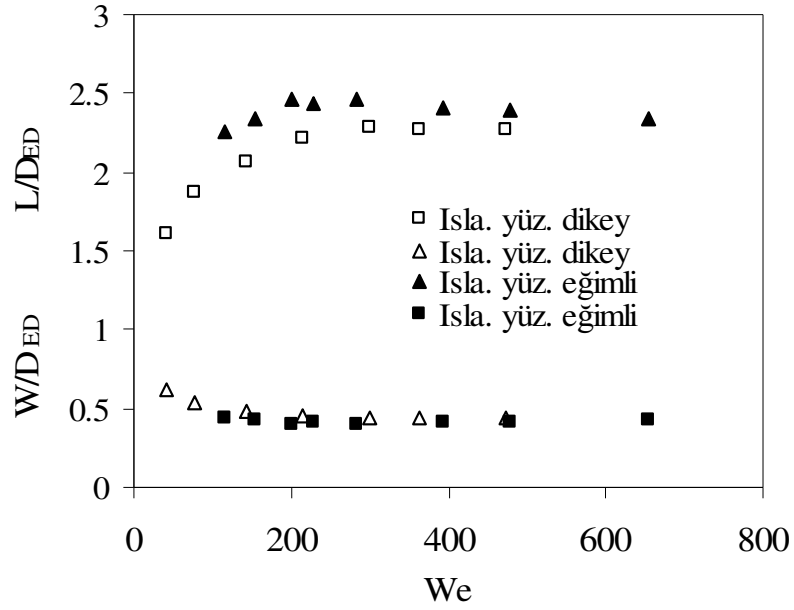
Şekil 4.174'te iki farklı kontak açısına sahip eğimli olarak duran ıslanmaz yüzeye dikey olarak çarpan su jetinin uzama ve genişleme oranı verilmiştir. Jet açısının artması ile şeklin alanı ve genişliği artmakta, uzunluğu ise azalmaktadır. Kontak açısı yüksek olan yüzeyde uzama oranı büyük oranda daha fazla değerlerde olmaktadır. Genişleme oranı ise çok az miktarlarda daha az olmaktadır. Kontak açısı arttıkça daha az alana yayılan akışkanın kapladığı alanda, genişlik daha fazla değişmekte uzunluk ise daha az oranda değişmektedir.



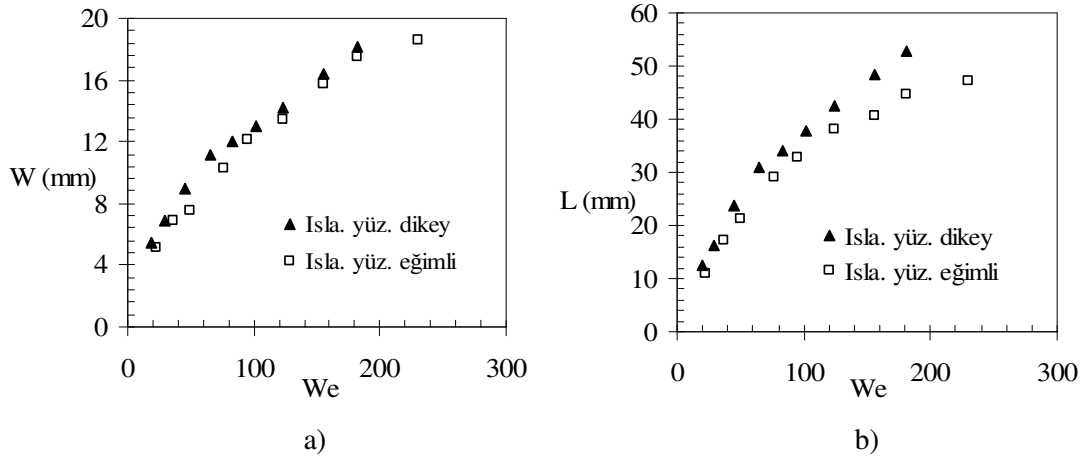
Şekil 4.174: Farklı kontak açılarındaki ıslanmaz yüzeylerin uzama ve genişleme oranlarının jet açısıyla değişimi (d=1.75 mm, We≈147)

Islanmaz yüzeyin her iki konumundaki meydana gelen uzama ve genişleme oranlarının karşılaştırılması Şekil 4.175'te verilmiştir. Islanmaz yüzey eğimli olduğu durumda uzama oranı daha fazla, genişleme oranı ise daha az oranlarda olmaktadır ve aralarındaki fark We sayısının artmasıyla azalmaktadır.

Şekil 4.176'da ıslanmaz yüzeyin eğimli ve dikey olduğu deneylerdeki uzunluk ve genişlik arasındaki farkların We sayısı ile değişimi verilmiştir. Her iki parametre de ıslanmaz yüzeyin eğimli olduğunda daha düşük değerlerde olmaktadır. Bu fark özellikle L'de daha belirgin olmaktadır.



Şekil 4.175: İslanmaz yüzeyin dikey ve eğimli olduğu deneylerdeki uzama ve genişleme oranlarının karşılaştırılması ($\theta=167^\circ$, $\alpha=15^\circ$)



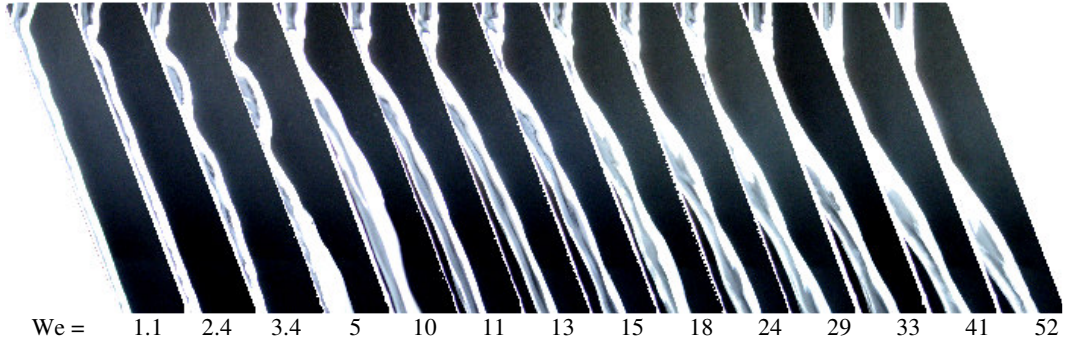
Şekil 4.176: Dikey ve eğimli ıslanmaz yüzeydeki boy ve genişliğin karşılaştırılması ($\theta=112^\circ$, $\alpha=30^\circ$)

4.12.4. Yansıma

Şekil 4.177'de eğimli yüzeye dikey olarak gönderilen su jetinin yüzeyden yansımasının anlık görüntüsü görülmektedir. Şekil 4.178'de ise farklı hızlardaki yansıma resimleri verilmiştir. İslanmaz yüzey eğimli olduğu durumlarda yansıma biraz daha yüksek We sayılarında meydana gelmeye başlamaktadır. Yüzey eğimli olarak durduğundan dolayı su, yansıma hareketi yaparken yerçekimi etkili olmaktadır. Bu sebepten jet açısının artması yer çekiminin etkisini arttıracaktır.



Şekil 4.177: Eğimli ıslanmaz yüzeylerde yansıma ($\theta=167^\circ$)



Şekil 4.178: Eğimli ıslanmaz yüzeylerde yansıma ($\theta=167^\circ$, $\alpha=20^\circ$, $d=4$ mm)

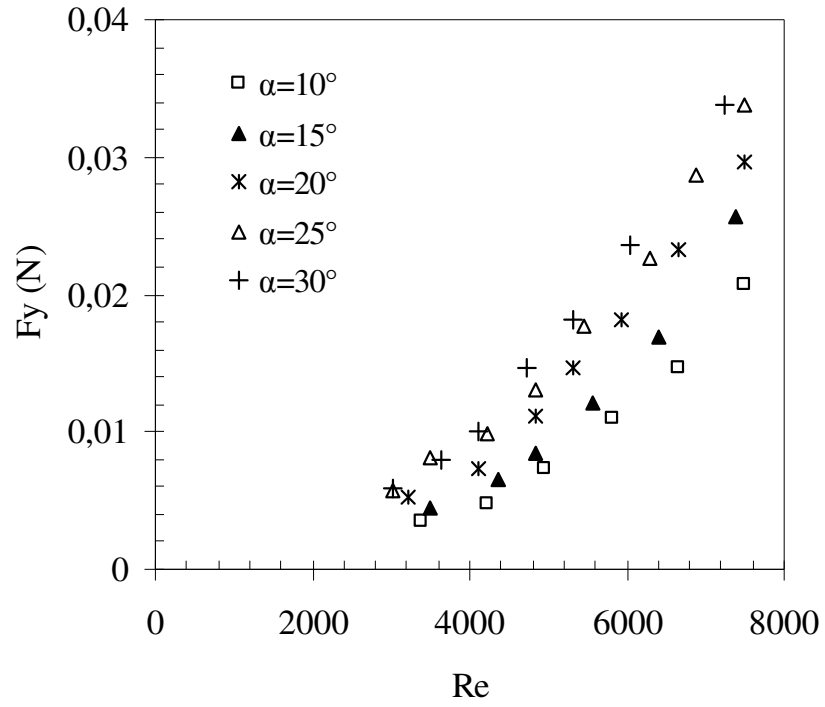
4.12.5. Eğik duran ıslanmaz yüzeyde dikey kuvvetler

Eğimli olarak duran ıslanmaz yüzeye dikey su jeti gönderilerek deneyler yapılmıştır. Deneyler sırasında nozul düşey konumda sabit tutulmuş, ıslanmaz yüzeyin eğim açısı değiştirilerek deneyler tekrar edilmiştir. Bu durumda ölçülen kuvvet teğetsel olmayıp momentumun dikey bileşeninin giriş ve çıkış arasındaki fark olayda etkili olmaktadır.

