

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OSPREY DÖKÜM SİSTEMİNİN MODELLENMESİ

DOKTORA TEZİ
Ahmet GÜNER

Anabilim Dalı : Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Programı : Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

EYLÜL 2010

OSPREY DÖKÜM SİSTEMİNİN MODELLENMESİ

DOKTORA TEZİ

Ahmet GÜNER

(506972003)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Eylül 2010

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Niyazi ERUSLU (İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI (İTÜ)

Prof. Dr. Gültekin GÖLLER (İTÜ)

Prof. Dr. Mehmet KOZ (MÜ)

Prof. Dr. Arif Nihat GÜLLÜOĞLU (MÜ)

EYLÜL 2010

Eşime ve çocuklarıma,

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın her aşamasında bana fikirleriyle yeni ufuklar açan, çalışmalarında beni yönlendiren, sabrı ile bana büyük yararları olan, her zaman yakın ilgi gördüğüm çok değerli hocam Prof. Dr. M. Niyazi Eruslu'ya en içten teşekkürlerimi sunarım. Doktora tez çalışmam sırasında deneyim ve fikirlerinden faydalandığım Yrd. Doç Dr. Ahmet Altımoğlu'na çok teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım sırasında deneyimlerinden faydalandığım University of Iowa' dan Prof. Christoph Beckermann'a çok teşekkür ederim., Casting Lab. çalışanlarına ayrıca teşekkür ederim. Laboratuarda birikimlerinden faydalandığım Dr. Richard Hardin ve Huazhong University, Wuhan, Çin'den Prof. Chen Liliang'ya çok teşekkür ederim.

Ayrıca İTÜ Döküm Laboratuvarında çalışan diğer arkadaşlarım Dr. Necip Ünlü ve Yük. Müh. Akın Odabaşı'na da çok teşekkür ederim.

Uzun doktora çalışmam boyunca bana varlıklarıyla destek veren ve sabırlarıyla her daim ümitli olmamı sağlayan Necdet Başaran'a, İbrahim Hastaoğlu'na, Adnan Bıyıkbeyi'ne, Mehmet Fatih Hastaoğlu'na, annem Nurdan Güner'e, eşim Betül Güner'e ve çocuklarıma çok teşekkür ederim.

Doktora çalışmamın konuyla ilgilenen kurumların gereksinimlerini karşılayacağını ve araştırma yapan diğer kişilerin konuya ilişkin beklentilerine karşılık vereceğini umuyor ve diliyorum.

EYLÜL

Ahmet GÜNER
Metalurji Yüksek Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xxvii
SUMMARY	xxxii
1. GİRİŞ.....	1
2. KATILAŞMA	3
2.1 Dengeli Katılaşma	4
2.2 Düzlemsel Olmayan Ara Yüzeyde Katılaşma	5
2.3 Hücresel Katılaşma	6
2.4 Dendritik Katılaşma	6
3. HIZLI KATILAŞMA	9
3.1 Tane Boyunun Küçülmesi	12
3.2 Genişleyen Eriyen Element Çözünürlüğü	12
3.3 İntermetalik Partikül Boyutunun Küçülmesi	13
4. OSPREY SİSTEMİ	15
4.1 Atomizasyon Nozülü.....	16
4.2 Atomizasyon Gazının Hız Dağılımı.....	18
4.3 Damlanın Uçuş Sırasında Hızlanması.....	19
4.3.1 Bouyant kuvveti.....	19
4.3.2 Hızlanan bir cisme etki eden kuvvet.....	19
4.3.3 Viskoziteden dolayı oluşan kuvvet.....	19
4.3.4 Dalga sürüklenmesi	19
4.4 Damlacığın Uçuş Sırasında Soğuması	23
4.5 Osprey Depozitinin Şekli	27
4.6 Osprey Depozitinin Soğuması	31
4.7 Osprey Mikroyapısının Oluşması	34
5. OSPREY BİRİKTİRME YÖNTEMİNİN TASARIMI VE MODELLENMESİ.....	37
5.1 Atomizasyon Nozülü Dizaynı.....	39
5.2 Gaz Hızının Osprey Kazanı İçinde Modellenmesi	44
5.3 Damla Hızının Modellenmesi	48
5.4 Osprey Depozitinin Şekli	50
5.5 Osprey Depozitinin Katılaşması	54
5.6 Damlacığın Yüzeye Çarpmasının Modellenmesi	56
6. SONUÇLAR VE İRDELEME	65
7. GENEL SONUÇLAR.....	71
KAYNAKLAR	75
EKLER	81

ÖZGEÇMİŞ.....	181
----------------------	------------

KISALTMALAR

G_s: Sıvı içerisindeki sıcaklık gradyanı (°C/cm)
R: Büyüme hızı (cm/sn)
m_s: Liküdü eğilimi
D_s: Sıvı içerisinde çözünen elementin yayınma katsayısı (cm²/sn)
C_o: Alaşım bileşimi
k: Denge paylaşım oranı
G_D: Büyüme hızı
D_D: Birikim hızı
SE: Metal spreyn kütük yüzeyine yapışma katsayısı
D₀: Merkezdeki maksimum biriktirme hızı
b: Metal spreyn genişlik katsayısı
R_D: Metal spreyn çapı
SE_θ: SE'nin geometrik bileşeni
SE_T: SE'nin ısı bileşeni
η_k: Metal spreyn yapışma katsayısı
η_s: Sıvı metalin yapışma katsayısı
f_k: Spreydeki katı oranı
f_s: Spreydeki sıvı oranı
F_s: Birikimin üst yüzeyinde olan sıvı oranı
ε: Biriktirme yüzeyinin spreyn metali reddetme oranı.
J_m: Birikime varan metal spreydeki sıvı metal oranı
A_s: Birikimin alt yüzeyinin alanı
T_D: Birikim sıcaklığı
T_s: Sıvı metalin sıcaklığı
f_{s,p}: Damladaki sıvı metal oranı
I_p: Damlanın momentumu
C₁-C₆: Deneysel sabitlerdir
Re: Reynolds sayısı
C_D: Sürüklenme katsayısı
Pr: Prandtl sayısı
Nu: Nusselt sayısı
t: Zaman
T: Sıcaklık
Δt: Zaman aralığı
ΔT_o: Sıcaklık değişimi
s_T: Isıl kapiler boy
s_C: Bileşime bağlı kapiler boy

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1 : Ansys 5.4 ile hesaplanan maksimum gaz hızlarının görüldüğü bölgeler	44
Çizelge 5.2 : Ansys 5.4 ile modelleme sonucunda elde edilen maksimum gaz hızları (m/sn)	45
Çizelge 5.3 : SCN-Aseton alaşım sistemi ile Al-Cu alaşım sisteminin karşılaştırılması	57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Bileşimi C_0 olan ve dengeli katılaştan bir alaşımda çözünen element dağılımı	4
Şekil 2.2	: Alaşımların katılaşmasında yapısal aşırı soğuma olayı. a)Faz diyagramı b)Sıvı – katı ara yüzeyinde çözünen zengin tabaka c)Kararlı ara yüzey d)Kararsız ara yüzey	5
Şekil 2.3	: Katı – sıvı ara yüzeyindeki çıkıntılarının tane sınırlarından başlaması	6
Şekil 2.4	: Dendritlerin birincil ve ikincil kolları	7
Şekil 3.1	: Al-0.1Cu alaışımının katılaşma hızı ve sıcaklık gradyanının katılaşma tarzına etkisi.....	10
Şekil 3.2	: Aşırı doymuş Al - %6Si damlacığının şematik Al - Si denge diyagramı üzerinde "katılaşma yolu"	11
Şekil 4.1	: Geleneksel Gaz Atomizasyon Nozülü	16
Şekil 4.2	: (a) Sıvı metal kırılma modeli ve (b) Çeşme modeli	16
Şekil 4.3	: Atomizasyon nozulünde sıvı metalinde türbülanslı bölgede parçalanması.....	17
Şekil 4.4	: Sıvı metalin belirli bir mesafe sonrasında parçalanması.....	18
Şekil 4.5	: Reynold sayısının akış paternine etkisi.....	21
Şekil 4.6	: Cd- Re arasındaki ilişki.....	22
Şekil 4.7	: Şematik faz diyagramı	23
Şekil 4.8	: Şematik soğuma diyagramı	24
Şekil 4.9	: Çekirdeksiz olan kısmın oranının damlacık çapı ile değişimi.....	28
Şekil 4.10	: Al-4.5Cu damlalarının uçuş sırasındaki katı oranları	28
Şekil 4.11	: Farklı biriktirme açıları ve oluşan kütük geometrileri	29
Şekil 4.12	: OSPREY kütüğünün şekli.....	29
Şekil 4.13	: Atomize edilmiş damlacıklar ve toplama yüzeyi	31
Şekil 4.14	: Kontrol hacmindeki grid noktaları.....	32
Şekil 4.15	: Bir köşesi ortama açık kontrol hacmindeki grid noktaları	33
Şekil 4.16	: Yüzeydeki kontrol hacmindeki grid noktaları.....	33
Şekil 4.17	: Köşedeki kontrol hacmindeki grid noktaları	34
Şekil 4.18	: Damlada dendrit oluşumu ve kırılması	35
Şekil 5.1	: Osprey sisteminin şematik görünümü.....	38
Şekil 5.2	: Nozul modellenmesinde kullanılan açılar ve değişken olan nokta koordinatlar.....	39
Şekil 5.3	: Nozul hesaplamalarındaki mesh sistem	40
Şekil 5.4	: Üst açısı 20° alt açısı 40° derece olan atomizasyon nozulündeki gaz akış çizgileri	42
Şekil 5.5	: Üst açısı 40° alt açısı 10° derece olan atomizasyon nozulündeki gaz akış çizgileri	42

Şekil 5.6	: Üst açısı 40° alt açısı 20° derece olan atomizasyon nozülündeki gaz akış çizgileri.....	43
Şekil 5.7	: Maksimum hızın olduğu bölgeler.....	43
Şekil 5.8	: Gaz hızının modellenmesi	45
Şekil 5.9	: Merkezden itibaren gaz hızının mesafeye göre değişimi	46
Şekil 5.10	: a) Gaz hızının ölçüldüğü çizgi, b) Nozül çıkış ağzının ortası başlangıç noktası alındığındaki gaz hız dağılımı	47
Şekil 5.11	: Damlanın akışkan ortamda ilerlemesinin şematik gösterilmesi.....	49
Şekil 5.12	: Sürüklenme katsayısı (Cd) ile Reynolds sayısı (Re) arasındaki hesaplanan ilişki	51
Şekil 5.13	: Boyutlarına göre damlaların atomizasyon kazanı içinde hızlanması.....	51
Şekil 5.14	: Damlaların relatif hızlarının mesafeye göre değişimi	52
Şekil 5.15	: Damlaların ısı transfer katsayılarının mesafeye göre değişimi	52
Şekil 5.16	: Damlaların ısı transfer katsayılarının mesafeye göre değişimi	53
Şekil 5.17	: Osprey depozitinin şeklinin zamana göre çizimi.....	53
Şekil 5.18	: t=0.02 zamanındaki osprey depozitinin sıcaklık gradyanı	55
Şekil 5.19	: t=0.58 sn zamanındaki osprey depozitinin sıcaklık gradyanı.....	55
Şekil 5.20	: Osprey depozitindeki soğuma diyagramları	56
Şekil 5.21	: t= 0.58 sn de (a) Do=0.5, (b) Do=1, (c) Do=2, (d) Do=4 alınarak hesaplanmıştır.....	57
Şekil 5.22	: Lapa damlanın serbest düşme ile cam yüzeyde toplanması	58
Şekil 5.23	: Serbest düşme deneyi ile elde edilen damlanın orta kısmındaki kırılmış dendrit kollar	58
Şekil 5.24	: Serbest düşme deneyi ile elde edilen damlanın kenar kısmındaki kırılmış dendrit kollar	59
Şekil 5.25	: Lapa damlanın deformasyon oranı değiştirilerek iki cam arasında gözlemlenmesi	59
Şekil 5.26	: t=0 anındaki damlacığın şekli ve ısı gradyanı	60
Şekil 5.27	: t=2.E ⁻⁶ sn anındaki damlacığın şekli ve ısı gradyanı	60
Şekil 5.28	: t=6.E ⁻⁶ sn anındaki damlacığın şekli ve ısı gradyanı	61
Şekil 5.29	: Deformasyon öncesinde hızlı katılaştırılmış damla.....	61
Şekil 5.30	: Bütün damlada genel olarak dendritlere deformasyon uygulanması	62
Şekil 5.31	: Serbest düşme-cam deneyinde damla toplama yüzeyine çarptıktan sonra damlanın kenar kısmındaki kırılmış dendrit kolları.....	62
Şekil 5.32	: Serbest düşme-cam deneyinde damla toplama yüzeyine çarptıktan sonra damlanın orta kısmındaki kırılmış dendrit kolları.....	63
Şekil 5.33	: Çift cam deneyi ile elde edilmiş dendrit kolları	63
Şekil 5.34	: Çift cam deneyinde ikincil dendrit kollarının kırılması.	64
Şekil 5.35	: Çift cam deneyinde dendrit kollarının kırılması	64
Şekil A.1	: Üst açısı 0° alt açısı 10-90° atomizasyon nozülleri	83
Şekil A.2	: Üst açısı 10° alt açısı 10-80° atomizasyon nozülleri.....	84
Şekil A.3	: Üst açısı 20° alt açısı 10-70° atomizasyon nozülleri.....	85
Şekil A.4	: Üst açısı 30° alt açısı 10-60° atomizasyon nozülleri.....	86
Şekil A.5	: Üst açısı 40° alt açısı 10-50° atomizasyon nozülleri.....	87
Şekil A.6	: Üst açısı 50° alt açısı 10-40° atomizasyon nozülleri.....	88

Şekil A.7	: Üst aç 60° alt aç 10-30° atomizasyon nozülleri.	89
Şekil A.8	: Üst aç 70° alt aç 10-20° atomizasyon nozülleri.	89
Şekil A.9	: Üst aç 80° alt aç 10° atomizasyon nozülleri.	90
Şekil B.1	: Üst aç 0° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi	91
Şekil B.2	: Üst aç 0° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	91
Şekil B.3	: Üst aç 0° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	92
Şekil B.4	: Üst aç 0° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiği gösterimi.	92
Şekil B.5	: Üst aç 0° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.	93
Şekil B.6	: Üst aç 0° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	93
Şekil B.7	: Üst aç 0° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	94
Şekil B.8	: Üst aç 0° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiği gösterimi.	94
Şekil B.9	: Üst aç 0° alt aç 30° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.	95
Şekil B.10	: Üst aç 0° alt aç 30° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	95
Şekil B.11	: Üst aç 0° alt aç 30° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	96
Şekil B.12	: Üst aç 0° alt aç 30° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiği gösterimi.	96
Şekil B.13	: Üst aç 0° alt aç 40° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.	97
Şekil B.14	: Üst aç 0° alt aç 40° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	97
Şekil B.15	: Üst aç 0° alt aç 40° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	98

Şekil B.16	: Üst aç 0° alt aç 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.	98
Şekil B.17	: Üst aç 0° alt aç 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.....	99
Şekil B.18	: Üst aç 0° alt aç 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.	99
Şekil B.19	: Üst aç 0° alt aç 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.....	100
Şekil B.20	: Üst aç 0° alt aç 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.	100
Şekil B.21	: Üst aç 0° alt aç 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.....	101
Şekil B.22	: Üst aç 0° alt aç 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.	101
Şekil B.23	: Üst aç 0° alt aç 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.....	102
Şekil B.24	: Üst aç 0° alt aç 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.	102
Şekil B.25	: Üst aç 0° alt aç 70° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.....	103
Şekil B.26	: Üst aç 0° alt aç 70° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.	103
Şekil B.27	: Üst aç 0° alt aç 70° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.....	104
Şekil B.28	: Üst aç 0° alt aç 70° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.	104
Şekil B.29	: Üst aç 0° alt aç 80° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.....	105
Şekil B.30	: Üst aç 0° alt aç 80° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.	105
Şekil B.31	: Üst aç 0° alt aç 80° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.....	106

Şekil B.32	: Üst aç 0° alt aç 80° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiği gösterimi.....	106
Şekil B.33	: Üst aç 0° alt aç 90° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.	107
Şekil B.34	: Üst aç 0° alt aç 90° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.....	107
Şekil B.35	: Üst aç 0° alt aç 90° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	108
Şekil B.36	: Üst aç 0° alt aç 90° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiği gösterimi.....	108
Şekil B.37	: Üst aç 10° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.	109
Şekil B.38	: Üst aç 10° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.....	109
Şekil B.39	: Üst aç 10° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	110
Şekil B.40	: Üst aç 10° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiği gösterimi.....	110
Şekil B.41	: Üst aç 10° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.	111
Şekil B.42	: Üst aç 10° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.....	111
Şekil B.43	: Üst aç 10° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	112
Şekil B.44	: Üst aç 10° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiği gösterimi.....	112
Şekil B.45	: Üst aç 10° alt aç 30° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.	113
Şekil B.46	: Üst aç 10° alt aç 30° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.....	113
Şekil B.47	: Üst aç 10° alt aç 30° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	114

Şekil B.48	: Üst aç 10° alt aç 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiğı gösterimi.	114
Şekil B.49	: Üst aç 10° alt aç 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.....	115
Şekil B.50	: Üst aç 10° alt aç 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.	115
Şekil B.51	: Üst aç 10° alt aç 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiğı gösterimi.....	116
Şekil B.52	: Üst aç 10° alt aç 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiğı gösterimi.	116
Şekil B.53	: Üst aç 10° alt aç 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.....	117
Şekil B.54	: Üst aç 10° alt aç 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.	117
Şekil B.55	: Üst aç 10° alt aç 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiğı gösterimi.....	118
Şekil B.56	: Üst aç 10° alt aç 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiğı gösterimi.	118
Şekil B.57	: Üst aç 10° alt aç 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.....	119
Şekil B.58	: Üst aç 10° alt aç 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.	119
Şekil B.59	: Üst aç 10° alt aç 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiğı gösterimi.....	120
Şekil B.60	: Üst aç 10° alt aç 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiğı gösterimi.	120
Şekil B.61	: Üst aç 10° alt aç 70° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.....	121
Şekil B.62	: Üst aç 10° alt aç 70° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.	121
Şekil B.63	: Üst aç 10° alt aç 70° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiğı gösterimi.....	122

Şekil B.64	: Üst aç 10° alt aç 70° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.	122
Şekil B.65	: Üst aç 10° alt aç 80° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.	123
Şekil B.66	: Üst aç 10° alt aç 80° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.	123
Şekil B.67	: Üst aç 10° alt aç 80° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	124
Şekil B.68	: Üst aç 10° alt aç 80° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.	124
Şekil B.69	: Üst aç 20° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.	125
Şekil B.70	: Üst aç 20° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.	125
Şekil B.71	: Üst aç 20° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	126
Şekil B.72	: Üst aç 20° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.	126
Şekil B.73	: Üst aç 20° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.	127
Şekil B.74	: Üst aç 20° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.	127
Şekil B.75	: Üst aç 20° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	128
Şekil B.76	: Üst aç 20° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.	128
Şekil B.77	: Üst aç 20° alt aç 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.	129
Şekil B.78	: Üst aç 20° alt aç 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.	129
Şekil B.79	: Üst aç 20° alt aç 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	130

Şekil B.80	: Üst aç 20° alt aç 30° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiğı gösterimi.	130
Şekil B.81	: Üst aç 20° alt aç 40° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.....	131
Şekil B.82	: Üst aç 20° alt aç 40° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	131
Şekil B.83	: Üst aç 20° alt aç 40° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiğı gösterimi.....	132
Şekil B.84	: Üst aç 20° alt aç 40° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiğı gösterimi.	132
Şekil B.85	: Üst aç 20° alt aç 50° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.....	133
Şekil B.86	: Üst aç 20° alt aç 50° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	133
Şekil B.87	: Üst aç 20° alt aç 50° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiğı gösterimi.....	134
Şekil B.88	: Üst aç 20° alt aç 50° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiğı gösterimi.	134
Şekil B.89	: Üst aç 20° alt aç 60° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.....	135
Şekil B.90	: Üst aç 20° alt aç 60° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	135
Şekil B.91	: Üst aç 20° alt aç 60° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiğı gösterimi.....	136
Şekil B.92	: Üst aç 20° alt aç 60° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiğı gösterimi.	136
Şekil B.93	: Üst aç 20° alt aç 70° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.....	137
Şekil B.94	: Üst aç 20° alt aç 70° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	137
Şekil B.95	: Üst aç 20° alt aç 70° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiğı gösterimi.....	138

Şekil B.96	: Üst aç 20° alt aç 70° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiği gösterimi.....	138
Şekil B.97	: Üst aç 30° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.	139
Şekil B.98	: Üst aç 30° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	139
Şekil B.99	: Üst aç 30° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	140
Şekil B.100	: Üst aç 30° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiği gösterimi.....	140
Şekil B.101	: Üst aç 30° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.	141
Şekil B.102	: Üst aç 30° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	141
Şekil B.103	: Üst aç 30° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	142
Şekil B.104	: Üst aç 30° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiği gösterimi.....	142
Şekil B.105	: Üst aç 30° alt aç 30° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.	143
Şekil B.106	: Üst aç 30° alt aç 30° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	143
Şekil B.107	: Üst aç 30° alt aç 30° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	144
Şekil B.108	: Üst aç 30° alt aç 30° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiği gösterimi.....	144
Şekil B.109	: Üst aç 30° alt aç 40° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.	145
Şekil B.110	: Üst aç 30° alt aç 40° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	145
Şekil B.111	: Üst aç 30° alt aç 40° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	146

Şekil B.112 : Üst aç 30° alt aç 40° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiğı gösterimi.	146
Şekil B.113 : Üst aç 30° alt aç 50° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.....	147
Şekil B.114 : Üst aç 30° alt aç 50° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	147
Şekil B.115 : Üst aç 30° alt aç 50° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiğı gösterimi.....	148
Şekil B.116 : Üst aç 30° alt aç 50° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiğı gösterimi.	148
Şekil B.117 : Üst aç 30° alt aç 60° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.....	149
Şekil B.118 : Üst aç 30° alt aç 60° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	149
Şekil B.119 : Üst aç 30° alt aç 60° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiğı gösterimi.....	150
Şekil B.120 : Üst aç 30° alt aç 60° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiğı gösterimi.	150
Şekil B.121 : Üst aç 40° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.....	151
Şekil B.122 : Üst aç 40° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	151
Şekil B.123 : Üst aç 40° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiğı gösterimi.....	152
Şekil B.124 : Üst aç 40° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiğı gösterimi.	152
Şekil B.125 : Üst aç 40° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.....	153
Şekil B.126 : Üst aç 40° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	153
Şekil B.127 : Üst aç 40° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiğı gösterimi.....	154

Şekil B.128 :	Üst aç 40° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiği gösterimi.....	154
Şekil B.129 :	Üst aç 40° alt aç 30° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.	155
Şekil B.130 :	Üst aç 40° alt aç 30° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	155
Şekil B.131 :	Üst aç 40° alt aç 30° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	156
Şekil B.132 :	Üst aç 40° alt aç 30° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiği gösterimi.....	156
Şekil B.133 :	Üst aç 40° alt aç 40° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.	157
Şekil B.134 :	Üst aç 40° alt aç 40° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	157
Şekil B.135 :	Üst aç 40° alt aç 40° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	158
Şekil B.136 :	Üst aç 40° alt aç 40° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiği gösterimi.....	158
Şekil B.137 :	Üst aç 40° alt aç 50° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.	159
Şekil B.138 :	Üst aç 40° alt aç 50° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	159
Şekil B.139 :	Üst aç 40° alt aç 50° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	160
Şekil B.140 :	Üst aç 40° alt aç 50° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiği gösterimi.....	160
Şekil B.141 :	Üst aç 50° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.	161
Şekil B.142 :	Üst aç 50° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	161
Şekil B.143 :	Üst aç 50° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	162

Şekil B.144 : Üst aç 50° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.	162
Şekil B.145 : Üst aç 50° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.....	163
Şekil B.146 : Üst aç 50° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.	163
Şekil B.147 : Üst aç 50° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.....	164
Şekil B.148 : Üst aç 50° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.	164
Şekil B.149 : Üst aç 50° alt aç 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.....	165
Şekil B.150 : Üst aç 50° alt aç 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.	165
Şekil B.151 : Üst aç 50° alt aç 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.....	166
Şekil B.152 : Üst aç 50° alt aç 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.	166
Şekil B.153 : Üst aç 50° alt aç 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.....	167
Şekil B.154 : Üst aç 50° alt aç 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.	167
Şekil B.155 : Üst aç 50° alt aç 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.....	168
Şekil B.156 : Üst aç 50° alt aç 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.	168
Şekil B.157 : Üst aç 60° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.....	169
Şekil B.158 : Üst aç 60° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.	169
Şekil B.159 : Üst aç 60° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.....	170

Şekil B.160 :	Üst aç 60° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiği gösterimi.....	170
Şekil B.161 :	Üst aç 60° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.	171
Şekil B.162 :	Üst aç 60° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	171
Şekil B.163 :	Üst aç 60° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	172
Şekil B.164 :	Üst aç 60° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiği gösterimi.....	172
Şekil B.165 :	Üst aç 60° alt aç 30° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.	173
Şekil B.166 :	Üst aç 60° alt aç 30° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	173
Şekil B.167 :	Üst aç 60° alt aç 30° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	174
Şekil B.168 :	Üst aç 60° alt aç 30° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiği gösterimi.....	174
Şekil B.169 :	Üst aç 70° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.	175
Şekil B.170 :	Üst aç 70° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	175
Şekil B.171 :	Üst aç 70° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	176
Şekil B.172 :	Üst aç 70° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiği gösterimi.....	176
Şekil B.173 :	Üst aç 70° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.	177
Şekil B.174 :	Üst aç 70° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	177
Şekil B.175 :	Üst aç 70° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.	178

Şekil B.176 :	Üst aç 70° alt aç 20° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiğı gösterimi.	178
Şekil B.177 :	Üst aç 80° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.....	179
Şekil B.178 :	Üst aç 80° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki vektörel gösterimi.	179
Şekil B.179 :	Üst aç 80° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiğı gösterimi.....	180
Şekil B.180 :	Üst aç 80° alt aç 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiğı gösterimi.	180

OSPREY DÖKÜM SİSTEMİNİN MODELLENMESİ

ÖZET

Hızlı katılaşma ile ince tane boyutu, yarı kararlı fazlar, amorf fazlar, yüksek oranda aşırı doymuş fazlar ve ince dağılmış ikincil faz parçacıkları içeren fazlar elde edilebilmektedir. Bu çalışmada, genel katılaşma prensipleri çerçevesinde hızlı katılaşma olayı tanımlanmakta; hızlı katılaşma teknikleri tanıtılarak, Osprey hızlı katılaşma yöntemi ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

Osprey döküm sistemi sıvı metalin atomizasyonu ve bir toplama yüzeyinde atomize olmuş damlaların tamamen katılaşmadan toplanmasından oluşmaktadır. Atomizasyon işlemi sırasında sıvı metal boyutları 1µm ile 200 µm arasında değişen damlalar haline gelir. Atomizasyon gazının etkisi ile hızlanan damlacıklar uçuşları sırasında soğumaya başlarlar. Sistemin modellenmesinde Visual Basic 6.0, MathCAD 2000, AutoCAD 2000, Flow-3D ve ANSYS 9.0 kullanılmıştır.

Damlaların hızlanmaları hesaplanırken kurulan modelde damlaların küresel olduğu kabul edilmiştir. Damlaların küreselliğinin uçuş sırasında değişmediği kabul edilmiştir. Damlalar arasında uçuş sırasında birleşme olmadığı ve çarpışmadıkları kabul edilmiştir. Damlaların doğrusal bir yol izlediği kabul edilmiştir. Gaz hızı sabit olmayıp atomizasyon nozül dizaynından elde edilen veriler kullanılmıştır. Buna göre gaz hızı eksponansiyel bir fonksiyon ile atomizasyon nozül ağzından çıktıktan sonra azalmaktadır. Gaz hızına, yoğunluğuna ve damlanın sürüklenmesine sıcaklığın etkisinin olmadığı kabul edilmiştir. Gaz sıcaklığı sabit kabul edilmiştir. Bu kabuller altında yapılan modelde damlaların hızlanmaları hesaplanmıştır. Isı transfer katsayısı sabit alınmamış damla hızına göre hesaplanmıştır. Damlaların hızlarının değişmesi ile Reynold sayısı, sürüklenme katsayısı ve konveksiyon ile olan ısı transfer katsayısı değişmektedir. Damlaların soğuması değişen ısı transfer katsayısına göre hesaplanmıştır. Damlaların soğuması sırasındaki aşırı soğumaları ve bu değere bağımlı olarak katı oranları hesaplanmıştır.

Uçuş modelinden elde edilen veriler toplama yüzeyine gelen damlaların boyutlarına göre sıcaklıkları ve damlalardaki katı oranlarıdır. Toplama yüzeyinin modellenmesinde uçuş modelinin verileri kullanılmıştır.

Damlalardan boyutları küçük olanlar toplama yüzeyine gelinceye kadar katı oranları 1 değerini alırken boyutları büyük olan tanelerde tamamen sıvı halde olabilir. Tamamen katı taneler toplama yüzeyinde katı kısımlara gelirlerse yüzeyden sekerler, toplama yüzeyindeki sıvı bölgelere gelirlerse sıvı fazın içine katılırlar. Lapa damlalar ise toplama yüzeyine çarptıkları zaman içlerindeki dendrit kolları kırılmakta ve sıvı fazın içerisinde çekirdek merkezleri oluşturmaktadırlar.

Osprey sisteminde elde edilen döküm ürünlerinin mikro yapısı eş eksenlidir. Osprey döküm sisteminin modellenebilmesi için mikroyapının şekillendiği lapa

damlaların yüzeye çarpma işlemi deneysel olarak SCN – Aseton alaşımları ile çalışılmıştır. SCN – Aseton alaşımı şeffaf alaşımlar olarakta adlandırılmaktadır. Kullanılan sistemin liküdü eğrisi Al - 4.5 Cu sistemine benzer ve diğer parametrelerinde orantılı olmasından dolayı SCN – Aseton alaşım sistemi kullanılmıştır. SCN – Aseton sisteminin en önemli özelliği alaşım sistemi sıvı iken ışık geçirimi yüksek katılaştığı zaman ise ışık geçirimi düşüktür. Böylece katılaşmış bölgeler görülürken sıvı kalan kısım görülmemektedir.

Yapılan deneysel çalışmalarda Osprey sistemine benzer şekilde damlaların deforme olabilmelerini sağlamak amacı ile değişik deney düzenekleri kurulmuştur. Bunlardan ilkinde lapa damlanın serbest düşmesini sağlanmış ve toplama yüzeyine çarptıktan sonra oluşan mikro yapı mikroskop altında incelenmiştir. Lapa damla içinde dendrit kollarının kırılmamış olduğu ve uçuş sırasında dendrit kollarının kırılmadığı kabul edilmiştir. Elde edilen mikro yapıdaki dendrit kolları tamamen kırılmıştır. Bununla birlikte yapının içinde çok fazla kırılmış dendrit kolu bulunduğundan sistem yeniden toplama yüzeyinin şartları altında soğutulduğunda sistem katı oranından dolayı şeffaflığını yitirmekte ve oluşan yapı görülmez bir hal almaktadır. Toplama yüzeyindeki mikroyapının gelişimi hakkında bir bilgi edinilemezken damlanın uçuş sonrası toplama yüzeyine çarptığındaki oluşan mikroyapıyı bu sistem göstermektedir. Sistemin dezavantajları ise sistemin açık atmosferde olmasından dolayı aseton buharlaşması ve zaman ile damlanın konsantrasyonunun değişmesidir. Damlanın 20 cm'lik uçuş mesafesinde bileşiminin değişmesinin dendrit kollarına kırılmasına etkisi yok kabul edilmiştir.

Dendrit kırılmasının daha detaylı incelenebilmesi için tek bir dendritin oluşturulup daha sonrada deforme edilebileceği bir deney düzeneği kurulmuştur. Dendritlerin deformasyonunu gözlemleyebilmek için kurulan deney düzeneğinde lapa damla direkt olarak cam plakanın üzerinde dururken ikinci bir cam plaka üzerine bırakılmıştır. Deformasyon oranı iki cam plakanın arasındaki mesafe olarak ayarlanmıştır. Bu çalışmada damlanın yüzeyinde oluşmuş olan ince katı tabaka kırıldığından damla içindeki mikro yapı daha net gözlemlenmiştir. Oluşan mikro yapı serbest düşme deney düzeneğinden elde edilen mikro yapı ile benzerdir. Bu sistemde lapa damlanın içinde oluşmuş olan dendritler ikinci damlanın ağırlığının etkisi ile kırılmış fakat deformasyon oranı olarak belirli bir orandan daha fazla deformasyona izin verilmemiştir. Damlanın içinde oluşan dendrit sayısının fazlalığından dolayı bu sistemde de kırılma mekanizması net olarak izlenememiştir.

Değiştirilen sistemde yine çift cam sistemi kullanılmıştır. Asetonun buharlaşmasını engellemek için iki camın arasına yuvarlak deforme olabilen silikon conta konulmuştur. Deformasyon işlemi için kullanılan cam plakanın hareketi bir mekanizma ile gerçekleştirilmiştir, böylece cam plakanın kendi ağırlığı ile değilde istenen oranda lapa damlayı deforme edebileceği bir düzenek kurulmuştur. Kurulan deney düzeneğinde damlaya uygulanan aşırı soğuma değiştirilebilmektedir. Damla yüzeylerinden itibaren aşırı soğumanın etkisi ile hızla katılaştıktan sonra içinde tek bir katı partikül kalıncaya kadar ergitilmiştir. Bu işlem sırasında alaşım ergime noktasının çok küçük bir miktar üzerine ısıtılmış böylece katı partiküllerin ergimesi mikroskop altında izlenebilmiştir. Kalan son partikül tamamen ergitilmemiş ve sıcaklık banyolarından soğuk olan devreye sokularak sistem soğumaya bırakılmıştır. Böylece tek bir tane üzerinden büyüyen dendrit üzerinde oluşan ikincil kollarla birlikte deformasyon

uygulandığında dendrit kollarının kırılması incelenmiştir. Dendrit kollarının kırılması için ikinci cam levhanın dendrit kollarına dokunması yeterlidir. Deformasyon miktarının ayarlanmasının modellemede bir etkisi olmamıştır. Damlalar uçuş sırasındaki hızlarından dolayı toplama yüzeylerine çarptıkları anda benzer bir çarpma enerjisi ile karşılaşacaklarından sistemde ki eş eksenli dendritlerin oluşması için yeterli çekirdek miktarının dendrit kollarının kırılması ile oluştuğu kabul edilmiştir. Sistemin dezavantajı ise ikincil dendrit kollarının deformasyon uygulayacak olan cam yüzeyine değip değmediğinin bilinmemesidir. Ancak oluşan mikroyapıdan dendrit kollarının toplama yüzeyine çarpmaları durumunda kırıldıkları ve yeni dendrit merkezi oluşturdukları bulunmuştur.

MODELLING OF THE OSPREY CASTING SYSTEM

SUMMARY

The fine grained, semi-stable phases, the amorph phase, highly saturated phases and the phase which has fine dispersed secondary phase particles in it can be obtained by rapid solidification. The rapid solidification is defined within the general solidification rules and the explanation of the Osprey rapid solidification process detailed below.

The Osprey casting system consists of liquid metal atomization and collecting the atomized droplets before they are completely solidified. During the atomization process the liquid metal becomes droplets. Their size varies between 1 μ m and 200 μ m. The droplets start cooling while they are accelerated with the atomization gas. The Visual Basic 6.0, MathCAD 2000, AutoCAD 2000, Flow-3D and ANSYS 9.0 are used to model the system.

It is accepted that the shape of the droplets is spherical in droplets accelerating calculations and the droplets sphericity is accepted as not changing. It is accepted that there is no collision between those droplets and the droplets following the linear path. Gas velocity is not constant and is obtained from the atomization nozzle design. The gas velocity decreases exponentially while moving away from the nozzle. It is accepted that the temperature doesn't affect the gas velocity, density, and droplets dragging. And the temperature of the gas is accepted as constant. The droplets velocities are calculated according to these acceptances. The heat transfer coefficient is calculated according to the gas velocity.

The Reynolds number, dragging coefficient, and convection heat transfer coefficient are changing while changing velocity of the droplets. The temperature of the droplets is calculated according to the varying heat transfer coefficient. The droplets undercooling and solid fraction are calculated. The data obtained from the droplets' flying model are temperature and the solid fraction of the droplets. The droplets' flying models data is used to model the deposit surface.

The small droplets' solid fraction value would be 1 when they arrive at the deposit surface. The bigger ones may remain liquid. If completely solid droplets hit solid part of the deposit surface, they may bounce. If droplets hit the liquid part of the deposit, then they will be added to it. When mushy droplets hit the surface, the dendrite arms inside the droplets are broken and become nuclei centers.

The microstructure of the Osprey system is equiaxed. The SCN-Acetone alloy system is used to observe the microstructure formation of the mushy droplets while they are impacting on the deposit surface. The SCN-Acetone alloy system is also called the transparent alloy system. The SCN-Acetone alloy system is used because slope of liquidus and the other properties are similar to the Al-4.5Cu alloy system. The most important property of the transparent alloy system is that

the liquid alloy transmits the light. The transmission of light decreases while solidifying, so the solid parts can be seen.

A different experimental setup is established to observe the droplet deformation like in the Osprey system. First of all free the fall of the mushy droplets impact microstructure is studied. It is accepted that the dendrite arms are not broken inside the mushy droplets while preparing and flying. The dendrite arms are broken after impacting on the surface. The droplet microstructure can not be seen because of fragmentation. The system couldn't help us to understand the microstructure evaluation of the deposit surface but it showed that the dendrite arms are broken after the impact. The disadvantage of the system is the concentration is changing because of the vaporization of the acetone. It is accepted that concentration of the droplets is not changing while at 20 cm flight and there is no dendrite arm breaking according to the acetone vaporization.

The new experimental setup is established to prepare a single dendrite arm and to deform it. A second glass plate is put onto the mushy droplet to observe the dendrite arm deformation while the mushy droplet is on the first glass plate. The deformation amount is controlled by the distance between the two glass plates. In this system, the microstructure can be seen more clearly because there are no shell occurrences on the droplets surface. The microstructure is similar to the free fall system's microstructure. The dendrite arms are broken by the weight of the second glass plate but the deformation amount is controlled. The breaking mechanism can not be seen clearly because there are lots of dendrite fragmentations in this system, too.

The two glass plate system is used again in the developed system. The deformable silicone o-ring is used to obstruct acetone vaporization between the two glass plates. The glass plate which is used to deform the droplet is mounted to the mechanism so the plate does not deform the droplet with its weight. And the amount of the deformation is controlled by the mechanism. Undercooling could be changed in the newly developed system.

The droplet starts to melt after rapidly solidifying from its surfaces. The droplet keeps on heating until one solid particle remains in it. The alloy is heated just about at its melting point, so the melting of the droplet can be observed. The last particle is not melted and cooling system is switched on. The effect of the deformation on the single dendrite and complete droplet is observed.

It is enough to touch the glass plate for the dendrite arms to break. Controlling the deformation amount doesn't affect the breaking system.

It is accepted that droplets have high impact energy because of their velocity in their flight to the deposit surface and that their energy is enough to break the dendrite arms and make enough nucleus centre to obtain equiaxed microstructure.

The disadvantage of the system is that it is not known whether the secondary dendrite arms are touching the top plate before deformation or not.

It has been found that the dendrite arms will be broken and make new nuclei centers when the mushy droplets hit the deposit surface.

1. GİRİŞ

Hızlı katılaşma yoluyla direkt olarak eriyikten alaşım ve kompozit malzemelerin üretildiği işleme sprej şekil verme, sprej döküm veya Osprey biriktirme yöntemi denir. Bu yöntemde ergimiş metalin atomizasyonu ile üretilen damlacıkların püskürtülerek bir toplayıcı üzerinde toplanması sağlanır. Toplayıcı üzerinde katılaşarak üretilen bu depozite daha sonra ekstrüzyon, dövme veya haddelme ile şekil verilebilir. Osprey biriktirme yönteminin iki önemli avantajı vardır. Bunlardan birincisi eriyikten direkt olarak tek bir işlemde net şekillendirmeye olanak sağlamasıdır. Bu yöntem ingot metalurji (İ/M) ve toz metalurji (T/M) yöntemlerinde uygulanan birçok işlem basamağını ortadan kaldırarak önemli ölçüde ekonomik kazanç sağlar. Oluşan mikro yapının eş-eksenli ve homojen olmasından dolayı, mukavemeti artmakta ve savunma sanayinde de kullanılabilmektedir. Toz metalurjisinde elde edilen tozlardaki mikroyapılar dendritik ve soğuma hızları 10^6 K/sn civarındadır.

Osprey sistemindeki mikro yapının anlaşılabilmesi için toz oluşum sistemi olan atomizasyon nozulünün modellenmesi ile çalışmalara başlanmıştır. Kullanılan nozul dizaynı atomizasyon nozulündeki gaz hız dağılımını ve gaz akışını belirler. Yapılan modellemede 45 farklı atomizasyon nozülü için hesaplamalar yapılmıştır. Daha sonra atomizasyon gazının Osprey kazanı içerisinde hızlanması ve Osprey kazanı içerisindeki hız dağılımı çalışılmıştır. Elde edilen gaz hız dağılımı bilgilerinden gazın ısı transfer katsayısına etkisi ve damlacıkların soğuması bulunmaktadır. Atomize olmuş damlacıkların sürüklenme kuvveti hesaplamaları, damlacıkların uçuş sürelerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Osprey işlemi sırasındaki damlacıkların hızları çok yüksek olduğundan genelde toplama yüzeyine gelen damlalar lapa ve sıvı şeklindedir. Lapa damlaların oluşturduğu sistemin gözlemlenebilmesi için şeffaf alaşımlardan olan SCN-Aseton alaşımı kullanılmıştır. Serbest düşme ve çift cam yöntemleri ile deforme edilen damlacıklarda dendrit kollarının kırıldıkları gözlemlenmiştir. Bu kırılmış dendrit

kollarından küçük olanları eriyip, daha büyük olanlarıda kabalaşıp tekrar soğumanın etkisi ile yeni dendrit merkezleri olarak davranmaktadırlar.

2. KATILAŞMA

RSP (Rapid Solidification Process), son 15 – 20 yıldır gündemde ise de gerçekte 150 yıl kadar önce endüstriyel olarak kurşun yüksek fırınında kurşun damlalarının serbest düşmesiyle küresel kurşun peleti yapmak için uygulanmıştır.

Soğuma hızı, döküm yapısının inceliğini kontrol eden ve mekanik özelliklerin gelişmesine yol açan önemli bir faktördür. Katılaşma hızı ise bölgesel çözünen difüzyonunu ve ara yüzey kinetiği prosesini de içererek bize katı/sıvı ara yüzeyinin gerçek davranışını veren daha temel bir kavramdır.

Hızlı katılaşma ile elde edilen nihai ürünler bileşim üniformluğu, ince tane boyutu, yarı kararlı fazlar, amorf fazlar, yüksek oranda aşırı doymuşluk ve ikincil faz parçacıkları ile karakterize edilebilir. İkincil faz parçacıkları tanelerin büyümesini engellediği için hızlı katılaşmış metal ve alaşımlar özellikle yüksek sıcaklık uygulamaları için ideal malzemelerdir. Hızlı katılaşmış alaşımların korozyon dirençleri geleneksel yöntemlerle üretilmiş malzemelere oranla mükemmeldir. Ayrıca hızlı katılaşmış alaşımlar doğrudan sıvı halden katı hale geçtiklerinden haddeleme, dövme gibi ara işlemler ortadan kaldırılmış olur. Böylece üretim maliyeti büyük oranda düşer.

Amorf metallerde bütün yapı homojen ve sürekli olmaktadır. Amorf metallerin fevkalade üstün mukavemet, süneklik ve korozyon dirençlerinin yanı sıra asıl ilgi çekici yanı, izotrop malzemeler oldukları için mükemmel elektrik ve manyetik özellikler göstermektedir.

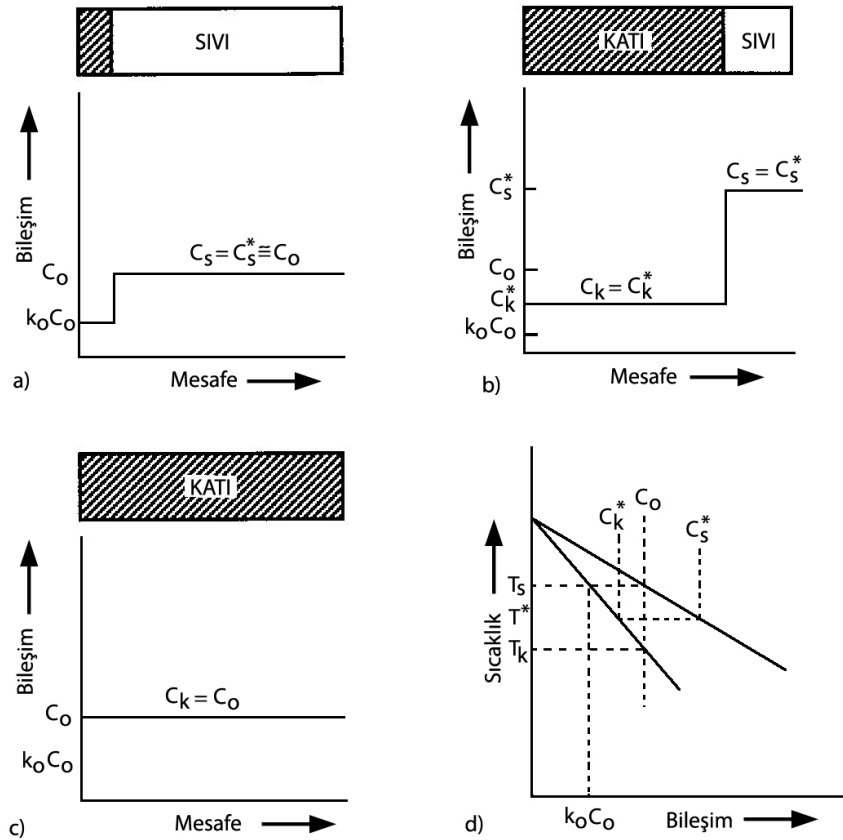
RSP, zor olarak şekil verilebilen metalik veya seramik nesnelerin tabakalı bir yapı ile üretilmesini sağlar [1].

Katılaşma sıvı metal içinde tam bir katı taneciğinin oluşması ve bu taneciğinin sıvı içinde büyümesi şeklinde tarif edilebilir. Katılaşma esnasında sıvı – katı ara yüzeyinde entalpi, hacim, bileşim ve yapı değişimi oluşur. Sıvı – katı dönüşümü dört aşamada gerçekleşir. Liküdis sıcaklığına kadar soğuma, aşırısoğuma, çekirdekleşme ve büyüme [2].

2.1 Dengeli Katılma

Katılma hızı dengeli sağlayacak kadar yavaş olduğundan bütün katı faz, ara yüzdeki katı faz bileşimi ile aynı olur. Bu durum sıvı içinde geçerlidir. Şekil 2.1’ de bileşimi C_o olan ve dengeli katılma bir alaşımda çözünen element dağılımı görülmektedir. Dengeli katılma için katı ve sıvı fazların arasındaki genel madde dengesi formül 2.1’de şekilde yazılmıştır.

$$C_k F_k + C_s F_s = C_o \quad (2.1)$$



Şekil 2.1 : Bileşimi C_o olan ve dengeli katılma bir alaşımda çözünen element dağılımı [3].

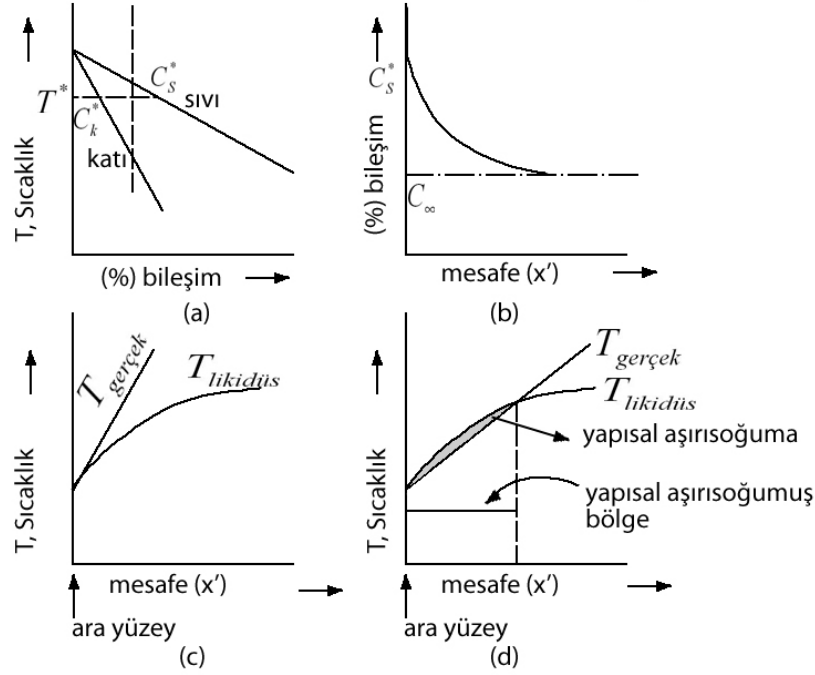
Burada F_k ve F_s sırasıyla katı ve sıvının ağırlık oranları, C_k ve C_s sırasıyla katı ve sıvının ara yüzdeki bileşimleridir. Ara yüzdeki katı bileşiminin sıvı bileşimine oranı “Denge paylaşım oranı” nı, k değerini verir (Formül 2.2).

$$k = \frac{C_k}{C_s} \quad (2.2)$$

2.2 Düzlemsel Olmayan Ara Yüzeyde Katılaşma

Düzlemsel olmayan ara yüzeydeki katılaşma “yapısal aşırısoğuma” ile açıklanabilir. Dengesiz katılaşmada, hareket eden katı – sıvı ara yüzeyi ile temasta olan sıvıda, düşük hızda çözünen yayınması nedeniyle bileşim farklılığı vardır. Çözünen element sınır tabakası ve düzlemsel ara yüzey oluşumu için gerekli itici kuvvet Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

Şekil 2.2 a’da denge diyagramında olduğu gibi alaşımın denge paylaşım oranı birden küçükse ($C_k/C_s < 1$) ilerleyen ara yüzey önündeki sıvı bileşimi alaşım bileşimine göre çözünen element miktarınca zengindir (Şekil 2.2 b).



Şekil 2.2 : Alaşımların katılaşmasında yapısal aşırısoğuma olayı
(a) Faz diyagramı, (b) Sıvı – katı ara yüzeyinde çözünen zengin tabaka, (c) Kararlı ara yüzey, (d) Kararsız ara yüzey [4].

Sıvı içine doğru çözünen konsantrasyonun azalması sonucu dengesel liküdüs sıcaklık eğrisinde bir yükselme söz konusu olacaktır. (Şekil 2.2 c) Chakmers B. tek fazlı alaşımlarda katılaşma esnasında sıvıdaki aşırısoğuma olayı nedeniyle, sıvı – katı ara yüzeyi önündeki sıvıda gerçek sıcaklığın liküdüs sıcaklığına

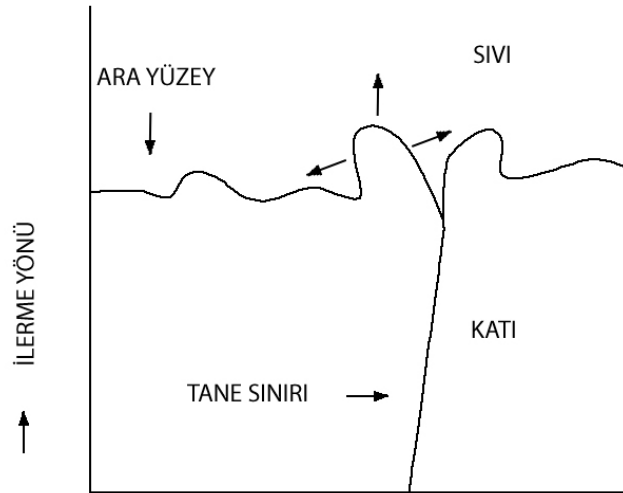
nazaran daha düşük olabileceğini göstermiştir. (Şekil 2.2 d) Meydana gelen aşırısoğuma olayına “Yapısal Aşırısoğuma” denilmiştir.

$$\frac{G_s}{R} \geq -\frac{m_s}{D_s} \cdot C_o \cdot \frac{(1-k)}{k} \quad (2.3)$$

2.3 Hücresel Katılaşma

Düz ara yüzeyin kararlılığı için gerekli şartlardan ayrıldıkça genel olarak sırasıyla dalgalı, hücresel ve dendritik ara yüzeyler elde edilir. Düz ara yüzeyde tane sınırları varsa bunlar yüzeyin bozulmaya başladığı yerleri teşkil edeceklerdir (Şekil 2.3). Düşük büyüme hızlarında ara yüzeye dik yönde muntazam hücreler oluşur. Hız arttıkça hücrelerin büyüme yönü tercihli kristalografik yöne doğru sapmaktadır.

Özet olarak, ara yüzeyin düz durumdan hücresel ve nihayet dendritik şekle geçişinin, sabit bileşimde azalan (G/R) oranı ile sabit (G/R) değerinde artan bileşimle meydana geldiği saptanmıştır [5].



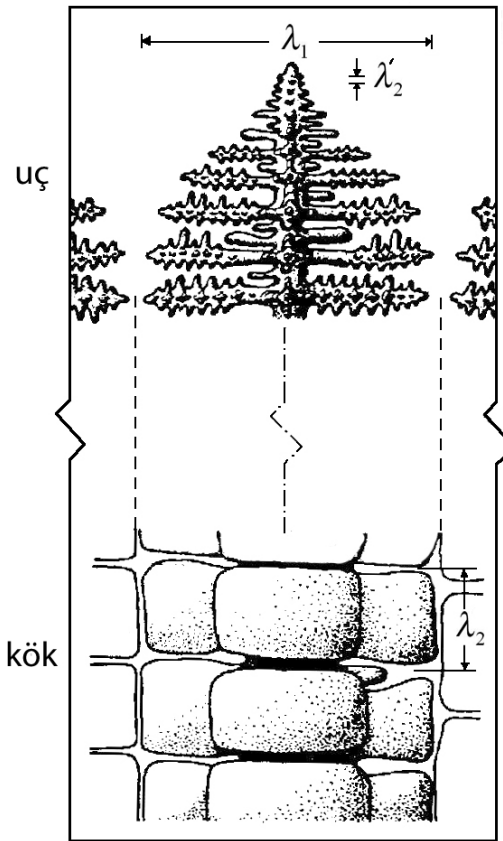
Şekil 2.3 : Katı – Sıvı ara yüzeyindeki çıkıntıların tane sınırlarından başlaması [6].

2.4 Dendritik Katılaşma

Hücresel yapıdan dendritik yapıya geçiş, sabit bileşimde sıcaklık gradyanı (G) ve katılaşma hızı (R) değerlerine bağlıdır. Keza sabit G/R değeri için bileşimdeki artış ile dendritik yapıya geçiş çabuklaşmaktadır. Dendritik ara yüzeyin oluşum

nedeni, esas olarak hücre tepesindeki kararlılığın sıcaklık gradyanı, büyüme hızı ve bileşimin etkisi ile kaybolmasıdır [5].

Düz ara yüzeyden hücresel tipe kademeli geçiş olmasına karşılık, hücresel yapıdan dendritik yapıya geçiş ani olmaktadır. Şekil 2.4’de görüldüğü gibi, dendritlerde merkez kısım “birincil dendrit kolu” (λ_1), buna dik çıkan kollar ise “ikincil dendrit kolu” (λ_2) adını alır [2]. Dendritlerin büyümesi sırasında ikincil kolların arasında mesafe daha azdır (λ_2'). Dendrit kollarının kabalaşması ile bu mesafe artar.



Şekil 2.4 : Dendritlerin birincil ve ikincil kolları [4].

3. HIZLI KATILAŞMA

Soğuma hızının kontrolü dökümcülükte önemlidir. Katılma hızı ise bölgesel çözünen element difüzyonu ve ara yüzey kinetiği prosesini de içererek bize ara yüzeyin gerçek davranışını veren daha genel bir kavramdır. Soğuma hızı kadar aşırısoğuma olayından da etkilenen katılma hızına veya katı - sıvı ara yüzey hızına daha büyük ilgi gösterilmektedir [4].

Şekil 3.1 ara yüzey kararlılığı teorisinden türetilmiştir. Eksenler sıvıdaki sıcaklık gradyanı (G_s) ve ara yüzeyin ilerleme hızıdır. (R) (Hücre veya dendritler durumunda, hücre veya dendrit uçlarının hızı) Şekle göre önce düzlemsel cephede katılma görülür. Bu arada sıvının aşırı ısı ve katılma ile ortaya çıkan ısı, ilerleyen katı faz tarafından iletilir. Isı akışının iki aşırı durumu incelenecek olursa:

1) Aşırı ısınmış sıvı durumunda katı - sıvı ara yüzeyi aşırı ısınmış sıvı içerisine doğru hareket etmektedir. Ergime gizli ısı katı tarafından iletilerek sistemden uzaklaşmaktadır. Buna örnek aşırısoğumanın olmadığı yüzey ergimesi, eriyik döndürme (M.S.) ve atomizasyon yöntemleridir.

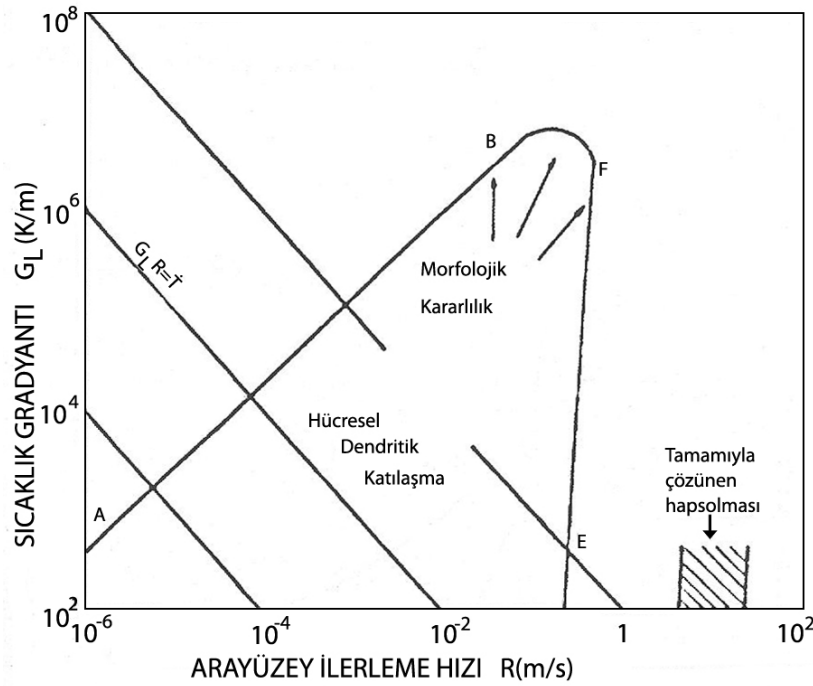
2) Aşırısoğumuş sıvı durumunda katı, aşırısoğumuş sıvı içerisine doğru büyümektedir. Ergime gizli ısının çoğu, sıvının kendisi tarafından absorblanmaktadır. Isının dışarıdan çekilme hızının önemi daha azdır. Böyle durumlarda sıvının sıcaklığı yükselir. Bu tip katılma tamami ile çözünen elementin hapsolmasını sağlayacak yeterince yüksek katı - sıvı ara yüzey hızları sağlanabilmektedir [5].

Şekil 3.1' deki AB doğrusunun solunda kalan G_s ve R kombinasyonları için ara yüzey morfolojik olarak kararlıdır. Bu durumda oluşacak herhangi bir çıkıntı tekrar ergime eğilimindedir. Böylelikle düzlemsel cephede büyüme gerçekleşir. Morfolojik kararsızlık, tepe şeklindeki eğri ile sınırlanmıştır. Katılma hızı, EF doğrusunun ötesine geçecek kadar büyük ise morfolojik kararlılık tekrar sağlanmaktadır. Burada büyüme düzlemsel cephede gerçekleşmekte, denge

paylaşımı hala devam etmektedir. Bu ilginç davranışın nedeni şöyle açıklanabilir; sınır ara yüzey hızına ulaştığında büyüme cephesinde oluşan çıkıntılar o kadar incelmektedir ki yüzey gerilimi ara yüzey morfolojisini belirleyen en etkin faktör olmaktadır. Böylece düzlemsel cephede büyüme sadece AB doğrusunun soluna değil aynı zamanda BFE eğrisinin üzerinde ve sağında da sağlanmaktadır. EF doğrusunun temsil ettiği durum "morfolojik mutlak kararlılık" olarak nitelendirilmektedir.

Bu duruma tekabül eden hız: formül 3.1 ile belirlenir. Burada "Γ" birim hacim için katı - sıvı ara yüzey enerjisinin ergime gizli ısısına oranı; T_m ise çözünen element olmadığı durumda ara yüzeyin ergime sıcaklığıdır.

$$R_{(EF'ds)} = \frac{m_s D_s (k_E - 1)}{k_E^2 T_m \Gamma} \quad (3.1)$$



Şekil 3.1 : Al-0.1Cu alaşımının katılaşma hızı ve sıcaklık gradyanının katılaşma tarzına etkisi [7].

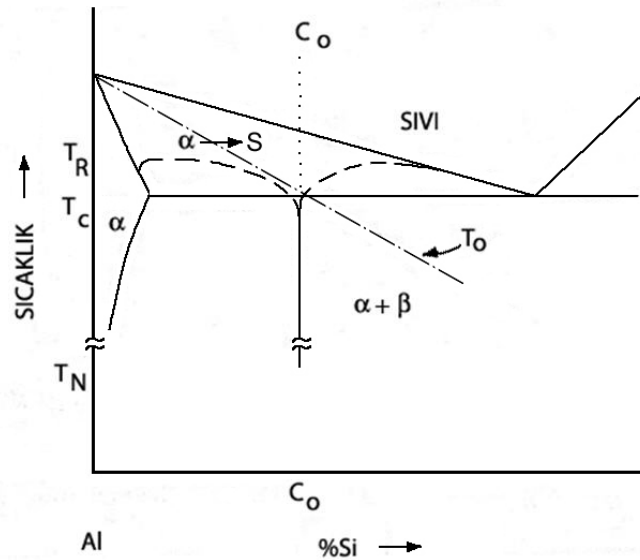
Al-Cu, Al-Fe, Al-Si alaşımları için (2.4) bağıntısı ile yapılan hesaplamalar göstermiştir ki morfolojik mutlak kararlılığın sağlanması için ara yüz hızlarının sırası ile 13.2, 13.5, 12.2 m/sn olması gerekmektedir. Bu hızların ise mümkün olan soğuma hızları ile sağlanması olanaksızdır[5].

Yüksek soğuma hızlarında denge paylaşımı yaklaşımı doğru olmamaktadır. Dengesiz paylaşım katsayısı ile ara yüzey hızı arasındaki bağıntı ile ilgili çeşitli ilişkiler öne sürülmektedir. En genel ifade formül 3.2 de verilmiştir.

$$k(R) = \frac{R\lambda_A / D_s - k_E}{R\lambda_A / D_s - 1} \quad (3.2)$$

Şeklindedir. Burada " λ_A " ara yüzeydeki sıvı konsantrasyon gradyanı içindeki etkili difüzyon mesafesidir. D_s ise çözünen elementin sıvı içerisindeki difüzyon katsayısıdır.

Paylaşımsız katılaşmanın sağlanması için ara yüzeyde aşırısoğumanın Şekil 3.2'deki T_o sıcaklığının altına düşmesi gerekmektedir. Ancak bu durumda sıvı faz ile aynı bileşimdeki katı faz sıvının sahip olduğu serbest enerjiden daha düşük serbest enerjiye sahip olabilir. Bu koşul gereklidir ancak yeterli olmamaktadır. Katılaşma esnasında ortaya çıkan ısı ara yüzey sıcaklığını yükselterek ara yüzey hızının



Şekil 3.2 : Aşırı doymuş Al - %6Si damlacığının şematik Al - Si denge diyagramı üzerinde "Katılaşma Yolu" [5].

çözünen element paylaşımını önleyemeyecek kadar düşük olmasına yol açabilir. Bu yüzden paylaşımsız katılaşmanın gerçekleşmesi için "termodinamik şartın" (T_o ' ın altına aşırısoğuma), "kinetik şartın" (ara yüzey hızının difüzyon hızından yaklaşık 10 kat büyük olması) sağlanması gerekmektedir. Bu mertebedeki

büyüme hızları saniyede metre mertebesinde ve çözünen elementin hapsolmasına yol açması itibariyle "Hızlı Katılaşma" olarak tanımlanabilir[4].

Son yıllardaki çalışmalar, hızlı katılaşmanın, mikro yapı ve özelliklerde olumlu iyileştirmeler sağladığını göstermiştir. Katılaşma sırasında elde edilen soğuma hızları dendrit kolları arası mesafenin ölçülmesiyle tespit edilir. Gaz atomizasyonu için soğuma hızları 10^1 - 10^5 K/sn, splat metodu için 10^5 - 10^8 K/sn civarındadır. Belirtilen soğuma hızları mekanik özelliklerin iyileşmesini sağlayan mikrokristalin yapılar oluşturur. Alüminyum alaşımlarında 10^2 ila 10^6 K/sn' lik katılaşma hızları elde edilebilir. Hızlı katılaşmadan elde edilen en önemli yapısal değişimler; tane boyutunun küçülmesi, genişlemiş eriyen element çözünürlüğü, intermetalik partikül boyutunun küçülmesi ve kimyasal homojenitede artıştır. Bu yapısal değişimler mekanik özellikleri de iyileştirmektedir [8].

3.1 Tane Boyutunun Küçülmesi

Hızlı katılaşma konvansiyonel döküm işlemlerinden daha ince tane yapısı sağlar. Tane boyutu gaz ile atomizasyon ve splat soğutma tekniklerinin her ikisi içinde 1 mm'nin altındadır. Haddelenmiş ürünlerin tane boyutu ve çözünmeyen disperse partiküller (Fe-NiAl₉) arası mesafe, orijinal döküm hücre boyutuyla benzer eğilime sahip olduğu görülmektedir. Ortalama tane boyutu, atomize edilmiş tozlardan üretilen hadde ürününde azalır. Bazı durumlarda, katılaşma sonucu azaldığı gözlenmemektedir. Bununla beraber ince tane boyutu disperse edilmiş partikül boyutundaki çok önemli incelmelerin bir sonucu olarak sıkıştırılmış malzemelerde elde edilmektedir ve burada stabilizasyon çok ince yeniden kristalleşmiş tane yapısıyla sağlanmaktadır.

3.2 Genişlemiş Eriyen Element Çözünürlüğü

Sıvıdan hızlı soğutma, denge durumuna oranla geniş çözünürlük bölgeleri temin edebilmektedir. Geniş çözünürlük bölgelerinin sağlanması alaşım yapılarının kontrolü, yeni çökelti fazlar ve oranlarının elde edilmesine imkan verir.

Bu durum alüminyum alaşımlar için faydalıdır. Çünkü geniş denge çözünürlükleri gösteren elementlerin sayısı çok sınırlıdır. Sadece sekiz element (Mg, Si, Li, Cu, Zn, Ga, Ge ve Ag) denge halinde %1' in üstünde çözünürlük göstermektedir. Bu

elementler alüminyum içinde yüksek difüzyona sahiptirler ve göreceli olarak bu alaşımlar düşük ısı kararlılığına sahiptirler. Hızlı katılaşma, kullanılan alaşım elementlerinin miktarlarının önemli derecede artmasını sağlamaktadır. Sonuç olarak ısı kararlılık önemli iyileşmeler gösteren alaşımlar geliştirilmiştir.

3.3 İntermetalik Partikül Boyutunun Küçülmesi

Alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerini etkileyen en önemli metalurjik faktör ikinci faz partiküllerinin şekli, boyutu ve dağılımıdır. Klasik ticari ingotlarda ikinci faz partikülleri üç tipte sınıflandırılır.

1)Yapısal partiküller; Fe, Si, ve Cu'ca zengin inklüzyonlardır. 0,1 ile 10 mm çapındadırlar. Döküm sırasında oluşurlar. Cu çoğunlukla alaşımlandırma ilavesi iken Fe ve Si genellikle empürütedirler.

2)Disperse partiküller; Cr, Mn ve Zr'ca zengindirler 0.05 ila 0.5 mm çapındadırlar. Yeniden kristalleşme ve tane büyümesini kontrol ederler.

3)Çökelen partiküller; Cu, Mg, Zn gibi elementlerce zengindirler. 0.01 ila 0.1 mm çapındadırlar. Matrisi kuvvetlendirmede kullanılırlar.

Hızlı katılaştırma, konvansiyonel alüminyum alaşımlarında (Örneğin Al-Cu, Mn, Fe intermetalikleri) oluşan kompleks "yapısal partikülleri" elimine eder ya da 1 mm altında ince bir dispersiyon vermek için oluşturulan partiküllerin boyutunu azaltır. Özellikle malzemenin tokluğunda iyileşmeler sağlar. Benzer olarak hızlı katılaşma, katılaşma sırasında oluşan, disperse partiküllerin boyutunu da azaltabilir. Bu azalma iki yolla oluşabilir, ya katılaşma işlemi sırasında partiküllerin çekirdeklenmesi ve büyümesi için gerekli zamanda azalmanın bir sonucu olarak veya aşırı doymuş katı eriyiklerin oluşumu sebebiyledir. Burada etkin mekanizma, daha sonra yapılan mukavemet kazandırıcı işlemler veya ısı işlem sırasında çok daha ince derecede çökeltile partiküllerin bulunduğu durumudur. Önce çökelen partiküllerde hızlı katılaşmanın benzer etkisi bulunabilmesine rağmen, mukavemet kazandırıcı işlemler genellikle çökeltmede önemli derecede aşırı yaşlanmaya neden olur. Bu yüzden toz metalurjik alaşımlara arzu edilen çökelti partikül dağılımını elde etmek için nihai ısı işlem uygulanmaktadır.

4. OSPREY SİSTEMİ

Sprey halindeki damlacıkların toplama yüzeyine çarparak birikmesi prosesidir. Damlacık biriktirmeye örnek olarak düşük basınçlı plazma biriktirme ve Osprey verilebilir. Plazma biriktirmede, başlangıç malzemesi toz parçacıklardır. Sıcak plazmaya injekte edilen toz partiküller ergir ve toplama yüzeyine çarptıktan sonra birikirler. Osprey spray biriktirmede, sistem atomizasyon ve biriktirmeyi kapsar. Sprey biriktirme (Sprey Deposition), spray ile şekillendirme (Sprey Forming), ve spray döküm (Sprey Casting) yöntemleri damlacık biriktirmeyi kapsar.

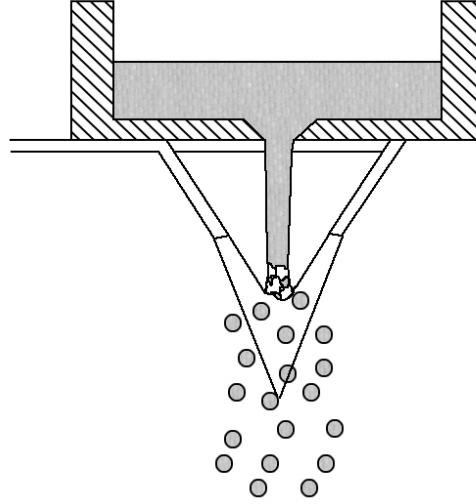
Yeni üretim teknolojilerindeki asıl gereksinim, uygulama şartlarının gerektirdiği ve istenen özellikleri verebilen nihai şekilde veya nihai ürüne yakın ürünleri en kısa yolla üretebilmeleridir [9]. Nihai ürün veya nihai ürüne yakın üretimin avantajları enerji harcamalarının azalması, hurda ve işleme maliyetinin azalması, malzemenin korunması ve daha az yatırım maliyetidir [10].

Osprey kazanının üzerinden şarj edilen alaşım indüksiyonla ertitilir. Ergitme sırasında, kazan argon gazı ile temizlenir ve ergimiş metalin oksitlenmesini engellemek için düşük bir basınçta ergimiş metalin kazana girdiği yerden argon gazı sürekli olarak verilir. Ergimiş metal potanın altındaki bir nozülünden dışarı çıkar. Atomizasyon bölgesinde ergimiş metal akımı argon gazı ile küçük damlacıkların oluşturduğu bir spray haline gelir. Sıvı damlacıklar atomizasyon gazı tarafından soğutulur ve toplama yüzeyine doğru hızlandırılır [11]. Daha sonra bu damlacıklar gaz ortam içinde sürüklenirler. Boyutuna bağlı olarak soğutma hızına göre, damlacıklar sıvı, kısmen sıvı veya tamamen katı halde toplama yüzeyine çarparlar (Şekil 4.1). Çarpmadan sonra damlacıklar önemli ölçüde homojen eşekslenli bir mikro yapı verecek şekilde katılaşırlar [12].

Osprey sistemi sıvı metalin atomize edilmesi, havada toz halindeki damlacıkların uçuşu, havada soğuması, toplama yüzeyine çarpmaları ve toplama yüzeyinde yeniden birikerek Osprey depozitinin oluşmasıdır.

4.1 Atomizasyon Nozülü

Geleneksel gaz atomizasyonunda potanın altındaki ince bir delikten akıtılan sıvı metale gazın çarpması ile atomizasyon işlemi oluşmaktadır (Şekil 4.1). Yeni geliştirilen sistemlerde gaz jetleri daha yakın mesafeden ve daha hızlı bir şekilde sıvı metale çarpmaktadır. Gaz hızı ve atomizasyon nozülünün geometrik şekli daha ince toz elde etmeyi sağlamaktadır.

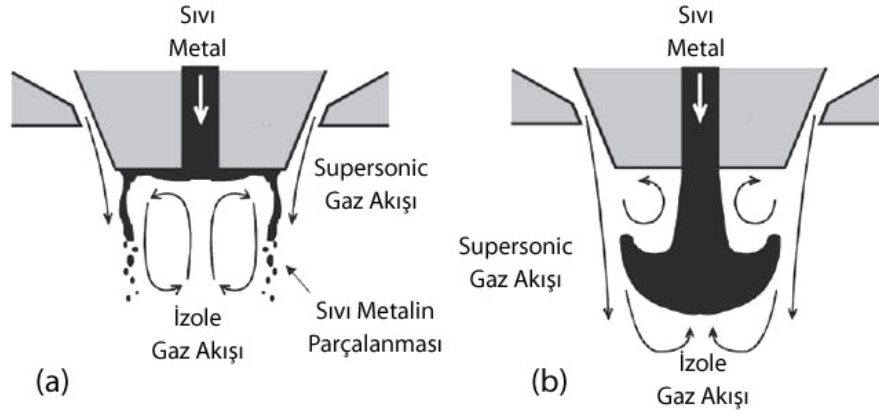


Şekil 4.1 : Geleneksel gaz atomizasyon nozülü [13].

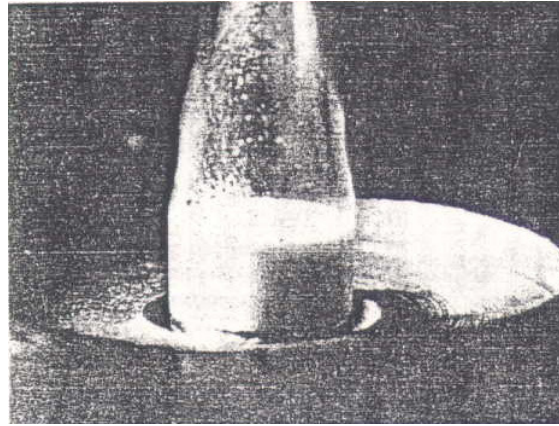
Atomize edilen tozların boyutlarının küçültülebilmesi için farklı yaklaşımlar üzerinde çalışılmıştır. Bu yaklaşımlar Şekil 4.2’de verildiği gibi “Sıvı Metal Kırma” ve “Çeşme” modelleridir. HPGA (High Pressure Gas Atomization), IPN (Isentropic Plug Nozzle), ASN (Annular Slit Nozzle), DJN (Discrete Jet Nozzle) ve De Naval nozül dizaynları “Çeşme Nozülü”dür [14, 15, 16, 17, 18, 19]. Bu iki gurubun en büyük farkı kullanılan gazın basıncının yüksek olmasıdır. Sıvı metal kırma modelinde sıvı metal atomizasyon nozülünden çıkar çıkmaz oluşan türbülansın etkisi ile 360° ye bölünmekte (Şekil 4.3) ve atomizasyon gazı ile toz haline gelmektedir. Çeşme modelinde atomizasyon gazının yönü ile sıvı metalin yönü paralele yakındır (Şekil 4.2). Sıvı metalin parçalanması kullanılan yüksek basınçlı atomizasyon gazının oluşturduğu şok dalgalarından kaynaklanmaktadır (Şekil 4.4).

Bu dizaynlardaki en önemli nokta metalin çıktığı orta kısmın geleneksel atomizasyon sistemlerinden farklı olarak belirli bir miktar aşağıda olmasıdır [20].

Bu mesafe Şekil 4.2’de gösterilmiştir. ASN, IPN dizaynlarında da bu kısım açıkça görülmektedir [21].



Şekil 4.2 : (a) Sıvı metal kırılma modeli ve (b) Çeşme modeli [9].



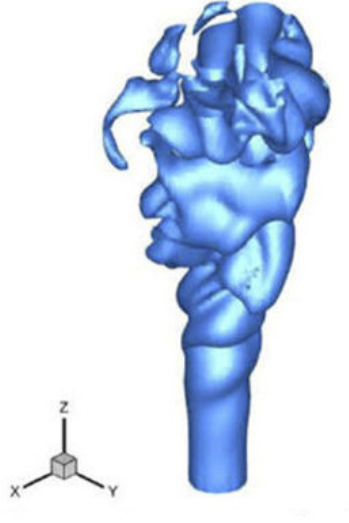
Şekil 4.3 : Atomizasyon nozulünde sıvı metalinde türbülanslı bölgede parçalanması [20].

Metal spreyindeki atomize olmuş damlacıkların boyut dağılımı formül 4.1’de verilmiştir [22].

$$d_m \approx D \cdot \beta \left(\frac{\xi \dot{M} \gamma_m}{\rho_g \rho v_{gi}^3} \right)^{1/2} \quad (4.1)$$

Bu denklemdeki gaz özellikleri sabit kabul edildiğinde, denkleme göre uzaklığın dağılımında etkisi yoktur. Damlacık boyutu için başka bir yaklaşımsa [23] formül 4.2’de verilmiştir. R burada damlacık hızı ile gaz hızının oranıdır, We de Weber sayısıdır ve a_1 sabittir.

$$\frac{d_m}{D} = a_1 \left(\frac{\frac{\mu}{\mu_g} (1 + V_{damla})}{We} \right)^n \quad (4.2)$$



Şekil 4.4 : Sıvı metalin belirli bir mesafe sonrasında parçalanması [16].

4.2 Atomizasyon Gazının Hız Dağılımı

Denklemlerde kullanılan z nozül uç kısmından itibaren mesafe, D_o nozül uç kısmındaki gaz çıkışı kesit alanıdır. Diğer gaz hızı çalışmalarında ise [23] kullanılan parametreler genel olmayıp sisteme özel olduğu için kullanılmamıştır. Gaz hızı hesaplamalarında V_{gi} ilk gaz hızıdır. Bu değere göre mesafeye bağımlı gaz hızı (V_g) hesaplanmaktadır. Farklı gaz hızı dağılımı modelleri formül 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6’da verilmiştir. Formül 4.7’de yatay eksenindeki hız dağılımı verilmiştir.

$$\lambda_{v1} = 0.28$$

$$V_{g1}(z, \lambda_{v1}) = V_{gi} \times \exp\left(\frac{-z}{\lambda_{v1}}\right) \quad (4.3)$$

$$a_1 = 3.04 \times 10^{-4}$$

$$n_1 = 1.24$$

$$\lambda_{v2} = a_1 \times V_{gi}^{n_1}$$

$$V_{g2}(z, \lambda_{v2}) = V_{gi} \times \exp\left(\frac{-z}{\lambda_{v2}}\right) \quad (4.4)$$

$$a_2 = 3 \times 10^{-4}$$

$$n_2 = 1.25$$

$$\lambda_{v3} = a_2 \times V_{gi}^{n_2}$$

$$V_{g3}(z, \lambda_{v3}) = V_{gi} \times \exp\left(\frac{-z}{\lambda_{v3}}\right) \quad (4.5)$$

$$D_n = 0.001$$

$$K_n = 33$$

$$V_{g4}(z, D_n, K_n) = V_{gi} \times K_n \times \frac{D_n}{z} \quad (4.6)$$

$$Vr(z, r) = \left[\frac{V_{g2}(z, \lambda_{v1})}{10^{\left[18.4 \times \left(\frac{r}{z} \right)^2 \right]}} \right] \quad (4.7)$$

4.3 Damlanın Uçuş Sırasında Hızlanması

Damlacıkların boyutlarının küçük olmasından dolayı içlerindeki ısıl gradyanının olmadığı kabul edilir. Damlacıkların Osprey kazanı içinde toplama yüzeyine doğru uçuşları sırasındaki soğumaları aşağıdaki sistemle yapılmıştır.

Atomizasyon nozulünden gazın çıkmasından sonra Osprey kazanı içinde mesafeye göre hız değeri deneysel ve teorik olarak daha önceden çalışılmıştır [28]. Ortak noktaları gaz hızının atomizasyon nozulünü terk ettiği hız değeridir.

Akışkan ortam içinde hareket eden tek bir damlaya etki eden kuvvetler;

- Bouyant Kuvveti
- Hızlanan bir cisme etki eden kuvvet
- Viskoziteden dolayı etki eden kuvvet
- Dalga sürüklenmesi

(a)

4.3.1 Bouyant kuvveti

Archimedes kuralına göre Bouyant kuvveti yer değiştiren sıvının ağırlığına eşittir. Bu kuvvet $-m_d g$ şeklinde ifade edilir. Negatif işaret hareket yönünün aksi yönünde etki ettiği için ilave edilmiştir.

4.3.2 Hızlanan bir cisme etki eden kuvvet

Cisim hareket eden bir akışkanın içerisine konulduğunda aniden harekete başlar. Sürüklenme kuvvetinin aksi yönde cisim hareket ettiği için bu kuvvet oluşur. Formül 4.3 ifade edilmiştir. Bu kuvvet akışkan sürtünmesiz bile olsa oluşur. Formül 4.8 de verilmiştir.

$$-\frac{1}{2}m_d \frac{dV}{dt} \quad (4.8)$$

4.3.3 Viskoziteden dolayı oluşan kuvvet

Akışkan ortamda cismin yakınında oluşan hız değişiklikleri yüzeyde kayma kuvveti oluşturur. Hareket eden cismin hemen önünde bir basınç düşmesi olur. Basınç farklılığından dolayı da sürtünmede bir artış olur. Çoğu zaman sürtünme katsayısı ile ifade edilir. Viskoz kuvvet ise formül 4.9'de verilmiştir.

$$-\frac{1}{2}\rho_{damla} V_{damla}^2 \frac{1}{4}\pi d^2 \quad (4.9)$$

4.3.4 Dalga sürüklenmesi

Cismin hızı ses hızı ile kıyaslanabilecek derecede büyük ise şok dalgaları cismin hareket yönünde veya üzerinde oluşabilir. Bu şok dalgaları dalga sürüklenmesine sebep olur [17, 18, 24]. Osprey döküm sisteminin modellenmesinde subsonic hızlarda çalışıldığından ses dalgalarının etkisi ihmal edilmiştir.

Damlaya toplam etki eden kuvvet ise formül 4.10'de verilmiştir [25].

$$F = m \left(\frac{dV}{dt} \right) = mg - m_d g - \frac{1}{2}m_f \frac{dV}{dt} - \frac{1}{2}\rho_f V_r |V_r| \frac{\pi}{4} d^2 C_D (V_{damla}) \quad (4.10)$$

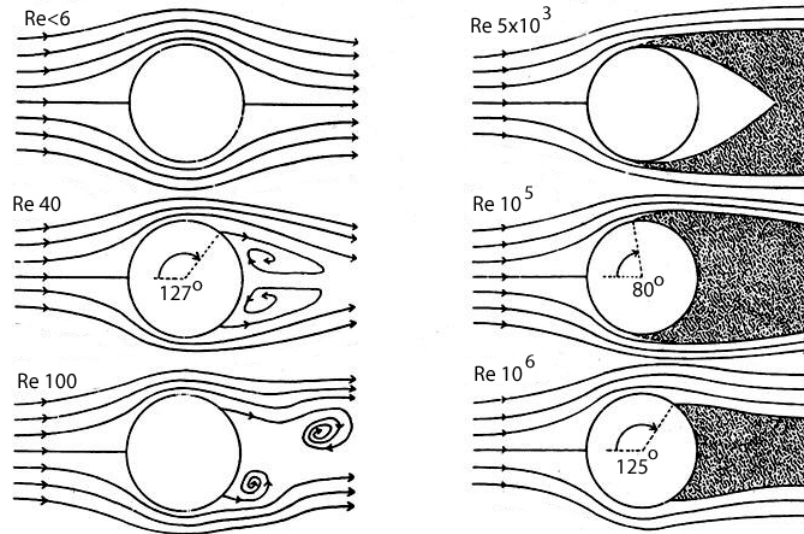
Kullanılan bu formülde damlacığın ısı özelliklerinin etkisi olmadığı kabul edilmiştir.