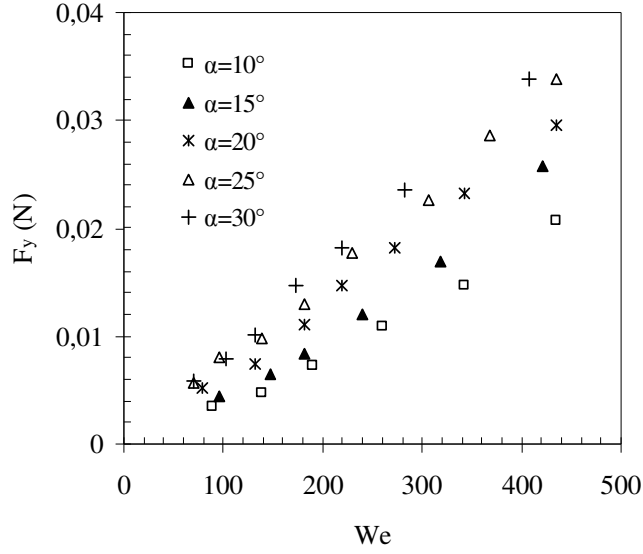
Terazi tarafından ölçülen kuvvet yeryüzüne dikey kuvvettir. Böylece eğimli ıslanmaz yüzeye dikey nozulla gönderilen su jetinde meydana gelen bileşke kuvvetin dikey bileşeni ölçülmektedir. Bu kuvvetin oluşumunda momentumun dikey bileşeni, yüzeydeki suyun ağırlığı ve su ile yüzey arasındaki sürtünme kuvvetleri etkin olmaktadır.

4.12.5.1. Dikey kuvvete Reynolds ve Weber sayılarının etkileri

Şekil 4.179’da farklı jet açılarında dikey kuvvetin Re sayısı ile değişimi verilmiştir. Re sayısındaki artış dikey kuvveti de arttırmaktadır. Akışkanın hızının artmasıyla atalet kuvvetleri artmakta dolayısıyla nozuldan çıkan akışkanın momentumu artmaktadır. Dikey kuvvetin oluşumunda önemli bir parametre olan nozuldan çıkan suyun momentumdaki artışla dikey kuvvet de artmaktadır. Aynı eğri We sayısı ile çizildiğinde genel davranış değişmemekte yalnız eğriler biraz daha doğrusallaşmaktadır (Şekil 4.180).

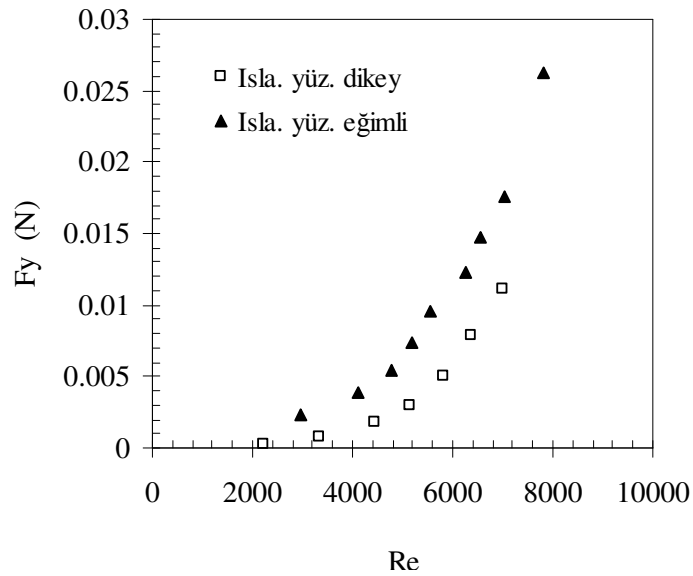


Şekil 4.179: Farklı jet açılarında dikey kuvvetin Re sayısı ile değişimi (θ=145°, d=1.75 mm)

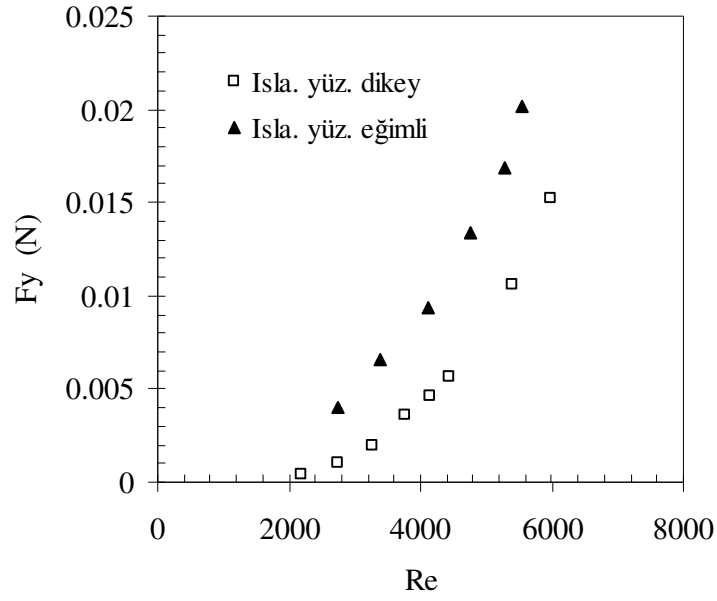


Şekil 4.180: Farklı jet açılarında dikey kuvvetin We sayısı ile değişimi ($\theta=145^\circ$, $d=1.75$ mm)

Şekil 4.181’de 15° jet açısı ve Şekil 4.182’de 30° jet açısı için ıslanmaz yüzeyin farklı iki konumdaki meydana gelen kuvvetlerin karşılaştırılmaları verilmiştir. Her iki jet açısında da, ıslanmaz yüzeyin eğimli olduğu deneylerde daha fazla kuvvet elde edilmektedir. Islanmaz yüzeyin dikey konumda olduğu deney şartlarında ölçülen kuvvet sürtünmelerden kaynaklanan kuvvet olmaktadır. Eğimli konumdaki deney şartlarında ise sürtünme kuvvetinin yanında etkili olan diğer parametrelerden dolayı daha fazla kuvvet ölçülmektedir.



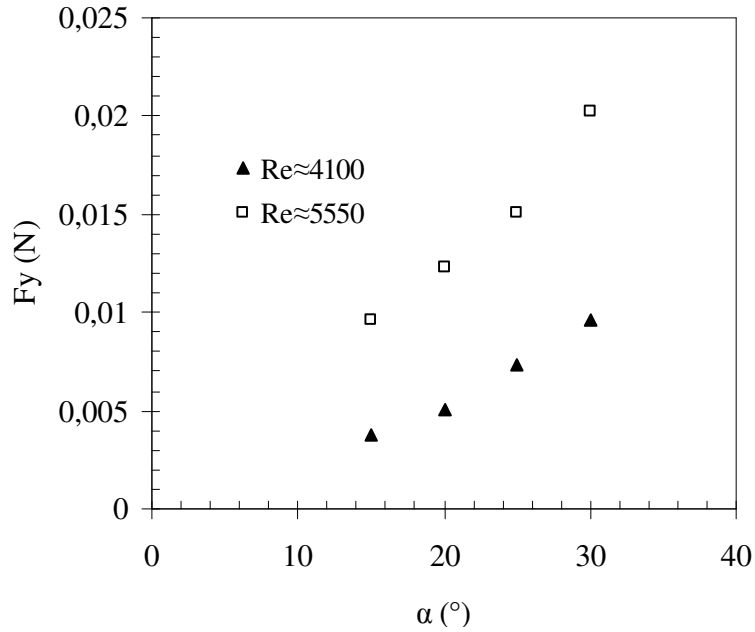
Şekil 4.181: Islanmaz yüzeyin dikey ve eğimli olduğu deney şartlarındaki kuvvetin Re sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $\alpha=15^\circ$, $d=4$ mm)



Şekil 4.182: Islanmaz yüzeyin dikey ve eğimli olduğu deney şartlarındaki kuvvetin Re sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $d=4$ mm)

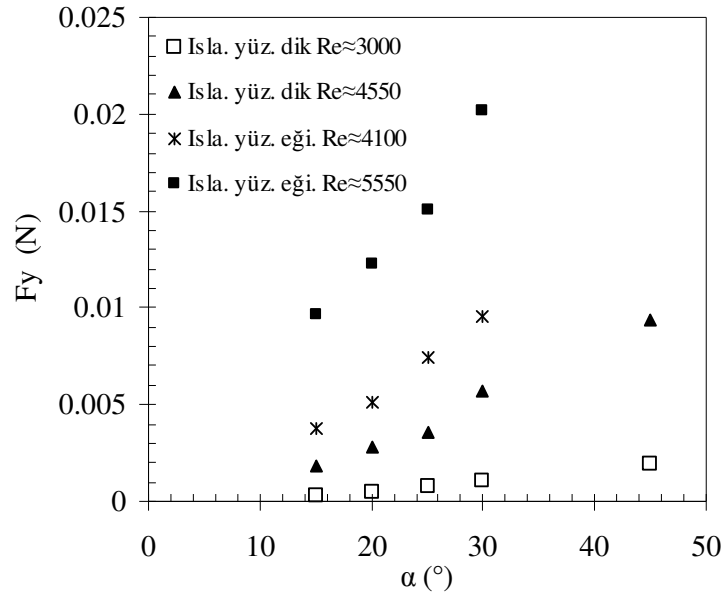
4.12.5.2. Dikey kuvvete jet açısının etkisi

Jet açısının artmasıyla yüzeyde suyun yayıldığı alan artmaktadır. Yüzeydeki suyun alanının artması ile suyun ağırlığı artmakta aynı zamanda da sürtünme kuvvetleri artmaktadır. Böylece jet açısındaki artış kuvveti arttırmaktadır (Şekil 4.183).



Şekil 4.183: Dikey kuvvetin jet açısıyla değişimi ($\theta=167^\circ$, $d=4$ mm)

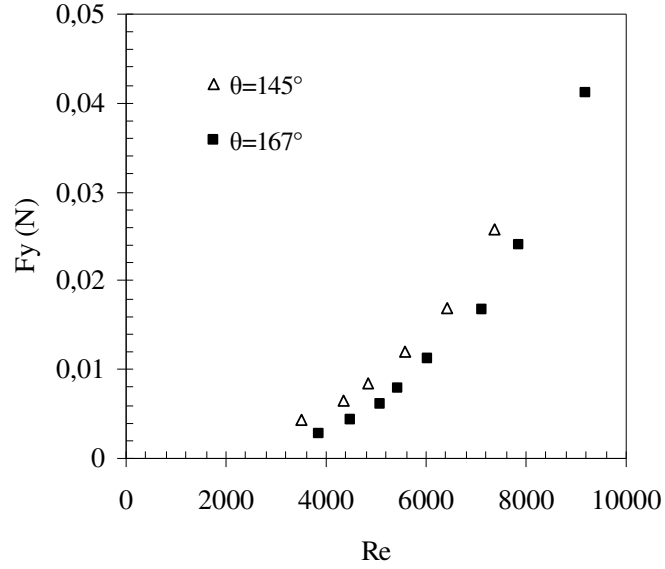
Şekil 4.184'te ıslanmaz yüzeyin dikey ve eğimli olduğu durumlarda ölçülen kuvvetlerin jet açısı ile değişim grafiği verilmiştir. Islanmaz yüzey dikey olduğunda ölçülen kuvvet teğetsel kuvvete neden olan sürtünmelerden kaynaklanmaktadır. Islanmaz yüzey eğimli olduğunda ise daha önce bahsedilen bileşke kuvvet teğetsel kuvveti oluşturmaktadır. Özellikle nozuldan çıkan akışkanın momentumu etkili olmaktadır. Böylece ıslanmaz yüzey eğimli konumda olduğunda üzerine gönderilen su jeti tarafından meydana gelen kuvvet çok daha büyük değerlerde olmaktadır.



Şekil 4.184: Islanmaz yüzeyin dikey ve eğimli olduğu durumlarda ölçülen kuvvetlerin jet açısı ile değişim ($\theta=167^\circ$, $d=4$ mm)

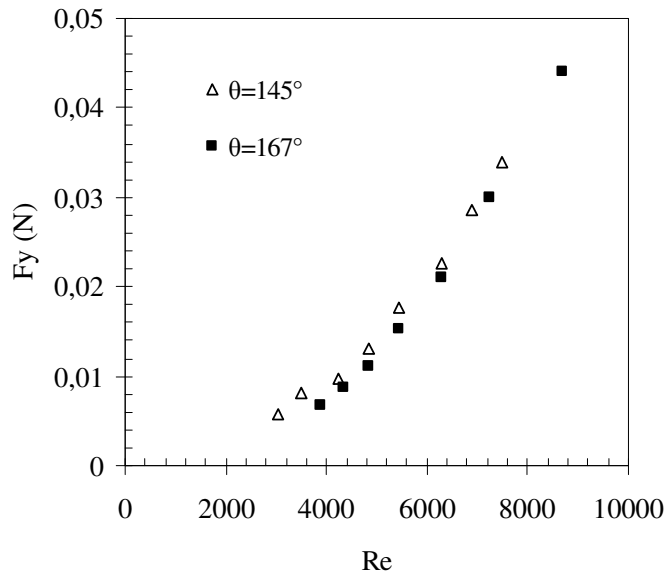
4.12.5.3. Dikey kuvvete kontak açısının etkisi

Şekil 4.185'te iki farklı kontak açısında ölçülen kuvvetin Re sayısı ile değişimi aynı grafikte verilmiştir. Kontak açısı düşük olan 145° kontak açısına sahip yüzeyde kuvvet daha fazla olmaktadır. Her iki yüzey için de giriş momentumları aynı olmakla birlikte yüzeyde yayıldıkları alan farklı olmaktadır. Kontak açısının artmasıyla akışkan daha az alana yayılmakta böylece akışkanın ağırlığı ve sürtünme kuvvetleri kontak açısının artmasıyla artmaktadır.



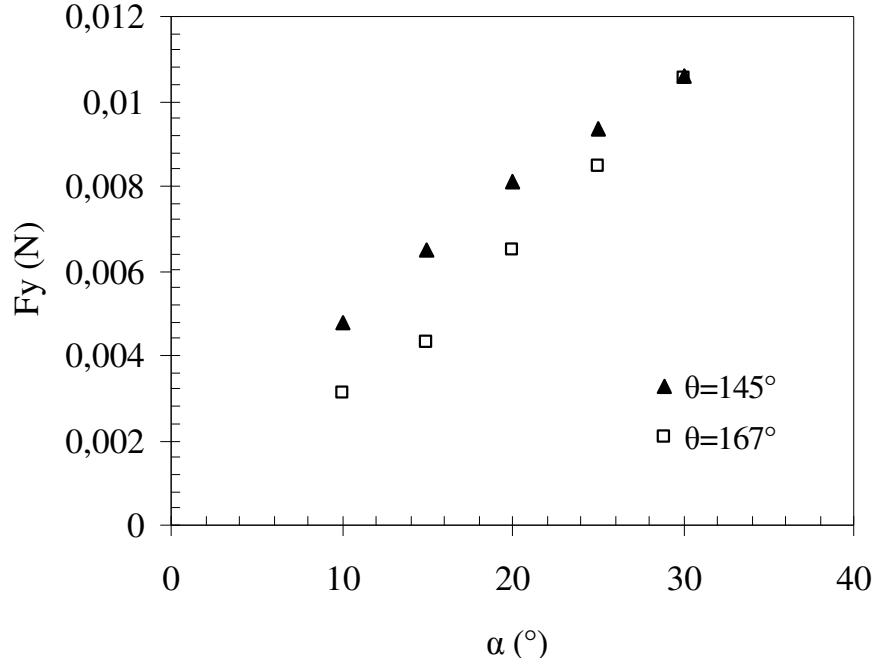
Şekil 4.185: Farklı kontak açısına sahip yüzeylerde meydana gelen kuvvetin Re sayısı ile değişimi ($d=1.75$, $\alpha=15^\circ$)

Şekil 4.186’da jet açısı daha büyük olan kuvvet değerleri verilmiştir. Grafikten eğrilerin birbirlerine daha yakın çıktıkları görülmektedir. Hatta Re sayısının yüksek değerlerinde eğriler çakışmaktadır. Jet açısının artmasıyla kuvvetin oluşumunda giriş momentumunun etkisi artmaktadır. Özellikle Re sayısının artmasıyla bu etki daha fazla olmakta kuvvetin oluşumuna etki eden diğer parametrelerin etkisi azalmaktadır.



Şekil 4.186: Farklı kontak açısına sahip yüzeylerde meydana gelen kuvvetin Re sayısı ile değişimi ($d=1.75$, $\alpha=25^\circ$)

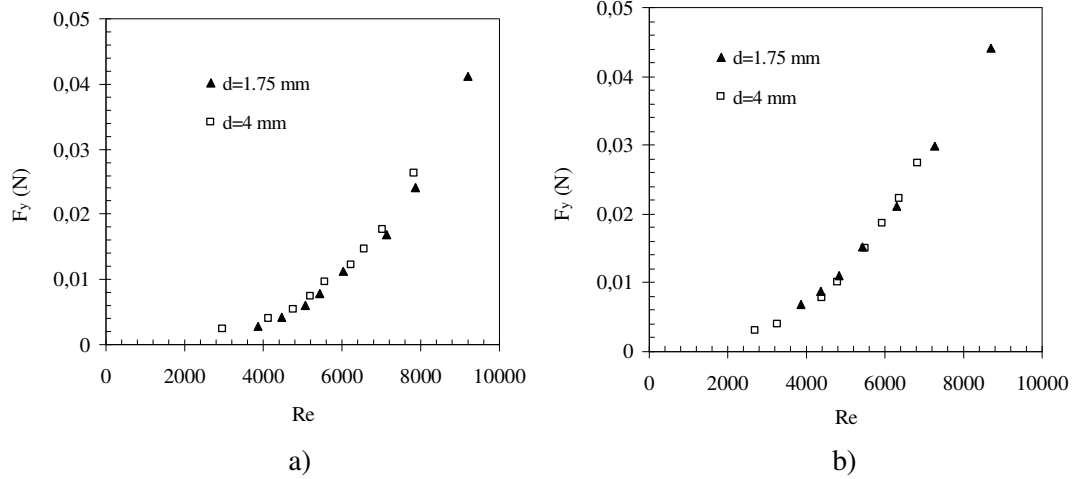
Şekil 4.187’de farklı kontak açısına sahip yüzeylerde meydana gelen kuvvetin jet açısı ile değişim grafiği verilmiştir. Düşük jet açılarında düşük kontak açısına sahip yüzeyde daha fazla kuvvet ölçülmektedir. Jet açının azalmasıyla yüzeyler arasındaki kuvvet farkı da azalmakta ve 30° jet açısında her iki yüzeyde de aynı kuvvet meydana gelmektedir.