Damlacıkların uçuşları sırasındaki soğumalarında kullanılan ısı transfer katsayısı sabit değildir. Reynolds sayısına ve dolayısı ile gaz hızına bağlıdır. Gaz hızına bağlı ısı transfer katsayısının hesaplanması için ilk önce Re sayısı hesaplanmaktadır. Re sayısının gaz hızı ile değişimi ve damlacıkların etrafındaki hava filelerine etkisi Şekil 4.5’ de verilmiştir. Re sayısı inertia kuvvetlerin viskoz kuvvetlere oranıdır. Burada Re sayısı formül 4.11’de tarif edilmiştir. Re sayısının hesaplanmasında u_{∞} yerine relatif hız değeri yani $V_{gaz} - V_{damla}$ kullanılmıştır. L karakteristik boy yerine d damla çapı kullanılmıştır.

$$Re = \frac{u_{\infty} L}{\nu} = \frac{u_{\infty}^2 / L}{\nu u_{\infty} / L^2} \quad (4.11)$$

Re sayısının hıza bağımlı olarak hesaplanmasından sonra sürüklenme katsayısı (C_D) Şekil 4.6’daki diyagramdan bulunmaktadır.

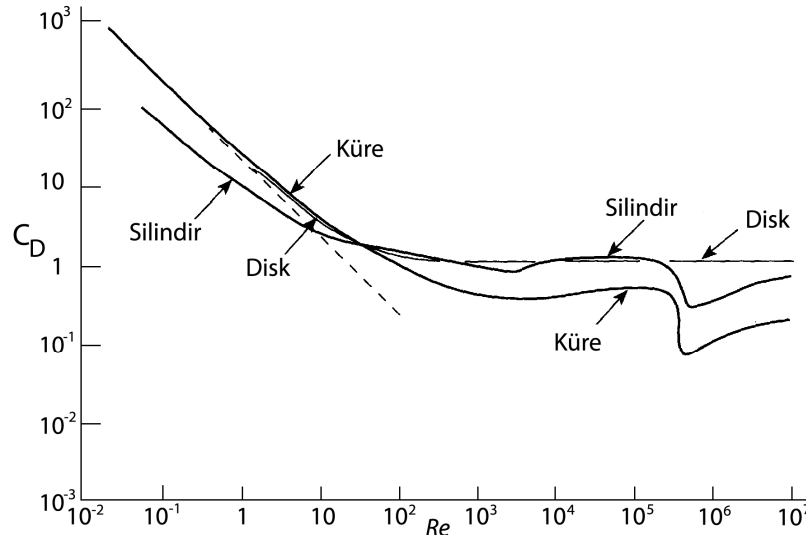
Sürtünme katsayısının olmadığını ve C_d katsayısının sadece Pr ye bağımlı olduğunu kabul eden çalışmalarda vardır [26]. Re sayısının akış çizgilerinin değişimine etkisi Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5 : Reynold sayısının akış paternine etkisi [39].

Reynolds sayısının damlacık şekline etki etmektedir [27]. Nusslet sayısının ve sürüklenme katsayısının hesabında kullanılmıştır [25].

Reynolds ile C_D arasındaki ilişki Şekil 4.6’da verilmiştir. Reynolds değeri sıfır iken C_D değeri sıfır alınmıştır. 0 – 1 Re değerleri arasındaki C_D katsayısının hesaplanması için formül 4.12, 1 – 400 Re değerleri arasındaki C_D katsayısının hesaplanması için formül 4.13, 400 – 3×10^5 Re değerleri arasındaki C_D katsayısının hesaplanması için formül 4.14, 3×10^5 – 2×10^6 Re değerleri arasındaki C_D katsayısının hesaplanması için formül 4.15 ve 2×10^6 dan daha büyük Re değerleri için C_D hesaplanmasında formül 4.16 kullanılmıştır [29, 37].



Şekil 4.6 : C_D - Re arasındaki ilişki [27].

$$Cd_1(Re) = \frac{24}{Re} \quad (4.12)$$

$$Cd_2(Re) = \frac{24}{Re^{0.646}} \quad (4.13)$$

$$Cd_3(Re) = 0,5 \quad (4.14)$$

$$Cd_4(Re) = 0.000366 \times Re^{0.4275} \quad (4.15)$$

$$Cd_5(Re) = 0,18 \quad (4.16)$$

Prandtl Sayısı momentum difüzyonunun ısı difüzyonuna oranıdır. Sıvı metallerde bu rakam bir den çok küçüktür. Formül 4.17 de verilmiştir. Pr sayısı Nusselt sayısının hesaplanmasında kullanılmıştır.

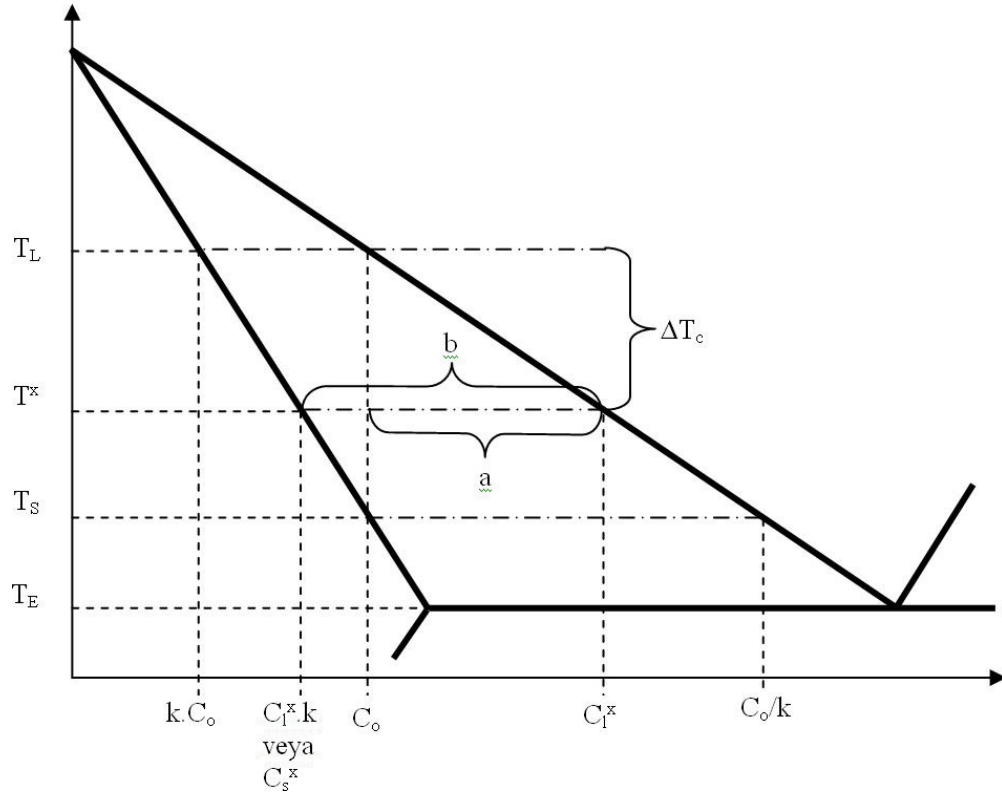
$$Pr = \frac{c_p \mu}{k} = \frac{\mu \rho}{k (\rho c_p)} = \frac{\nu}{\alpha} \quad (4.17)$$

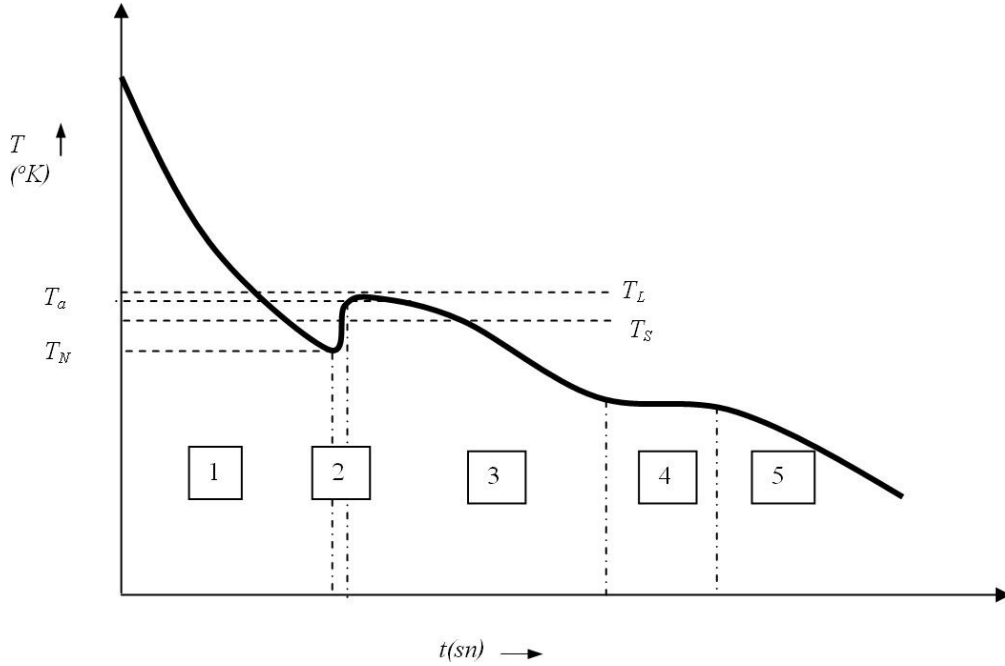
Nu sayısı ısı transfer katsayısının hesaplanmasında kullanılmıştır. Formül 4.18 de hesaplanmaktadır. k atomizasyon gazının ısıl iletkenliğidir. Nu sayısının elde edilmesi ile bilinen bir gaz hızına ve damlacığın boyutuna göre ısı transfer katsayısı hesaplanır.

$$Nu = \frac{hL}{k} = \frac{h \Delta T}{k \frac{\Delta T}{L}} = \left(0.4 Re^{0.5} + 0.06 Re^{\frac{2}{3}} \right) \cdot Pr^{0.4} \quad (4.18)$$

4.4 Damlacığın Uçuş Sırasında Soğuması

Şekil 4.7’de C₀ bileşimindeki bir alaşımın soğuması sırasındaki izleyeceği yol faz diyagramında verilmiştir. Faz diyagramından sıvı ve katıdaki bileşimin sıcaklıkla değişimi elde edilmektedir. Elde edilen bilgilerle çizilen soğuma eğriside Şekil 4.8’deki gibi olmaktadır. Isı yayınma katsayısı formül 4.12 ‘de ifade edilmiştir.





Şekil 4.8 : Şematik soğuma diyagramı.

$$\alpha = \frac{K}{\rho \cdot c} \quad (4.19)$$

Fakat işlem süresi olarak çok fazla vakit almaktadır. Damlacıkların katılaşmasında çekirdekleşme bölümü işleme dahil edilmemiştir. Damlaların modellenmesinde damlaların içinde sıcaklık gradyanının olmadığı kabul edilmiştir. Bu kabulde birlikte damlaların katsayıları hesaplanırken katı oranına bağımlı olarak değerleri yeniden formül 4.20 de tespit edilmiştir [29].

$$\bar{\alpha} = \alpha_s f_s + \alpha_L f_L \quad (4.20)$$

$$\bar{c} = c_s f_s + c_L f_L \quad (4.21)$$

Katılaşmada sıcaklık ve bileşim zamana göre değişmektedir. Isıl genleşme katsayısı, sabit bileşimde yoğunluğun sıcaklıkla değişmesi şeklinde tarif edildiğinde formül 4.22 şeklinde yazılır.

$$\beta_T = -\frac{1}{\rho_o} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_c \quad (4.22)$$

Bileşimsel genleşme katsayısı, sabit sıcaklıkta yoğunluğun bileşimle değişmesi şeklinde tarife edildiğinde formül 4.23 şeklinde yazılır.

$$\beta_c = -\frac{1}{\rho_o} \left(\frac{\partial \rho}{\partial C} \right)_T \quad (4.23)$$

Katılaşma sisteminde kullanmak için, bileşime ve sıcaklığa bağımlı yoğunluğun ifadesi ise formül 4.24 de verilmiştir.

$$\rho = \rho_o [1 - \beta_T (T - T_o) - \beta_C (C - C_o)] \quad (4.24)$$

Damlaların boyları mikron mertebesinde oldukları için damlaların içinde ısıl gradyanının oluşmadığı veya ihmal edilebilecek boyutta olduğu kabul edilmiştir. Buna göre damlanın soğuması tek boyutta soğuma denklemine dönüşmüştür.

Şekil 4.8'deki soğuma grafiğinin birden beşe kadar olan bölümlerinde damlacığın soğumasının hesaplanmasında 4.25 a – 4.25 h formülleri kullanılır.

$$1) \quad \frac{dT}{dt} = -\frac{6h(T - T_g)}{\rho.c.d} \quad (4.25 a)$$

$$2) \quad \frac{dT}{dt} = \frac{L}{C.\rho} \frac{df}{dt} \quad (4.25 b)$$

$$\frac{df}{dt} = K \frac{\Delta T}{d} \quad (4.25 c)$$

$$3) \quad \frac{dT}{dt} = -\frac{6h(T - T_g)}{\rho.c.d} \left(1 - \frac{L}{C} \frac{df}{dt} \right) \quad (4.25 d)$$

$$\frac{df}{dt} = \frac{dT}{dt} \frac{(1 - f_r)}{(k_e - 1)(T_M - T_L)} \left(\frac{T_M - T}{T_M - T_S} \right)^{\frac{2-k_e}{k_e-1}} \quad (4.25 e)$$

$$4) \quad T = T_E \quad (4.25 f)$$

$$\frac{df}{dt} = \frac{6h(T_E - T_g)}{\rho L d} \quad (4.25 g)$$

$$5) \quad \frac{dT}{dt} = -\frac{6h(T - T_g)}{\rho.c.d} \quad (4.25 h)$$

Çekirdekleşme aşamasının modele dahil edilmesi ile [30] aşırısoğuma miktarı hesaplanabilmektedir. Katılaşma sırasında sıvı hareketinin olmadığı, eş eksenli tanelerin şeklinin küresel olduğu, damlaların küresel olduğu kabul edilmiştir. Damlaların boyutlarının mikron boyutunda olmasından dolayı damlanın içinde

sıcaklık farkının olmadığı kabul edilmiş ve damlaların soğuması tek boyutta modellenmiştir [30].

Sıvıda tam karışım olma halinde difüzyon denklemi bir boyutta formül 4.26 gibidir.

$$D_s \frac{\partial^2 c_s(x,t)}{\partial x^2} = \frac{\partial c_s(x,t)}{\partial t}, x \in [0, vt] \quad (4.26)$$

Ara yüzey $x^* = vt$ de dir. Sınır şartları, uygulandığında formül 4.27 elde edilir.

$$D_s \left(\frac{\partial c_s}{\partial x} \right) + v c_s^* \left(1 - \frac{1}{k} \right) + \frac{\partial c_s^*}{\partial t} \cdot \frac{1}{k} (x_L - vt) = 0 \quad (4.27)$$

$$\left(\frac{\partial c_s}{\partial x} \right)_{x=0} = 0 \quad (4.28)$$

Normalize edilmiş koordinatlar kullanılırsa $\xi_A = x / x^*$ ve katı oranı $f_s = x^* / x_L = v_A t / x_L$ ve bu denklemler şöyle yazılabilir,

$$F_{0,s} \frac{\partial^2 c_s(\xi_A, t)}{\partial \xi_A^2} + \xi \frac{\partial c_s(\xi_A, t)}{\partial \xi_A} = f_s \frac{\partial c_s(\xi_A, t)}{\partial f_s}, \xi_A \in [0,1] \quad (4.29)$$

$$k F_{0,s} \left(\frac{\partial c_s}{\partial \xi_A} \right)^* + c_s^* (k - 1) + \frac{\partial c_s^*}{\partial f_s} (1 - f_s) = 0 \quad (4.30)$$

ve

$$\left(\frac{\partial c_s}{\partial \xi_A} \right)_{\xi=0} = 0 \quad (4.31)$$

Burada $F_{0,s}$ katı hal difüzyonu için Fourier sayısıdır.

$$F_{0,s} = \frac{D_s t_f}{x_L^2} \quad (4.32)$$

Bu denklemleri kullanarak Brody ve Flemings katıdaki konsantrasyon alanını katı tabaka kalınlığı ile değiştirmiştir $2D_s/v$ ve hücrel dendritin parabolik şeklinde olduğunu kabul etmişlerdir. Bu çözüme göre $F_{0,s} \rightarrow 0.5$ cetvel kuralı elde edilir. Clyne ve Kurz'un geri difüzyon parametresine göre,

$$f_s = \frac{1}{1 - 2F'_{0,s}k} \left[1 - \left(\frac{T_m - T}{T_m - T_L} \right)^{\left(\frac{1 - 2F'_{0,s}k}{k-1} \right)} \right] \quad (4.33)$$

$$F'_{0,s} = F_{0,s} \left[1 - \exp(-1/F_{0,s}) \right] - \frac{1}{2} \exp(-1/(2F_{0,s})) \quad (4.34)$$

Bu denklemde $F_{0,s}$ sonsuz olduğu zaman cetvel kuralı, sıfır olduğu zamanda Scheil modeli olur.

Cetvel Kuralı

$$f_s = \frac{1}{1 - k} \left(\frac{T_L - T}{T_m - T} \right) \quad (4.35)$$

Scheil Modeli

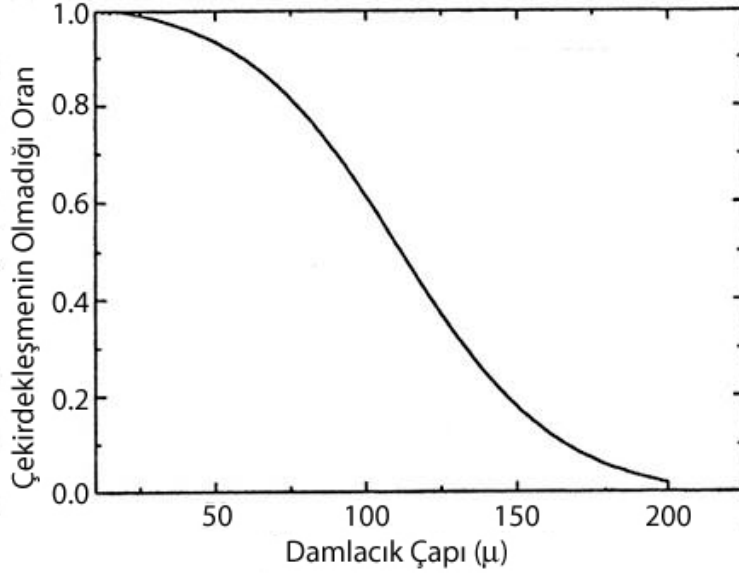
$$f_s = 1 - \left(\frac{T_m - T}{T_m - T_s} \right)^{\frac{1}{k-1}} \quad (4.36)$$

Damlacıkların aşırısoğumaları üzerine yapılan çalışmalarda Al-4.5Cu ve Al-4.3 Fe alaşımındaki 250µm boyutundaki damlacıkların yaklaşık 200 K değerini aşmadığı tesbit edilmiştir [23, 31]. Ni damlacıklarında maksimum aşırısoğuma değeri 110 K dir [32]. Ortalama Si damlacıklardaki soğuma hızı 30 K/sn dir [33].

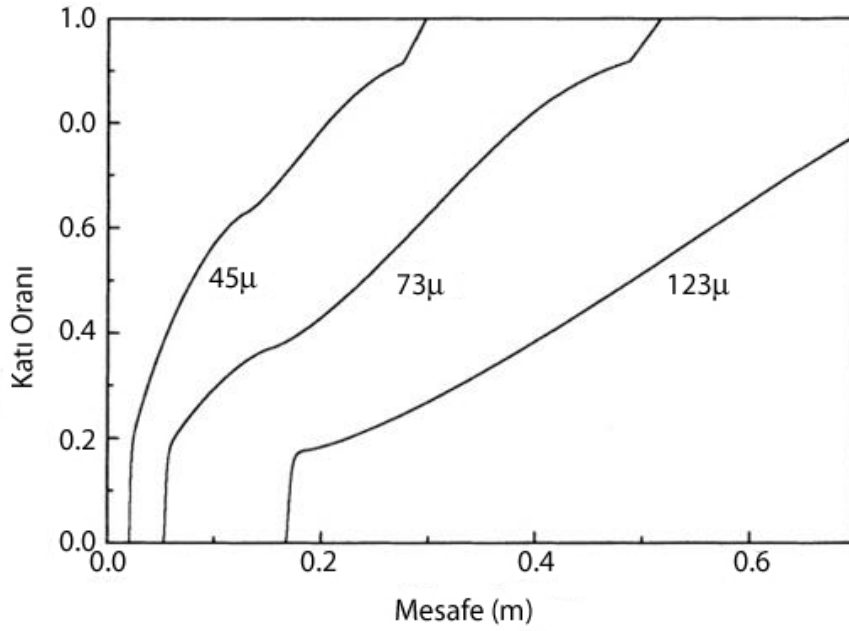
1 µm'lık damlacıktaki aşırısoğuma miktarı farklı referanslarda 75–300 K arasında değişmektedir [34, 35, 36, 37]. Benzer ilişki Al–4.5Cu alaşımlarındaki etkisi Şekil 4.9'da verilmiştir [38]. Al–4.5Cu alaşımlarının uçuş sırasındaki katı oranları da Şekil 4.10'da verilmiştir [39].

4.5 Osprey Depozitinin Şekli

Osprey sisteminde farklı biriktirme şekilleri farklı sprey açısı ve hareketinden kaynaklanmaktadır (Şekil 4.11). Atomizasyon nozülünün konumu ile biriktirme yüzeyinin konumu oluşacak kütüğün geometrik şeklini ve ısı dağılım özelliklerini etkiler. Kurulan modelde nozülün merkezinin biriktirme yüzeyinin merkezinde olduğu, nozülün hareket etmediği ve biriktirme yüzeyinin nozül ile arasındaki mesafenin hidrolik sistemin hareket ettirilmesi ile sabitlenmesi sağlanmıştır.

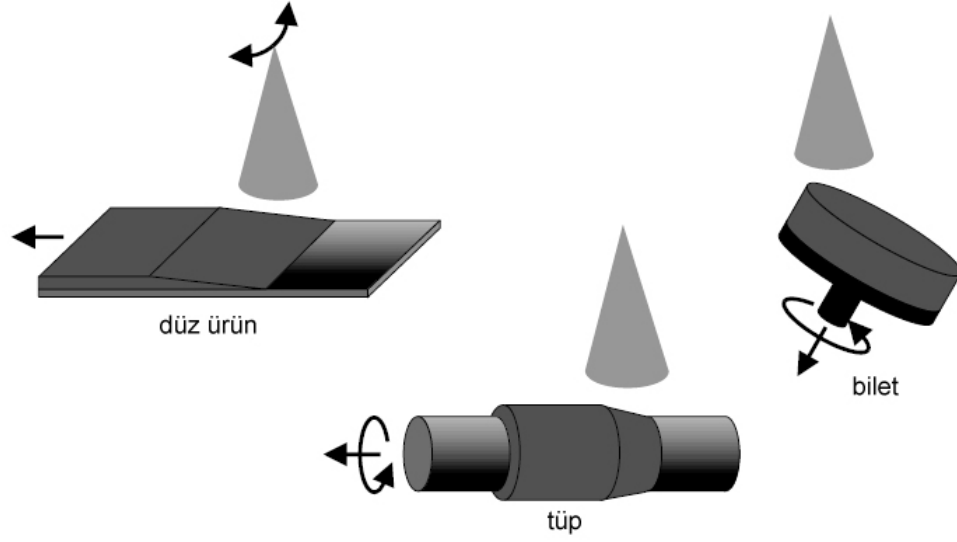


Şekil 4.9 : Çekirdeksiz olan kısmın oranının damlacık çapı ile değişimi [38].

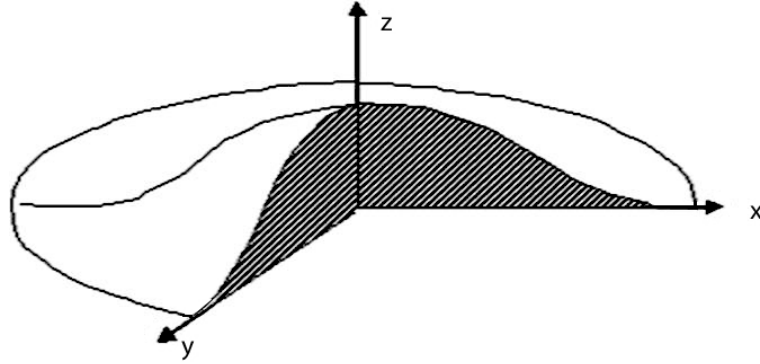


Şekil 4.10 : Al-4.5Cu damlalarının uçuş sırasındaki katı oranları [39].

Böylece elde edilen metal spreydeki damlacıkların uçuş mesafesinin değişmemesi ve uçuş sırasındaki soğumalarının değişmemesi sağlanmıştır. Elde edilen Osprey kütüğünün şekilde Şekil 4.12'deki gibi olmaktadır.



Şekil 4.11 : Farklı biriktirme açıları ile oluşan kütük geometrileri [40].



Şekil 4.12 : OSPREY depozitinin şekli [40].

Osprey kütüğü oluşturulurken sistemlerde atomizasyon nozülü sabit, hareketli veya belirli bir açı ile yüzeye bakacak şekilde üretimleri ve modellemeleri vardır [41, 42]. Kurulan sistemde atomizasyon nozülünün yüzeye dik olduğu ve hareketsiz olduğu kabul edilmiştir.

Şekil modeli dinamik olarak oluşacak kütüğün şeklini öngörür. Kullanılan model Mathur tarafından hazırlanmıştır [43]. Δt zaman aralığındaki, büyüme miktarı Δz formül 4.37 de verilmiştir. Bu formüldeki G_D değeri formül 4.38 de verilmiştir.

$$\Delta z = G_D \Delta t \quad (4.37)$$

ve

$$G_D = D_D \cdot SE \quad (4.38)$$

Biriktirme hızı D_D nozül merkezinden biriktirme yüzeyine olan mesafenin Gaussian fonksiyonu olarak formül 4.39 da verilmiştir.

$$D_D = D_0 \exp(-bR_D^2) \quad (4.39)$$

Damlanın biriktirme yüzeyine geldiğinde yapışma oranıdır. Formül 4.40 da verilmiştir. Yüzeye çarpma açısına, katı oranına bağlıdır [40].

$$SE = SE_\theta SE_T \quad (4.40)$$

SE_θ yüzey normali ile yüzeye gelen damlanın arasındaki açıya bağlıdır. SE_θ , $\theta = 90^\circ$ de 0 olur (yüzey metal sprej yönüne paralelken), $\theta = 0^\circ$ de 1 olur (yüzey sprej yönüne dikken).

SE_T birikimdeki ve yüzeye varan metal sprejdeki sıvı oranına bağlıdır (Formül 4.41). SE_T hesaplanmasında kullanılan η_K ve η_S değerleri formül 4.42 ve 4.43 de verilmiştir.

$$SE_T = (\eta_K f_K + \eta_S f_S) \epsilon \quad (4.41)$$

$$\eta_K \approx 1 - 0.75(1 - F_S) \quad (4.42)$$

$$\eta_S \approx 0.98 \quad (4.43)$$

SE_T hesaplanmasında sıvı metal miktarı 0.6 değerini geçtiği zaman, ϵ 0 değerini alır. ϵ ve F_S arasındaki ilişki formül 4.44’de verilmiştir.

$$\epsilon = 1 - \left(\frac{1}{0.6} \right) F_S \quad (4.44)$$

Dereceye bağımlı yapışma katsayısı çalışılmıştır [43, 44]. Kurulan model sisteme özel olduğu için kullanılmamıştır.

Zhou [45] ‘un öngördüğü şekil modelinde bölgesel birikim hızı formül 4.45’de verilmiştir.

$$\Delta z = \frac{J_m \Delta t}{\rho A_s} \quad (4.45)$$

R_5 yarıçapı gaz hızının merkezdeki hızının yarısı olduğu değerdir. Kütle akım hızı sabittir [45].

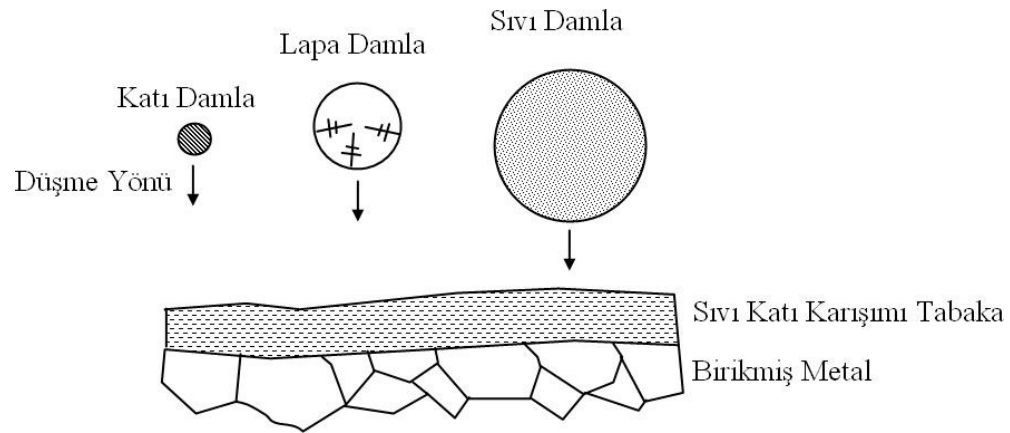
Yapışma etkisi için, Kramer [46] aşağıdaki denklemi geliştirmiştir (Formül 4.46).

$$SE(T_D, f_{s,p}, I_p) = C_4 \left[C_1 + C_2 \left(\frac{T_D}{T_s} \right)^{C_3} \right] f_{s,p}^{C_5} \cdot I_p^{C_6} \quad (4.46)$$

$C_1 - C_6$ kadar olan parametreler deney düzeneğine aittir ve genel amaçlı kullanılamazlar.

4.6 Osprey Depozitinin Soğuması

Osprey kazanı içerisinde damlacıklar toplama yüzeyine doğru ilerlerken boyutlarına göre hızlanırlar ve bu hızlanmadan dolayı farklı soğurlar ve farklı uçuş sürelerinde uçtuktan sonra toplama yüzeyine gelirler. Toplama yüzeye gelen damlacıklar boyutlarına göre sıvı, lapa ve katı formladırlar (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 : Atomize edilmiş damlacıklar ve toplama yüzeyi [28].

Farklı açılarla yapılmış çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [47, 48, 49]. Yüzeydeki soğuma toplama yüzeyinin pürüzlülüğü ile ilgilidir [50, 51]. Hesaplama kullanılan şekiller aşağıda verilmiştir. Komşu sayısına göre hesaplamalar değişmektedir [52, 53]. Explicit metodu kullanılmıştır [54]. Osprey depozitinin soğumasında kullanılan formüller x,y koordinat sistemi için aşağıda verilmiştir (Formül 4.47, Formül 4.48 ve Formül 4.49). Formül 4.47 ve 4.48 de ısı transfer katsayıları farklıdır. Formül 4.47 de ilave terim ergime gizli ısıdır. Sonlu farklar yöntemi ile hesaplanması sırasında kullanılan kontrol hacmi Şekil 4.14’de verilmiştir. Sistemde Δx ve Δy birbirine eşittir.

Lapa bölge için :

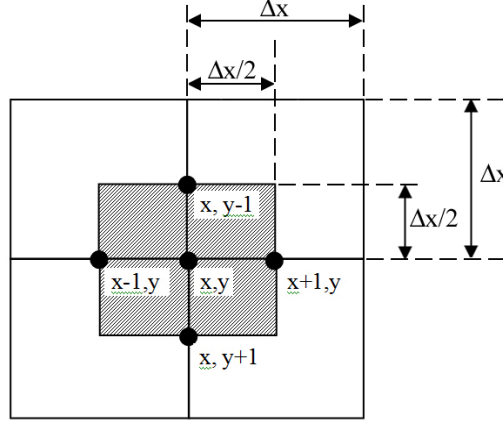
$$\frac{\partial T}{\partial t} = \bar{\alpha} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) - \left(\frac{\Delta h_f}{c} \right) \frac{\partial f_s}{\partial t} \quad (4.47)$$

Katı bölge için :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha_k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (4.48)$$

Sıvı bölge için :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha_s \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (4.49)$$



Şekil 4.14 : Kontrol hacmindeki grid noktaları.

Formül 4.50’de F_0 değeri verilmiştir. Bu değer sıcaklık hesaplamaları yapılırken kolaylık sağlamaktadır. Formül 4.51’de verilen Bi değeri de konveksiyon ile ısı transferinin kullanıldığı yerlerde hesaplamalarda kullanılmaktadır. Osprey depozitin içerisindeki bir noktanın sıcaklığı hesaplanırken formül 4.52’deki açılım kullanılmıştır. Bu formülde kararlılık değeri $F_0 \leq 0.25$ olmalıdır. Kararlılık şartını sağlamayan çözümler hatalıdır. Δt ve Δx değerleri seçimi ile kararlılık şartı sağlanır. Seçilen bu değerlerin diğer kararlılık şartlarını da sağlaması gerekmektedir.

$$F_0 = \frac{\alpha \cdot \Delta t}{(\Delta x)^2} \quad (4.50)$$

$$Bi = \frac{h \cdot \Delta x}{k} \quad (4.51)$$

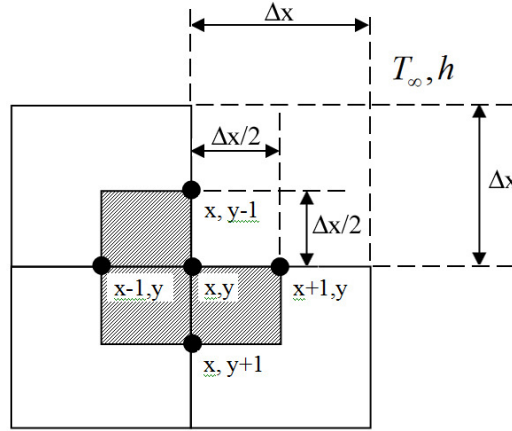
$$T_{x,y}^{t+1} = F_0 \cdot (T_{x+1,y}^t + T_{x-1,y}^t + T_{x,y+1}^t + T_{x,y-1}^t) + (1 + 4 \cdot F_0) T_{x,y}^t \quad (4.52)$$

Bir köşesi ortama açık olan kontrol hacmi (Şekil 4.15) için formül 4.53’de verilmiştir. Bu formülde kararlılık değeri $F_0 \cdot (3 + Bi) \leq 3/4$ olmalıdır.

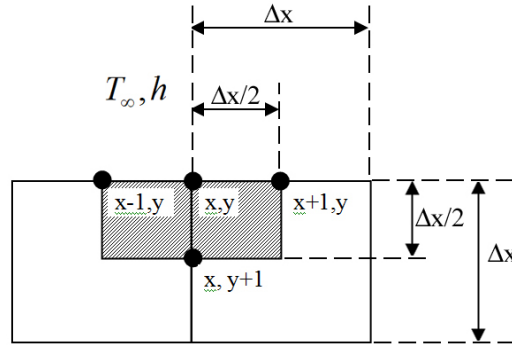
$$T_{x,y}^{t+1} = \frac{2}{3} F_0 (T_{x+1,y}^t + 2T_{x-1,y}^t + 2T_{x,y+1}^t + T_{x,y-1}^t + 2Bi.T_\infty) + \left(1 + 4.F_0 - \frac{4}{3}Bi.F_0\right) T_{x,y}^t \quad (4.53)$$

Yüzeydeki ortama açık olan kontrol hacmi (Şekil 4.16) için formül 4.54'da verilmiştir. Bu formülde kararlılık değeri $F_0.(2 + Bi) \leq 1/2$ olmalıdır.

$$T_{x,y}^{t+1} = \frac{2}{3} F_0 (T_{x+1,y}^t + T_{x-1,y}^t + 2T_{x,y+1}^t + 2Bi.T_\infty) + (1 + 4.F_0 - 2Bi.F_0) T_{x,y}^t \quad (4.54)$$



Şekil 4.15 : Bir köşesi ortama açık kontrol hacmindeki grid noktaları.



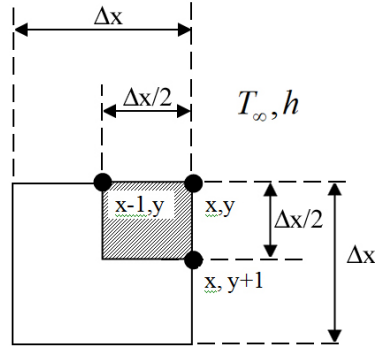
Şekil 4.16 : Yüzeydeki kontrol hacmindeki grid noktaları.

Köşedeki ortama açık olan kontrol hacmi (Şekil 4.17) için formül 4.55'de verilmiştir. Bu formülde kararlılık değeri $F_0.(1 + Bi) \leq 1/4$ olmalıdır.

$$T_{x,y}^{t+1} = 2F_0 (T_{x-1,y}^t + T_{x,y+1}^t + 2Bi.T_\infty) + (1 - 4.F_0 - 4Bi.F_0) T_{x,y}^t \quad (4.55)$$

Lapa bölge formülündeki (Formül 4.47) ergime gizli ısısının hesaplanmasında katı oranının zamana göre değişimini hesaplamak için (Formül 4.56) ilk önce katı oranının sıcaklığa göre değişimi ile sıcaklığın zamana göre değişimini çarpıyoruz. Burada sıcaklığın zamana göre değişimi ($\partial T / \partial t$) soğuma hızıdır.

$$\frac{\partial f_k}{\partial t} = \frac{\partial f_k}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.56)$$



Şekil 4.17 : Köşedeki kontrol hacmindeki grid noktaları.

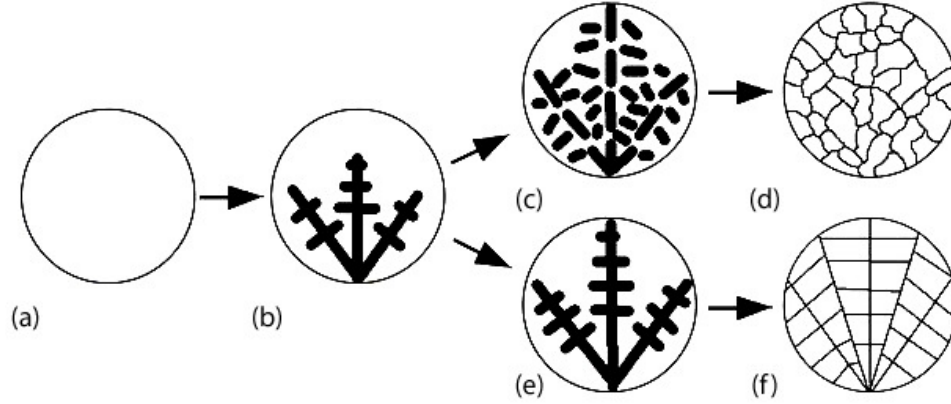
Katı oranının sıcaklıkla değişiminin hesaplanabilmesi için çekirdekleşmenin hesaplanması gerekir. Osprey modelinde yüzeye gelen damlacıklar sıvı, katı ve lapa formunda oldukları için katı ve lapa formunda olan damlacıklar çekirdekleşme merkezleri oluştururlar. Bu yüzden çekirdekleşmenin başlaması için aşırısoğumaya gerek yoktur. Katı parçacıklar sistemde mevcuttur. Katı oranının sıcaklıkla değişimi bu durumda direk olarak “Cetvel Kuralı” ile yüzeye gelen damlacıkların sıcaklıklarına göre hesaplanabilir (Formül 4.35).

4.7 Osprey Mikroyapısının Oluşumu

Atomizasyon işleminden sonra elde edilen damlacıklar bir toplama yüzeyine çarpmadan uçuş sırasında katılaşırlarsa damlacıkların mikroyapısı kabalaşmış dendritik olur [55]. Fakat toplama yüzeyine hızlı katılaşma ile gelen yarı katı damlacıklar yüzeye çarpmaları ile daha az soğuma hızı ile katılaştıkları bir ortama gelirler ve nihai ürün eş-eksenli olur [56] (Şekil 4.18).

Toplama yüzeyine veya daha önceden birikmiş Osprey depozitine çarpan damlacıklardaki ikincil dendrit kollarının tamamen bağlantı yerlerinden kırıldığı kabul edilmiştir. Sn-Pb damlalar ve Cu toplama yüzeyi ile yapılan çalışmada 40cm den daha yakın düşme mesafesinde yüzeye varan damlacıklarda katı

oranlarının çok az olduğu ve yüzeye çarptıklarında katılaştıkları tesbit edilmiştir. Damlacık boyutları 185 μm 'dir. Mesafe arttırıldığında dendrit kollarındaki kırılmalar tesbit edilmiştir [57]. Cu damlalar ve Cu toplama yüzeyi ile yapılan



Şekil 4.18 : Damlada dendrit oluşumu ve kırılması (a) Atomize olmuş damlacık, (b) Dendritik katılaşmanın başlaması, (c) Damla toplama yüzeyine çarptıktan sonra dendrit kollarının kırılması, (d) İnce taneli mikroyapının oluşması, (e) Damla bir toplama yüzeyine çarpmayıp katılaşmanın dendritik şekilde devam etmesi, (f) Kabalaşmış sonra dendritik yapı [56].

deneylerde 100 μm luk damlacık boyutu kullanılmıştır. Toplama yüzeyine çarpan damlalardaki boyut azalması yaklaşık %80 olmaktadır [58, 59]. Bu oran damlacığın içerisindeki sıvı oranına ve damlacığın hızına göre değişmektedir [60, 61].

Dendrit kollarının sıvı metalin akış etkisi ile kırılıp kırılmadığı çalışılmıştır [62]. Bu değer in çok az olmasından dolayı sıvı akışının dendrit kollarının kırılmasına etkisi olmadığı kabul edilmiştir [28].

5. OSPREY BİRİKTİRME YÖNTEMİNİN TASARIMI VE MODELLENMESİ

Atomizasyon işleminin gerçekleştiği bölüm atomizasyon nozülüdür. Sisteme giren gazın hızı bilinmektedir. Atomizasyon nozülünden çıkan gazın yönünü ve gazın hızını bulabilmek için Osprey depozit sistemin modellenmesinde ilk önce nozül modellenmesi ile başlanmıştır. 45 farklı nozül modellenmesi ile atomizasyon işlemi için en uygun nozül dizaynı seçilmiş ve atomizasyon gazının nozülünden çıkış hızı bulunmuştur. Bu hız aynı zamanda atomize olmuş damlacıkların Osprey kazanı içerisine giriş hızlarını vermektedir.