Şekil 4.187: Farklı kontak açısına sahip yüzeylerde meydana gelen kuvvetin jet açısı ile değişimi ($d=1.75$ mm, $Re \approx 4350$)

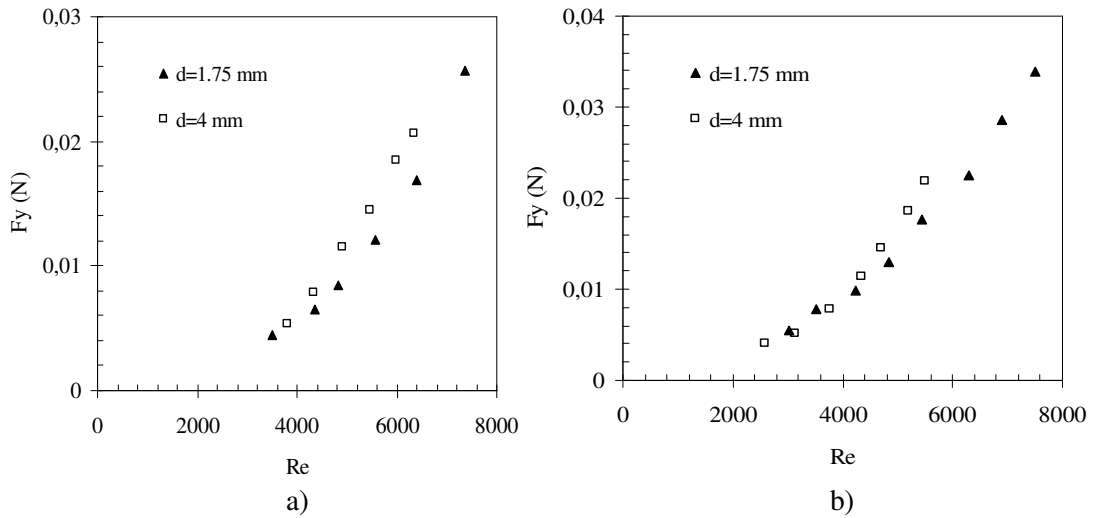
4.12.5.4. Dikey kuvvete nozul çapının etkisi

Şekil 4.188(a)’da 15° jet açısı Şekil 4.188(b)’de 25° jet açısı için her iki nozulla meydana gelen kuvvetlerin Re sayısı ile değişimi aynı grafikte verilmiştir. Grafiklerden her iki nozulla elde edilen eğrilerin çakıştıkları görülmektedir. Nozul çapındaki değişiklik aynı Re sayısında kuvveti etkilememektedir. Böylece dikey kuvvet Re sayısı ile kıyaslandığında nozul çapından bağımsızlaşmaktadır.



Şekil 4.188: Farklı nozullarda meydana gelen dikey kuvvetin Re sayısı ile değişimi ($\theta=167^\circ$, a) $\alpha=15^\circ$ b) $\alpha=25^\circ$)

Kontak açısı daha düşük olan yüzeydeki dikey kuvvetin her iki nozuldaki değerlerinin Re sayısı ile değişim grafiğinde ise eğrilerin tam olarak çakışmadıkları görülmektedir (Şekil 4.189). Kontak açısı düştükçe dikey kuvvetin Re sayısı ile değişiminin nozul çapından bağımsızlık özelliği bozulmaktadır.



Şekil 4.189: Farklı nozullarda meydana gelen dikey kuvvetin Re sayısı ile değişimi ($\theta=145^\circ$, a) $\alpha=15^\circ$ b) $\alpha=25^\circ$)

İslanmaz yüzey eğimli olduğunda da tıpkı dikey olduğu durumdaki gibi meydana gelen kuvvet özellikle yüksek kontak açılarında Re sayısından bağımsız hale gelmektedir.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ıslanmaz yüzeyler dik tutularak, yüzeye gönderilen su jetinin açısı ve debisi değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Daha sonra, su jeti dikey konumda sabit tutulmuş, farklı kontak açlarına sahip yüzeyler ise eğimi değiştirilerek deneyler tekrar edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

5.1. Sonuçlar

Islanmaz yüzeye eğimli olarak çarpan su jeti bu çarpma sonucunda yüzeyde aşağıda sıralanan davranışlardan birini gösterebilir.

- Yüzeye çarpan su yüzeyde yayılır daha sonra birleşerek yüzeyden yükseklik kazanır fakat yüzeyden ayrılamaz tekrar yüzeyde yayılarak sıvı zinciri oluşturur bu şekilde akışına devam eder.
- Yüzeye çarpan su yatay olarak kenarlara yayılır sonra tekrar birleşir, yansıma hareketi yaparak yüzeyden ayrılır.
- Yüzeye çarpan su yüzeyde çok fazla bir alana yayılmayarak D.H.S oluşturmaz ve ufak bir esneme hareketi ile bazı durumlarda yüzeyden yansıma hareketi yapar bazı durumlarda ise yapamaz.
- Yüzeye çarpan su yüzeyde yayılır ve katı ile sınır bölgelerinde sıçramalar meydana gelir.

Islanmaz yüzeylere gönderilen su jetinin yukarıda sıralanan davranışlarını tespit edebilmek için eşdeğer çap, eşdeğer yayılma faktörü, uzama faktörü, uzama oranı, genişleme oranı, şekil faktörü, teğetsel kuvvet, dikey kuvvet ve kayma gerilmesi olmak üzere 9 ayrı ifade tanımlanmış ve bu ifadelere etki eden Reynolds sayısı, Weber sayısı, jet açısı, nozul çapı ve kontak açısı parametrelerinin etkileri ayrı ayrı incelenmiştir. Bunun için 5 farklı kontak açısına sahip ıslanmaz yüzey, 2 farklı

çaptaki nozul, 15° – 45° aralığındaki jet açıları ve farklı su jeti hızları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

➤ Islanmaz yüzeye eğimli olarak çarpan su jetinin hızının artması atalet kuvvetlerini arttırmakta dolayısıyla suyun yüzeyde yayıldığı alan da artmaktadır. Düşük su jeti hızlarında yüzey gerilim kuvveti ve dolayısıyla We sayısı olayda daha etkin olmaktadır. Yüksek su jeti hızlarında ise sürtünmeler artmakta ve yüzey gerilim kuvvetinin etkisi azalmaktadır.

➤ Farklı kontak açısına sahip yüzeylerin hepsinde We sayısının artmasıyla D_{ED} 'de artmaktadır. Bu artış yüksek kontak açısına sahip yüzeylerde, düşük We sayılarında daha fazla değerlerde olmaktadır. We sayısındaki artışla yükseliş eğilimi değişmekte ve düşük kontak açılı yüzey ile yüksek kontak açılı yüzey belli bir We sayısında aynı D_{ED} 'yi oluşturmaktadır. We sayısının bundan sonraki değerlerinde düşük kontak açılı yüzeydeki yayılma daha fazla olmaktadır. Farklı iki kontak açısına sahip yüzeyde de aynı yayılmanın gerçekleştiği We sayısı; jet açısı, nozul çapı, akışkan sıcaklığı parametrelerinden hiç birinden etkilenmemekte, yalnızca kontak açısının değerinden etkilenmektedir (Tablo 4.1). Kontak açıları arasındaki farklar arttıkça aynı yayılmanın gerçekleştiği We sayısı da artmaktadır. Yüksek kontak açılarında fark aynı olmasına rağmen düşük kontak açılara göre yayılmanın gerçekleştiği We sayısı daha düşük değerlerde olmaktadır.

➤ Jet açısının artması, su jetinin yüzeye normal atalet kuvvetlerini arttırmaktadır. Normal atalet kuvvetleri suyun yüzeyde yayılmasında etkin olan bir parametredir. Böylece jet açısındaki artış suyun yayılma alanını arttırmaktadır. Bu artış suyun uzunluğunun artmasından ziyade genişlemesiyle meydana gelmektedir. Yüksek kontak açısına sahip yüzeye çarpan su jeti açısının artmasıyla artan yayılma, yüzey gerilim kuvvetlerinin dengelemesiyle düşük kontak açısına sahip yüzeye göre daha az oranlarda olmaktadır.

➤ We sayısına jet açısının etkisi katılarak elde edilen düzenlenmiş We sayısı ile elde edilen eşdeğer çap bütün kontak açılarında ve nozul çaplarında jet açısından

bağımsız hale gelmektedir. We sayısının artmasıyla yüzey gerilim kuvvetlerinin etkisinin azalmasıyla bu bağımsızlaştırma bozulmaya başlamaktadır.

➤ Yüksek jet açılarında akışkan daha fazla bir alana yayılmakta ve bu yayılmanın büyük bir çoğunluğu sıvının yüzeyde genişlemesi ile gerçekleşmektedir. Düşük kontak açılarında akışkan ile yüzey arasındaki yüksek çekim kuvveti etkisiyle daha fazla bir alana yayılan akışkanın ataletinin büyük bir kısmı sürtünmelerle azalmaktadır. Böylece yüzey gerilme enerjisine dönüşen akışkanın geri kalan ataleti azalmaktadır. Yüksek kontak açılı yüzeylerde ise yayılma daha az olmakta ve yüzeyin düşük çekim kuvvetlerinden dolayı akışkanın bir araya toplayan yüzey gerilme enerjisi daha büyük değerlerde olmaktadır. Bu nedenle jet açısındaki artış her iki kontak açılı yüzeyler arasındaki D_{ED} farkını arttırmaktadır.

➤ Eşdeğer çapı nozul çapından bağımsız hale getirmek için tanımlanan $E.Y.F$ kullanılarak D_{ED} nozul çapından bağımsız hale gelmektedir. Bu bağımsız hal özellikle yüksek kontak açısına sahip yüzeylerde daha belirgin olmaktadır.

➤ Yüksek kontak açısına sahip süper ıslanmaz bir yüzeye çarpan su jeti yüzeyde az bir alana yayılmaktadır. Kontak açısının düşmesiyle yayılma alanı da artmaktadır.

➤ Akışkanın viskozitesinin ve yüzey geriliminin her ikisinin de artmasıyla akışkanın yüzeyde yayıldığı alanın da arttığı daha önce literatürde bulunmayıp bu tez çalışmasında elde edilen Denklem (4.1)'le elde edilmiştir.

➤ Su jeti hızının artması uzama faktörünü arttırmaktadır. Bu artış oranı azalan bir eğilimle olmakta ve We sayısının jet açısına bağlı belli bir değerinden sonra ise $U.F$ sabitlenmektedir. Su jeti açısının düşük değerlerinde teğetsel atalet kuvvetlerinin büyük olmasıyla $U.F$ 'de daha büyük değerlerde olmaktadır.

➤ Nozul çapının artması aynı We sayısında atalet kuvvetlerini düşürmekte ve enerji dönüşümü azalmaktadır. Böylece düşük nozul çaplarında daha düşük $U.F$ değerleri elde edilmektedir.

- Kontak açısının artması ile su ile yüzey arasındaki düşük çekim kuvvetlerinden dolayı su yüzeyde yanlara daha az genişlemektedir. Uzunluğunda ise atalet kuvvetleri daha etkin olduğundan kontak açısının etkisi az olmakta böylece U.F büyük kontak açısına sahip yüzeyde daha yüksek değerlerde olmaktadır.
- U.F üzerinde etkisi en fazla olan parametre jet açısıdır. Jet açısının artması suyun boyunda etkisi olan teğetsel atalet kuvvetlerini azaltmakta genişlikte etkili olan yatay atalet kuvvetlerini ise arttırmaktadır. Böylece jet açısındaki artış U.F'yi büyük oranlarda düşürmektedir.
- Elde edilen denklemlerle viskozitenin ve yüzey geriliminin tahmini yapılmıştır. Buna göre; viskozitenin artmasıyla artan sürtünmeler teğetsel atalet kuvvetlerini azaltmaktadır. Bu artışla yüzeydeki suyun boyu genişliğine oranla daha fazla oranda azalmakta olduğundan U.F viskoziteyle azalmaktadır. Yüzey geriliminin artmasıyla ise suyun bir araya toplanma eğilimi artmakta ve genişli uzunluğuna oranla daha fazla oranda azalmasından dolayı yüzey geriliminin artmasıyla U.F artmaktadır.
- Jet açısındaki artış; yüzeydeki suyun boyunu 45°'ye kadar azalan bir eğilimle arttırmakta, 45°'den sonra ise düşük oranlarda azaltmaktadır. Genişlik ise jet açısının artmasıyla doğru orantılı olarak artmaktadır.
- Şekil Faktörü, We sayısının ve kontak açısının artmasıyla azalmakta jet açısının artmasıyla ise belli bir jet açısı değerine kadar artmakta daha sonra ise azalmaktadır. Jet açısının 1 olması yüzeydeki suyun şeklinin elips şeklinde olduğunu yani çarpma bölgesi ve birleşme bölgelerinin şeklinin aynı olduğunu göstermektedir. Şekil Faktörü'nün 1'in altına inmesi elips şeklin dikiörtgene yaklaştığını 1'den büyük değerler alması ise birleşme bölgesinin çarpma bölgesine göre daha sivri hale geldiğini göstermektedir.
- Şekil Faktörü yüzeydeki suyun şekli dikiörtgen olduğunda en küçük değeri olan $\pi/4=0.7853$ değerini alacaktır. En yüksek değerini ise yüzeydeki şekil üçgen olduğunda alacak ve değeri $\pi/2=1.57$ olacaktır.

- Yansıma açısı; kontak açısı, Weber sayısı ve jet açısına bağlı olarak değişmektedir. Sabit jet açısında su jeti hızının artması yansıma açısını önce arttırmakta daha sonra ise düşürmektedir. Yansıma açısının maksimum değeri jet açısının yaklaşık olarak yarısı değerlerinde olmaktadır.
- Katı yüzeyin kontak açısı düşük değerlerde olduğunda, akışkan ile yüzey arasındaki yüksek çekim kuvvetlerinden dolayı akışkan daha fazla bir alana yayılmakta böylece sürtünmelere harcanan atalet artmaktadır. Ayrıca akışkanın yüzeyle arasındaki bu yüksek çekim kuvveti akışkanın yüzeyden yansıma yapamamasında da etkili olmaktadır. Kısacası sürtünmelere harcanan enerji nedeniyle akışkan yeterli yüzey gerilim enerjisi depolayamamaktadır. Depoladığı enerji de yüzeyle arasındaki yüksek çekim kuvvetini yenerek yansıma yapabilecek seviyede olamamaktadır.
- Dikey olarak duran ıslanmaz yüzeye eğimli olarak çarparak yüzeyden yansıma hareketi yapan su jetinin yüzeyde oluşturduğu teğetsel kuvvet sürtünmelerden kaynaklanan kuvvettir. Jet açısının artmasıyla su jetinin momentumunun teğetsel bileşeni azalmasına rağmen teğetsel kuvvetin artması bu kanıyı desteklemektedir. Jet açısının artması suyun yüzeydeki alanını arttırmakta artan yüzey alanı su ile yüzeyin temas alanını dolayısıyla sürtünmeleri arttırmaktadır. Teğetsel kuvvet suyun yüzeyde yayıldığı alanla doğru orantılı olarak değişmektedir. Böylece suyun yüzeydeki alanını arttıran parametreler teğetsel kuvveti de arttırmaktadır.
- Kontak açısının artmasıyla su ile yüzey arasındaki çekim kuvvetleri azalmakta böylece teğetsel kuvvet büyük oranlarda düşmektedir. Yüksek kontak açılarında teğetsel kuvvet Re sayısı ile nozul çapından bağımsız hale gelmekte kontak açısının düşmesiyle bağımsızlaştırma bozulmakta ve aynı Re sayısında düşük nozul çapında daha fazla teğetsel kuvvet oluşmaktadır.
- Ortalama kayma gerilmesi süper ıslanmaz yüzeylerde önemli oranda azalmaktadır. Kontak açısı 123° 'den 167° arasındaki değişimde kayma gerilmesindeki azalma yaklaşık olarak %77 oranında olmaktadır. Bu durumun; suyun

ıslanmaz yüzeye temas bölgelerinde katı yüzeyden daha fazla oranda yüzeyde bulunan hava ile temas etmesiyle gerçekleştiği düşünülmektedir.

➤ Ortalama kayma gerilmesi jet açısının artmasıyla başta azalmakta, jet açısı 36.7° olduğunda minimum değer almakta ve jet açısının daha sonraki değerlerinde tekrar yükselmeye başlamaktadır.

➤ Eğimli olarak duran ıslanmaz yüzeye dikey su jeti gönderildiğinde suyun yüzeyde yayılma alanı, yüzeyin dikey olduğu duruma göre daha az olmaktadır. Ölçülen dikey kuvvet teğetsel kuvvet olmayıp kuvvetin oluşumunda, momentumun dikey bileşeni sürtünmeye nazaran daha önemli oranda etkili olmaktadır. Böylece yayılma alanı azalsa da dikey kuvvet daha büyük değerlerde olmaktadır.

Tablo 5.1’de dikey olarak duran ıslanmaz yüzeye eğimli olarak gönderilen su jetinin davranışını belirleyen ifadeler ve bu ifadelere etki eden parametreler verilmiştir. Tabloda olayı ifade etmek için kullanılan bütün ifadeler ve bu ifadelere etki eden parametreler aynı anda görülebilmektedir. Tablodaki teğetsel kuvvet ve kayma gerilmesine etki eden parametreler sabit Re sayısına göre, diğer ifadeler ise sabit We sayısına göre verilmiştir. Tabloda, parametrelerin artmasının akışkanı ifade eden özelliğe nasıl yansıdığı artma veya azalma gösterimi olarak verilmiştir. Artmanın veya azalmanın sürekli sabit kalmadığı durumlar harflendirilmiştir.