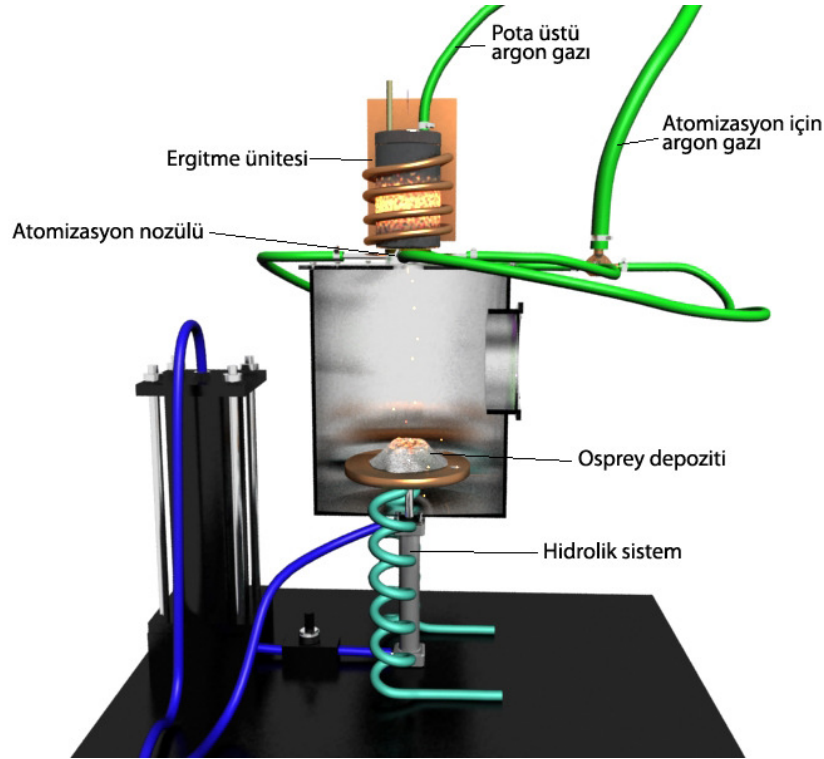
Atomize olmuş damlacıkların hızlanmalarını ve depozit yüzeyine çarpma zamanlarını bulabilmek için atomizasyon nozülünden çıkan gazın Osprey kazanı içerisindeki koordinata göre hız modeli kurulmuştur. Damlacıkların boyutlarına göre hızları tespit edilmiştir. Damlacıkların hızları ve uçuş süreleri bulunduktan sonra soğumalarını hesaplayabilmek için damlacıkların ısı modelleri kurulmuştur. Isı modellerinden damlacıkların depozit yüzeyine gelinceye kadar geçen süredeki soğumaları ve içlerindeki katı miktarı hesaplanmıştır.

Toplama yüzeyine çarpan damlacıklar Osprey depozitini oluşturmaktadırlar. Osprey depozitinin üst yüzeyine damlacıkların sebep olduğu sürekli kütle akışı ve ısı akışı olmaktadır. Toplama yüzeyinden de sürekli soğutma yapılmaktadır. Osprey sistemi Şekil 5.1’de verilmiştir. Osprey depozitinin oluşumu sırasındaki soğuma grafiklerini elde edebilmek için kütle ve ısı transferinin beraber kullanıldığı soğuma modeli hazırlanmıştır. Model biriktirme sırasında ve soğurken herhangi bir zaman ve konumdaki sıcaklık özelliklerini verecek şekilde kurulmuştur. Bu modelden Osprey depozitinin soğuması ve kütle akışı zamana göre elde edilmiştir.

Osprey depozitinin mikro yapısı eş-eksenlidir. Bu depozitin mikro yapısının oluşumunu anlayabilmek için şeffaf SCN-Aseton alaşımları kullanılarak damlacıklar oluşturulmuştur. Lapa halde olan damlacıklar serbest düşme yöntemi ile bir toplama yüzeyine çarpmaları sağlanmış ve oluşan mikro yapı

gözlemlenmiştir. Elde edilen mikroyapıda dendrit kolları tamamen kırılmıştır. Damlacıkların dış yüzeyinde bir kabuk oluşmaktadır. Bu sistemde deformasyon miktarının ayarlanamaması ve yüzeye çarpan damlaların merkez kısmından görüntü alınamamasından dolayı yeni bir deney düzeneği geliştirilmiştir.

Damlacıklara uygulanacak olan deformasyon miktarının belirlenmesi için Flow-3D programı kullanılarak bir Al-6Cu damlasının serbest düşme ile toplama yüzeyine çarpması modellenmiş ve deformasyon miktarı tespit edilmiştir. Elde edilen deformasyon miktarı şeffaf alaşımlara uygulanan deformasyon miktarında kullanılmıştır. Şeffaf alaşımlar için geliştirilen deney düzeneğinde damlacıklar kontrollü olarak soğutulmuş ve belirli miktarda deformasyon uygulanmıştır. Elde edilen mikro yapı görüntüleri ile Osprey depozitinin mikro yapısının oluşumu öngörülmüştür.

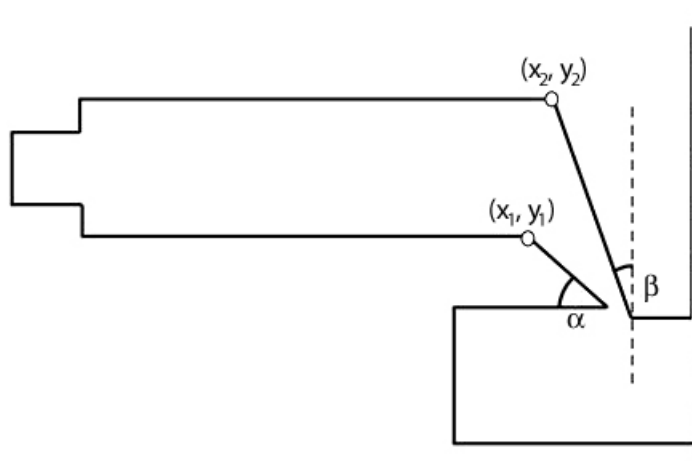


Şekil 5.1 : Osprey sisteminin şematik görünümü.

5.1 Atomizasyon Nozülü Dizaynı

Atomizasyon nozülünün dizaynı, gazın hız dağılımını ve oluşan türbülanslı bölgeyi değiştirdiği için çok önemlidir. Türbülanslı bölge atomizasyon işleminin gerçekleştiği yerdir. Üst ve alt açısı değişken alınıp nozülde çıkan gazın hız değerine ve oluşan türbülanslı bölgeye göre yeni bir atomizasyon nozülü dizaynı geliştirilmiştir. Kurulan model temel olarak “Sıvı Metal Kırılma” modelidir. Hesaplamalar için kullanılacak modelde nozül bölgesine odaklanılmıştır. Böylece nozül dizaynında türbülanslı bölgede oluşan atomizasyon hedef alınmıştır. Şok dalgalarının sebep olduğu atomizasyon işleme dahil edilmemiştir [21]. Ansys 5.4 ile yapılan nozül dizaynında nozülün üst ve alt olmak üzere iki açısı değişken alınmıştır. Oluşturulan modelde üst ve alt açısı değiştirildiği için elde edilen yeni model De Naval nozül dizaynına daha çok benzemektedir. De Naval nozül sisteminden farklı olarak açıları değiştirildiği için 45 farklı olasılık çalışılmıştır. Kullanılan geometrilerin teknik resimleri Ek A.1’de verilmiştir.

Şekil 5.2’de atomizasyon nozülünün şematik resmi verilmiştir. Buradaki üst açısı β ve alt açısı α dır. Üst ve alt açının değişimi ile x_1, y_1, x_2 ve y_2 koordinatları değişmektedir. Üst açısı 10° - 80° , alt açısı 10° - 90° aralıkları için gaz dinamiği hesaplamaları 10 derecelik aralıklarla hesaplanmıştır. Nozül geometrisine göre yapılan gaz dinamiği çalışması işlem parametrelerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır.

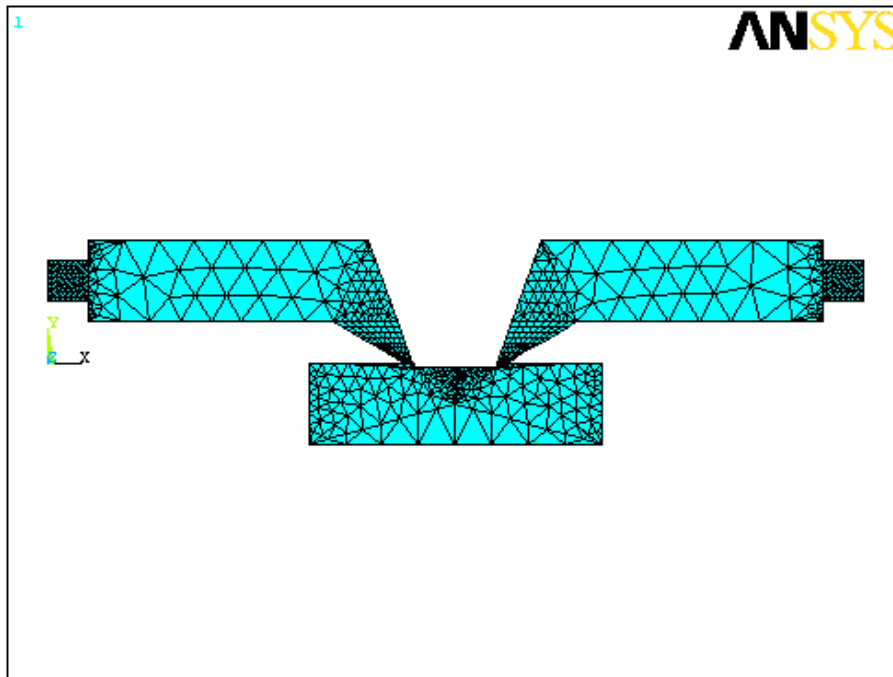


Şekil 5.2 : Nozül modellenmesinde kullanılan açılar ve değişken olan nokta koordinatları.

Atomize olmuş damlacıkların atomizasyon nozülündeki gaz çıkış bölgesine birikip gaz çıkışına engel olmaması için atomizasyon nozülünün üst bölgesi 0.05 mm gaz çıkış yönünde uzatılmıştır.

Türbülanslı bölgenin vektörel grafikte görülebilmesi için atomizasyon nozülüne giren gazın hızı 10 m/sn olarak sabit kabul edilmiştir. Atomizasyon nozülünden gazın çıktığı kısımdaki kesit alanı sabit alınmıştır. Hesaplamalar 2 boyutta yapıldığı için nozüldeki gazın çıktığı yer 1 mm sabit kabul edilmiştir. Atomizasyon nozülünün orta kısmında sıvı metalin sisteme girdiği yerde basınç sıfır kabul edilmiş ve sistemin basitleştirilmesi için sıvı metal sisteme ilave edilmeden modellenmiştir. Sıvı metalin gazın vektörel yönünde ilerleyeceği kabul edilmiştir.

ANSYS Programı ile gaz akışının hesaplanabilmesi için kurulan Mesh sistemi Şekil 5.3'de verilmiştir. Mesh sistemi, nozül ağzındaki hesaplamaların daha hassas yapılabilmesi için bu bölgede yoğunlaştırılmıştır. Bu mesh sistemi sonlu elemanlar ile yapılan hesaplamalarda kullanılmaktadır. Her bir üçgen alan için gaz hızı ve yönü değerleri hesaplanır. Üçgen sayısının fazla olduğu bölgelerde hesaplamalar daha hassas olmaktadır.



Şekil 5.3 : Nozül hesaplamalarındaki mesh sistemi.

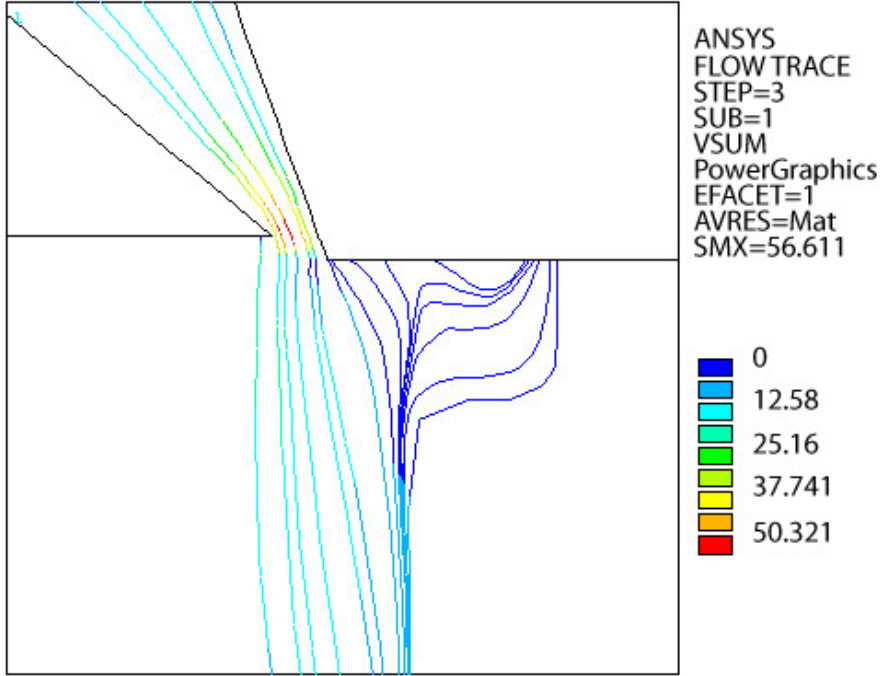
Kullanılan mesh sisteminde nozulün kenarlarının bölüm sayıları sabit kalarak açılar değiştiğinde yeni mesh sistemleri kullanılmıştır. Elde edilen mesh sistemleri kenarlarının bölüm oranları aynı olduğu için sistemin modellenmesinde fark olmadığı kabul edilmiştir. Bu mesh sistemine Osprey kazanının tamamı mesh sistemine dahil edilmemiştir.

Alt ve üst açının değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlar EK B.1’de verilmiştir. Atomize olmuş damlacıkların izledikleri yol gaz akış yönü olarak kabul edilmiştir. Şekil 5.4 – 5.6 de farklı nozul dizaynlarındaki gaz akış çizgilerinin değişimi görülmektedir. Bütün nozul dizaynlarındaki gaz giriş hızları aynı olmasına rağmen türbülanslı bölge kurulan modellerin hepsinde görülmemektedir. Şekil 5.4’de hava fileleri düz bir şekildedir. Şekil 5.5’de türbülanslı bölge oluşmaya başlamıştır. Şekil 5.6’da türbülanslı bölge oluşturulmuştur ve bu bölge belirgin olarak görülmektedir. Elde edilen türbülanslı bölge oluşan maksimum hızın yönü ile tespit edilmiştir. Maksimum hızın olduğu bölge ve yönü Çizelge 5.1’de verilmiştir.

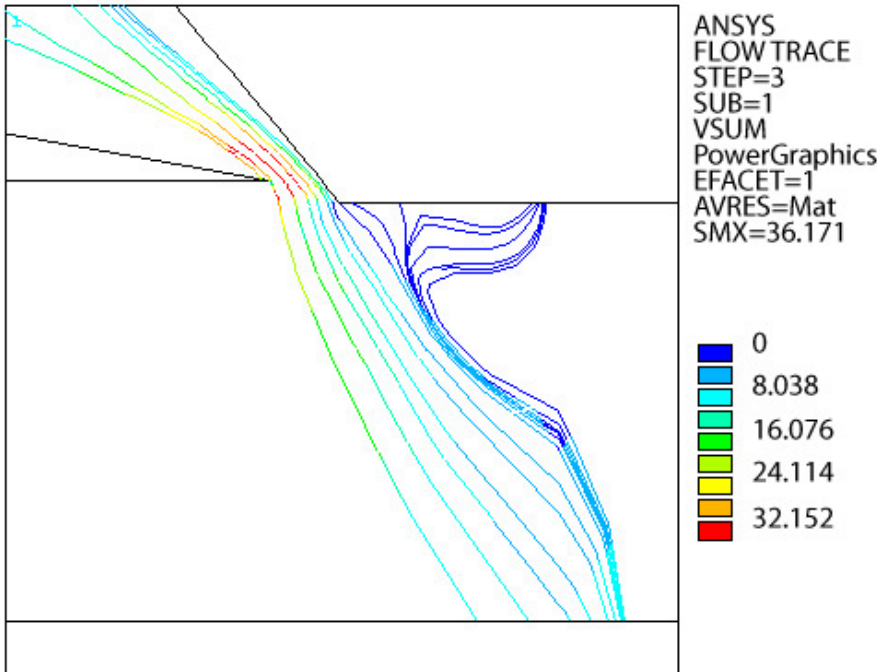
Üst ve alt açılarının değişimi ile modellerdeki gaz giriş hızları sabit olmasına rağmen elde edilen maksimum hızlar farklılık göstermektedir. Elde edilen maksimum hızlar sıvı metalin parçalanmasında kullanılacaktır. Şekil 5.5’deki maksimum hız diğer iki modele göre daha fazla olmasına karşılık türbülanslı bölge oluşmadığı için bu sistem atomizasyon için elverişli değildir. Şekil 5.6’daki modelin maksimum hızı ilkinin göre 10 m/sn daha az olmasına rağmen oluşan türbülanslı bölge atomizasyon işlemi için yeterlidir. Elde edilen maksimum gaz hızları Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Ansys programından elde edilen verilerde maksimum gaz hızı ve maksimum gaz hızının elde edildiği bölge dikkate alınmıştır.

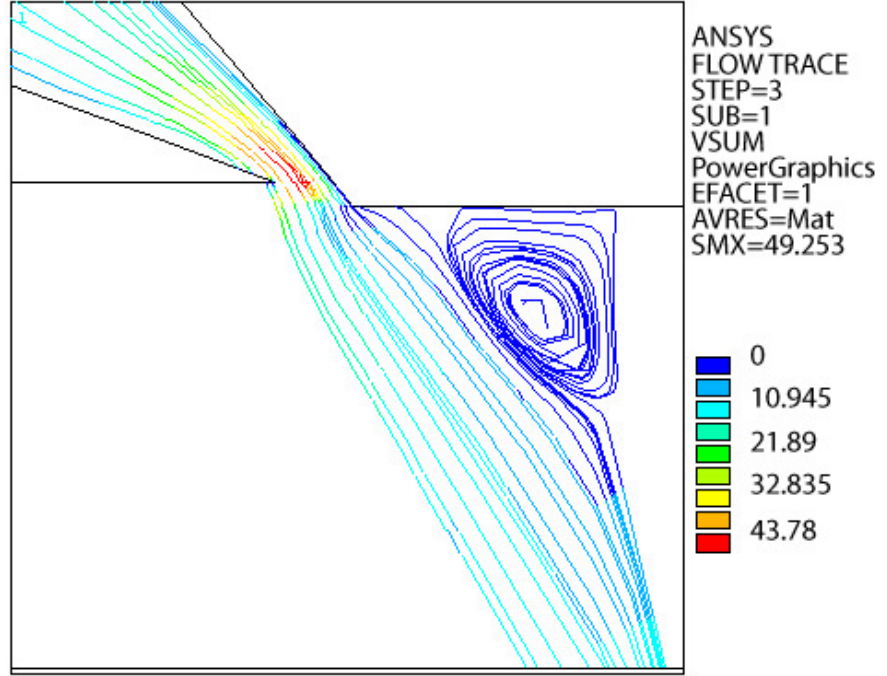
Gözlemlenen bölgeler Şekil 5.7’de verilmiştir. Şekil 5.7’deki numaralama sistemi Çizelge 5.1’de kullanılmıştır. Bu rakamlar bölgeleri göstermektedir. Çizelge 5.1’de 1 ve 3 bölgelerinde görülen maksimum hızlar türbülanslı bölgenin olduğu nozul dizaynlarıdır. 4 numaralı bölgede oluşan gaz yönü ile atomizasyon yapabilmek için şok dalgaları ile atomizasyon yapabilen yüksek basınçlı gaz kullanılması gerekmektedir. Çizelge 5.2’de aynı dizaynlara ait elde edilen



Şekil 5.4 : Üst açısı 20° alt açısı 40° derece olan atomizasyon nozülündeki gaz akış çizgileri.

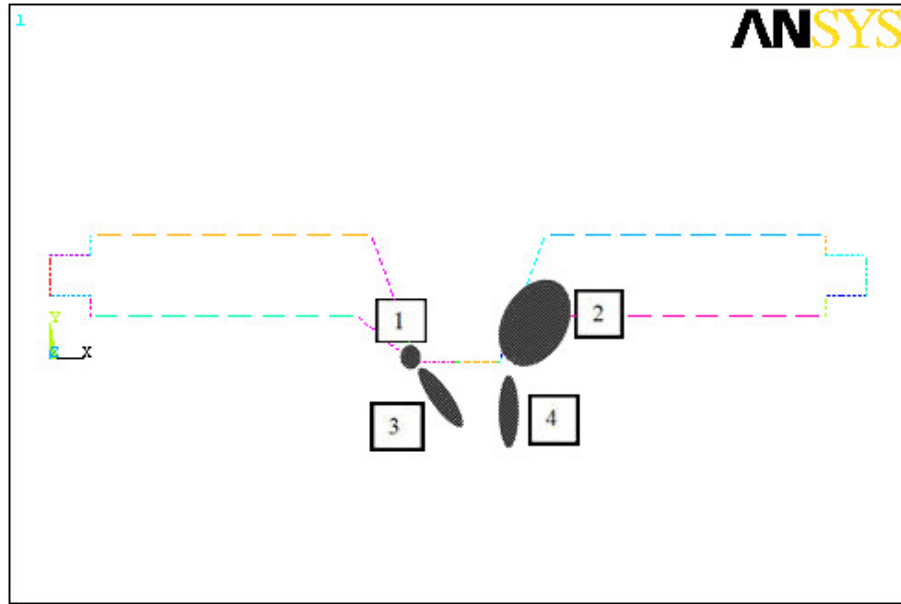


Şekil 5.5 : Üst açısı 40° alt açısı 10° derece olan atomizasyon nozülündeki gaz akış çizgileri.



Şekil 5.6 : Üst açısı 40° alt açısı 20° derece olan atomizasyon nozulündeki gaz akış çizgileri.

maksimum gaz hızları verilmiştir. Yapılan bu modellemelerin sonucunda türbülanslı bölgenin olduğu ve maksimum gaz hızının elde edildiği nozul dizaynları tespit edilmiştir.



Şekil 5.7 : Maksimum hızın olduğu bölgeler.

Çizelge 5.1 : Ansys 5.4 ile hesaplanan maksimum gaz hızlarının görüldüğü bölgeler.

Alt Açı (α)		10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Üst Açı (β)	0°	4	1	1	1	1	1	1	1	2
	10°	4	1	1	1	1	1	2	2	
	20°	4	4	1	1	1	2	2		
	30°	4	4	1	2	2	2			
	40°	3	1	1	2	2				
	50°	3	1	2	2					
	60°	1	2	2						
	70°	2	2							
	80°	2								

5.2 Gaz Hızının Osprey Kazanı İçinde Modellenmesi

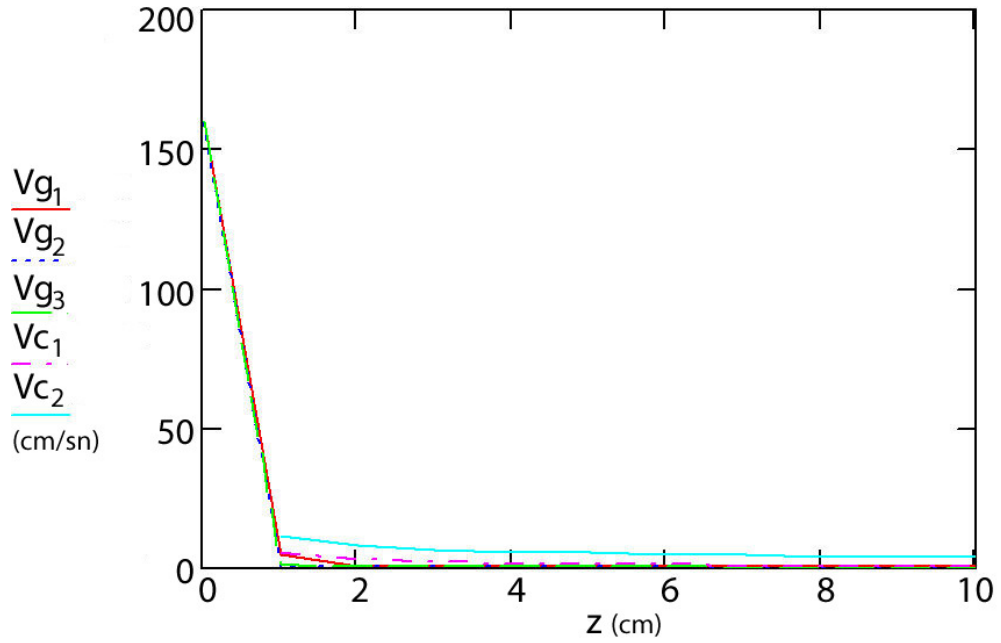
Modelin daha basitleştirilebilmesi için nokta jet modeli kabul edilmiştir. Nokta jet modeli ile gaz hızı Osprey kazanı içinde iki boyutta modellenmiştir. Şekil 5.8’de farklı gaz hızı modelleri hesaplanmıştır. Modellerden V_{c1} ve V_{c2} dışındaki modeller ilk hız değerini doğru verirken nozül ağzından uzaklaşıldıkça aralarındaki fark azalmaktadır. Modellemede nozül uç kısmında da doğru sonucu veren ve hesaplanmasının daha hızlı olduğu için gaz hızının modellenmesinde V_{g1} kullanılmıştır. $k_{argon} = 1.7837 \text{ W/mK}$ sabit kabul edilmiştir.

Nozül eksenine dik yöndeki gaz hızı dağılımlarında Şekil5.9’da gösterilmiştir. Formül 4.7’ye göre hesaplanmıştır.

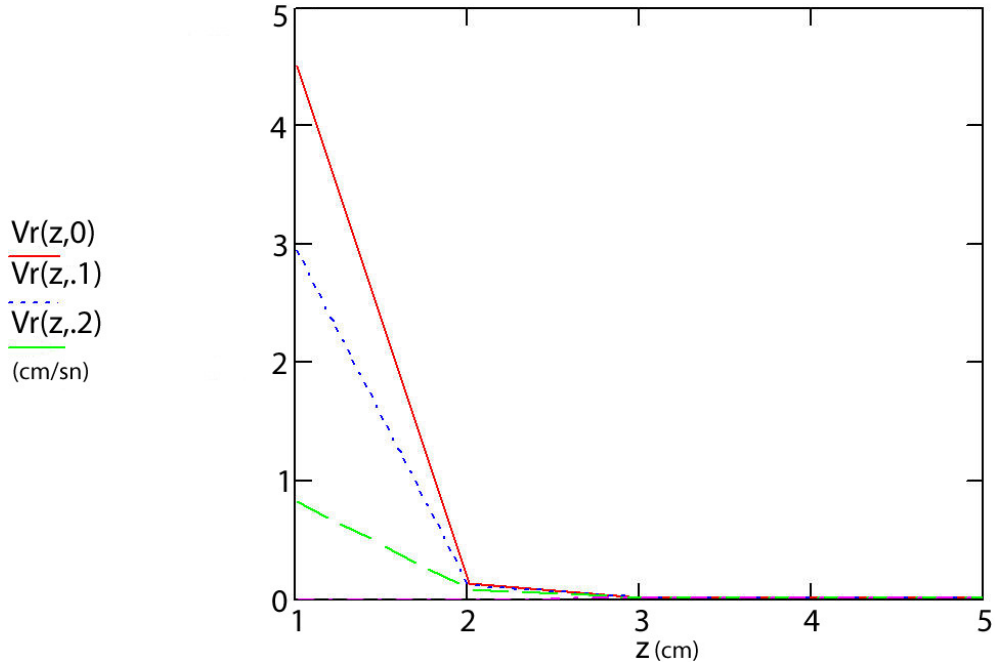
Çizelge 5.2 : Ansys 5.4 ile modellenme sonucunda elde edilen maksimum gaz hızları (m/sn) .

Alt Açı (α)

		10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Üst Açı (β)	0°	40.02	39.51	45.82	50.15	54.33	57.36	59.87	62.12	66.50
	10°	36.27	41.15	47.34	52.58	55.38	59.82	61.66	131.71	
	20°	37.88	42.92	51.05	56.84	60.78	63.88	70.80		
	30°	35.10	45.57	53.55	59.08	62.41	74.27			
	40°	36.17	49.25	58.02	60.57	72.64				
	50°	37.24	57.01	68.41	82.71					
	60°	43.81	68.21	92.32						
	70°	66.30	122.69							
	80°	122.33								



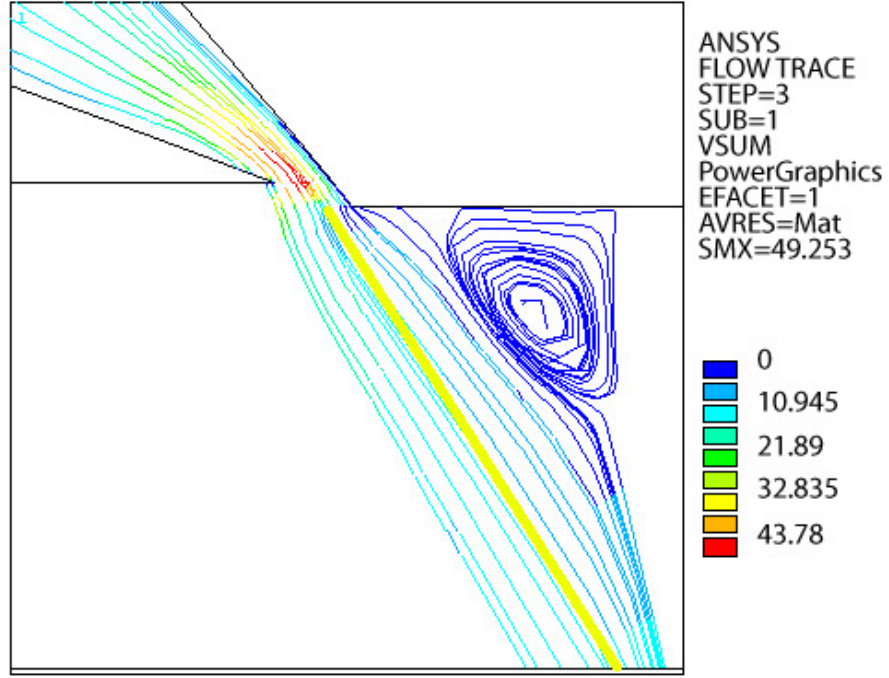
Şekil 5.8 : Gaz hızının modellenmesi.



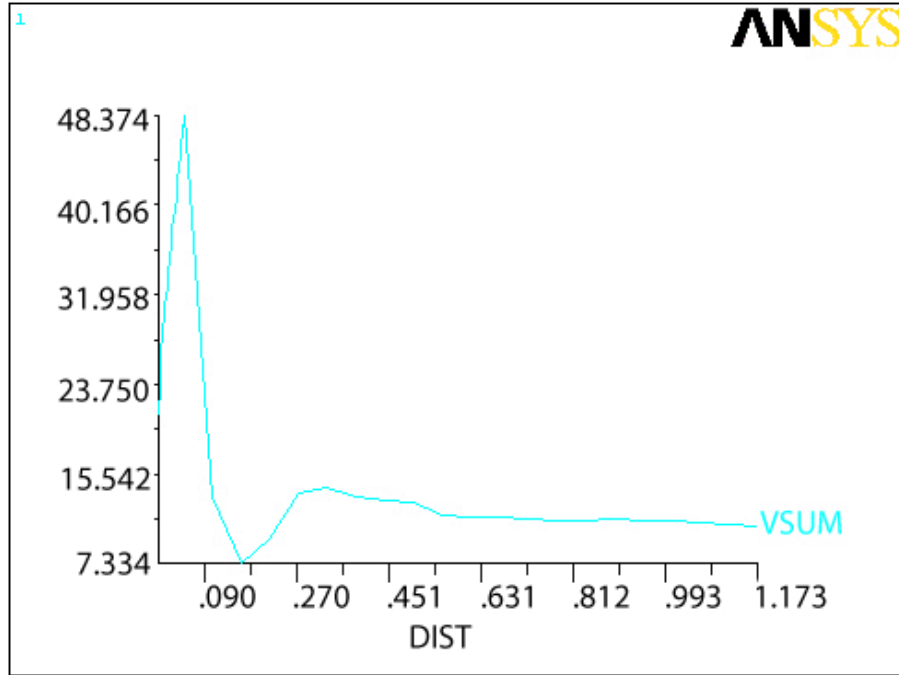
Şekil 5.9 : Merkezden itibaren gaz hızının mesafeye göre değişimi.

Şekil 5.8’de elde edilen farklı gaz hızı modellerinde hız-mesafe grafikleri verilmiştir. İlk 10 cm’lik alana bakıldığında gaz hız dağılımı grafikleri bir birinin aynıdır. Ancak yatay eksendeki hız dağılımları farklıdır (Şekil 5.9). Şekil 5.10(a) da gaz hızı Ansys ile modellenmiş ve atomizasyon nozulünde çıktıktan sonraki gaz hızının azalması gösterilmiştir. Grafikte gaz hızı bir noktada aniden düşmüş daha sonra tekrar yükselmiştir. Hesaplama damlanın doğrusal yol izlediği kabul edildiği için Ansys modelinde de gaz hızının doğrusal hız dağılımına bakılmıştır. Atomizasyon nozul uç bölgesinde küçük bir alanda doğrusallık bozulduğu için bu bölgedeki değerlerde azalma görülmüştür.

Gaz hızının Osprey kazanı içerisinde modellenmesi ile gaz hızının nozülünden toplama yüzeyine doğru uzaklaştıkça değişimi ve nozul merkezinden uzaklaştıkça değişimi elde edilmiştir. Atomizasyon nozulünden çıkan atomizasyon gazının toplama yüzeyine varıncaya kadar ki hız bilgileri bu ortamda sürüklenen damlacıkların hızlanmalarının hesaplanmasında kullanılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 5.10 : a) Gaz hızının ölçüldüğü çizgi, b) Nozül çıkış ağzının ortası başlangıç noktası alındığındaki gaz hız dağılımı.

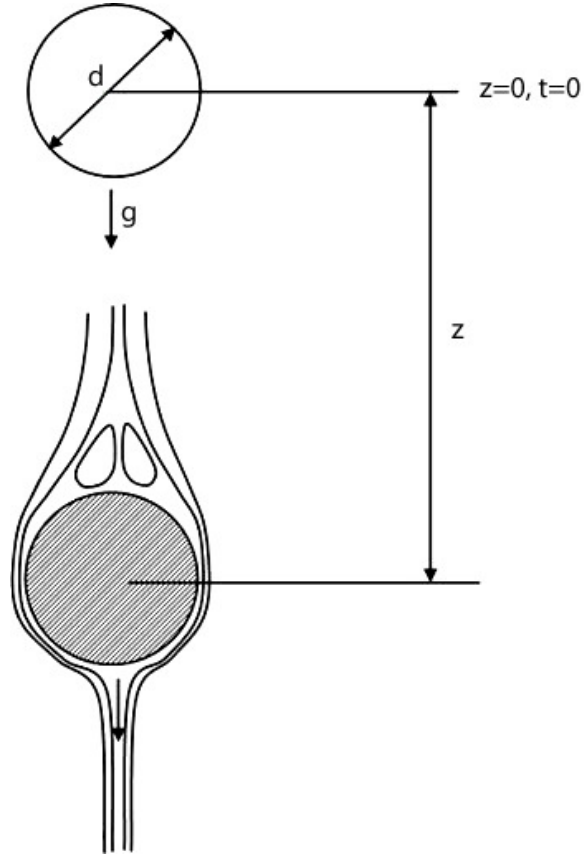
5.3 Damla Hızının Modellenmesi

Atomize olmuş damlacıkların Osprey kazanı içerisindeki atomizasyon nozülünden toplama yüzeyine kadar hızlarını, uçuş sürelerini hesaplayabilmek için model kurulmuştur. Damlanın hız bilgileri konveksiyon ile ısı transfer katsayısının hesaplanmasında ve damlanın soğumasının hesaplanmasında kullanılmıştır. Modelde tek bir damla ele alınmıştır. Gaz hızı ve damlacık hızlarının hesaplanması Ek C.1’de verilmiştir.

Osprey kazanı içerisinde elde edilen gaz hızı dağılımındaki atomize olmuş damlacıkların hızları, katılaşmalarının, yüzeye çarpma hızlarının ve çarpma zamanlarının tespiti için önemlidir. Hesaplamalarda aşağıdaki kabuller yapılmıştır. Damlanın gaz ortamında hızlanması Şekil 5.11’de verilmiştir.

- Damlalar küreseldir. Damlaların küreselliği uçuş sırasında değişmediği kabul edilmiştir. Damla boyları 1 ile 200 μm arasında değişmektedir. Damlaların boyları ve hızları değiştiği zaman Reynold sayısı da değişmektedir.
- Damla içinde sıvı fazda kaymaların olmadığı kabul edilmiştir.
- Damlalar arasında uçuş sırasında birleşme olmadığı ve çarpışmadıkları kabul edilmiştir.
- Damlaların doğrusal bir yol izlediği kabul edilmiştir.
- Gaz hızı sabit olmayıp atomizasyon nozül dizaynından elde edilen veriler kullanılmıştır. Buna göre gaz hızı exponansiyel bir fonksiyon ile atomizasyon nozül ağzından çıktıktan sonra azalmaktadır.
- Gaz hızına, yoğunluğuna ve damlanın sürüklenmesine sıcaklığın etkisinin olmadığı kabul edilmiştir.
- Gaz sıcaklığı sabit kabul edilmiştir.

Farklı Re değerine göre C_D katsayısının hesaplanmasında MathCAD kullanılmıştır. Kurulan bağıntı formül 5.2’de verilmiştir. Elde edilen Re - C_D arasındaki ilişki Şekil 5.12’de verilmiştir. Atomizasyon nozülünden itibaren gaz hızı eksponansiyel olarak azaldığı için kurulan damla hızı modelinin bütün gaz



Şekil 5.11 : Damlanın akışkan ortamda ilerlemesinin şematik olarak gösterilmesi.

hızı değerlerinde kullanılabilir olması gerekir. Kurulan modelde formül 5.2'deki sürüklenme katsayısı kullanılmıştır. Bu sürüklenme katsayısı modeli bütün Re değerlerinde kullanılabilmektedir. C_d -Re sayıları arasındaki ilişkinin grafiksel gösterimi Şekil 5.12'de verilmiştir. C_{D1} modeli bu grafiğe en çok uyan ve bütün aralıklar için geçerli yaklaşımdır. $C_{D2}, C_{D3}, C_{D4}, C_{D5}$ modelleri ise belirli bir Reynold değer aralığı için geçerlidir (Formül 4.12 - 4.16). Kurulan modelde damlacıkların küresel olduğu kabul edilmiş ve Reynold sayısından damlacıkların küresel şeklini değiştirmedeği kabul edilmiştir.

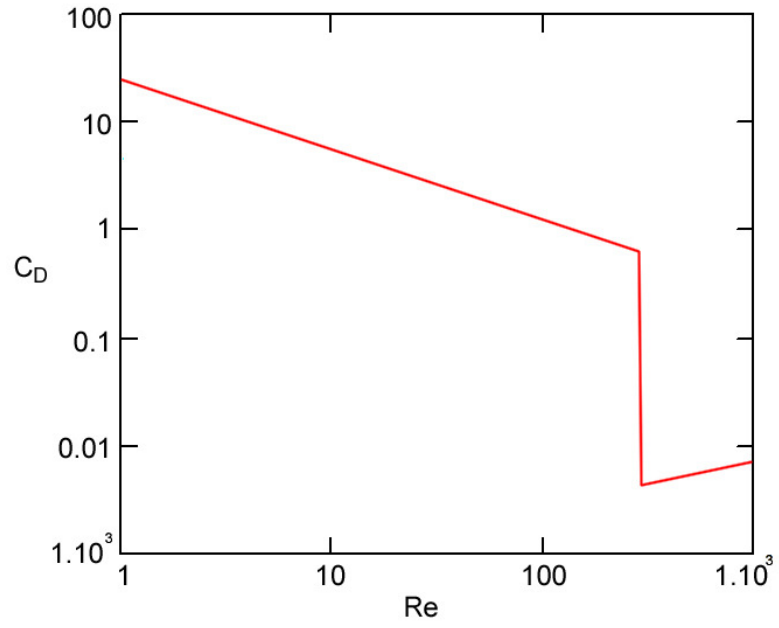
$$C_d(Re) = \begin{cases} Re = 0 & \text{ise } 0 \\ 1 \geq Re > 0 & \text{ise } \frac{24}{Re} \\ 400 \geq Re > 1 & \text{ise } \frac{24}{Re^{0.646}} \\ 3 \times 10^5 \geq Re > 400 & \text{ise } 0.5 \\ 2 \times 10^6 \geq Re > 3 \times 10^5 & \text{ise } 0.000366 \times Re^{0.4275} \\ Re > 2 \times 10^6 & \text{ise } 0.18 \end{cases} \quad (5.2)$$

Visual Basic 6.0 ve MathCAD 2000 ile damlacığın hızlanması modellenmiştir. Bu modelden damlanın hızı, damlanın ortam ile olan relatif hızı ve hesaplanan relatif hıza göre damlanın ortam ile olan ısı transfer katsayısı hesaplanmıştır. Program çıktıları Ek C.2’de verilmiştir. Damlaların boylarına göre hızları Şekil 5.13’de verilmiştir. Damlaların hızlarının bilinmesi ile gaz hızından farkını alarak relatif hızları tespit edilmiştir. Şekil 5.14’de ise relatif hızları verilmiştir. Damlaların etrafındaki relatif hızları soğumalarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Damlaların boyutlarına göre olan ısı transfer katsayısı değişimi Şekil 5.15’de verilmiştir. Damlacıkların hızları ilk önce sıfırdır, daha sonra gaz ortamında atomizasyon gazının etkisi ile hızları artmaktadır. Damlacığın hızı gazın hızına eşit olduğunda relatif hız sıfır olmaktadır.

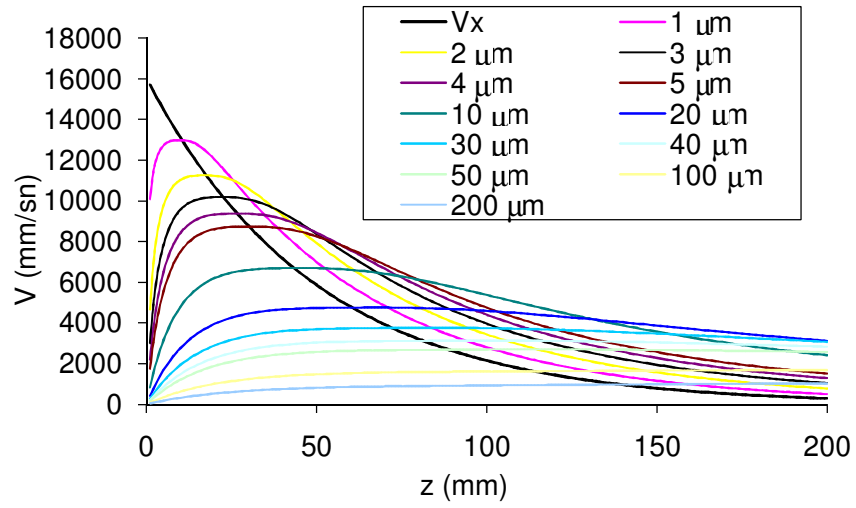
Damlaların hızları belirli bir mesafeden sonra gaz hızı değeri ile aynı olmakta ve daha sonra tekrar değişmektedir. Gaz hızı azalmasına rağmen damlanın hızlanması ise yerçekiminin etkisi iledir. Gazın relatif hızında ve ısı transfer katsayısının hesaplanmasında, Şekil 5.15’te görülen düşüşler relatif hızın sıfır olmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 5.14). Kurulan modelde aşırısoğuma miktarının damlanın çapına göre değiştiği kabul edilmiştir. Buna göre 200 μm ’luk damladaki aşırısoğuma miktarı sıfır ve 1 μm ’luk damlada aşırısoğuma miktarı ise yaklaşık 200 K olarak seçilmiştir. Damlalardaki aşırı soğuma miktarlarının Solidüs eğrisini geçemeyeceği kabul edilmiştir. Buna göre damlalardaki maksimum aşırı soğumalar Solidüs eğrisi ile sınırlandırılmıştır. Şekil 5.16’da damlaların boyutlarına göre soğuma diyagramı verilmiştir.