Tablo 5.1: Islanmaz yüzeye eğimli olarak gönderilen su jetinin davranışını belirleyen ifadeler ve bu ifadelere etki eden parametrelerin etki şekilleri.

	Reynolds (↑)	Weber (↑)	Jet açısı (↑)	Kontak açısı (↑)	Nozul çapı (↑)	Akışkan Sıcaklığı (↑)
Yayılma (Eşdeğer Çap)	↑	↑	↑	↓	↑	↑
Uzama faktörü	↑↓ (a)	↑↓ (a)	↓	↑	↑	↑
Uzama oranı	↑↓ (b)	↑↓ (b)	↓	↑	↑	↑
Genişleme oranı	↑↓ (c)	↑↓ (c)	↑	↓	↓	↓
Uzunluk	↑	↑	↑↓ (d)	↓	↑	↑

Tablo 5.1: (Devamı) Islanmaz yüzeye eğimli olarak gönderilen su jetinin davranışını belirleyen ifadeler ve bu ifadelere etki eden parametrelerin etki şekilleri.

Genişlik	↑	↑	↑	↓	↑	↑
Şekil faktörü	↓	↓	↑↓(e)	↓	↑	↑
Yansıma açısı	↑↓(h)	↑↓(h)	↑↓(j)	↑	↓	↑
Teğetsel Kuvvet	↑	↑	↑	↓	↓(f)	↑
Kayma gerilmesi	↑	↑	↑↓(g)	↓	↓	↓
(a)	Reynolds ve Weber'in belli değerine kadar artıyor sonra sabit kalıyor.					
(b)	Jet açısı 45° olana kadar artıyor jet açısının daha sonraki değerlerinde ise azalıyor.					
(c)	Jet açısı 45° olana kadar artıyor jet açısının daha sonraki değerlerinde ise azalıyor.					
(d)	Jet açısının değeri 45° olana kadar artıyor sonra azalmaya başlıyor.					
(e)	Jet açısının belli değerine kadar artıyor sonra düşüyor bu değer We'ye göre değişiyor					
(f)	Yüksek kontak açısında nozul çapından bağımsız oluyor. Kontak açısının düşük değerlerinde ise nozul çapı arttıkça teğetsel kuvvet düşüyor.					
(g)	Jet açısının 36.7 değerine kadar azalıyor. Bu değerden sonra artıyor.					
(h)	Re ve We sayılarının belli bir değerine kadar artıyor daha sonraki değerlerde azalmaya başlıyor.					
(j)	We değerine bağlı olarak jet açısının belli değerine kadar artıyor daha sonra azalıyor.					

Elde edilen denklemlerin her iki tarafı da boyutsuz olduğundan denklemler genel bir şekle dönüştürülmüştür. Dolayısıyla Re ve We sayılarını ifade eden suyun viskozitesi ve yüzey gerilimi ifadelerinin etkilerinin anlaşılabilmesi için denklemler kullanılarak sonuçlar elde edilmiş ve Tablo 5.2'de verilmiştir. Suyun hızı ise deneylerde değişken olarak kullanıldığından su hızının etkisi deneysel verilerle elde edilmiş bir sonuçtur.

Tablo 5.2: Reynolds ve Weber sayılarını ifade eden su hızı, viskozite ve yüzey gerilimi parametrelerinin ıslanmaz yüzeye eğimli olarak çarpan suyun davranışını ifade eden parametrelere etki şekilleri.

	Viskozite (\uparrow)	Yüzey gerilimi (\uparrow)	Su hızı (\uparrow)
Yayıma (Eşdeğer Çap)	↓	↓	↑
Uzama faktörü	↓	↑	↑↓ (a)
Uzama oranı	↓	↑	↑↓ (b)
Genişleme oranı	↑	↓	↑↓ (c)
Uzunluk	↓	↓	↑
Genişlik	↓	↓	↑
Şekil faktörü	↓	↑	↓
Yansıma açısı	↓	↑	↑↓(d)
Teğetsel Kuvvet	↓	↑	↑
Kayma gerilmesi	↓	↑	↑
(a)	Reynolds ve Weber'in belli değerine kadar artıyor sonra sabit kalıyor.		
(b)	Jet açısı 45° olana kadar artıyor jet açısının daha sonraki değerlerinde ise azalıyor.		
(c)	Jet açısı 45° olana kadar artıyor jet açısının daha sonraki değerlerinde ise azalıyor.		
(d)	Re ve We sayılarının belli bir değerine kadar artıyor daha sonraki değerlerde azalmaya başlıyor.		

5.2. Öneriler

Islanmaz yüzeyler üzerine jet akışı ile ilgili bundan sonra yapılabilecek çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

1. Normal atalet kuvvetleri ölçülerek bileşke kuvvet tespit edilebilir.
2. Lazer doppler cihazı kullanılarak ıslanmaz yüzey üzerindeki akışkan hızları tespit edilebilir.
3. Farklı geometrideki yüzeylere su jeti gönderilerek davranışları tespit edilebilir.

4. Farklı viskozitedeki sıvılar kullanılarak denklemlerin genelliği tespit edilebilir. Böylece yansıma, sıçrama şartları tam olarak tespit edilebilir.

5. Farklı malzemelerden elde edilmiş aynı kontak açısına sahip ıslanmaz yüzeyler kullanılarak yüzeyin kontak açısından başka parametrelerin etkisi olup olmadığı tespit edilebilir. Örneğin dinamik kontak açısının, yüzey pürüzlülüğünün etkisi bu şekilde anlaşılabilir.

6. Yüzeydeki suyun hacmi, yansıma yapan suyun kesit alanı, su filmi kalınlığı gibi parametreler tespit edilebilir. Böylece yüzeydeki enerji dönüşümü ve sürtünmelere harcanan enerji tespit edilebilir.

KAYNAKLAR

Acatay, K., “Generation of superhydrophobic surfaces by electrospinning process”, Doktora Tezi, *Sabancı University*, (2004).

Agrawal, A., 2005, Fundamentals of Surface Tension/Wettability, [online], Massachusetts Institute of Technology (MIT), (<http://web.mit.edu/nmf/education/wettability/intro.html>), (Ziyaret saati: 22 Kasım 2007).

Arakeri, J., H., Rao, A., “On radial flow on a horizontal surface and the circular hydraulic jump” *J. Indian Inst. Sci.*, **76**, 73–91, (1996).

Aramburo, L., E., E., “A new methodology for modelling impinging sprays based on drop size moments”, Phd thesis, *Manchester University*, (2004)

Attané, P., Girard, F., Morin, V., “An energy balance approach of the dynamics of drop impact on a solid surface”, *Physics Of Fluids*, **19**, 012101, (2007).

Avedisian, C., T., Zhao, Z., “The circular hydraulic jump in low gravity”, *Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, Vol. 456, 2127–2151, (2001)

Bai, C., Gosman, A., D., “Development of methodology for spray impingement simulation”, *Society Automot. Engng.*, 950283, (1995).

Bai, C., Rusche, H., Gosman, A., D., “Modeling of gasoline spray impingement”, *Atomiz Sprays*, **12**, 1–27, (2002).

Barthlott, W., Neinhuis, C., “Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces”. *Planta*, **202**, 1-8, (1997).

Bartolo, D., Josserand, C., Bonn D., “Singular jets and bubbles in drop impact”, *Physical Review Letters*, **96**, 124501, (2006).

Bayraktar, S., Gdkbay, U., zgç, B., “Sıvı, kumaş ve katı cisim etkileşimlerinin bilgisayar grafiği için modellenmesi”, *IEEE Sinyal İşleme ve Uygulamaları Kurultayı (SIU'06)*, Antalya, Nisan (2006).

Beltaos, S., “Oblique impingement of circular turbulent jets” *Journal Of Hydraulic Research*, Vol. 14, No. 1, P 17-36, (1976)

Beyaz S., Yzey gerilimi, [online], Balıkesir niversitesi, (<http://w3.balikesir.edu.tr/~sedacan/yuzey.html>), (Ziyaret saati:10 Ekim 2007).

Bohr, T., Dimon, P., Putkaradze, V., “Shallow-water approach to the circular hydraulic jumps”, *J. Fluid Mech.*, 254, 635–648, (1993).

Bohr, T., Putkaradze, V., Watanabe, S., “Averaging theory for the structure of hydraulic jumps and separation in laminar free-surface flows” *Phys I Cal Re VI Ew Letters*, Volume 79, Number 6 11, (1997).

Bohr, T., Ellegaard, C., Hansen, A., E., Hansen, K., Haaning, A., Putkaradze, V., Watanabe, S., “Separation and pattern formation in hydraulic jumps”, *Physica A.*, V.249, 111–117, (1998)

Brechet, Y., Ne’da, Z., “On the circular hydraulic jump”, *Am. J. Phys.*, 67, 8, (1999)

Bush, J., W., M., Aristoff, J., M., “The influence of surface tension on the circular hydraulic jump” *J. Fluid Mec.*, Vol. 489, 229–238, (2003).

Bush, J., W., M., Aristoff, J., M., Hosoi, A., E., “An experimental investigation of the stability of the circular hydraulic jump”, *J. Fluid Mech.*, Vol. 558, 33–52, (2006).

Bussmann, M., “ A three-dimensional model of an impacting droplet”, Ph.D. thesis *University of Toronto*, (2000).