5.4 Osprey Depozitinin Şekli

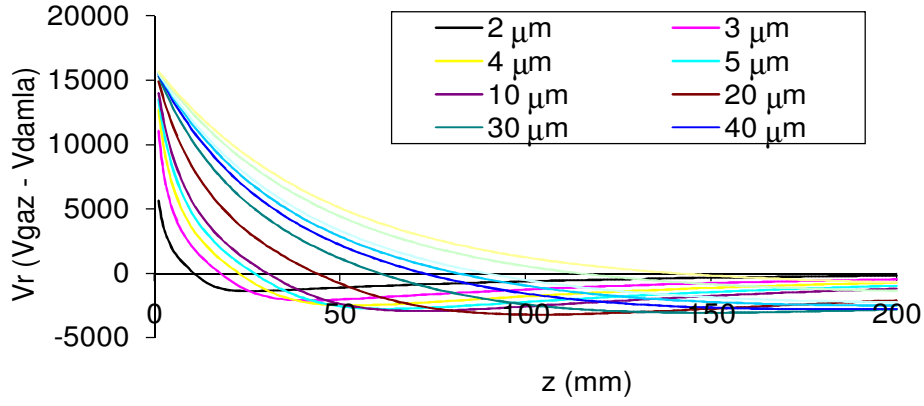
Yüzeye gelen damlacıkların boyutlarının Gaussian Boyut Dağılımına göre olduğu kabul edilmiştir. Osprey depozitinin şekli formül 4.37, 4.38, 4.39 ve 4.40’a göre hesaplanmıştır. Şekil 5.17’de zamana göre Osprey depozitinin hesaplanan şekli verilmiştir. Elde edilen şekil Osprey depozitine olan kütle transferidir. Osprey depozitinin zamana göre değişimi, yüzeye gelen atomize olmuş damlacıkların depozit üst yüzeyine eklediği katmandır. Bu katman merkez kısımda daha fazla olup kenarlara yaklaşıldıkça azalmaktadır. Buda atomizasyon gazının merkezden uzaklaştıkça hızının azalmasından kaynaklanmaktadır.



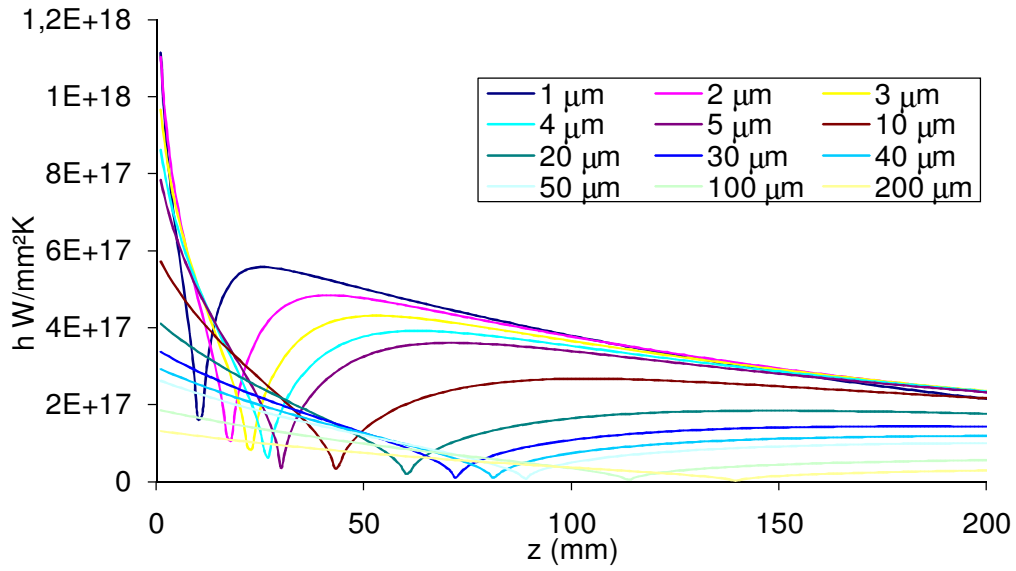
Şekil 5.12 : Sürüklenme katsayısı (C_D) ile reynolds sayısı (Re) arasındaki hesaplanan ilişki.



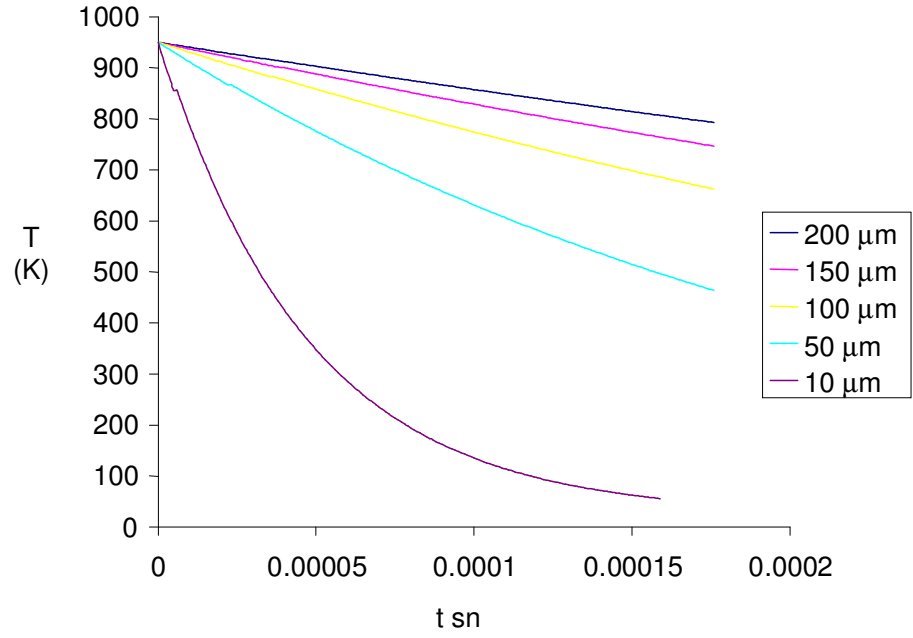
Şekil 5.13 : Boyutlarına göre damlaların atomizasyon kazanı içinde hızlanması.



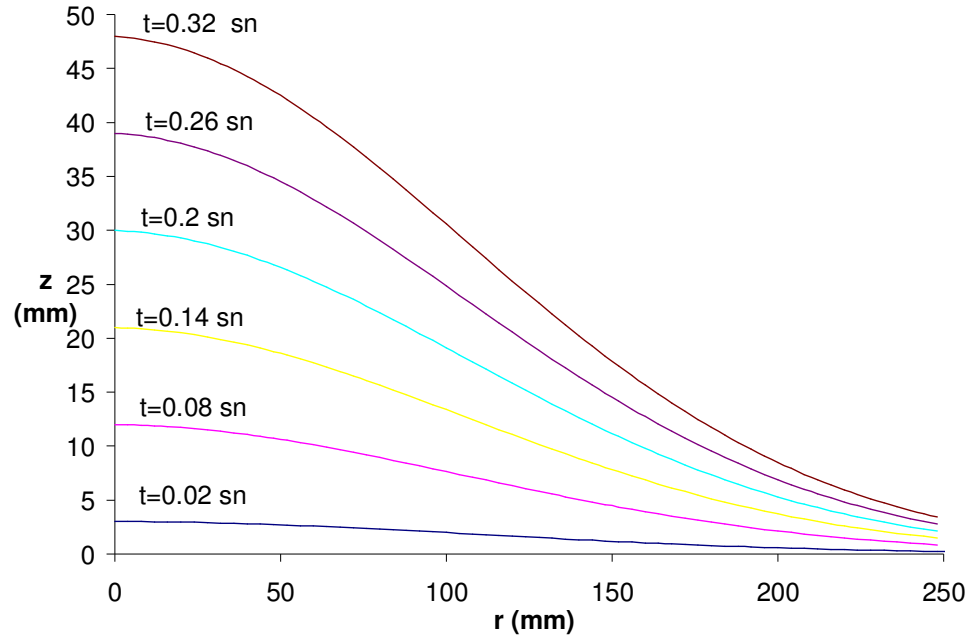
Şekil 5.14 : Damlaların relatif hızlarının mesafeye göre değişimi.



Şekil 5.15: Damlaların ısı transfer katsayılarının mesafeye göre değişimi.



Şekil 5.16 : Damlaların ısı transfer katsayılarının mesafeye göre değişimi.



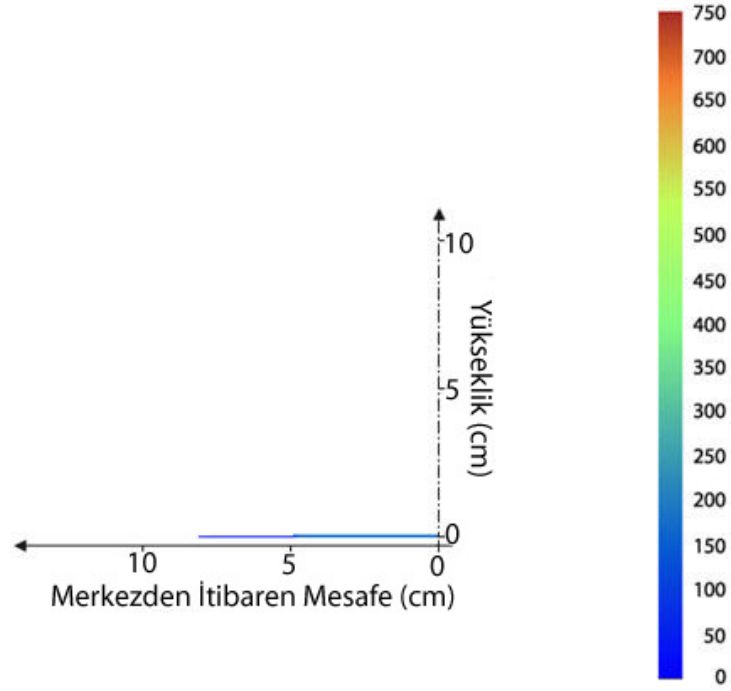
Şekil 5.17 : Osprey depozitinin şeklinin zamana göre çizimi.

5.5 Osprey Depozitinin Katılaşması

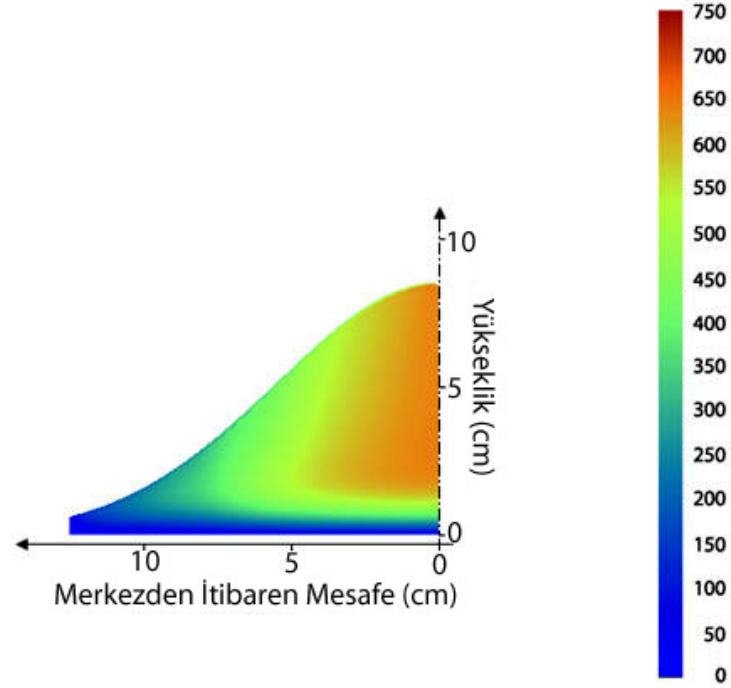
Yüzeye gelen atomize olmuş damlacıkların oluşturdukları katmanın şeklinin bilinmesi ve damlacık modelinden yüzeye gelen damlacıkların sıcaklıklarının bilinmesi ile oluşan Osprey depozitinin katılaşması hesaplanmıştır. Katılaşmanın hesaplanması sırasında bir sonraki zaman adımına geçildiğinde Osprey depoziti hesaplamada kullanılan zaman aralığında toplama yüzeyi tarafından bir miktar soğutulurken, üzerine atomize olmuş damlacıklardan oluşan bir katman eklenmektedir. Şekil 5.18’de ilk yüzeye gelen katman görülmektedir. Eklenen katman Osprey depozitini üst kısmından ısıtır. Bu işlem toplam süre içinde tekrarlanmaktadır. Kurulan modelde toplama yüzeyinin pürüzsüz olduğu ve ısı transfer katsayısının değişmediği, damlacık içerisindeki sıvının Newton sıvısı olduğu, içerisinde ısıl gradyan olmadığı kabul edilmiştir [63]. Damlalardan depozit oluşumu işlemini basitleştirmek için Osprey depozitinin soğumasında makro ısı transferi denklemleri kullanılarak sonlu farklar metodu ile bir model oluşturulmuştur. Gaz hızı 250 m/sn, kütle transfer hızı 0.025 kg/sn alınmıştır.

Osprey depozitinin işlem sırasındaki sıcaklık ve kütle akışı hesaplamalarının sonucu olan sıcaklık gradyanı grafikleri aşağıda verilmiştir. Bu hesaplamalarda kütle akışının dahil edilebilmesi için Visual Basic 6.0 ile program yazılmıştır (Ek CD). Sıcaklığın hesaplanması sonlu farklar yöntemi ile yapılmıştır.

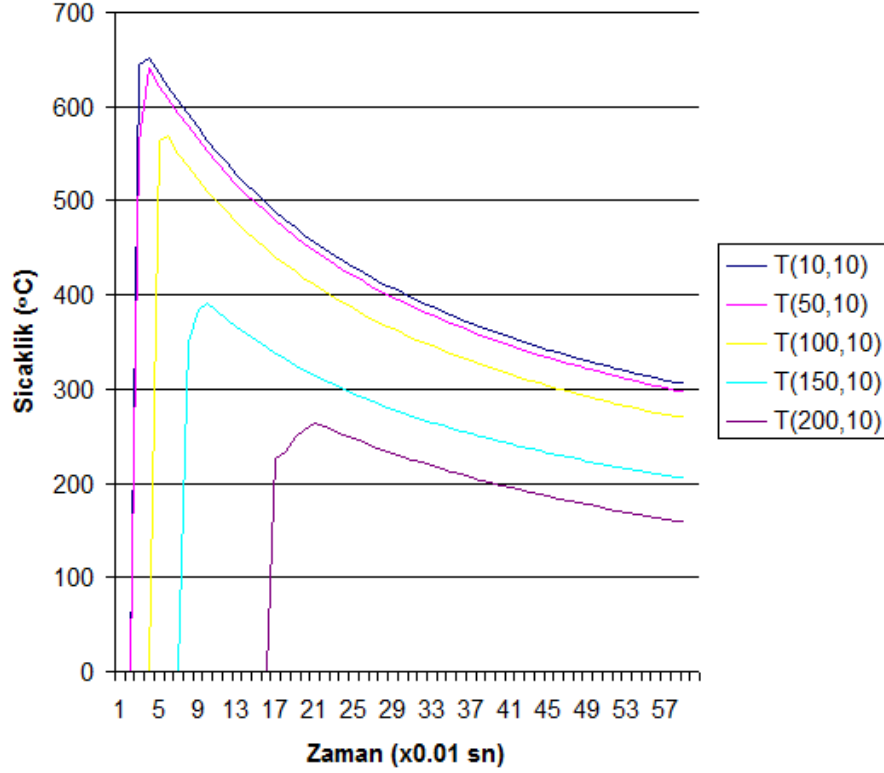
Hesaplamada yüzeye gelen metal spreyn sıcaklığı 1000 K, alt yüzeyin ısı transfer katsayısı $10 \text{ W/m}^2\text{K}$ alınmıştır [64]. Elde edilen zamana göre depozit modeli Şekil 5.18-5.19’da verilmiştir. Elde edilen verilere göre Osprey depozitinin içerisindeki ısı gradyanı grafikleri elde edilmiştir. Osprey depozitinin farklı koordinatlardaki soğuma eğrileri Şekil 5.20’de verilmiştir. Bu koordinatlar toplama yüzeyine yapışmayacak şekilde bir miktar yukarıdan hesaplama yapmak amacıyla 10 birim yukarıdan alınmıştır. Diğer koordinat ise merkezden itibaren dışarıya doğru hesaplamaları göstermektedir. Birinci saniyede bazı hesaplamaların sıfır değerini göstermesinin sebebi o bölgeye henüz atomize olmuş damlacıkların gelmemiş olmasıdır. Hesaplama yapılan koordinata atomize olmuş damlacıkların gelmesi ile sıcaklıkları artmakta ve daha sonra soğuma başlamaktadır. Osprey depozitinin soğumasının hesaplanması Ek C.3’de verilmiştir.



Şekil 5.18 : $t=0.02$ zamanındaki osprey depozitinin sıcaklık gradyanı.



Şekil 5.19 : $t=0.58$ sn zamanındaki osprey depozitinin sıcaklık gradyanı.



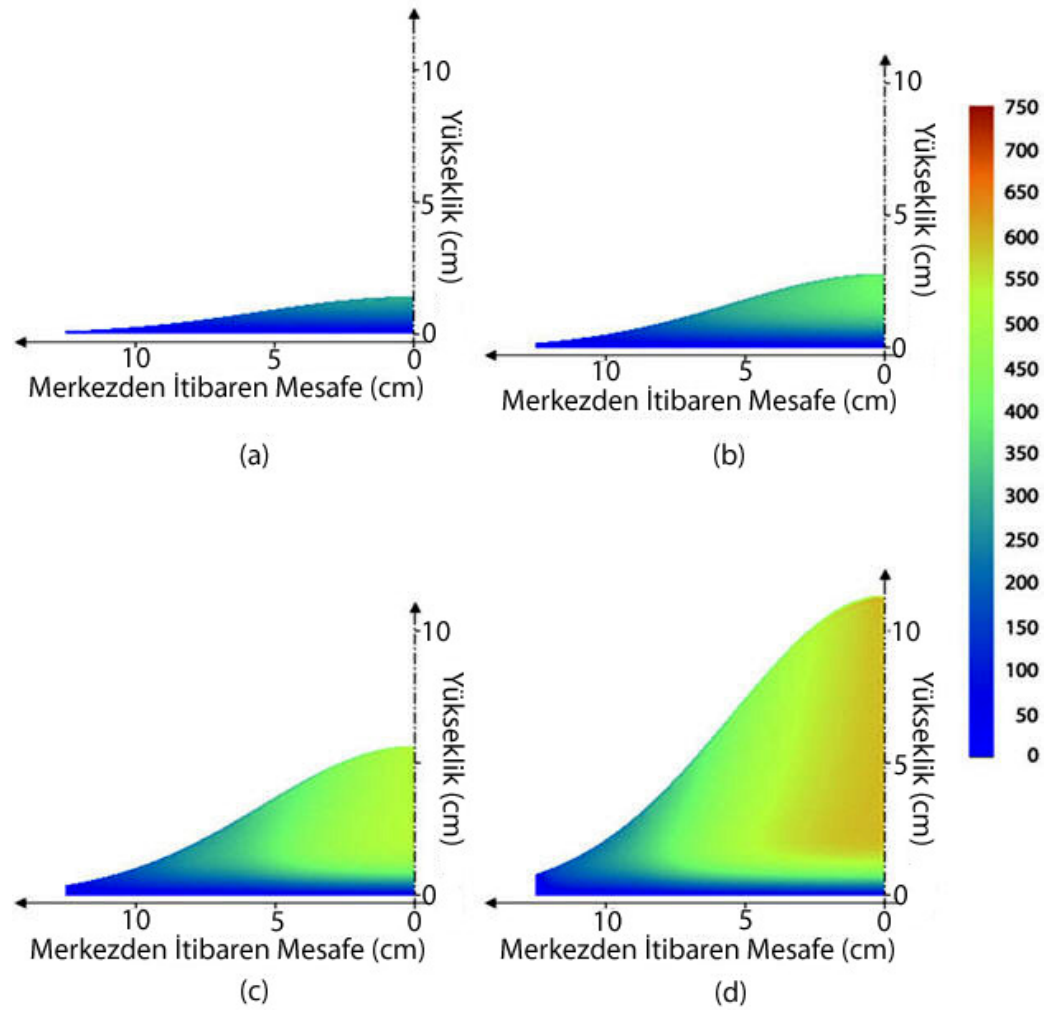
Şekil 5.20 : Osprey depozitindeki soğuma diyagramları.

Yüzeye gelen metal spreyn kütle miktarının değişiminin osprey depozitinin şekline ve soğumasına etkisi aşağıda verilmiştir. Şekil 5.21’de yüzeye gelen kütle miktarı arttıkça, depozitin üzerine gelen sıvı ve lapa damla miktarı arttığı için yeterli soğuma sağlanamamaktadır.

5.6 Damlacığın Yüzeye Çarpmasının Modellenmesi

Osprey mikroyapısının yüzeye gelen lapa damlacıklarındaki dendrit kollarının kırılması ve bir miktar ergidikten sonra yeni çekirdek merkezi olarak davranıp eş-esenli mikro yapı oluşturduğu kabul edilmektedir. Osprey depozitinin mikroyapı oluşumunu bulabilmek için lapa damlacıkların yüzeye çarpmaları ve çarpma sonucu içerisindeki dendritlerin kırılması şeffaf alaşımlarla modellenmiştir.

Dendrit kollarının kırılmasının gözlemlenebilmesi için şeffaf SCN-Aseton alaşımı ile Şekil 5.22’de gösterilen serbest düşme çalışılmıştır. SCN-Aseton alaşımının özelliklerinin Al-Cu alaşım sistemi ile karşılaştırması Çizelge 5.3’de verilmiştir [4, 65, 66].



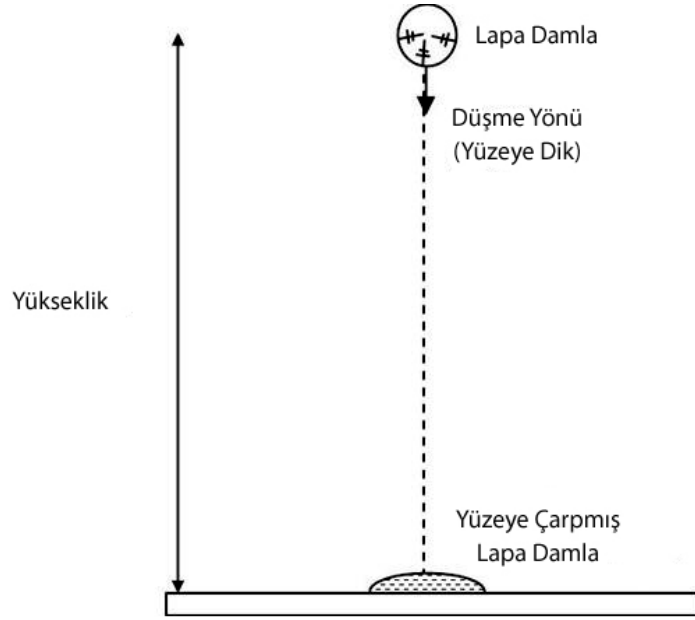
Şekil 5.21 : $t= 0.58$ sn de (a) $Do=0.5$, (b) $Do=1$, (c) $Do=2$, (d) $Do=4$ alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.3 : SCN-Aseton alaşım sistemi ile Al-Cu alaşım sisteminin karşılaştırılması.

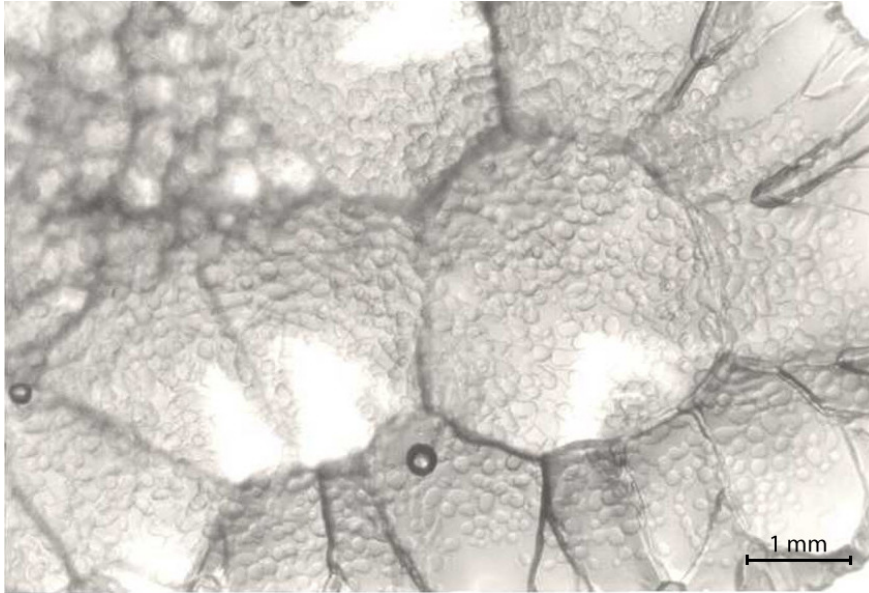
Özellikler	SCN-Aseton	Al-Cu
C_o	1.3	2
T_s	54.2	656
ΔT_o	32.8	32
m_s	-2.8	-2.6
K	0.1	0.14
D_s	1.3×10^{-9}	3×10^{-9}
$s_T = \Gamma c / \Delta h_f$	28×10^{-10}	2.5×10^{-10}
$s_c = \Gamma / m_{sc} [k-1]$	1.98×10^{-8}	2.0×10^{-8}

Katılaşma için bir çok özeliğinin bir birine yakın olduğu bu iki alaşım sisteminde likidüs ve solidüs eğrileri arasındaki fark (ΔT_o) ve likidüs eğrisinin eğiminin (m_s) benzer olmasından dolayı aynı katılaşma özellikleri gösterdikleri kabul edilmiştir.

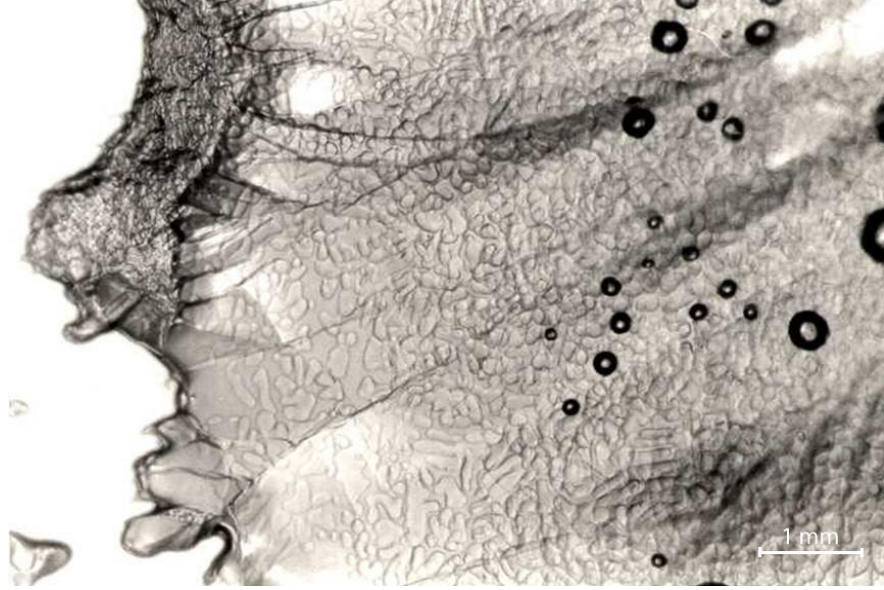
Elde edilen mikro yapı Şekil 5.23’de verilmiştir. SCN-Aseton alaşımının üzerinde kabuk halinde bir katı oluşmaktadır ve ayrıca dendritlerin damlanın ortasına doğru yoğunluğunun artmasından dolayı (Şekil 5.23) bu bölge net olarak görüntülenememiştir. Yüzeye çarpan damlanın kenar bölgelerinden alınan (Şekil 5.24) resimlerde dendrit kollarının kırıldığı görülmektedir.



Şekil 5.22 : Lapa damlanın serbest düşme ile cam yüzeyde toplanması.

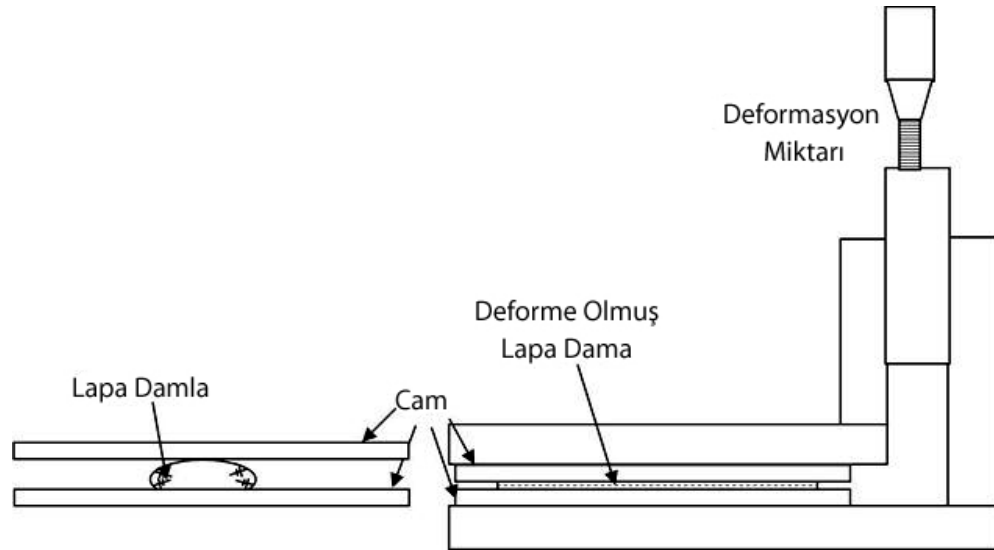


Şekil 5.23 : Serbest düşme deneyi ile elde edilen damlanın orta kısmındaki kırılmış dendrit kollar.



Şekil 5.24 : Serbest düşme deneyi ile elde edilen damlanın kenar kısmındaki kırılmış dendrit kollar.

Serbest düşme modelinde dendrit kollarının kırıldığı gözlemlenmiştir. Merkez kısmından görüntü alınamamasından dolayı çift cam deneyi yapılmıştır (Şekil 5.25). Mekanik özellikleri arasında bir benzerlik olmamasından dolayı Al-Cu damlacıkların yüzeye çaptıklarında oluşan deformasyon miktarı damlaya uygulanmıştır.

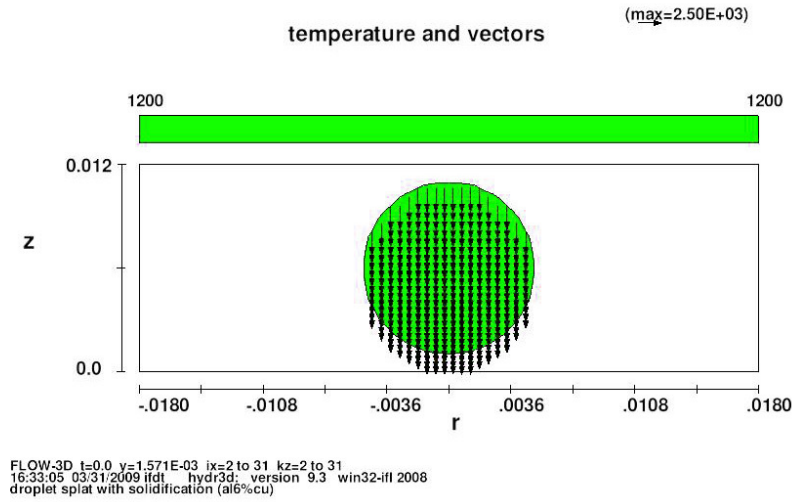


Şekil 5.25 : Lapa damlanın deformasyon oranı değiştirilerek iki cam arasında gözlemlenmesi.

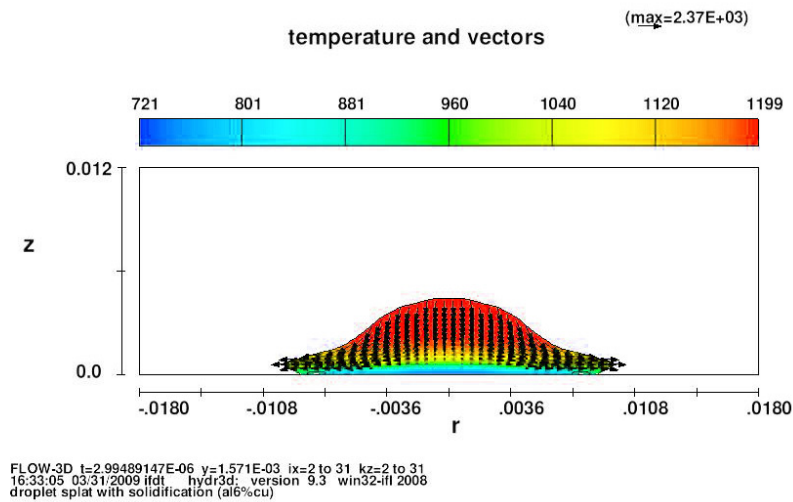
Çarpma sonucu oluşan deformasyon miktarını hesaplayabilmek için Flow-3D programı ile yüzeye çarpan Al-6Cu damlaları modellenmiştir. Damlaların yüzeye

dik geldiği kabul edilmiştir. Damlaların deformasyonunda sıvının içinde ısıl gradyanı olmadığı ve Newton sıvısı olduğu kabul edilmiştir.

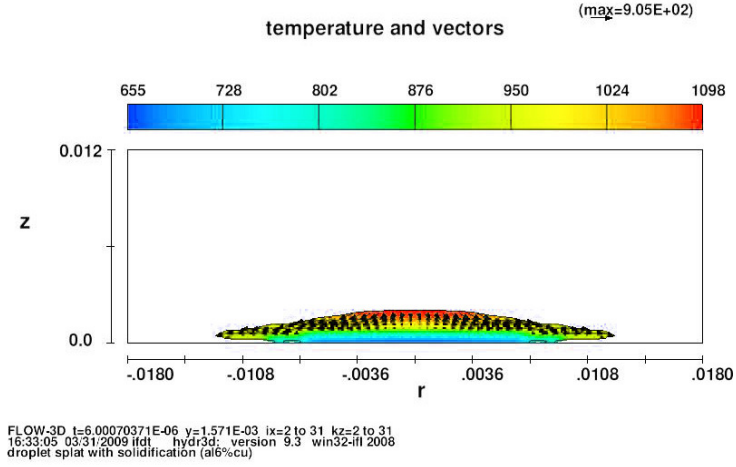
Damlacığın yüzeye çarpmasının modellenmesinde 80 μm çapındaki damlacık serbest düşme ile toplama yüzeyine çarpmaktadır. Bu model sıvı Al-6Cu damlacığının yüzeye çarptıktan sonra deformasyon oranı hesaplanmasında kullanılmıştır. İlk sıcaklık 1200 K dir. Şekil 5.26’da toplama yüzeyine çarpmadan hemen önceki damlacığın kabul edilen küresel şekli görülmektedir. Şekil 5.27’de $t=2.E^{-6}$ sn deki damlacığın şekli ve Şekil 5.28’de $t=6.E^{-6}$ sn deki damlacığın şekli görülmektedir. Sıvı metalin hızı vektörel olarak gösterilmiştir. Sıcaklığı ise renk skalası olarak belirtilmiştir.



Şekil 5.26 : $t=0$ anındaki damlacığın şekli ve ısıl gradyanı.



Şekil 5.27 : $t=2.E^{-6}$ sn anındaki damlacığın şekli ve ısıl gradyanı.



3

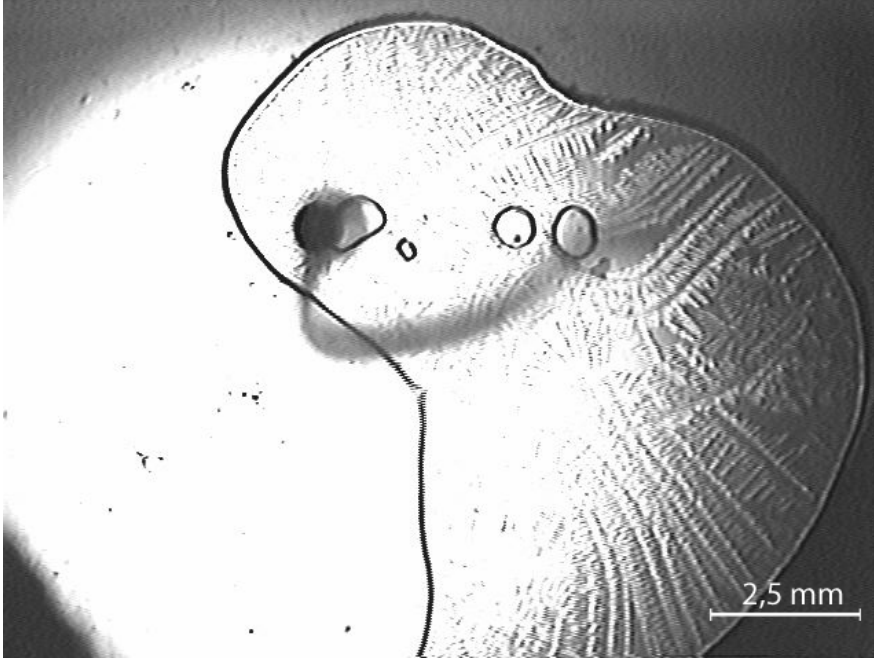
Şekil 5.28 : $t=6.E^{-6}$ sn anındaki damlacığın şekli ve ısııl gradyanı.

Şekil 5.29 ve Şekil 5.30’da deformasyon işlemi uygulanmadan önceki farklı boyutlardaki damlaların mikro yapısı görülmektedir. Yapılan çalışmalarda ikincil kolların tamamen kırıldığı tespit edilmiştir (Şekil 5.31). Birincil kolların çift cam deney düzeneğinde kırılmamasının sebebi dendritlerin iki camın arasında kalan serbest yüzeyden cam yüzeyine paralel büyümesinden kaynaklanmaktadır.

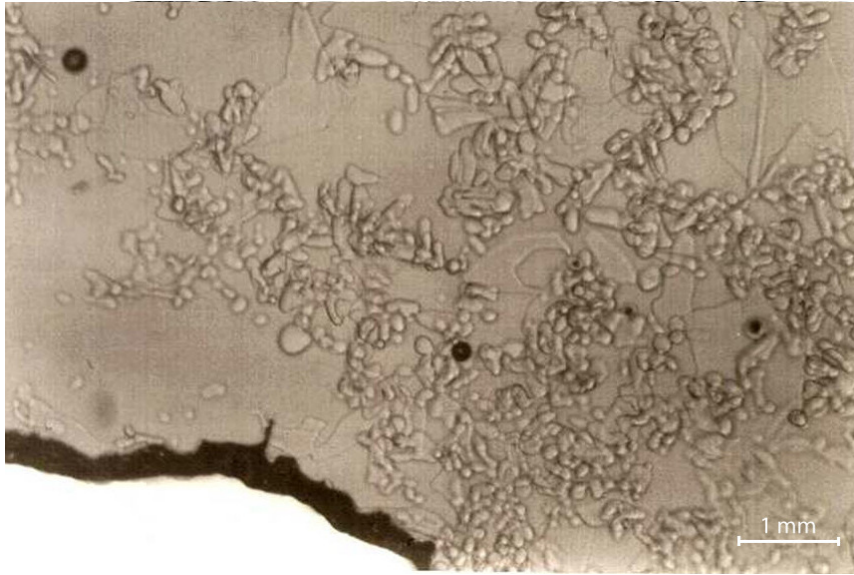


Şekil 5.29 : Deformasyon öncesinde hızlı katılaştırılmış damla.

Şekil 5.31’de deformasyon sonrası damlanın kenar kısmındaki kırılmış dendritler ve Şekil 5.32’de deformasyon sonrasında çift cam modelinde damlanın iç kısımlarında kırılmış dendritler görülmektedir.



Şekil 5.30 : Bütün damlada genel olarak dendritlere deformasyon uygulanması.



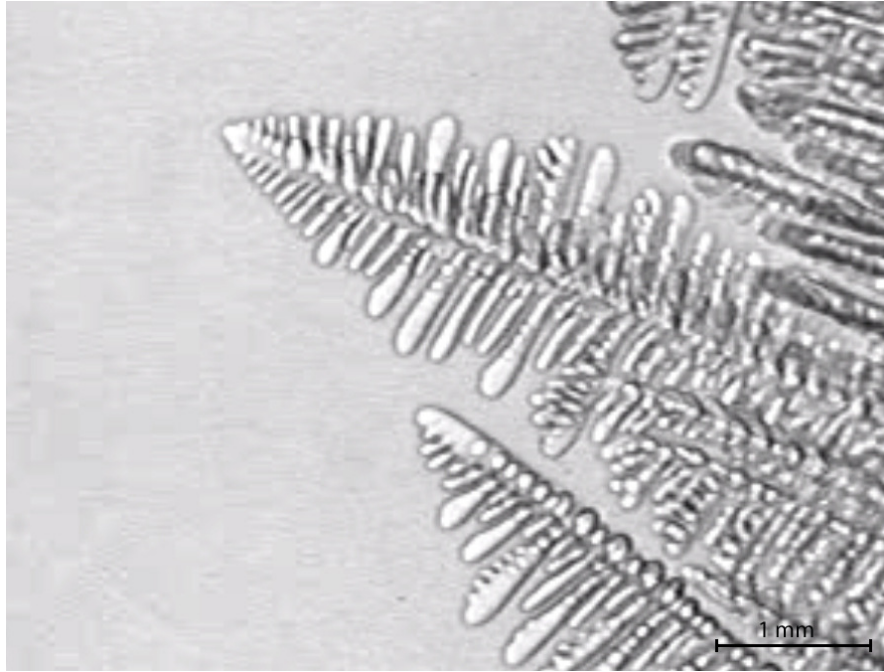
Şekil 5.31 : Serbest düşme-cam deneyinde damla toplama yüzeyine çarptıktan sonra damlanın kenar kısmındaki kırılmış dendrit kolları.

Lapa damlaların Osprey depozitinin yüzeyine veya toplama yüzeyine çarpmasıyla içlerindeki dendrit kollarının kırıldığı bulunmuştur. Kırılan dendrit kolları yüzeye gelen sıvı damlacıklarla karışıp katılma merkezi olarak davrandığı ve eş-eksenli mikroyapıyı oluşturduğu bulunmuştur.

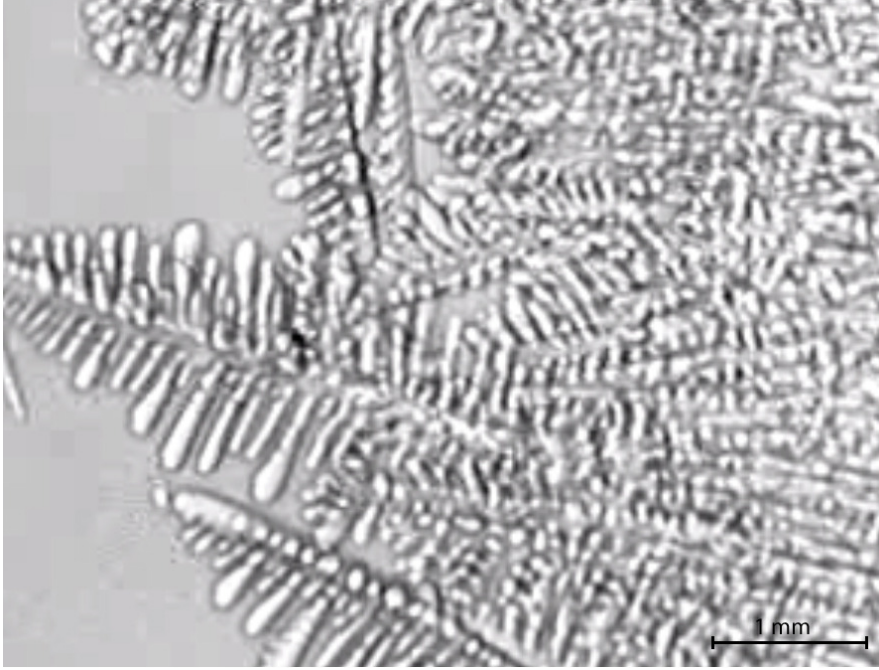
Şekil 5.33'de çift cam deneyi ile elde edilmiş dendrit vardır. Üstteki camın ikincil dendrit kollarına değmesi ile ikincil kollara kırılmıştır (Şekil 5.34). Deformasyon miktarının uygulanması ile dendrit kolları tamamen kırılmaktadır (Şekil 5.35).



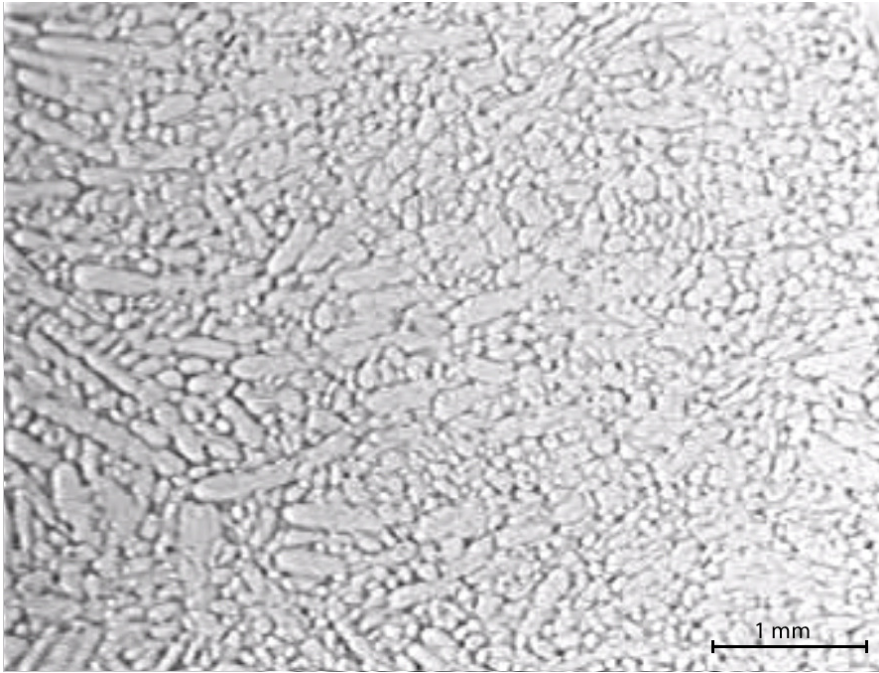
Şekil 5.32 : Serbest düşme-cam deneyinde damla toplama yüzeyine çarptıktan sonra damlanın orta kısmındaki kırılmış dendrit kolları.



Şekil 5.33 : Çift cam deneyi ile elde edilmiş dendrit kolları.



Şekil 5.34 : Çift cam deneyinde ikincil dendrit kollarının kırması.



Şekil 5.35 : Çift cam deneyinde dendrit kollarının kırması.

6. SONUÇLAR VE İRDELEME

Bu çalışmada Osprey hızlı katılaşma yönteminin bölümleri tek tek ele alınarak modellenmiş ve elde edilen sonuçlar toplam sistemdeki bir sonraki adım için giriş verisi olarak kullanılmıştır. Sistem atomizasyon nozülünün dizaynı, atomize olmuş damlacıkların havadaki uçuşları, yüzeye çarpmaları, Osprey depozitinin oluşumu ve mikroyapı oluşumu olmak üzere beş kısımda incelenmiştir.

ANSYS programında gaz akışının modellenmesi için Şekil 5.31 deki mesh sistemi kullanılmıştır. Atomizasyon nozülü dizaynında üst ve alt açılar değişken alınmıştır. Böylece 45 adet farklı açığa sahip atomizasyon nozülü incelenmiştir. Sonlu elemanlar ile hesaplama yapan ANSYS ile elde edilen nozülün ucundaki vektörel hız dağılımı grafiklerinden türbülanslı bölge elde edilen nozül dizaynları tespit edilmiştir. Atomizasyon nozülünün seçiminde en yüksek üç hız değerinin ortalaması, atomizasyon bölgesine hızın etkisi ve oluşan türbülanslı bölge göz önünde bulundurulmuştur. Sonuçlar Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2 de verilmiştir. Üst ve alt açının değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlarda gazın çıkış ağzı daralan şekilde ise sıvı metalin aktığı bölgede daha yüksek hız bölgeleri olduğu tespit edilmiştir. Özellikle alt açının 10 derece olduğu modellerde bu durum daha belirgindir. Ayrıca bu modelde türbülanslı bölgedeki hız diğer modellere göre yüksektir. Modelleme sonucunda en fazla gaz hızı üst açının 80° alt açının 10° olduğu nozüldedir. Alt açının daha yüksek değerlerinde elde edilen maksimum hız artmakla birlikte maksimum hızın olduğu bölge atomizasyon işlemi için uygun değildir. Nozülün boyutları sabit kabul edildiği için her nozül dizaynında olasılık sayısı aynı olmamaktadır. Bu yüzden üst açısı değeri değişim adedi her farklı alt açısı değeri için farklıdır. Atomizasyon işlemi sırasında sıvı metal boyutları 1µm ile 200 µm arasında değişen damlalar haline gelirler.

Atomizasyon nozülünden çıkan gazın Osprey kazanı içindeki hız dağılımının modellenmesinde noktasal jel modeli kabul edilmiştir. Bu model 1 µm ile 200 µm boyutlarındaki damlacıklar için kurulmuştur. Damlaların hızlanmaları hesaplanırken kurulan modelde damlaların küresel olduğu, küreselliğinin uçuş

sırasında değişmediği, damlalar arasında uçuş sırasında birleşme olmadığı ve çarpışmadıkları kabul edilmiştir. Damlaların uçuş hesaplamalarında doğrusal bir yol izlediği kabul edilmiştir. Gaz hızı sabit olmayıp atomizasyon nozül dizaynından elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu modele göre gaz hızı dağılımı atomizasyon nozülünden uzaklaştıkça eksponansiyel olarak azalmaktadır. Gaz hızına, yoğunluğuna ve damlanın sürüklenmesine sıcaklığın etkisinin olmadığı kabul edilmiştir. Gaz sıcaklığı sabit kabul edilmiştir. Bu kabuller altında yapılan modelde damlaların hızlanmaları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda MathCAD ve Visual Basic programları kullanılmıştır. Elde edilen gaz hız dağılımı atomize olmuş damlacıklardaki sürüklenme katsayısının hesaplanmasında ve damlacıkların hızlanmasının hesaplanmasında kullanılmıştır. Damlacıkların hızı sıfırdan itibaren gaz hızı ile birlikte artmaya başlar ve boyutuna bağlı olarak bir süre sonra gaz hızına yetişir. Bu durumda relatif gaz hızı damlacığın etrafındaki gaz hızı ile kendi hızı aynı olduğu için relatif hız ve ısı transfer katsayısı sıfırlanır. Isı transfer katsayısı sabit alınmamış damla hızına göre hesaplanmıştır. Damlaların hızlarının değişmesi ile Reynold sayısı, sürüklenme katsayısı ve konveksiyon ile olan ısı transfer katsayısı değişmektedir. Damlaların soğuması değişen ısı transfer katsayısına göre hesaplanmıştır. Damlaların soğuması sırasındaki aşırı soğumaları ve bu değere bağımlı olarak dendrit analizi, büyüme hızı ve katı oranları hesaplanmıştır. Farklı ısı transfer katsayıları ile soğuyan damlacıklar hızlı bir şekilde toplama yüzeyine çarparlar.

Uçuş modelinden elde edilen veriler toplama yüzeyine gelen damlaların boyutlarına göre sıcaklıkları, hızları, yüzeye varma süreleri ve damlalardaki katı oranlarıdır. Toplama yüzeyinin modellenmesinde uçuş modelinin verileri kullanılmıştır.

Toplama yüzeyindeki hesaplamalarda kütle akımı ve ısı transferi vardır. Kütüğün toplama yüzeyi tarafından soğutulması sırasında Osprey depozitinin üzerine sürekli olarak lapa metal tabakası ilave edilmektedir. Böylece modelde kütle miktarı zamana bağlı olarak artarken Osprey depozitinin üst yüzeyinden ısıtılan ve toplama yüzeyinden soğutulan bir model kurulmuştur. Osprey depozitinin üzerine ilave edilen kütle miktarı Osprey depoziti şekil modelinden elde edilen veriler doğrultusunda zamana bağımlı olarak eklenmektedir. Bu miktar ısı transfer

hesaplamalarında kullanılan dt miktarını şekil fonksiyonunda da kullanılarak hesaplanmıştır.

Osprey depozitinin soğuması sırasında kütle akım miktarı arttıkça yeterli soğumanın elde edilemediği gözlemlenmiştir.

Damlalardan boyutları küçük olanlar toplama yüzeyine gelinceye kadar katı oranları 1 değerini alırken boyutları büyük olan tanelerde tamamen sıvı halde olabilir. Tamamen katı taneler toplama yüzeyinde katı kısımlara gelirlirse sekerek sistemden uzaklaşırlar ve sıvı bölgelere gelirlerse sıvı fazın içine katılırlar. Lapa damlalar ise toplama yüzeyine çarptıkları zaman içlerindeki dendrit kolları kırılmakta ve sıvı fazın içerisinde çekirdek merkezleri oluşturmaktadırlar. Osprey depozitinin mikro yapısı homojen eş-eksenlidir. Bu durum dendrit kollarının toplama yüzeyine çarpma anında kırılmasından ve yine toplama kütüğüne gelmiş sıvı metal damlacıklar tarafından bir miktar eritildikten sonra kalan dendrit parçalarının çekirdek merkezi şeklinde davranarak eş-eksenli dendrit oluşturmasıyla olmaktadır. Osprey sisteminin modellenebilmesi için mikroyapının şekillendiği lapa damlaların yüzeye çarpma işlemi deneysel olarak SCN – Aseton alaşımları ile çalışılmıştır. SCN – Aseton sisteminin en önemli özelliği liküdü eğrisinin eğiminin Al – Cu alaşım sistemi ile aynı olmasıdır. Bu sayede şeffaf alaşımlarla yapılan katılaşma modelleri Al-Cu ie aynı katılaşma özelliklerine sahiptirler. Deneysel olarak şeffaf alaşım sistemi sıvı iken ışık geçirimi yüksek, katılaştığı zaman ise ışık geçirimi düşüktür. Böylece katılaşmış bölgeler görülürken sıvı kalan kısım görülmemektedir.

Yapılan deneysel çalışmalarda Osprey sistemine benzer şekilde damlaların deforme olabilmelerini sağlamak amacı ile değişik deney düzenekleri kurulmuştur. Bunlardan ilki lapa damlanın serbest düşmesini sağlanmış ve toplama yüzeyine çarptıktan sonra oluşan mikro yapı mikroskop altında incelenmiştir. Lapa damla içinde dendrit kollarının bırakma esnasında kırılmamış olduğu ve uçuş sırasında dendrit kollarının kırılmadığı kabul edilmiştir. Elde edilen mikro yapıdaki dendrit kolları tamamen kırılmıştır. Damlacıkların yüzeylerinde kabuk şeklinde bir katı tabaka oluşmaktadır ve ayrıca kırılmış dendrit kollarından dolayı şeffaflığını yitirmekte ve oluşan yapı görünmez bir hal almaktadır. Toplama yüzeyindeki mikroyapının gelişimi hakkında bir bilgi edinilemezken damlanın uçuş sonrası toplama yüzeyine çarptığındaki oluşan mikroyapıyı bu sistem göstermektedir.

Sistemin dezavantajları ise sistemin açık atmosferde olmasından dolayı aseton buharlaşması ve zaman ile damlanın konsantrasyonunun değişmesidir. Damlanın 20 cm'lik uçuş mesafesinde bileşiminin değişmesinin dendrit kollarına kırılmasının etkisi yok kabul edilmiştir.

Dendritlerin deformasyonunu gözlemleyebilmek için kurulan ikinci deney düzeneğinde lapa damla direk olarak cam plakanın üzerinde dururken ikinci bir cam plaka üzerine bırakılmıştır. Deformasyon oranı iki cam plakanın arasındaki mesafe olarak ayarlanmıştır. Bu çalışmada damlanın yüzeyinde oluşmuş olan ince katı tabaka kırıldığından damla içindeki mikro yapı daha net gözlemlenmiştir. Oluşan mikro yapı serbest düşme deney düzeneğinden elde edilen mikro yapı ile benzerdir. Bu sistemde lapa damlanın içindeki oluşmuş olan dendritler ikinci damlanın ağırlığının etkisi ile kırılmış fakat deformasyon oranı olarak belirli bir orandan daha fazla deformasyona izin verilmemiştir. Damlanın içinde oluşan dendrit sayısının fazlalığından dolayı bu sistemde de kırılma mekanizması net olarak izlenememiştir. Fakat deformasyon sonrası oluşan mikro yapı dendrit kollarının tamamen kırıldığını göstermektedir. Damlalar uçuş sırasındaki hızlarından dolayı toplama yüzeylerine çarptıkları zaman benzer bir çarpma enerjisi ile karşılaşacaklarından sistemde ki eş-eksenli dendritlerin oluşması için yeterli çekirdek miktarının dendrit kollarının kırılması ile oluştuğu kabul edilmiştir.

Dendrit kollarının kırılması anını net görebilmek için çift cam metodu ile bir deney düzeneği kurulmuştur. Kurulan sistemde iki cam arasına konulan SCN-Aseton damlacığına aşırısoğuma uygulanmış ve katılaşmanın durması için sıcaklık likidüs ve solidüs eğrilerinin arasında bırakılmıştır. Böylece sistemde katı dendritler elde edildikten sonra sistemin görülebilmesi için sıvı alışımda bulunmaktadır. Asetonun buharlaşmasını engellemek için iki camın arasına yuvarlak deforme olabilen silikon conta konulmuştur. Deformasyon işlemi için kullanılan cam plakanın hareketi bir mekanizma ile sağlanmış böylece cam plaka kendi ağırlığı ile değil istenen oranda lapa damlayı deforme edebilecek bir düzen kurulmuştur. Çarpma sonrasındaki damlacığın şeklindeki deformasyon miktarının modellenebilmesi için Flow-3D programı kullanılmıştır. Sıvı haldeki bir Al-6Cu damlacığının toplama yüzeyine çarpması ve katılaşması sırasındaki damlacığın boyut değişimi modellenmiştir. Deformasyon miktarı yaklaşık olarak %80 dir.

Kurulan deney düzeneğinde damlaya uygulanan aşırı soğuma değiştirilebilmektedir. Damla yüzeylerinden itibaren aşırı soğumanın etkisi ile hızla katılaştıktan sonra içinde tek bir katı partikül kalıncaya kadar ergitilmiştir. Bu işlem sırasında alaşım ergime noktasının çok küçük bir miktar üzerine ısıtılmış böylece katı partiküllerin ergimesi mikroskop altında izlenebilmiştir. Kalan son partikül tamamen ergitilmemiş ve sıcaklık banyolarından soğuk olan devreye sokularak sistem soğumaya bırakılmıştır. Böylece tek bir tane üzerinden büyüyen dendrit üzerinde oluşan ikincil kollarla birlikte deformasyon uygulandığında dendrit kollarının kırılması incelenmiştir. Dendrit kollarının kırılması için ikinci cam levhanın dendrit kollarına dokunması yeterlidir. Deformasyon miktarının ayarlanmasının modellemede bir etkisi olmamıştır. Mekanik özelliklerinin Al – 4.5Cu’dan farklı olmasından dolayı kırılma mekanizmasında bir benzerlik kurulamamıştır. Fakat dendrit kollarının kırılıp sistemde dağılması Osprey sisteminde de yüzeye çarpan damlacıkların içindeki dendrit kollarının kırılıp toplama yüzeyindeki sıvı metal damlacıkların içinde dağıldığını göstermektedir.

7. GENEL SONUÇLAR

Atomizasyon işlemi ile elde edilen damlacıklarda dendritik mikroyapı olduğu halde Osprey hızlı katılaşma yöntemi ile eş-eksenli bir mikro yapı elde edilmektedir. Sistem atomizasyon nozülünün dizaynı, atomize olmuş damlacıkların havadaki uçuşları, yüzeye çarpmaları, Osprey depozitinin oluşumu ve mikroyapı oluşumu olmak üzere beş kısımda incelenmiştir.

Sistemin modellenmesinde Visual Basic 6.0, MathCAD 2000, AutoCAD 2000, Flow-3D ve ANSYS 9.0 kullanılmıştır.

MathCAD ve Visual Basic programı geometrik ve ısı transfer hesaplamalarında kullanılmıştır. AutoCAD nozül dizaynlarındaki teknik resimlerin ve değişen nozül dizaynlarında koordinatların tespiti için kullanılmıştır. Atomizasyon nozülündeki gaz hızı hesaplamalarında Ansys, atomize olmuş damlacıkların yüzeye çarpmalarının hesaplanmasında Flow-3D kullanılmıştır.

Atomizasyon nozülü dizaynında üst ve alt açılar değişken alınmıştır. Böylece 45 adet farklı açığa sahip atomizasyon nozülü incelenmiştir. Elde edilen atomizasyon hızı dağılımı ve maksimum hızın olduğu bölgeler göz önünde bulundurularak seçim yapılmıştır. Atomizasyon işlemi sırasında sıvı metal boyutları 1 μ m ile 200 μ m arasında değişen damlalar haline gelir. Uçuş ve soğuma modeli bu aralıktaki damlacıkları kapsayacak şekilde kurulmuştur.

Atomizasyon nozülünde parçalanan sıvı metalin Osprey kazanı içerisindeki hareketini hesaplayabilmek için gaz hızının Osprey kazanı içerisindeki hız dağılımı hesaplanmış ve buna göre atomize olmuş damlacıkların boyutlarına göre hız grafikleri elde edilmiştir.

Damlaların uçuş hesaplamalarında doğrusal bir yol izlediği kabul edilmiştir. Gaz hızı sabit olmayıp atomizasyon nozül dizaynından elde edilen veriler kullanılmıştır. Buna göre gaz hızı eksponansiyel bir fonksiyon ile atomizasyon nozülü ağzından çıktıktan sonra azalmaktadır. Isı transfer katsayısı sabit alınmamış damla hızına göre hesaplanmıştır. Damlaların hızlarının değişmesi ile

Reynold sayısı, sürüklenme katsayısı ve konveksiyon ile olan ısı transfer katsayısı değişmektedir. Damlaların soğuması değişen ısı transfer katsayısına göre hesaplanmıştır. Damlaların soğuması sırasındaki aşırı soğumaları ve bu değere bağımlı olarak dendrit analizi, büyüme hızı ve katı oranları hesaplanmıştır.

Uçuş modelinden elde edilen veriler toplama yüzeyine gelen damlaların boyutlarına göre sıcaklıkları, hızları, yüzeye varma süreleri ve damlalardaki katı oranlarıdır. Toplama yüzeyinin modellenmesinde uçuş modelinin verileri kullanılmıştır.

Toplama yüzeyine gelen damlacıklar Osprey depozitini oluştururken toplama yüzeyinin üstünden kütle transferi ile zamana bağlı olarak kütlesi artarken aynı zamanda üst kısımda zaman bağımlı yüzeye gelen damlacıkların ısısı ile ısı transferi ve toplama yüzeyinin alt kısmından soğutulması ile ikinci bir ısı transferine göre sistem modellenip Osprey depozitinin soğuması hesaplanmıştır.

Osprey sisteminin modellenebilmesi için mikroyapının şekillendiği lapa damlaların yüzeye çarpma işlemi deneysel olarak SCN – Aseton alaşımları ile çalışılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda Osprey sistemine benzer şekilde damlaların deforme olabilmelerini sağlamak amacı ile değişik deney düzenekleri kurulmuştur. Serbest düşme ve çift cam deneyleri ile dendrit kollarının kırılması gözlemlenmiştir. Bu kırılmaların yeni çekirdekleşme merkezleri oluşturacakları düşünülmüştür. SCN – Aseton sisteminin en önemli özelliği alaşım sistemi sıvı iken ışık geçirimi yüksek katılaştığı zaman ise ışık geçirimi düşüktür. Böylece katılaşmış bölgeler görülürken sıvı kalan kısım görülmemektedir.

Lapa damlanın serbest düşmesini sağlanmış ve toplama yüzeyine çarptıktan sonra oluşan mikro yapı mikroskop altında incelenmiştir. Lapa damla içinde dendrit kollarının bırakma esnasında kırılmamış olduğu ve uçuş sırasında dendrit kollarının kırılmadığı kabul edilmiştir. Toplama yüzeyine çarpan damlacığın içindeki dendrit kolları tamamen kırılmıştır. Bununla birlikte yapının içinde çok fazla kırılmış dendrit kolu bulunduğundan sistem şeffaflığını yitirmekte ve oluşan yapı damlacığın orta kısımlarında görünmez bir hal almaktadır. Damlanın uçuş sonrası toplama yüzeyine çarptığındaki oluşan mikroyapıyı bu sistem göstermektedir. Sistemin dezavantajları ise sistemin açık atmosferde olmasından dolayı aseton buharlaşması ve zaman ile damlanın konsantrasyonunun

değişmesidir. Damlanın 20 cm'lik uçuş mesafesinde bileşiminin değişmesinin dendrit kollarına kırılmasının etkisi yok kabul edilmiştir.

Dendritlerin deformasyonunu gözlemleyebilmek için kurulan ikinci deney düzeneğinde lapa damla direkt olarak cam plakanın üzerinde dururken ikinci bir cam plaka üzerine bırakılmıştır. Deformasyon oranı iki cam plakanın arasındaki mesafe olarak ayarlanmıştır. Bu çalışmada damlanın yüzeyinde oluşmuş olan ince katı tabaka kırıldığından damla içindeki mikro yapı daha net gözlemlenmiştir. Oluşan mikro yapı serbest düşme deney düzeneğinden elde edilen mikro yapı ile benzerdir. Bu sistemde lapa damlanın içindeki oluşmuş olan dendritler ikinci damlanın ağırlığının etkisi ile kırılmış fakat deformasyon oranı olarak belirli bir orandan daha fazla deformasyona izin verilmemiştir. Damlanın içinde oluşan dendrit sayısının fazlalığından dolayı bu sistemde de kırılma mekanizması net olarak izlenememiştir. Fakat deformasyon sonrası oluşan mikro yapı dendrit kollarının tamamen kırıldığını göstermektedir. Damlalar uçuş sırasındaki hızlarından dolayı toplama yüzeylerine çarptıkları zaman benzer bir çarpma enerjisi ile karşılaşacaklarından sistemde ki eş-eksenli dendritlerin oluşması için yeterli çekirdek miktarının dendrit kollarının kırılması ile oluştuğu kabul edilmiştir.

Değiştirilen sistemde yine iki cam sistemi kullanılmıştır. Asetonun buharlaşmasını engellemek için iki camın arasına yuvarlak deforme olabilen silikon conta konulmuştur. Deformasyon işlemi için kullanılan cam plakanın hareketi bir mekanizma ile yapılmış böylece cam plaka kendi ağırlığı ile değil istenen oranda lapa damlayı deforme edebilecek bir düzen kurulmuştur. Kurulan deney düzeneğinde damlaya uygulanan aşırı soğuma değiştirilebilmektedir. Damla yüzeylerinden itibaren aşırı soğumanın etkisi ile hızla katılaştıktan sonra içinde tek bir katı partikül kalıncaya kadar ergitilmiştir. Bu işlem sırasında alaşım ergime noktasının çok küçük bir miktar üzerine ısıtılmış böylece katı partiküllerin ergimesi mikroskop altında izlenebilmiştir. Kalan son partikül tamamen ergitilmemiş ve sıcaklık banyolarından soğuk olan devreye sokularak sistem soğumaya bırakılmıştır. Böylece tek bir tane üzerinden büyüyen dendrit üzerinde oluşan ikincil kollarla birlikte deformasyon uygulandığında dendrit kollarının kırılması incelenmiştir. Dendrit kollarının kırılması için ikinci cam levhanın dendrit kollarına dokunması yeterlidir. Deformasyon miktarının ayarlanmasının

modellemede bir etkisi olmamıştır. Fakat damlaların toplama yüzeyine çarptıkları anda içlerindeki dendrit kollarının tamamen kırıldığını göstermektedir.

Sistemin dezavantajı ise ikincil dendrit kollarının deformasyon uygulayacak olan cam yüzeyine değip değmediği bilinmemektedir. Ancak oluşan mikroyapıdan dendrit kollarının toplama yüzeyine çarpmaları durumunda kırılmaları ve yeni dendrit merkezi oluşturdıkları bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] **Shi, S. and Hwang, J-Y.**, 2003: "Plasma spray fabrication of near-net-shape ceramic objects", *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, Vol. **2**, No.2, pp. 145-150
- [2] **Altınoğlu, A.**, 1984: "Kararlı Şartlarda Kontrollü Katılaştırılmış Zn + %4Al (Cu, Fe ve Mg ilaveli) Alaşımlarda Mikroyapı ve Bileşen Dağılımı", *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Kimya – Metalurji Fakültesi
- [3] **Flemings, M. C.**, 1974: "Solidification Processing", *Mc GrawHill*
- [4] **Kurz, W. and Fisher, D.J.**, 1986: "Fundamentals of Solidification", *Trans Tech Publication*, Aedermannsdorf, Switzerland
- [5] **Çavuşoğlu, E.**, 1975: "%1 Magnezyumlu Alüminyum Alaşımlarında %0.05-%0.5 Oranlarında İlave Edilen Tranzisyon Metallerinin Katılma Esnasındaki Dağılımları ve Bunların Manganez Çözünürlüğüne Etkileri", *Doçentlik Tezi*, İ.T.Ü. Maden Fakültesi
- [6] **Sharp, R. M., and HELLAWELL, A.**, 1970: "Solute Distributions at Non Planar Solid-Liquid Grown Fronts" *Journal of Crystal Growth*, Vol. **6**, pp. 253-334
- [7] **Cohen, M., Flemings, M.C.**, 1985: "Rapidly Solidified Crystalline Alloys", *TMS Conference*, pp. 21-58
- [8] **Etz, T., Palmer, G.**, 1982: "Advanced P/M Aluminum Alloys" Advanced in Powder Technology Papers Presented at the 1981 ASM Materials Science. Seminar Louisville, Kentucky 10-11 October 1981, *American Society for Metals*, pp. 189-224
- [9] **Mates, S.P., Settles, G.S.**, 2005: "A study of liquid atomization using close-coupled nozzles", *Atomization and Sprays*, Vol. **15**, pp. 19-60
- [10] **Lawley, A.**, 1988: "Trends in Atomization and Consolidation of Powders for High-Temperature Aerospace Materials", MICON 86, Optimization of Processing, Properties, and Service Performance Through Microstructural Control, *ASTM*, STP 979, pp. 183-201, ISBN 0-8031-0985-7
- [11] **Hariprasad, S., Sastry, S.M.L.**, 1995: "Processing Maps for Optimising Gas Atomization and Spray Deposition", *JOM Minerals Metals Materials*, October, pp. 56-59
- [12] **Fuxiao, Y., Jianzhong, C., Ranganathan, S., Dwarakadasa, E.S.**, 2001: "Fundamental Differences Between Spray Forming and Other Semisolid Process", *Materials Science and Engineering A*, 304-306, pp. 621-626

- [13] **Figliola, R.S., Anderson, I.E., Molnar, D., and Morton, H.**, 1989: "Flow Mechanisms Affecting Rapid Solidification In High Pressure Gas Atomization" , The Winter Annual Meeting of the American Society of Mechanical Engineers, San Francisco, California, December, 10-15
- [14] **Allimant, A., Planche, M.P., Bailly, Y., Dembinski, L., Coddet, C.**, 2009: "Progress in Gas Atomization of Liquid Metals by Means of a De Naval Nozzle" *Powder Technology*, Vol. **190**, pp. 79-83
- [15] **Tong, M., Browne, D.**, 2008: "Direct Numerical Simulation of Melt-Gas Hydrodynamic Interactions During the Early Stage of Atomisation of Liquid Intermetallic" *Journal of materials Processing Technology*, Vol. **202**, pp. 419-427
- [16] **Siamas, G.A., Jiang, X., Wrobel, L.C.**, 2009: "Dynamics of annular gas-liquid two-phase swirling jets", *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. **35**, Issue 5, May, pp. 450-467
- [17] **Ting, J., Anderson, I.**, 2004: "A computational fluid dynamics (CFD) investigation of the wake closure phenomenon", *Materials Science and Engineering A*, Vol. **379**, pp. 264-276
- [18] **Markus, S., Fritsching, U., Bauckhage, K.**, 2002: "Jet Break Up of Liquid Metal in Twin Fluid Atomisation", *Materials Science and Engineering A*, Vol. **326**, pp. 122-133
- [19] **Lebas, R., Menard, T., Beau, P.A., Berlemont, A.**, 2009: F.X. Demoulin, "Numerical Simulation of Primary Break-Up and Atomization: DNS and Modelling Study", *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. **35**, pp. 247-260
- [20] **Ünal, A.**, 1990: "Production of Rapidly Solidified Aluminium Alloy Powders by Gas Atomisation and Their Applications", *Powder Metallurgy*, Vol. **33**, No. 1, pp. 53-64
- [21] **Zeoli, N., Gu, S.**, 2008: "Computational validation of an isentropic plug nozzle design for gas atomisation", *Computational Materials Science*, Vol. **42**, pp. 245-258
- [22] **Grant, P.S., and Cantor, B.**, 1995: "Modelling of Droplet Dynamic and Thermal Histories During Spray Forming – III. Analysis of Spray Solid Fraction", *Acta Metall Mater*, Vol. **43**, No.3, pp. 913-921
- [23] **Grant, P.S., and Cantor, B.**, 1991: "Modelling of Spray Forming", *Cast Metal*, Vol **4**, Number 3, pp. 140-151
- [24] **Anderson, I.E., Terpstra, R.L.**, 2002: "Progress toward gas atomization processing with increased uniformity and control", *Materials Science and Engineering*, A326, pp. 101-109
- [25] **Atias, M., and Weighs, D.**, "On the Motion of Spray Drops in the Wake of an Agricultural Aircraft", *Atomization and Spray Technology*, ISSN: 0266-3481, pp. 21-36

- [26] **Delplanque, J.-P., Cai, W.D., Rangel, R.H., and Lavernia, E.J.**, 1997: "Spray Atomization and Deposition of Tantalum Alloys", *Acta Mater*, Vol. **45**, pp. 5233-5243
- [27] **Wan, Y. P., Zhang, H., Jiang, X.Y., Sampath, S., Prasad, V.**, 2001: "Role of solidification, Substrate Temperature and Reynolds Number on Droplet Spreading in Thermal Spray Deposition: Measurements and Modeling", *Transactions of ASME*, Vol. **123**, pp. 382-389
- [28] **Apelian, D., and Mathur, P.**, 1991: "Evolution of the Solidification Structure During Spray Deposition (Osprey™ Process)", *Indian Metallurgical Society*, pp. 631-654
- [29] **Anderson, I. E., and Trivedi, R.**, 1990: "Controlled Rapid Solidification of Alloy Powders", *Intelligent Processing of Materials*, Vol. **MD-21**, pp. 63-77, edited by H. P. Wang, ASME, New York, NY
- [30] **Long-Sun, C., and Wu-Chang, D.**, 1999: "Macro-Micro Modelling of Solidification", *Proc. Natl. Sci., Counc. ROC(A)*, Vol. **23**, Number 5, pp. 622-629
- [31] **Anderson, I.E., and Trivedi, R.**, "Controlled Rapid Solidification of Alloy Powders", *AMES Laboratory US-DOE and Department of Materials Science and Engineering*, Iowa State University, Ames, Iowa
- [32] **Hofmeister, W., and Bayuzick, R. J.**, 1998: "Observation of Thermal Profiles During Impact and Solidification of Ni-Cr Droplets", Solidification, *The Minerals, Metals & Materials Society*
- [33] **Liu, R.P., Volkmann, T., and Herlach, D.M.**, 2001: "Undercooling and Solidification of Si by Electromagnetic Levitation", *Acta Mater*. Vol. **49**, pp. 439-444
- [34] **Levi, C.G., Mehrabian, R.**, 1982: "Microstructure of Rapidly Solidified Aluminum Alloy Submicron Powders", *Metallurgical Transactions A*, Vol. **13A**, pp. 13-23
- [35] **Clyne, T.W.**, 1984: "Numerical Treatment of Rapid Solidification", *Metallurgical Transaction B*, Vol. **15B**, pp. 369-381
- [36] **Levi, C.G.**, 1988: "The Evolution of Microcrystalline Structures in Supercooled Metal Powders", *Metallurgical Transaction A*, Vol. **19A**, pp. 699-708
- [37] **Wang, G.-X., Prasad, V.**, 1997: "Nonequilibrium Phenomena in Rapid Solidification: Theoretical Treatment For Process Modelling", *Microscale Thermophysical Engineering*, Vol. **1**, pp. 143-157
- [38] **Shukla, P., Mandal, R.K., and Ojha, S.N.**, 2001: "Non-equilibrium solidification of undercooled droplets during atomization process", *Bull. Mater. Sci.*, Vol. **24**, No. 5, pp. 547-554.
- [39] **Shukla, P., Mandal, R.K., and Ojha, S.N.**, 2001: "Microstructural modifications induced by spray forming of Al-Cu alloys", *Materials Science and Engineering A*, 304-306, 583-586

- [40] **Fritsching, U.**, 2004: "Spray Simulation - Modelling and Numerical Simulation of Sprayforming Metals" *Cambridge University Simulation Press, Cambridge, UK*, pp. 11-17
- [41] **Hattel, J.H., Pryds, N.H.**, 2006: "Modelling the influence of the gas to melt ratio on the solid fraction of the surface in spray formed billets", *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. **14**, pp. 1087-1099
- [42] **Pan, H., Sparks, T., Thakar, Y.D., Liou, F.**, 2006: "The Investigation of Gravity-Driven Metal Powder Flow in Coaxial Nozzle for Laser-Aided Direct Metal Deposition Process", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, MAY, Vol. **128**, pp. 541-553
- [43] **Mathur, P., Annavarapu, S., Apelian, D. and Lawley, A.**, 1991: "Spray casting: an Integral model for process understanding and control", Department of Materials Engineering, Drexel University, Philadelphia, PA 19104 (USA), *Materials Science and Engineering A*, Vol. **142**, pp. 261-276
- [44] **Kramer, C., Uhlenwinkel, V., and Bauckhage, K.**, 1998: "Spray Forming: The Sticking Efficiency and Its dependency on affecting parameters", Solidification, *The Minerals, Metals & Materials Society*
- [45] **Zhou, Y., Wu, Y., and Lavernia, E. J.**, 1997: "Process modeling in spray deposition: A review", *International Journal of Non-Equilibrium Processing*, Vol. **10**, pp. 95-183
- [46] **Kramer, C., Uhlenwinkel, V., and Bauckhage, K.**, 1998: "Spray forming: The Sticking Efficiency and Its Dependency on Affecting Parameters", *University of Bremen, SFB 372 "Sprühkompaktieren"*, Badgasteiner Str. 3, D-28359 Bremen.
- [47] **Barkhudarov, M.R., and Hirt, C.W.**, 1996: "Thixotropic Flow Effect Under Conditions of Strong Shear", Presented at the "Materials Week '96" *TMS Conference*, Cincinnati, Ohio, 7-10 October
- [48] **Li, G., Wang, X., Li, W.**, 2007: "Effect of different incidence angles on bonding performance in cold spraying", *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, Vol. **17**, pp. 116-121
- [49] **J. Fang, L. Wang, W. Xu, Z. Zhao**, "Numerical simulation of splat formation dynamics in plasma spray forming", *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* Vol. **17**, 2007, pp. 41-45
- [50] **Kamnis, S., and Gu S.**, 2005: "Numerical modelling of droplet impingement", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, Vol. **38**, pp. 3664–3673
- [51] **Ivosevic, M., Gupta, V., Cairncross, R.A., Twardowski, T. E., Knight, R., Baldoni, J.A.**, 2006: "Effect of Substrate Roughness on Splatting Behavior of HVOF Sprayed Polymer Particles: Modeling and Experiments", *International Thermal Spray Conference – ITSC-2006* Seattle, Washington, U.S.A., May

- [52] **Clarksean, R., Marongiu, M.J.**, 1997: "A Modelling Technique to Analyze The Applicaiton of Thermal Spray Coatings", *HTD-Vol. 347, National Heat Transfer Conference*, Vol. **9**, ASME
- [53] **Acquaviva, P., Chen, C., Chun, J., Ando, T.**, 1997: "Thermal Modelling of Deposit Solidification in Uniform Droplet Spray Forming", *Transactions of ASME*, Vol. **119**, August, pp. 332-340
- [54] **Poulikakos, D.**, *Solution Methods of Discretized Heat Conduction Models, Conduction Heat Transfer*, ISBN 0-13-175845-4, pp. 280-293
- [55] **Jones, H.**, 1984: "Microstructure of Rapidly Solidified Materials", *Materials Science and Engineering*, Vol. **65**, pp. 145-156
- [56] **Lavernia, E. J., and Wu, Y.**, 1991: "Synthesis in the Semi-Solid State Using Spray Atomization and Deposition, Nature and Properties of Semi Solid Materials", *The Minerals, Metals & Materials Society*, pp. 201-229
- [57] **Tuffile, C.D., Ando, T., Chun, J-H.**, 1998: "Characterization of the In-flight Solidification of Sn-Pb Uniform Droplets", *Solidificaiton, 1998, Minerals, Metals & Materials Society*, pp. 359-371
- [58] **Trapaga, G., Mathys, E.F.**, 1992: "J.J. Valencia, and J.Szekely, Fluid Flow, Heat Transfer, and Solidification of Molten Droplets Impinging on Substrates: Comparison of Numerical and Experimental Results", *Metallurgical Transactions B*, Vol. **23B**, December, pp. 701-717
- [59] **San Marchi, C., Liu, H., Lavernia, E.J., Rangel, R.H.**, 1993: "Numerical Analysis of the Deformation and Solidification of a Single Droplet Impinging onto a Flat Substrate", *Journal of Materials Science*, Vol. **28**, pp. 3313-3321
- [60] **Mehdizadeh, N.Z., Chandra, S., Mostaghimi, J.**, 2001: "Splashing of a Small Molten Tin Droplet Impinging on a Solid Surface at High Velocity", *35th National Heat Transfer Conference*, Anaheim, California, June, pp. 10-12
- [61] **Aziz, S.D.**, 1998: "Impact Velocity and Surface Temperature Effects on the Collision of a Molten Tin Droplet an a Solid Surface", *Ms. Sci. Thesis*, Mechanical and Industrial Engineering in the University of Toronto
- [62] **Yu H., Tandon, K.N., and Cahoon, J.R.**, 1997: "Solidification of Hypereutectic Al-38 Wt Pct Cu Alloy in Microgravity and Unit Gravity", *Metallurgical and Materials Transactions A*, Vol. **28A**, May, pp. 1245-1250
- [63] **Zhang, H., Wang, X.Y., Zheng, L.L., Sampath, S.**, 2004: "Numerical simulation of nucleation, solidification, and microstructure formation in thermal spraying", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. **47**, pp. 2191-2203
- [64] **Ottesen, P.**, 1993: "Numerical Simulation of Spray Forming", *Ph.D. Thesis*, Technical University of Denmark, TM 93.27

- [65] **Chopra, M.A., Glicksman, M.E., and Singh, N.B.**, 1988: “Measurement of the diffusion coefficient of acetone in succinonitrile at its melting point”, *NASA Center: Glenn Research Center*, Accession Number: 89A23488; Document ID: 19890036117
- [66] **Farup, I., Derezet, J.M., and Rappaz, M.**, 2001: “In Situ Observation of Hot Tearing Formation in Succinonitrile-Acetone”, *Acta Mater.*, Vol. **49**, pp. 1261-1269

EKLER

EK A : ANSYS ile atomizasyon nozülü dizaynında kullanılan teknik resimler

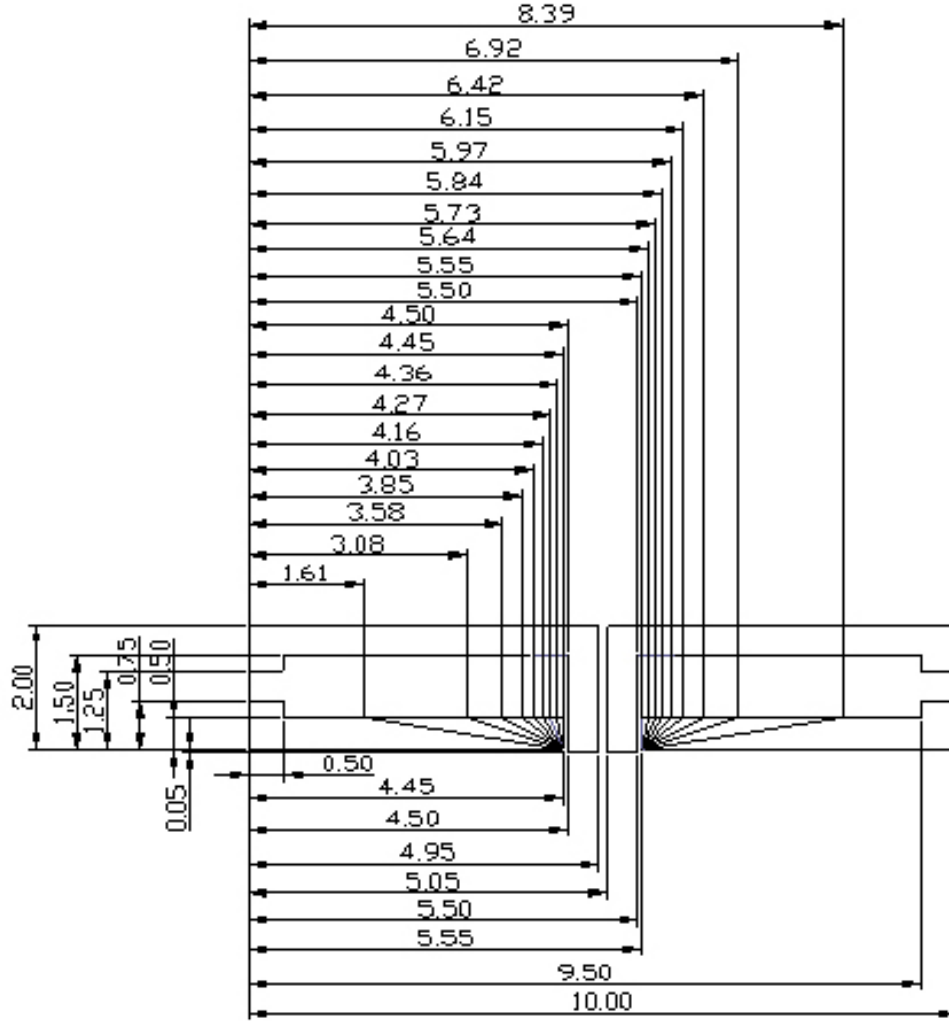
EK B : ANSYS çözümleri

EK C.1 : Gaz hızı ve damlacıkların hızlanmasının hesaplanması (CD verilmiştir)