Callies, M., Quere, D., “On water repellency”, *The Royal Society of Chemistry*, 1, 55-61, (2005).

Candries, M., “Drag, boundary-layer and roughness characteristics of marine surfaces coated with antifouling, Phd Thesis, Department of Marine Technology, **University Of Newcastle-Upon-Tyne**, UK (2001)

Chauhan, A., Maldarelli, C., Rumschitzki, D., S., Papageorgiou, D., T., “An experimental investigation of the convective instability of a jet”, *Chemical Engineering Science*, 58, 2421 – 2432, (2003).

Chen, R., H., Wang, Æ., H., W., “Effects of tangential speed on low-normal-speed liquid drop impact on A non-wettable solid surface” *Experiments In Fluids*, 39, 754–760, (2005).

Chiu, S., L., Lin, T., H., “Experiment on the dynamics of a compound drop impinging on a hot surface”. *Physics Of Fluids*, 17, 122102, (2005).

Cholemani M., R., Arakeri, J., H., “Waves on radial film flows” *Physics of Fluids*, 17, 084108, (2005),

Cossali, G. E., Coghe, A., Marengo, M., “The impact of a single drop on a wetted solid surface”, *Experiments in Fluids*, 22, 463-472, (1997).

Craik, D., D., Latham, R., C., Fawkes, M., J., Grierson, P., W., F., “The circular hydraulic jump”, *J. Fluid Mech.*, 112, 347-362, (1981).

Çengel, Y., A., Cimbala, J., M., “Akışkanlar mekaniği” Çeviri Editörü, Tahsin ENGİN, *İzmir Güven Kitabevi*, , İzmir, Sayfa 326-327, (2008)

Dressler, D., M., “An experimental investigation of newtonian and non-newtonian spray interaction with a moving surface” B.A.Sc., Master Thesis, *University Of Saskatchewan*, 2006.

Ellegaard C., Hansen, A., E., Haaning, A., Hansen, K., Marcussen, A., Bohr, T., Hansen J., L., Watanabek, S., “Cover illustration: Polygonal hydraulic jumps” *Nonlinearity*, 12, 1–7, (1999).

ElSherbini, A., I., Jacobi, A., M., “Liquid drops on vertical and inclined surfaces I. an experimental study of drop geometry”, *Journal of Colloid and Interface Science* Volume 273, Issue 2, 15, 556-565, (2004)

ElSherbini, A., I., Jacobi, A., M., “Retention forces and contact angles for critical liquid drops on non-horizontal surfaces” *Journal of Colloid and Interface Science*, 299, 841–849, (2006).

Erbil, H. Y., Demirel, A. L., Avcı, Y., Mert, O., “Transformation of a simple plastic into a superhydrophobic surface”, *Science*, Vol. 299. No. 5611, 1377-1380, (2003).

Ferreira, V., G., Tom, M., F., Mangiavacchi, N., Castelo, A., Cuminato, J., A., Fortuna, A., O., McKee- S., “High-order upwinding and the hydraulic jump”, *International Journal For Numerical Methods In Fluids Int. J. Numer. Meth. Fluids*, 39, 549–583, (2002).

Ferreira¹, V., G., Oishi¹, C., M., Kurokawa¹, F., A., Kaibara, M., K., Cuminato¹, J., A., Castelo¹, A., Mangiavacchi, N., Tome¹, M., F., McKee, S., “A combination of implicit and adaptative upwind tools for the numerical solution of incompressible free surface flows”, *Communications In Numerical Methods In Engineering*, 23, 419–445, (2007).

Fujimoto, H., Shiotani, Y., Tong, A., Y., Hama, T., Takuda, H., “Three-dimensional numerical analysis of the deformation behavior of droplets impinging onto a solid substrate” *International Journal of Multiphase Flow*, 33, 317–332, (2007).

Fukumoto, M., Nishioka, E., Nishiyama, T., “New criterion for splashing in flattening of thermal sprayed particles onto flat substrate surface”, *Surface and Coatings Technology*, 161, 103-110. (2002).

Godwin, R., P., “The hydraulic jump (shocks and viscous flow in the kitchen sink)”, *Am. J. Phys.*, 61 (9), 829 – 832, (1993).

Gradeck, M., Kouachi, A., Dani, A., Arnoult, D., Bore´an, J., L., “Experimental and numerical study of the hydraulic jump of an impinging jet on a moving surface”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 30, 193–201, (2006).

- Gunjal, P., R., Ranade, V., V., Chaudhari, R., V., “Dynamics of drop impact on solid surface: experiments and VOF simulations” *AIChE Journal*, 51, 59-78, (2004)
- Hansen, S., H., Hořlučková, S., Zauner, D., Dimon, P., Ellegaard, C., Creagh, S., C., “Geometric orbits of surface waves from a circular hydraulic jump” *Physical Review E*, Volume 55, No:6 June, (1997).
- Hyvaluoma, J., Koponen, A., Raiskinmäki, P., Timonen, J., “Droplets on inclined rough surfaces”, *The European Eur. Phys. J. E*, 23, 289–293, (2007).
- Issa, R., J., “Impact of a liquid drop against a flat surface impact of a liquid drop against a flat surface”, *University of Pittsburgh*, (2003).
- Kalantari, D., “Characterization of liquid spray impact onto walls and films” Phd thesis, *Aus Ardebil, Iran Darmstadt*, (2006).
- Kang, C. W., Ng, HW, “Splat morphology and spreading behavior due to oblique impact of droplets onto substrates in plasma spray coating process”, *Surface & Coatings Technology*, 200, (18–19): 5462–5477, (2006).
- Kang, C. W., H. W., Ng., S. C. M. Yu, “Plasma spray deposition on inclined substrates: Simulations and experiments” *Journal Of Thermal Spray Technology*, 16, (2): 261-274, (2007).
- Kate, R., P., Das, P., K., Chakraborty, S., “Hydraulic jumps with corners due to obliquely inclined circular liquid jets” *Physical Review E*, 75, 056310, (2007a).
- Kate, R., P., Das, P., K., Chakraborty, S., “Hydraulic jumps due to oblique impingement of circular liquid jets on a flat horizontal surface”, *J. Fluid Mech.*, vol. 573, 247–263, (2007b).
- Kate, R., P., Das, P., K., Chakraborty, S., “An experimental investigation on the interaction of hydraulic jumps formed by two normal impinging circular liquid jets” *J. Fluid Mech.*, Vol. 590, 355–380, (2007c).
- Kvicinsky, S., Longatte, F., Kueny, L., Avellan, F., “Free surface flows: experimental validation of volume of fluid (VOF) method in the plane wall case”, *Proceedings of the 3rd ASME/JSME Joint Fluids Engineering Conference*, (1999).
- Michel, T., Mock, U., Roisman, I., V., Růžička, J., Tropea, C., “The hydrodynamics of drop impact onto chemically structured surfaces”, *Journal Of Physics: Condensed Matter*, 17, 607–622, (2005).
- Mikielewicz J., Gumkowski S., Modelling and experimental investigation of the hydraulic jump in liquid film formed by impinging jet, SPRAY-05, *International Symposium on Heat and Mass Transfer in Spray Systems*, Antalya, Turkey, 05-10 June, (2005)

- Miller, E., Gibson, B., McWilliams, E., Rothstein, J., P., “Collision of viscoelastic jets and the formation of fluid webs”, *Applied Physics Letters* 87, 014101, (2005).
- Min, T., G., Kim, J., “Effects of hydrophobic surface on skin-friction drag”, *Physics of Fluids*, 16, L55-L58, (2004).
- Montavon, G., Sampath, S., Berndt, C., C., Herman, H., Coddet, C., “Effects of the spray angle on splat morphology during thermal spraying”, *Surf. Coat. Technol.* 91 107/115 (1997).
- Moumen, N., “Motion of a drop on a horizontal solid surface with a wettability gradient.” Ph. D. Thesis in Chemical Engineering, *Clarkson University*, (2006).
- Mundo, C., Sommerfeld, M., Tropea, C., “Droplet-wall collisions: experimental studies of the deformation and breakup process”, *Int. J. Multiphase Flow*, 21, (2), 151–173, (1995).
- Munson, B., R., Young, D., F., Okiishi, T., H., “Fundamentals of Fluid Mechanics”, *John Wiley&Sons*, 2. edition, New York (1994)
- Naber, J., D., Reitz, R., D., “Modelling engine Spray/wall Impingement”, *SAE Paper* 880107, (1988).
- Neinhuis C., Barthlott, W., “Characterization and Distribution of Water-repellent, Self-cleaning Plant Surfaces”, *Annals of Botany*, 79: 667 - 677, (1997).
- Neto, C., Evans, D., R., Bonaccorso, E., Butt, H., J., Craig, V., S., J., “Boundary slip in Newtonian liquids: a review of experimental studies”, *Institute Of Physics Publishing*, 68, 2859–2897, (2005).
- Olsson R., G., Turkdogan, E., T., “Radial spread of a liquid stream on a horizontal plate” *Nature*, 211, 813, (1966).
- Öz g ü r, H, Gemici, Z., Bayındır, M., “Akıllı nano yüzeyler” *Bilim Teknik*, Nisan (2007)
- Panao, M., “Experimental Characterization of an Intermittent Gasoline Spray Impinging Under Cross-Flow Conditions”, *Atomization and Sprays*, 15, 201-222, (2005).
- Pelzer, J., “Effect of Jet Structure on Hydraulic Jump”, [online], (<http://facweb.eths.k12.il.us/chemphys/research%20papers/Justin%20%20Hydraulic%20Jump.htm>) (2001), (Ziyaret saati:05 Ocak 2008).
- Perot, J., Ou., B., Rothstein, J., P., “Laminar drag reduction in microchannels using ultrahydrophobic surfaces”, *Physics of Fluids* 16, 4635, (2004).