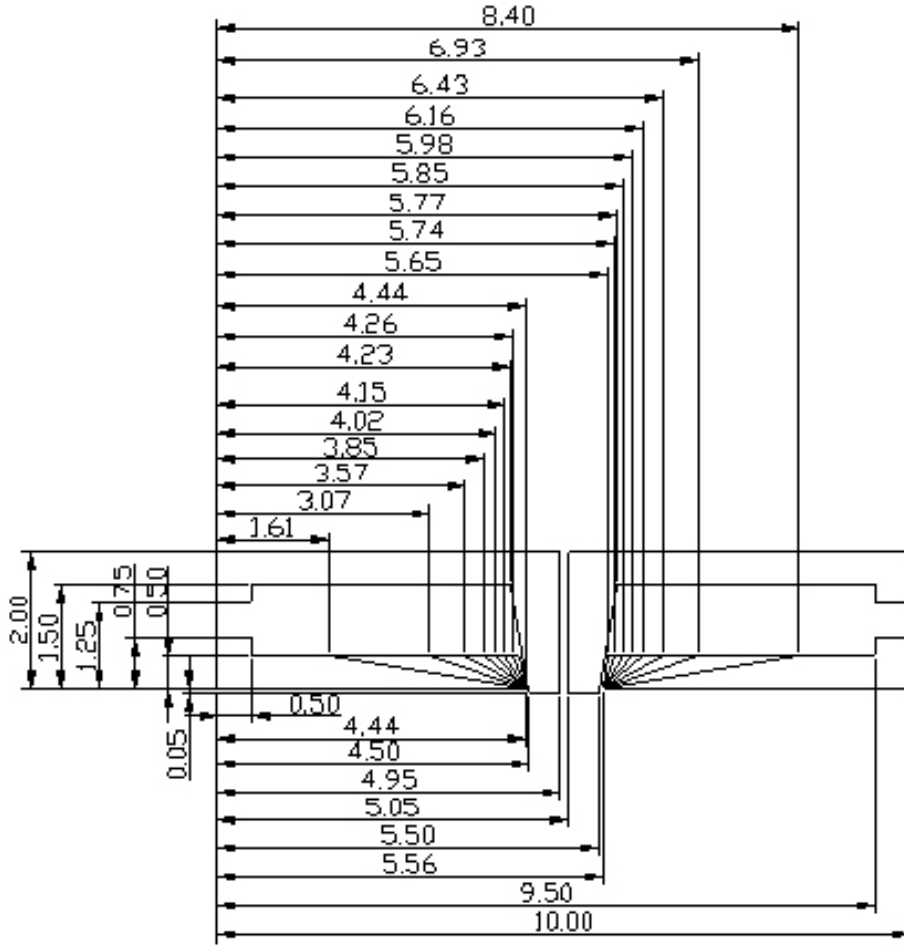
EK C.2 : Isı transfer katsayısının hesaplanması (CD verilmiştir)

EK C.3 : Osprey depozitinin soğuması (CD verilmiştir)

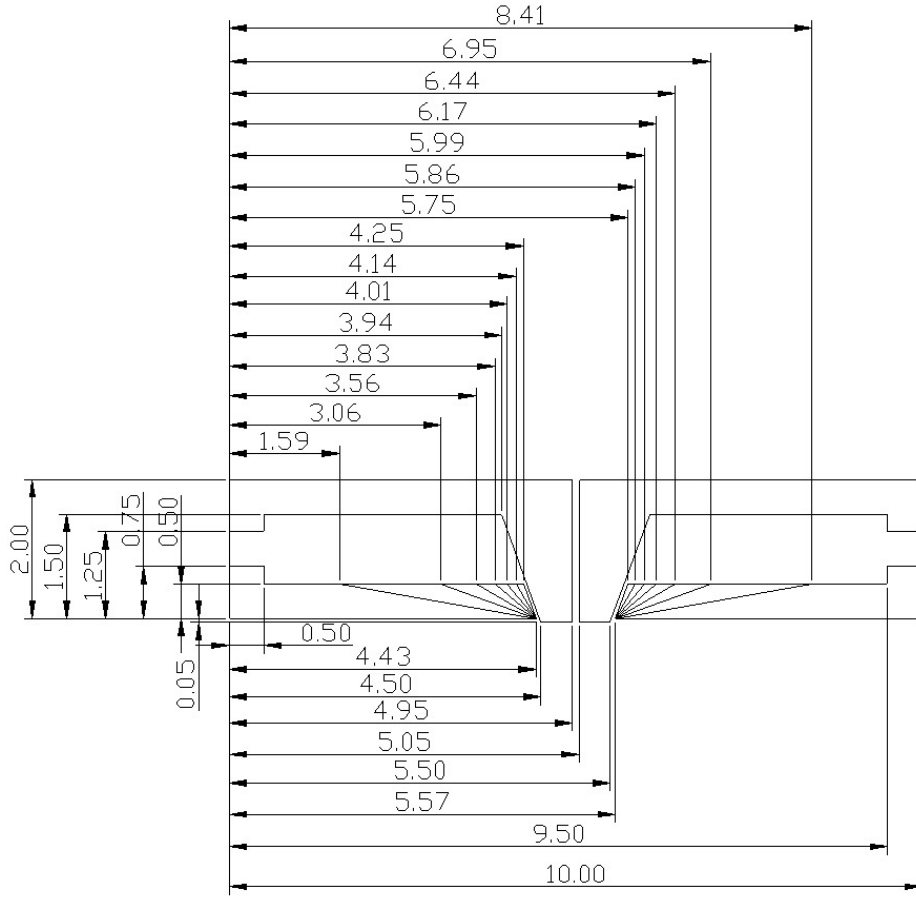
EK A



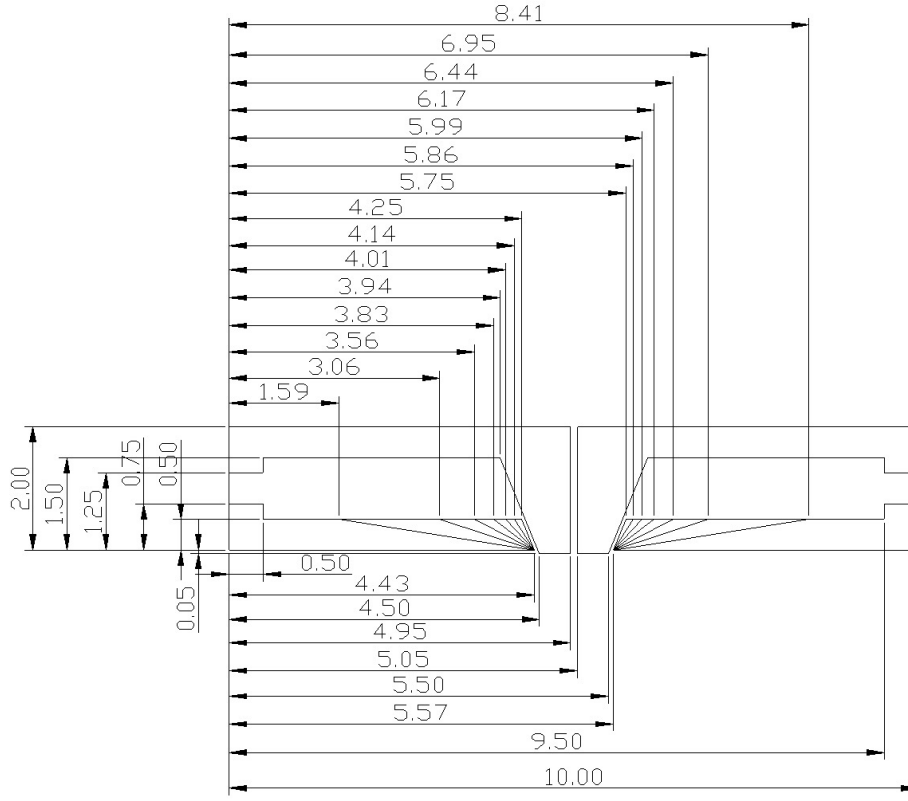
Şekil A.1 : Üst açısı 0° alt açısı 10-90° atomizasyon nozülleri.



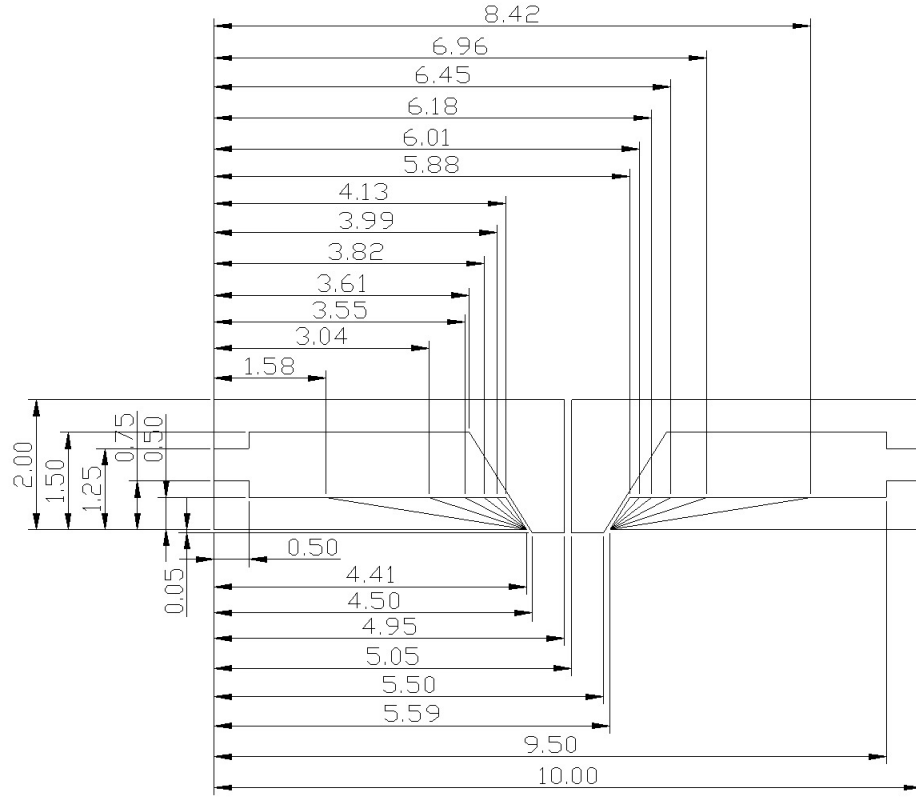
Şekil A.2 : Üst aç 10° alt aç 10-80° atomizasyon nozülleri.



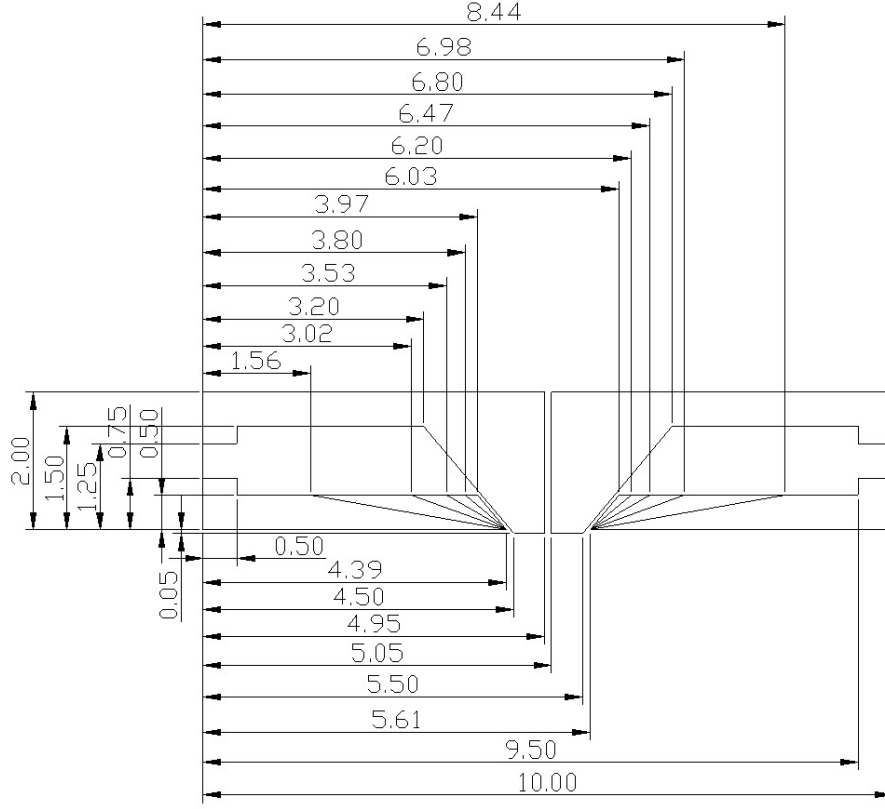
Şekil A.3 : Üst açısı 20° alt açısı 10-70° atomizasyon nozülleri.



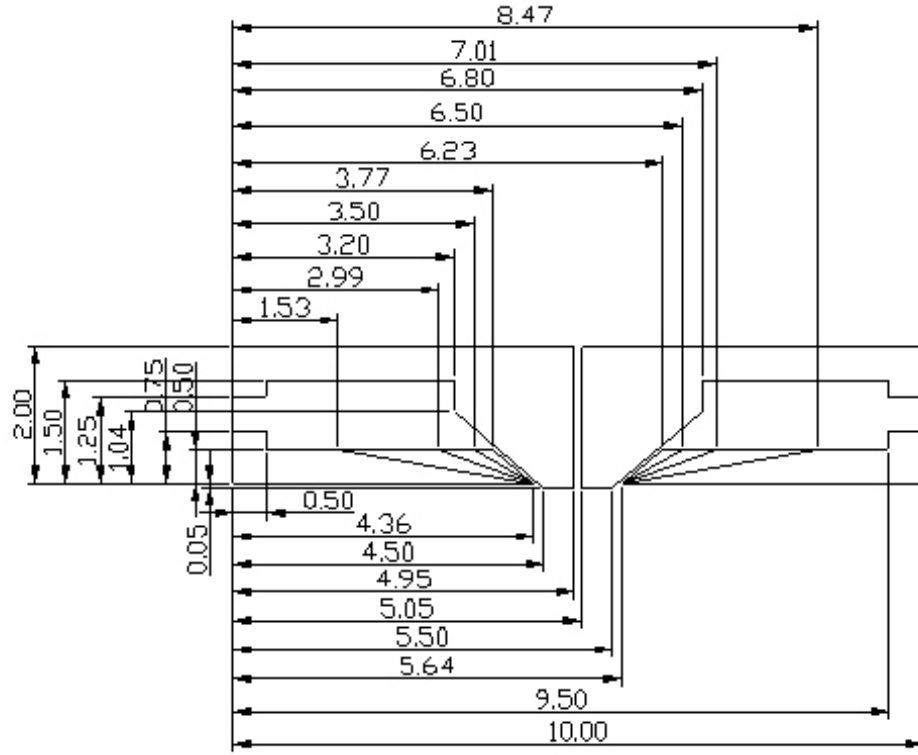
Şekil A.4 : Üst aç 30° alt aç 10-60° atomizasyon nozülleri.



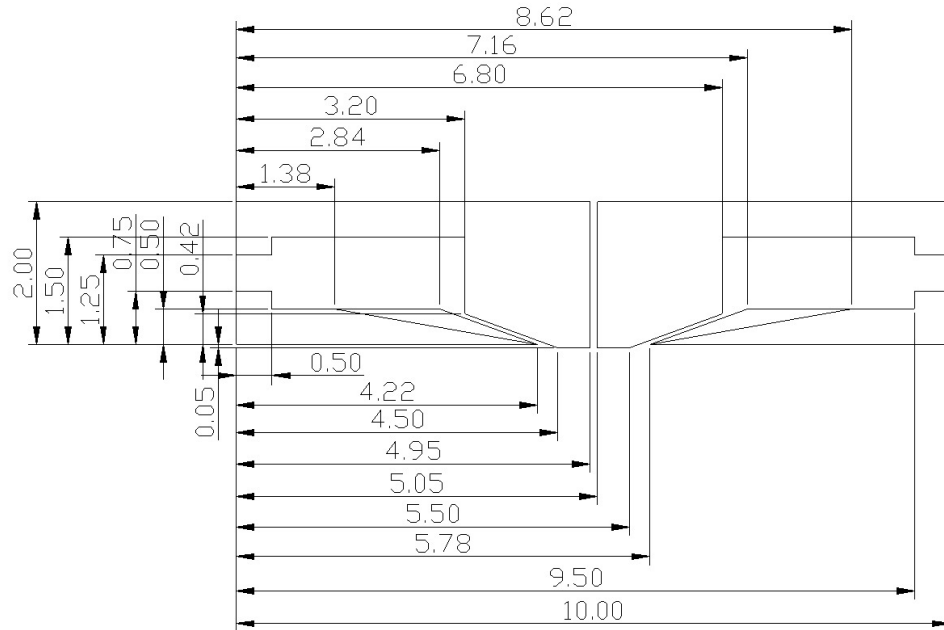
Şekil A.5 : Üst aç 40° alt aç 10-50° atomizasyon nozülleri.



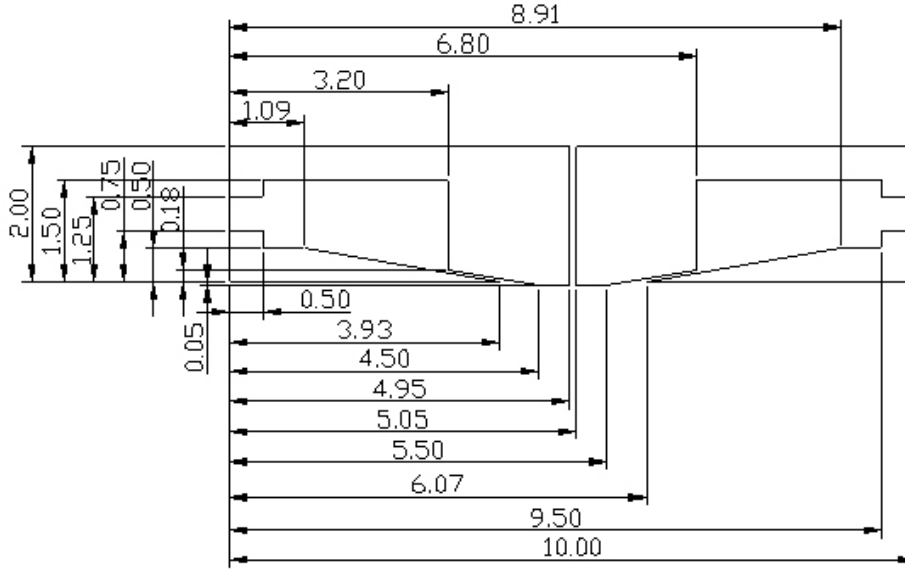
Şekil A.6 : Üst açısı 50° alt açısı 10-40° atomizasyon nozülleri.



Şekil A.7 : Üst aç 60° alt aç 10-30° atomizasyon nozülleri.

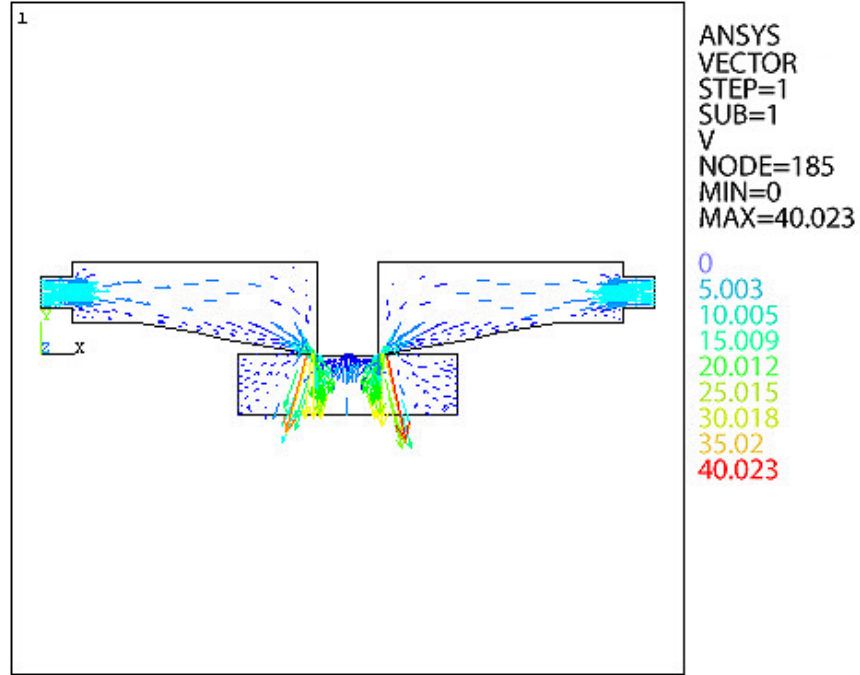


Şekil A.8 : Üst aç 70° alt aç 10-20° atomizasyon nozülleri.

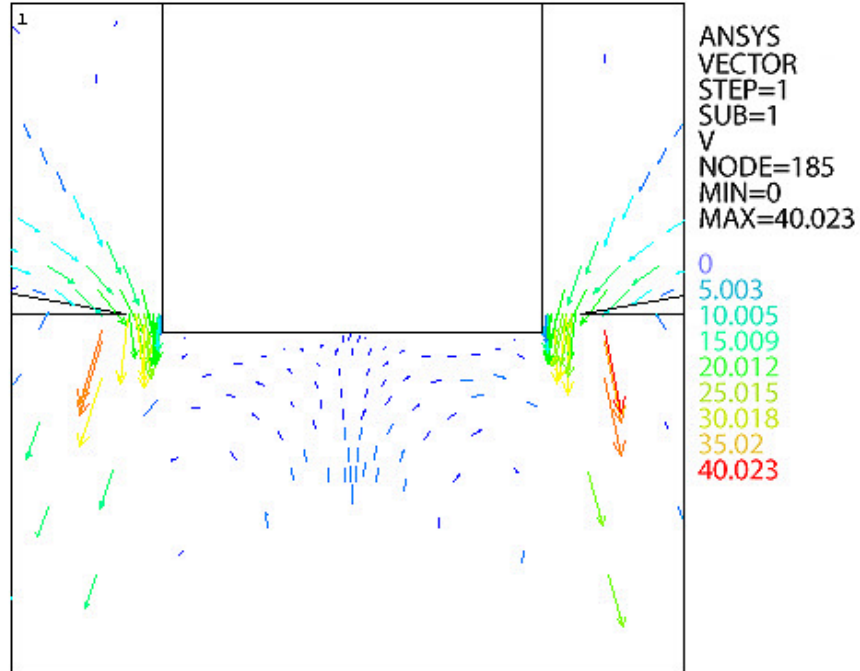


Şekil A.9 : Üst açısı 80° alt açısı 10° atomizasyon nozülleri.

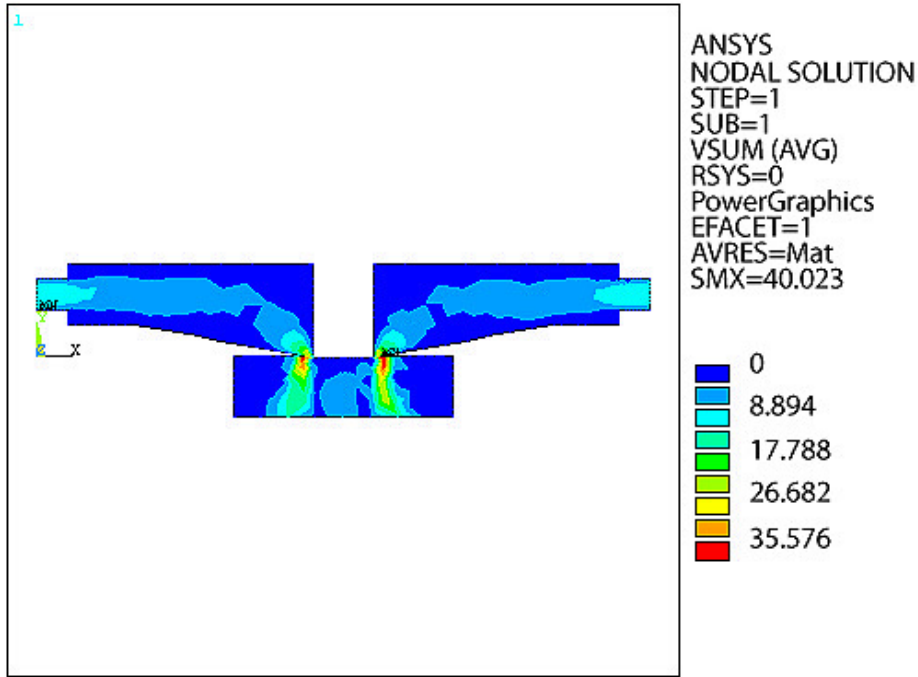
EK B



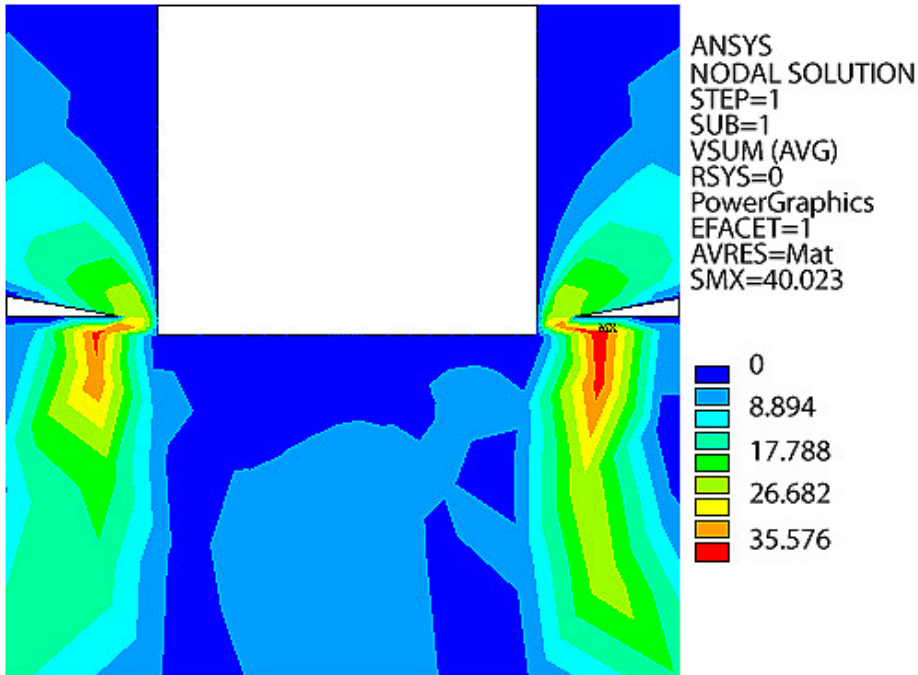
Şekil B.1. : Üst aç 0° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



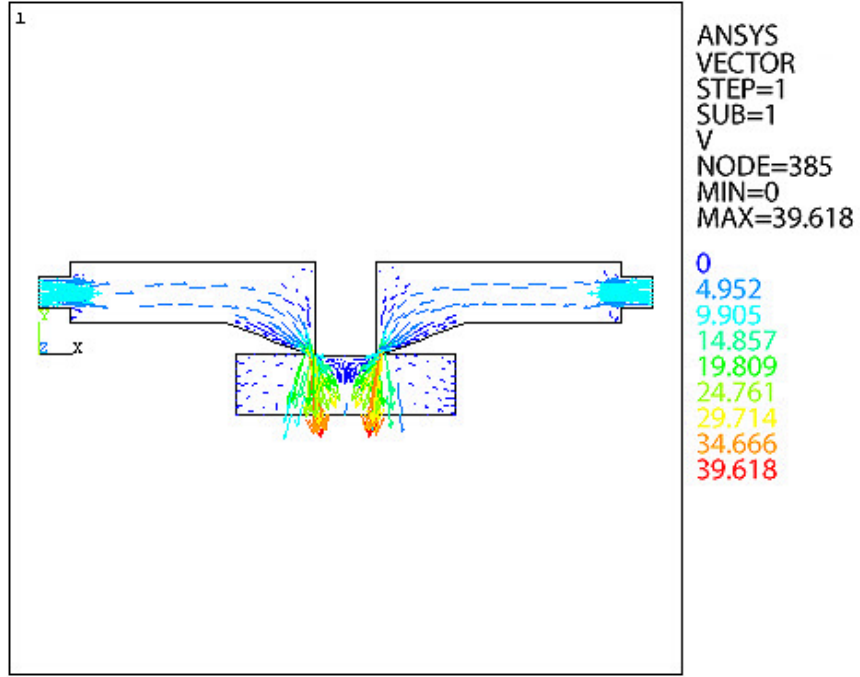
Şekil B.2 : Üst aç 0° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



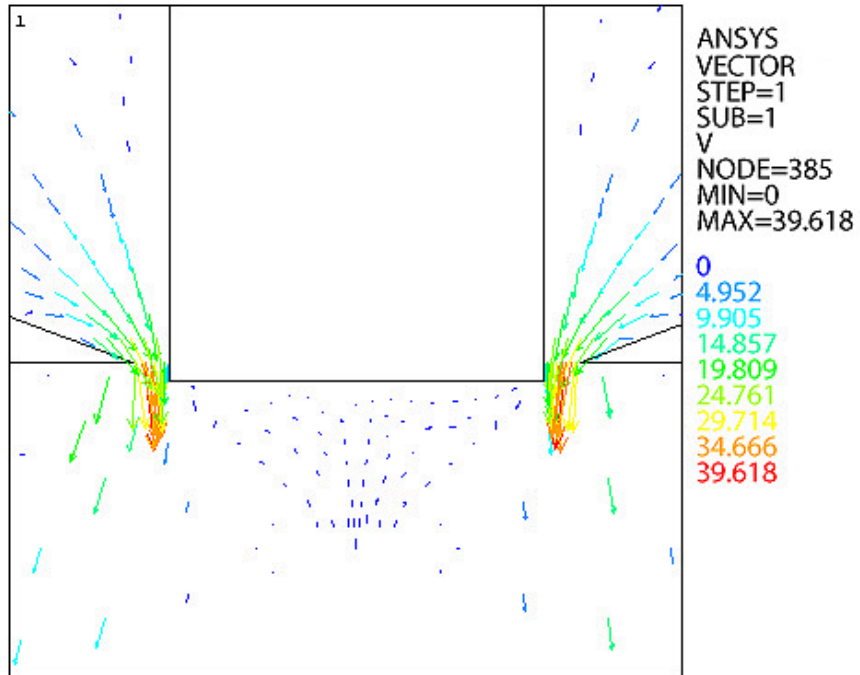
Şekil B.3 : Üst aç ı 0° alt aç ı 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının alan grafiğ i gösterimi.



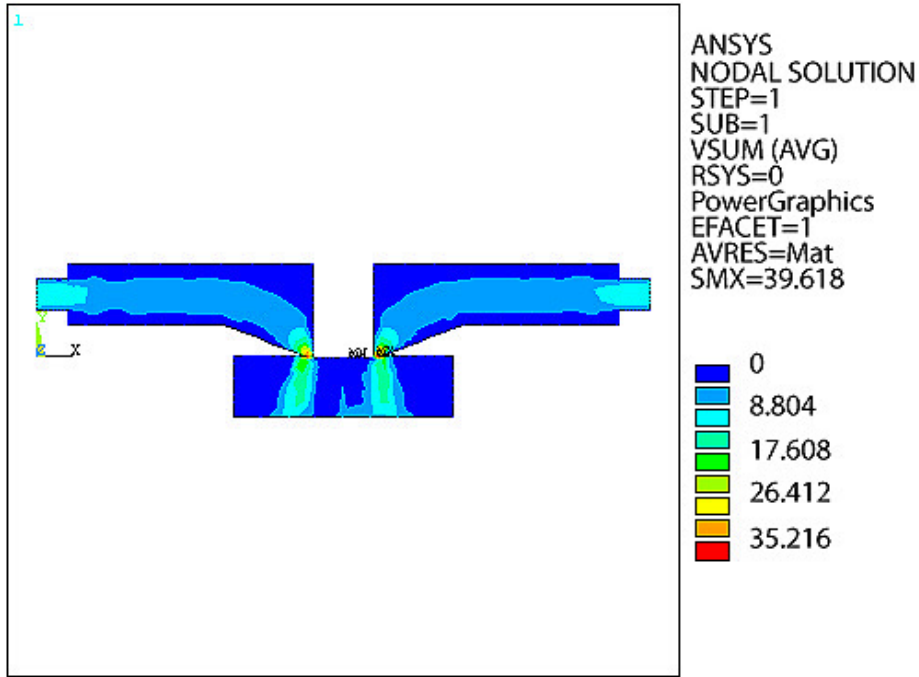
Şekil B.4 : Üst aç ı 0° alt aç ı 10° atomizasyon nozülünün ANSYS ile modellenmesinde nozüldeki gaz hız dağılımının nozül ucundaki alan grafiğ i gösterimi.



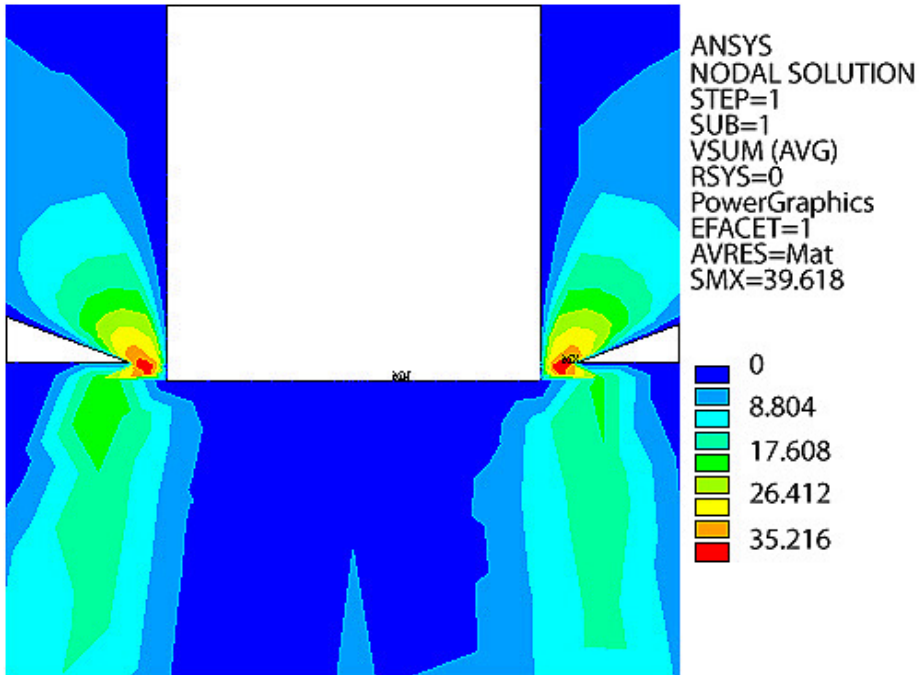
Şekil B.5 : Üst açısı 0° alt açısı 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



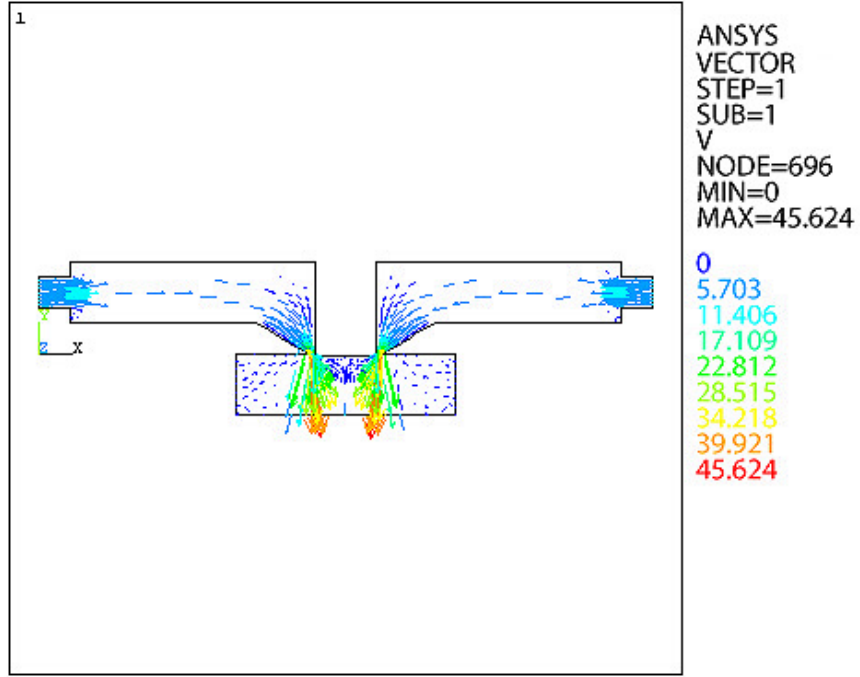
Şekil B.6 : Üst açısı 0° alt açısı 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



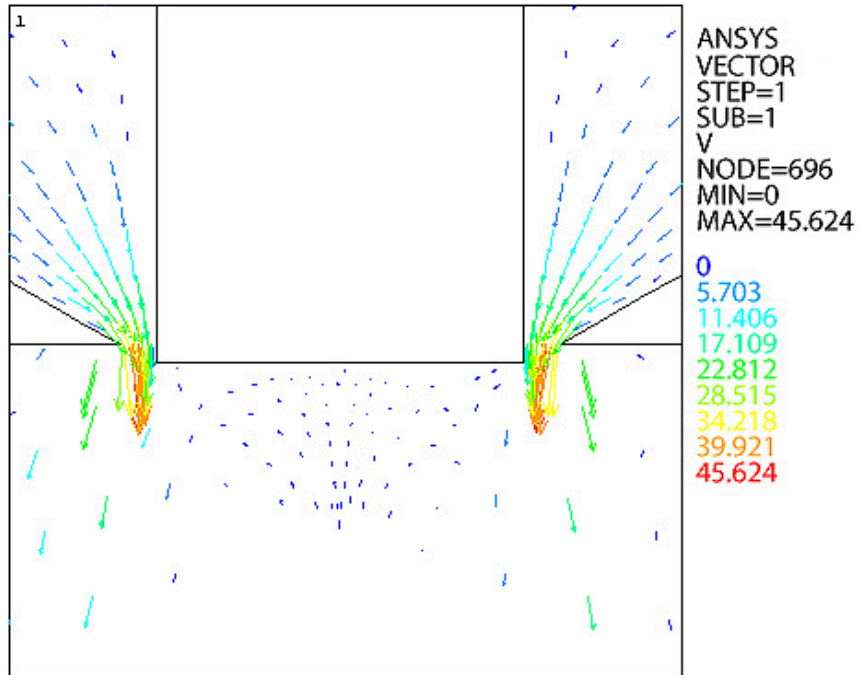
Şekil B.7 : Üst açısı 0° alt açısı 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



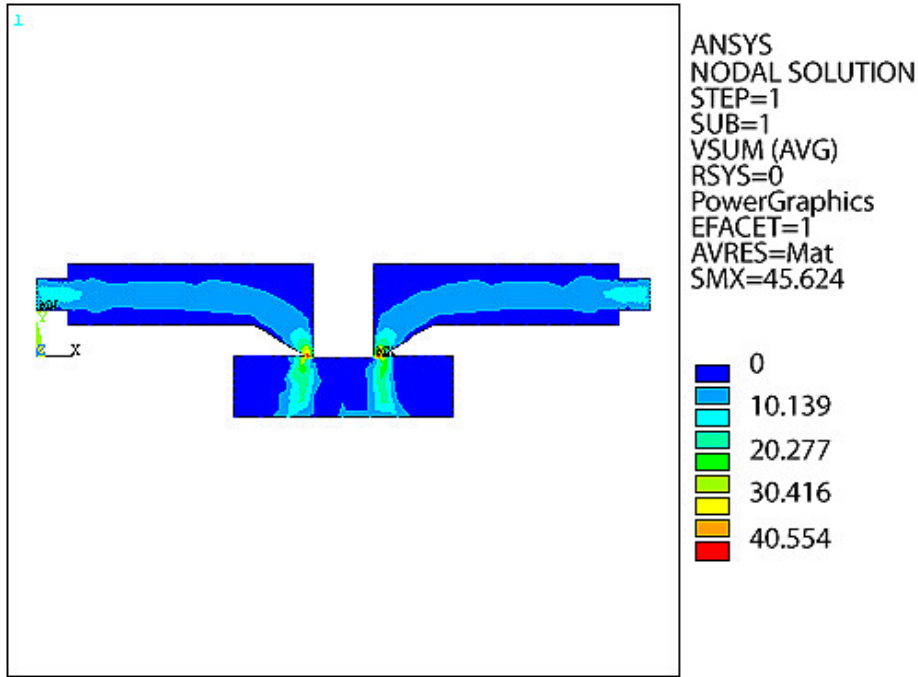
Şekil B.8 : Üst açısı 0° alt açısı 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