- Prashant, R., Gunjal, Vivek, V., Ranade, Raghunath, V. Chaudhari, “Dynamics of drop impact on solid surface: Experiments and VOF simulations”, *AIChE Journal*, Vol. 51, No. 1, 59-78, (2005).
- Rao, A., Arakeri, J., H., “Wave structure in the radial film flow with a circular hydraulic jump”, *Experiments in Fluids*, 31, 542-549, (2001).
- Rayleigh, L., “On the theory of long waves and bores”. *Proc. R. Soc. Lond. A* 90, 324, (1914).
- Rein, M., “Phenomena of liquid drop impact on solid and liquid surfaces”, *Fluid Dynamics Research*, Vol. 12, pp. 61-93, (1993)
- Richard, D., Quere, D., “Bouncing water drops”, *Europhys. Lett.*, 50, 769-775, (2000).
- Rioboo, R., Tropea, C., Marengo, M., “Outcomes from a drop impact on solid surfaces”, *Atomization and Sprays*, Vol. 11, pp. 155-165, (2001).
- Roisman. I., V., Rioboo, R., Tropea, C., “Normal impact of a liquid drop on a dry surface: Model for spreading and receding”, *Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, Vol. 458, No. 2022, 1411-1430, (2002).
- Sikalo, S., Ganic, E., N., “Phenomena of droplet–surface interactions”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 31, 97–110, (2006).
- Sikalo, S., Tropea, C., Ganic, E., N., “Impact of droplets onto inclined surfaces” *Journal of Colloid and Interface Science*, 286, 661-669, (2005)
- Sparrow, E. M.; Lovell, B. J. “Heat transfer characteristics of an obliquely impinging circular jet” *Journal of Heat Transfer*, vol. 102, May 1980, p. 202-209.
- Stevens, J., Webb, B., W., “The effect of inclination on local heat transfer under an axisymmetric, free liquid jet”, *International Journal of Heat and Mass Transfer* Volume 34, Issues 4-5, 1227-1236, (1991).
- Suzuki, S., Nakajima, A., Tanaka, K., Sakai, M., Hashimoto, A., Yoshida, N., Kameshima, Y., Okada, K., “Sliding behavior of water droplets on line-patterned hydrophobic surfaces”, *Applied Surface Science*, 254, 1797–1805, (2008).
- Tani I., “Water jump in the boundary layer” *Journal of The Physical Society of Japan*, 4, 212, (1949).
- Togahsi, S., Azuma, H., “Prediction of the onset position of hydraulic jump formed by a water-impinging jet on an inclined substrate”, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, No.1, pp.102-105, (2004).

Tong, A., Y., “On the impingement heat transfer of an oblique free surface plane jet” **International Journal of Heat and Mass Transfer** Volume 46, Issue 11, 2077-2085, (2003).

Taylor, S., G., “Oblique impact of a jet on a plane surface” *Proc. Roy. Soc.* Vol. 260, No. 1110, 96-100, (1966).

Vander Wal, R., L., Berger G., M., Mozes, S., D., “The splash/non-splash boundary upon a dry surface and thin fluid film”, *Experiments in Fluids*, 40, 53–59, (2006).

Wal, B., P., “Static and dynamic wetting of porous teflon surfaces”, Ph.D. thesis *Department of Polymer Chemistry*, University of Groningen, The Netherlands. December, (2006)

Walldorf, D., “The circular hydraulic jump” *H. H. Wills Physics Laboratory University of Bristol Tyndall Avenue*, Bristol BS8 1TL (2004)

Wang, A., Chen, B., C., Hwang, W., C., “On Some New Aspects of Splashing Impact of Drop-Liquid Surface Interactions”, *Courses And Lectures- International Centre For Mechanical Sciences*, 456, 203-306, (2002)

Watanabe, K., “Proceedings of the International Symposium on Seawater Drag Reduction”, *Newport Rhode Island*, 19, (1998).

Watanabe, K., Udagawa, Y., H., “Drag reduction of Newtonian fluid in a circular pipe with a highly water-repellent wall” *J. Fluid Mech.* vol. 381, 225, (1999).

Watanabe, K., Y., Ohkido, K., Mizunuma, H., “Drag reduction in flow through square and rectangular ducts with highly water-repellent walls”, *Proc. ASME FED Summer Meeting on Turbulence Modif_ication and Drag Reduction*, FRD-237, vol. 2, 115-119, (1996).

Watanabe, K., Ogata, S., “Drag reduction for a rotating disk with highly water-repellent wall”, *FEDSM97-3380 Summer Meeting*, FEDSM97-3380, 1-5, (1997).

Watson, E., J., “The radial spread of liquid over a horizontal plane”, *J. Fluid Mech.*, 20., 481–499, (1964).

Weiss, C., “The liquid deposition fraction of sprays impinging vertical walls and flowing films”, *International Journal of Multiphase Flow*, 31, 115–140, (2005).

Wenzel, R., N., “Resistance of solid surfaces to wetting by water”, *Industrial and Engineering Chemistry*, 28: 988 - 994, (1936).

Yokoi, K., Xiao, F., “A numerical study of the transition in the circular hydraulic jump” *Physics Letters A*, 257., 153–157, (1999).

Yokoi, K., Xiao, F., “Mechanism of structure formation in circular hydraulic jumps: numerical studies of strongly deformed free-surface shallow flows” *Physica D.*, 161, 202, (2002).

Young, T., “An essay on the cohesion of fluids”, *Peacock Philos. Trans.* 65-87 London, (1805).

Yu, X., Wang, Z., Jiang, Y., Shi, F., Zhang, X., “Reversible pH-responsive surface: From superhydrophobicity to superhydrophilicity”, *Adv. Mater.*, 17, 1289-1293, (2005).

Zengerle R, Metz T, 2005, Microfluidics 1 [online],
http://www.imtek.de/anwendungen/content/upload/vorlesung/2005/mikrofluidik_i_5_-_surface_tension.pdf (ziyaret saati: 20 Mayıs 2007).

EKLER

EK-A

```
I=imread('yayılma.jpg');
germes=input('gerçek mesafeyi giriniz\n'); cetveldeki mesafe girilecek.

figure, imagesc(I)
[x1,y1]=ginput(1); % referans alınan noktalar işaretlenecek.
[x2,y2]=ginput(1); % referans alınan noktalar işaretlenecek.

refmes=((x1-x2)^2+(y1-y2)^2)^0.5;

[x,y]=ginput; % şeklin işaretlenmesi, işaretleme bitince enter'e basılacak
A = polyarea(x,y);
[a,b]=meshgrid(1:1:2304,1:1:3072); % bu tüm resmin size kadar olacak.
IN = inpolygon(a,b,x,y);
hold on;

plot(x,y,a(IN),b(IN));

[x3,y3]=ginput(1); %boy (L) için en üst nokta seçilecek
[x4,y4]=ginput(1); %boy (L) için en alt nokta seçilecek

L3=((x3-x4)^2+(y3-y4)^2)^0.5;
L=(germes/refmes)*L3

[x5,y5]=ginput(1); % genişlik (W) için sol nokta seçilecek
[x6,y6]=ginput(1); % genişlik (W) için sağ nokta seçilecek
```

$$W3=((x5-x6)^2+(y5-y6)^2)^{0.5};$$

$$W=(germes/refmes)*W3$$

$$t=(germes/refmes)^2;$$

$$alan=A*t;$$

$$DED=((4*alan)/pi)^{0.5}$$

$$uzamafaktoru=L/W$$

$$uzamaorani=L/DED$$

$$genislemeorani=W/DED$$

$$sekilfaktoru=LDED*WDED$$

KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER

1. Ali Kibar, K. Süleyman Yiğit, Hasan Karabay, H. Yıldırım ERBİL, İkrime Orkan Uçar, “İç cidarı ıslanmaz malzeme ile kaplı dairesel bir boru içinden geçen suyun laminar bölgedeki basınç düşümünün teorik ve deneysel incelenmesi”, Ege Üniversitesi, *IV Ege Enerji Sempozyumu*, İzmir, Mayıs, (2008)

2. Ali Kibar, Hasan Karabay, K. Süleyman Yiğit, İkrime Orkan Uçar, H. Yıldırım ERBİL, “Experimental investigation of inclined liquid water jet flow onto vertically located superhydrophobic surfaces”, *J. Fluid Mech.*, (2008) (incelemede)

ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında Sapanca'da doğdu. İlk öğrenimini Gölcük'te tamamladı. Lise öğreniminde Gölcük Teknik Lisesi Elektrik Bölümünü bitirdi. 1993 yılında girdiği Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünden 1997 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 1997-2000 yılları arasında ısıtma ve soğutma konusunda özel sektörde çalıştı. 2000 yılında Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği A.B.D.'de yüksek lisansını tamamladı. 2000-2001 yılları arasında askerlik hizmetini yerine getirdi. 2002 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Ali Rıza Veziroğlu M.Y.O.'da Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.