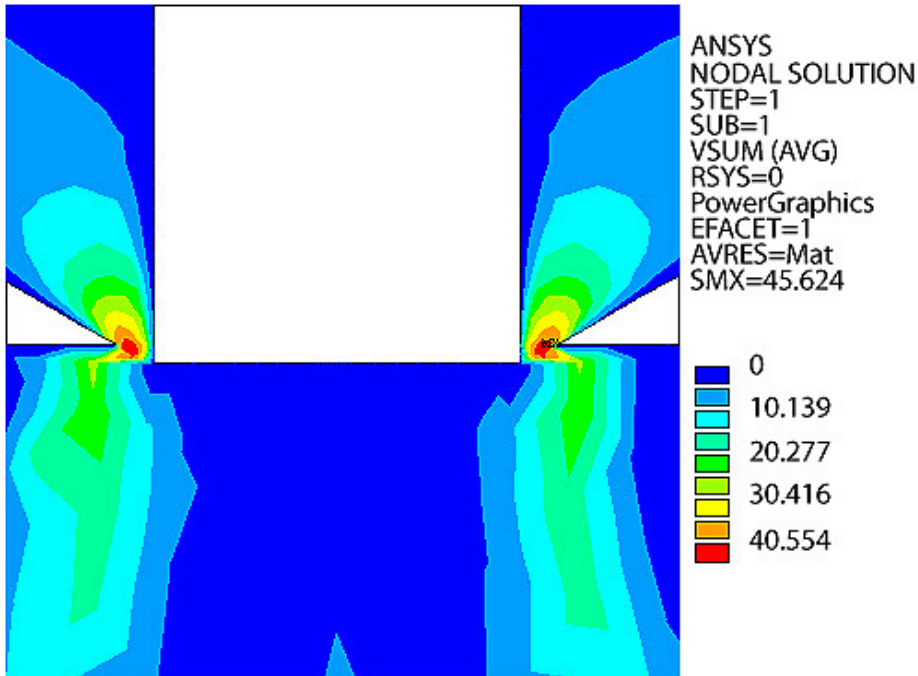
Şekil B.9 : Üst açısı 0° alt açısı 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



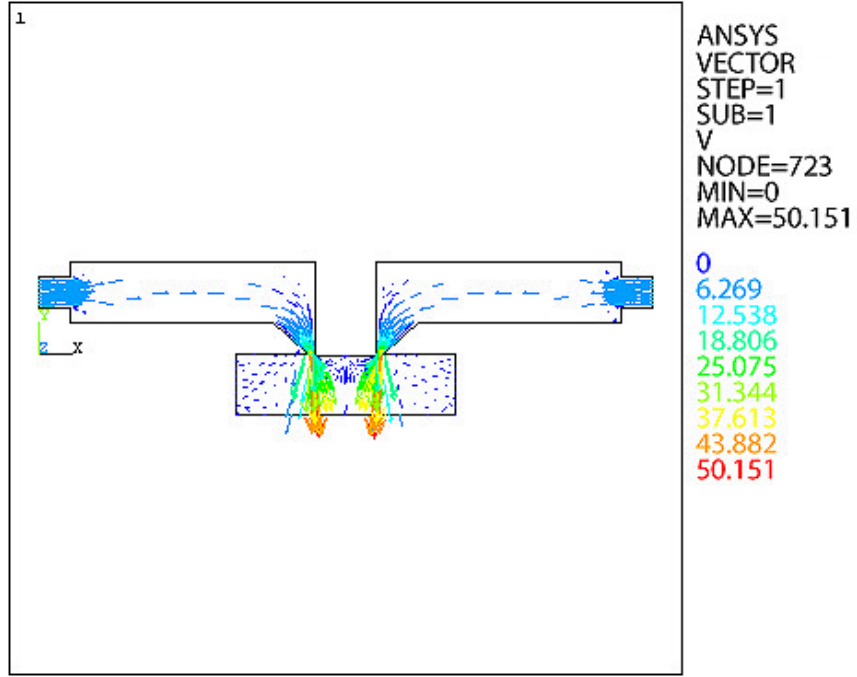
Şekil B.10 : Üst açısı 0° alt açısı 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



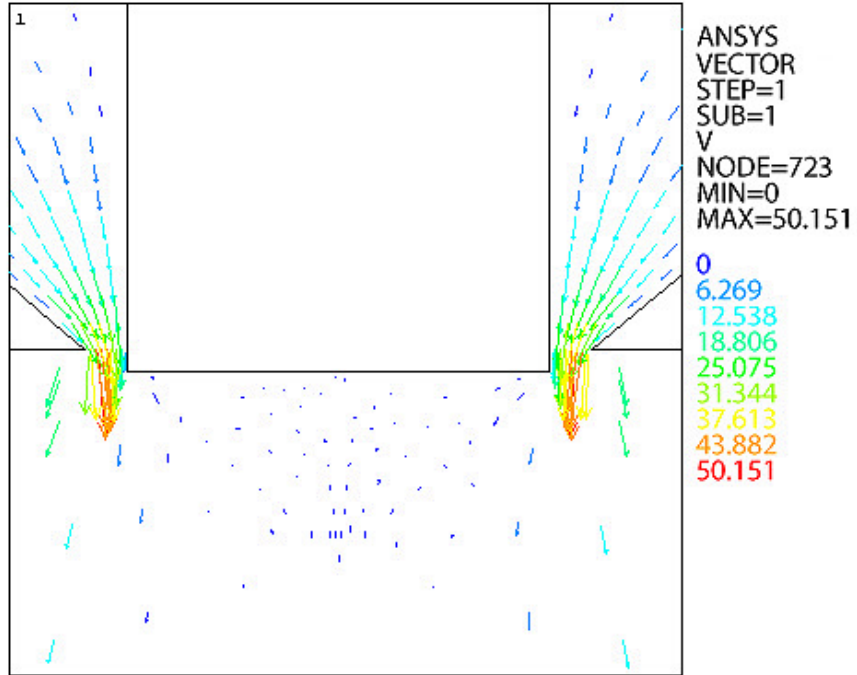
Şekil B.11 : Üst açısı 0° alt açısı 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



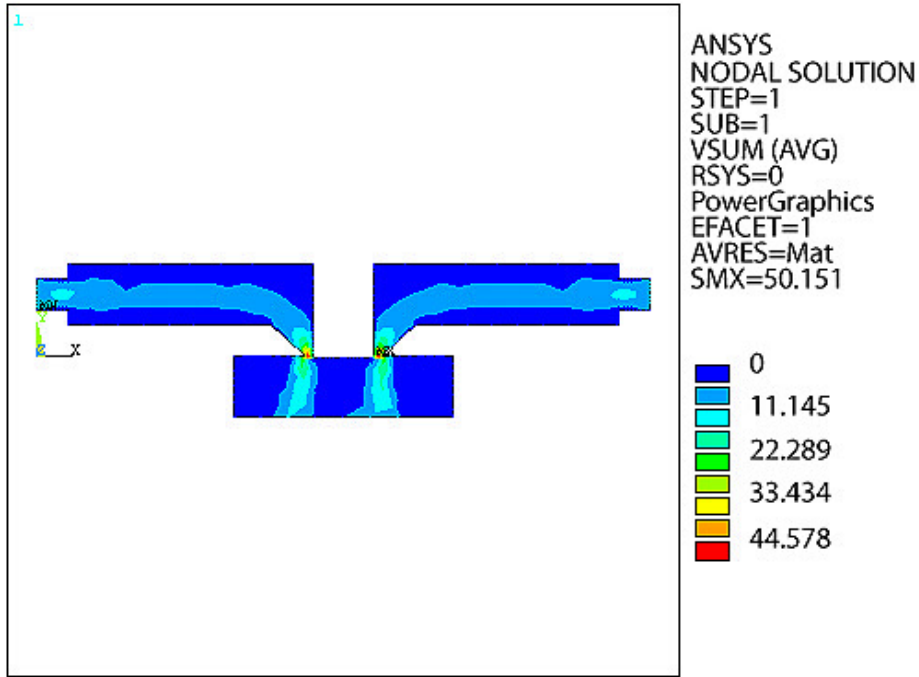
Şekil B.12 : Üst açısı 0° alt açısı 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



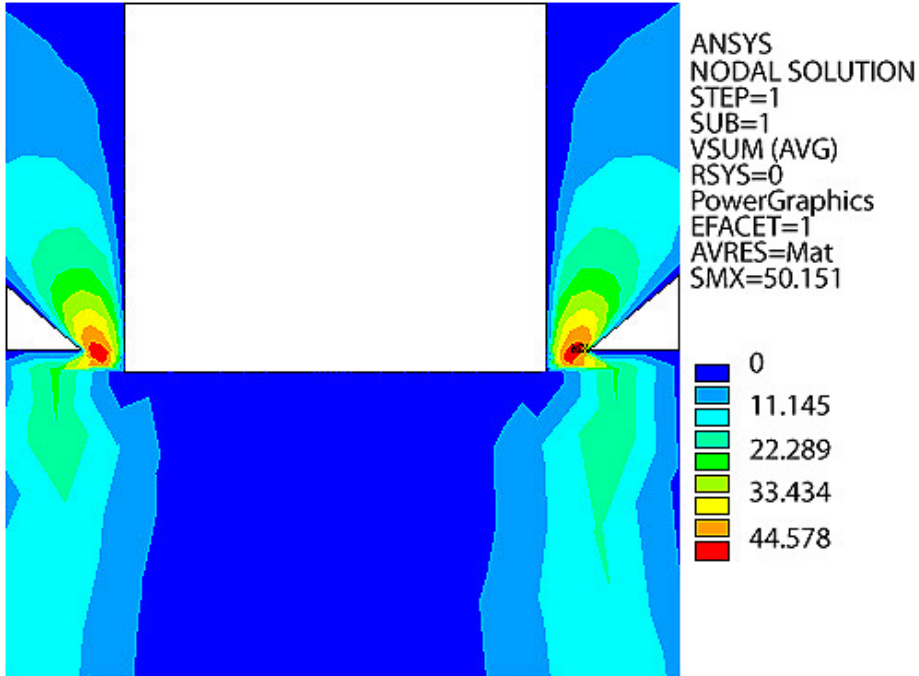
Şekil B.13 : Üst aç 0° alt aç 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



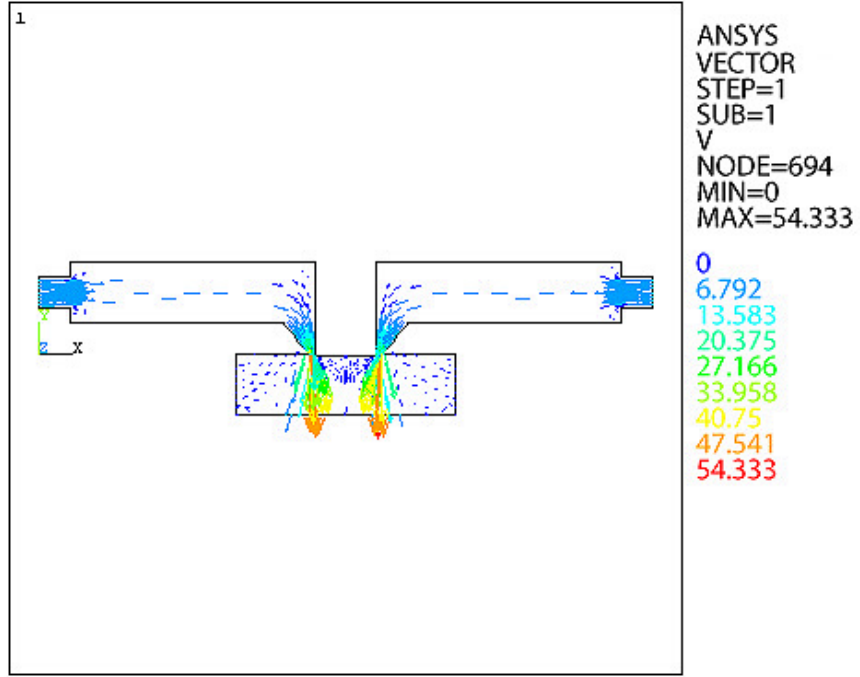
Şekil B.14 : Üst aç 0° alt aç 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



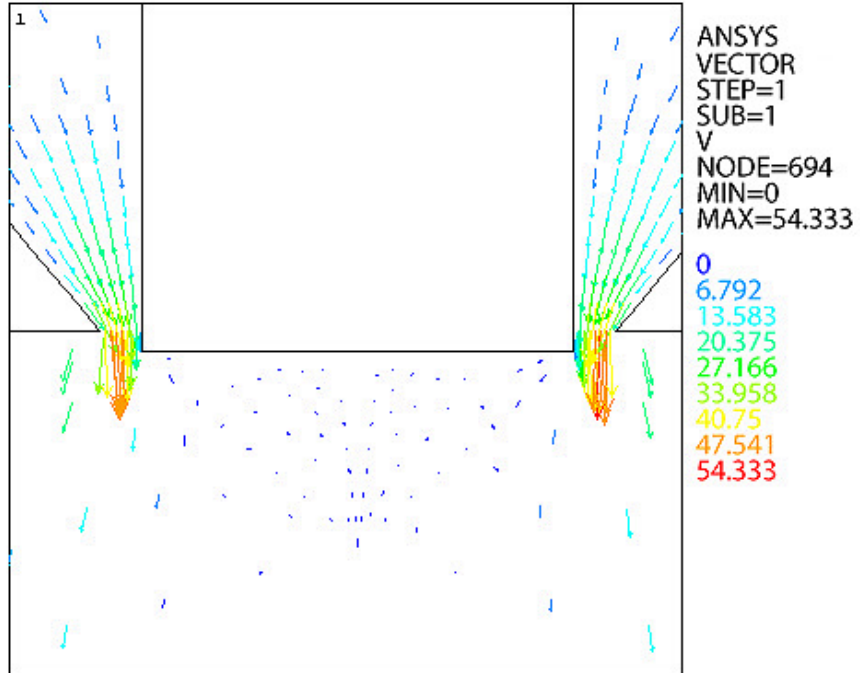
Şekil B.15 : Üst açısı 0° alt açısı 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



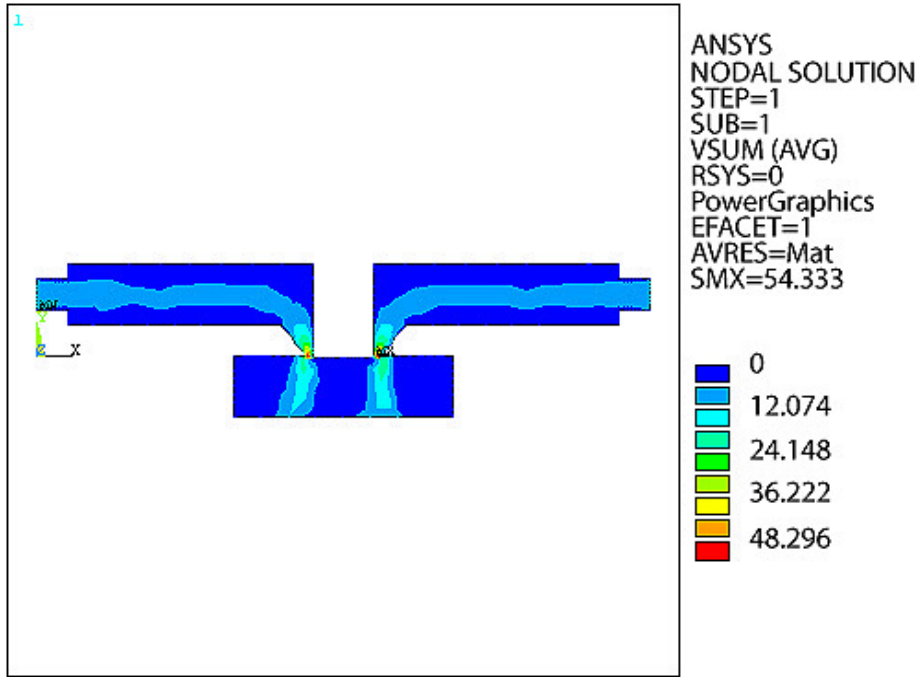
Şekil B.16 : Üst açısı 0° alt açısı 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



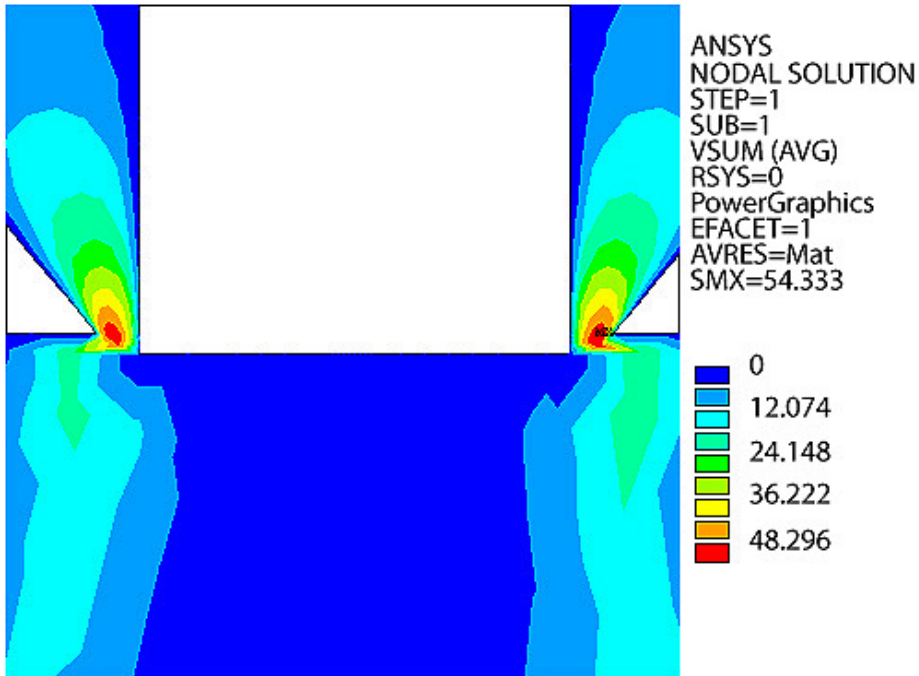
Şekil B.17 : Üst açısı 0° alt açısı 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



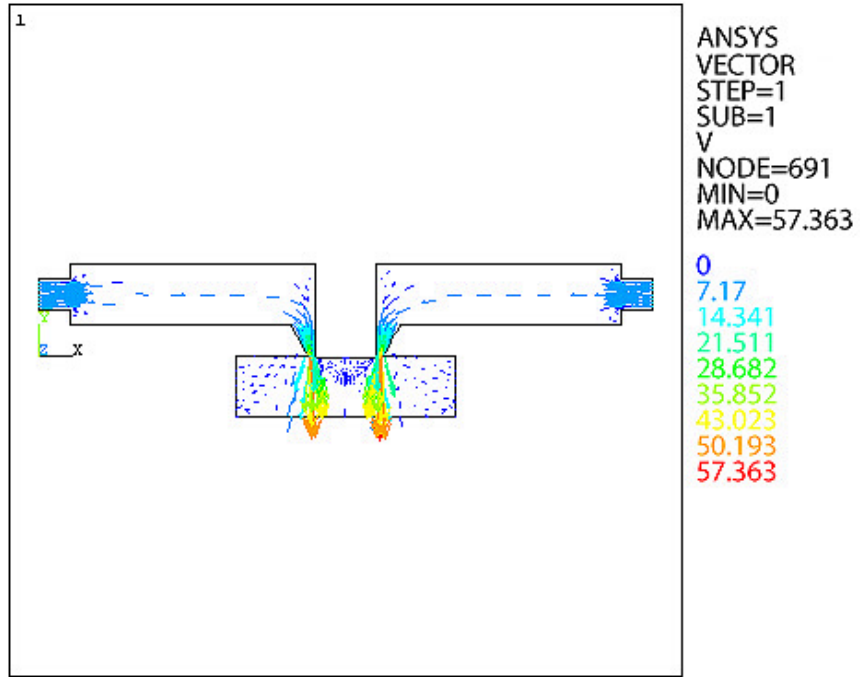
Şekil B.18 : Üst açısı 0° alt açısı 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



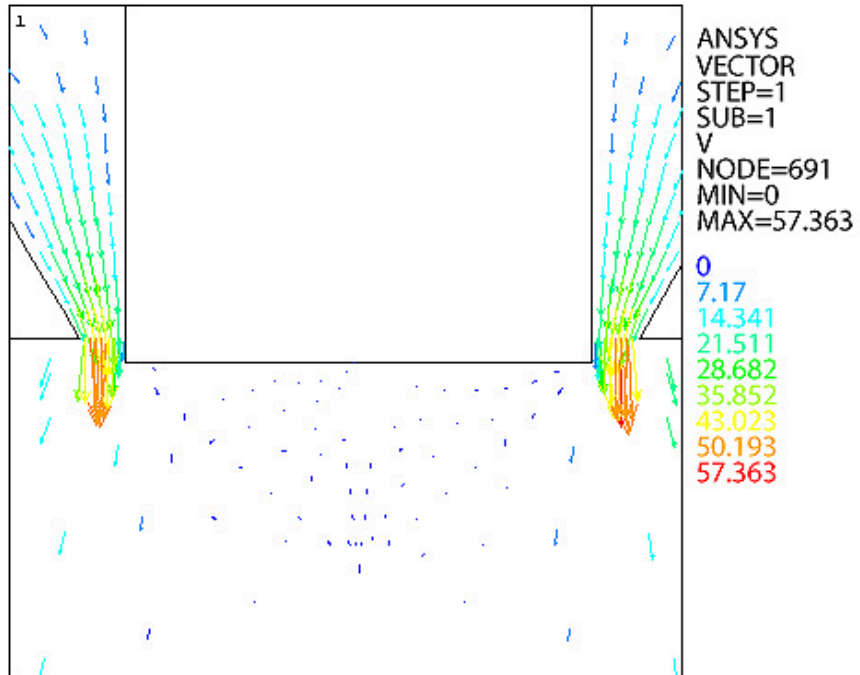
Şekil B.19 : Üst açısı 0° alt açısı 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



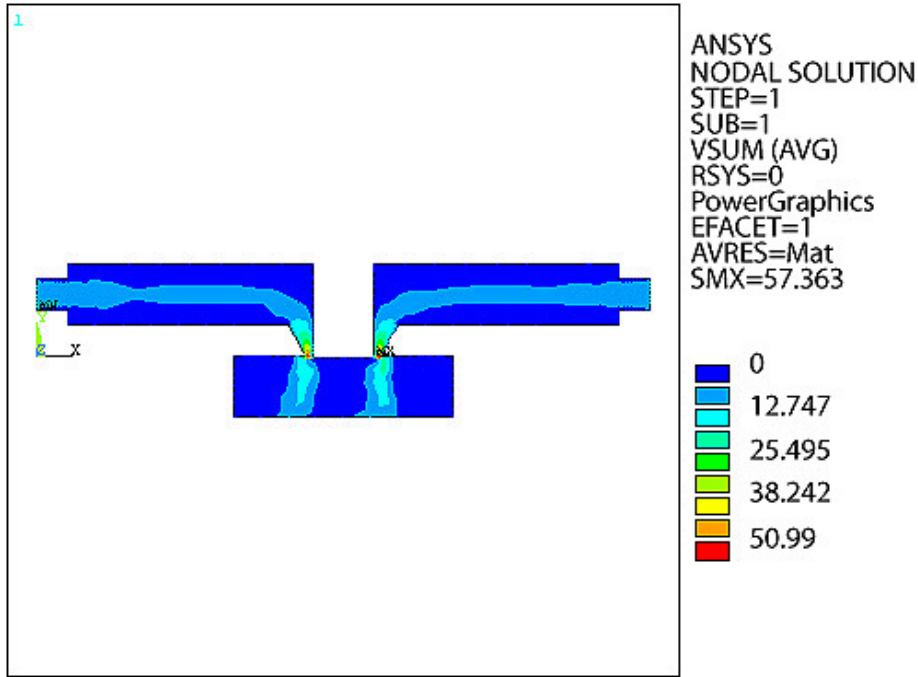
Şekil B.20 : Üst açısı 0° alt açısı 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



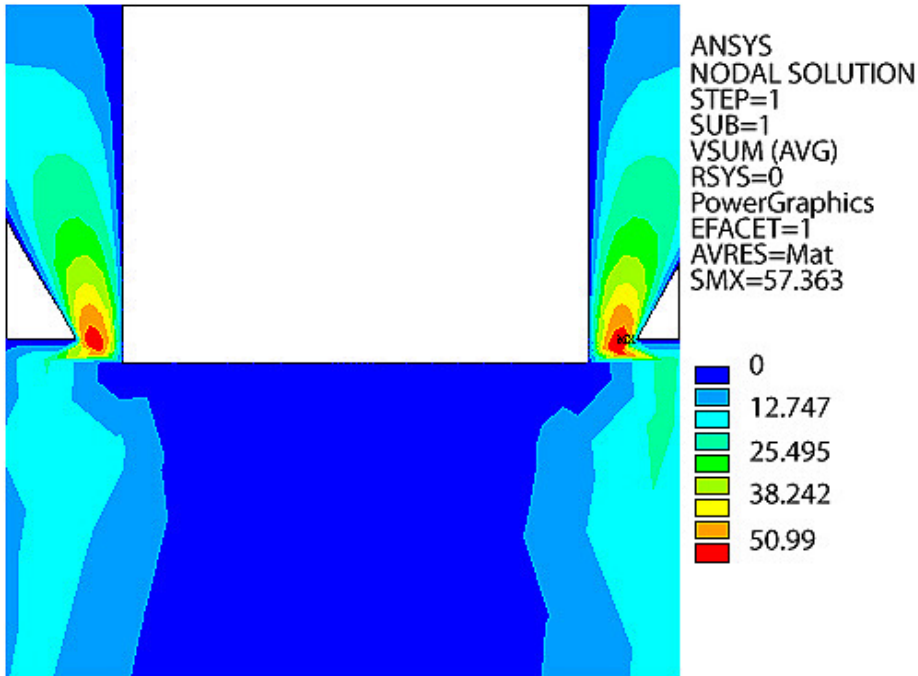
Şekil B.21 : Üst aç 0° alt aç 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



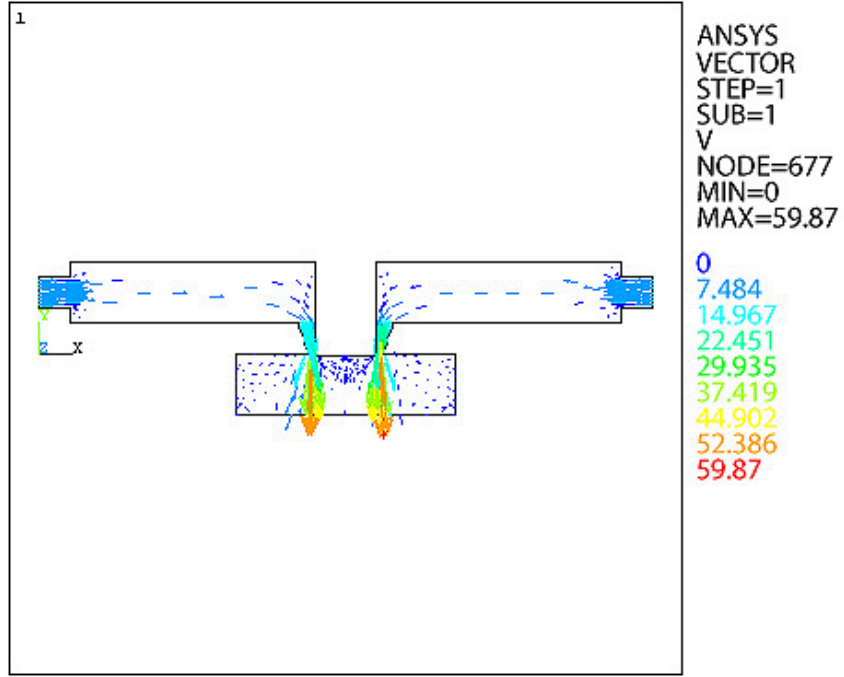
Şekil B.22: Üst aç 0° alt aç 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



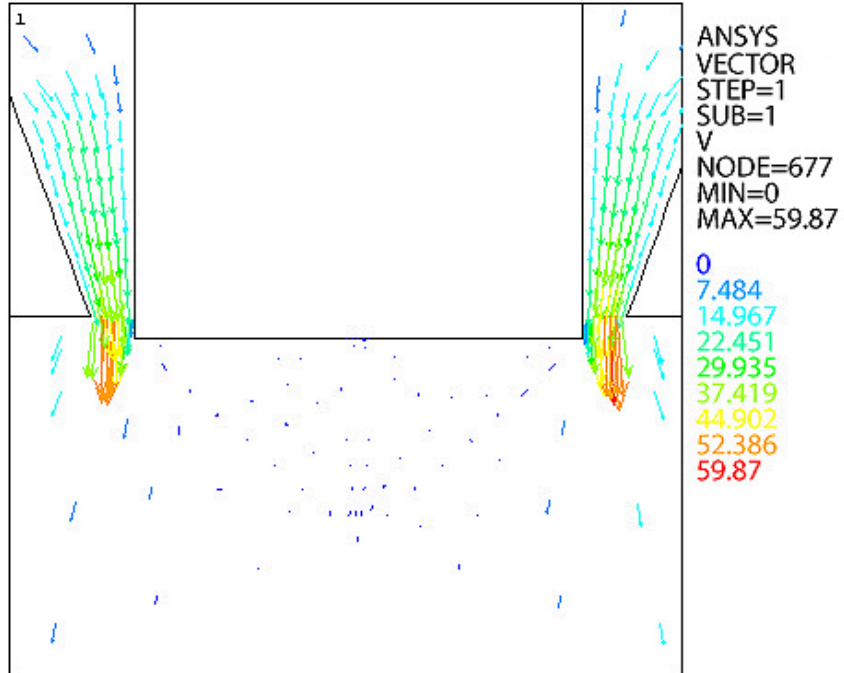
Şekil B.23 : Üst açısı 0° alt açısı 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



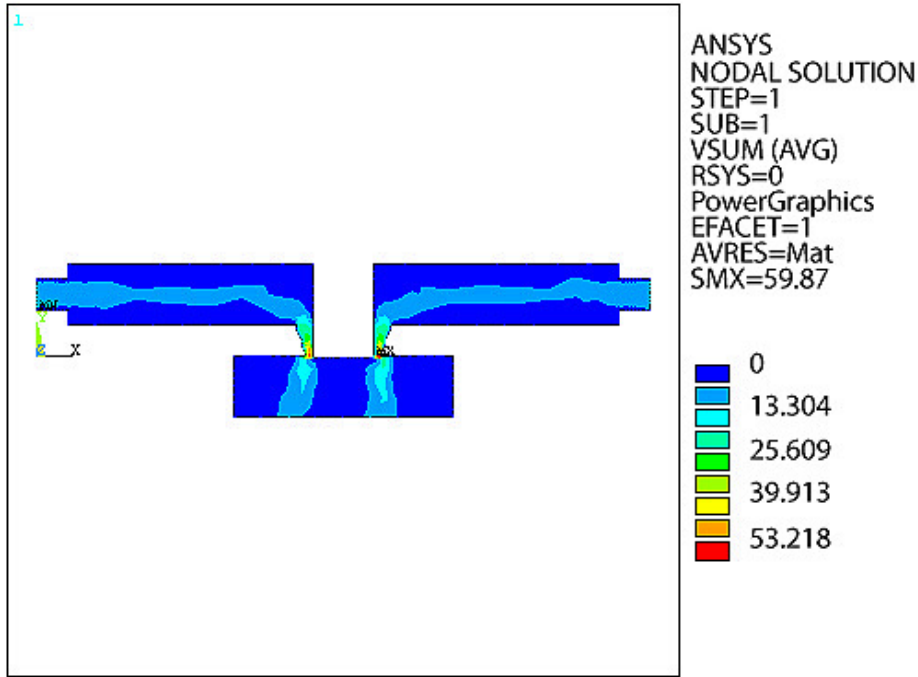
Şekil B.24 : Üst açısı 0° alt açısı 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



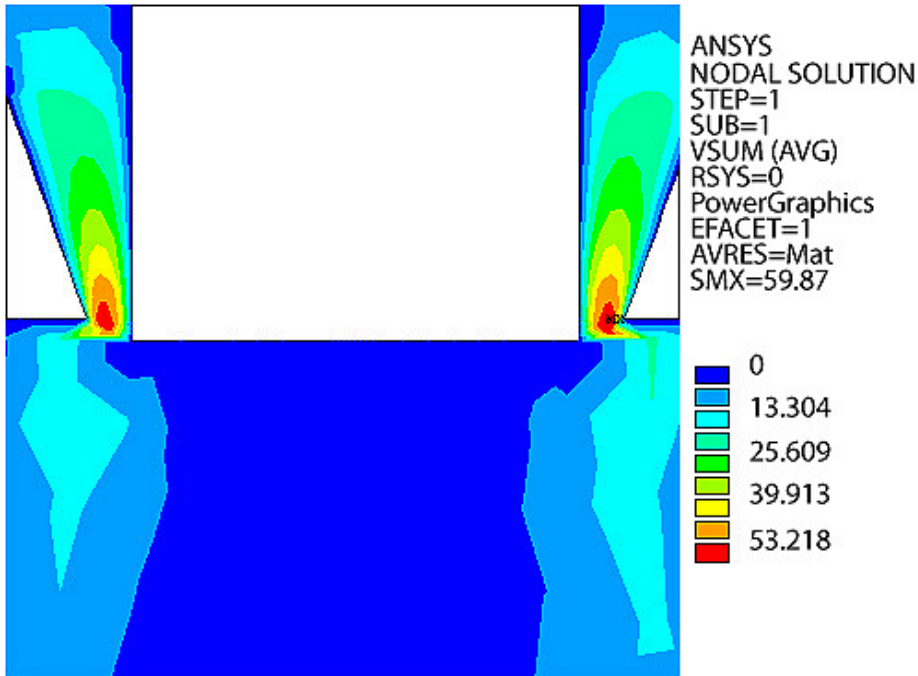
Şekil B.25 : Üst açısı 0° alt açısı 70° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



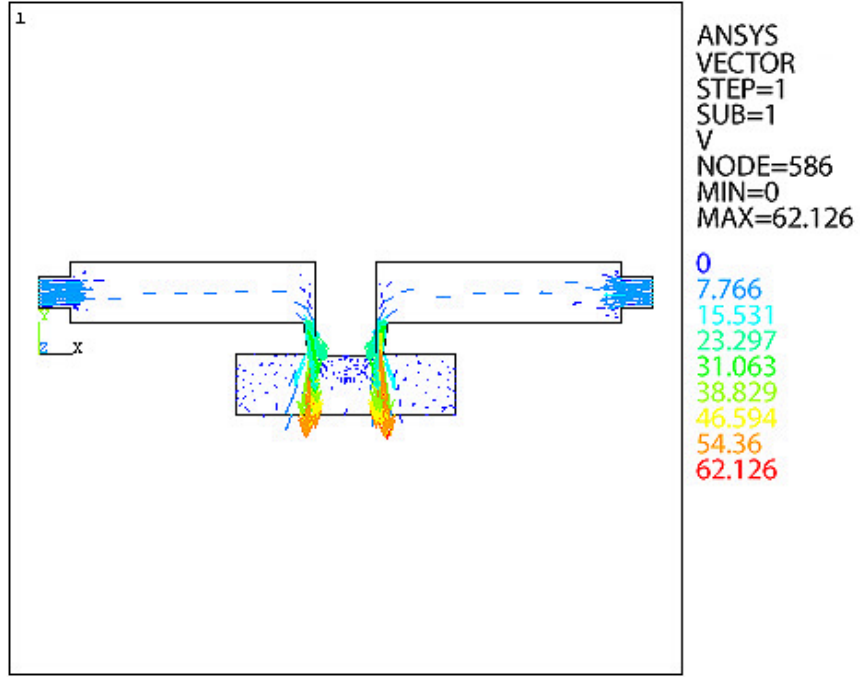
Şekil B.26 : Üst açısı 0° alt açısı 70° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



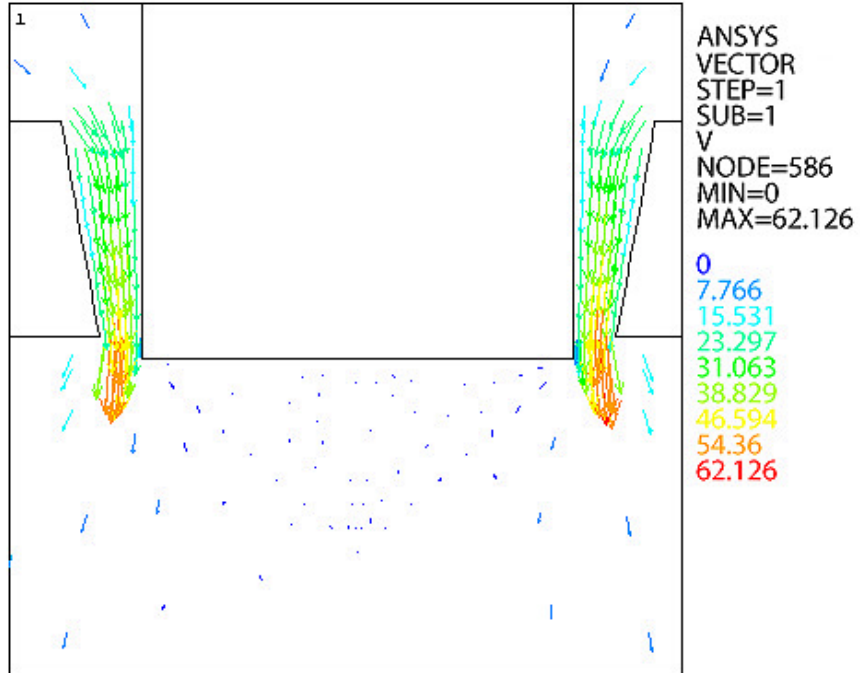
Şekil B.27 : Üst açısı 0° alt açısı 70° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



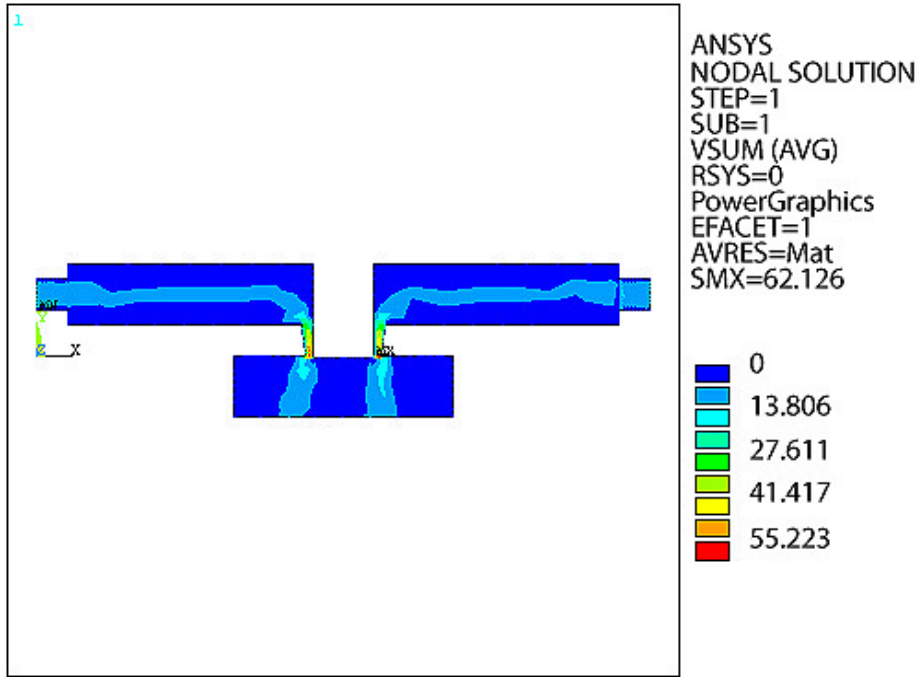
Şekil B.28 : Üst açısı 0° alt açısı 70° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



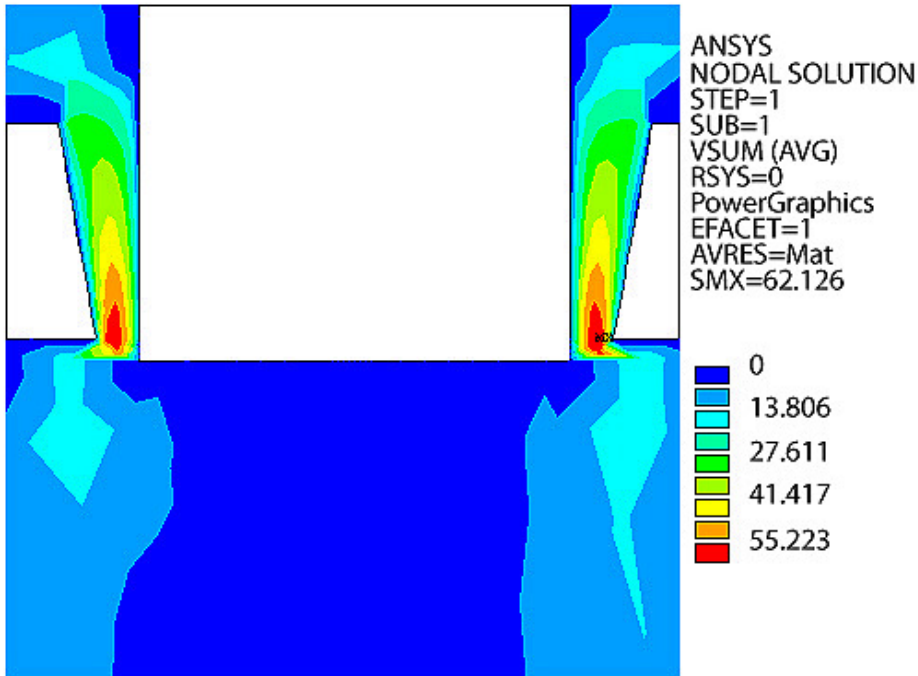
Şekil B.29 : Üst açısı 0° alt açısı 80° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



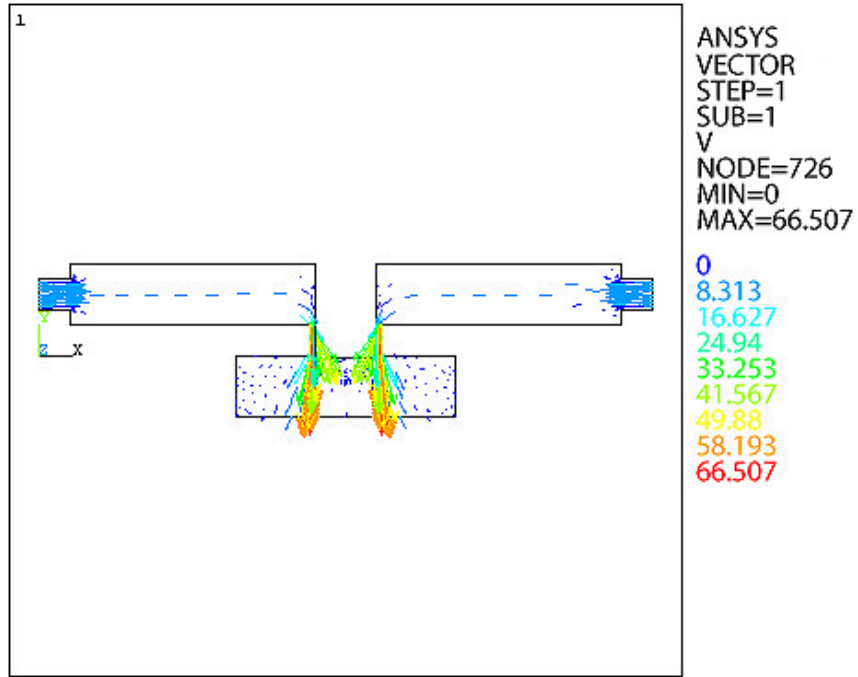
Şekil B.30 : Üst açısı 0° alt açısı 80° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



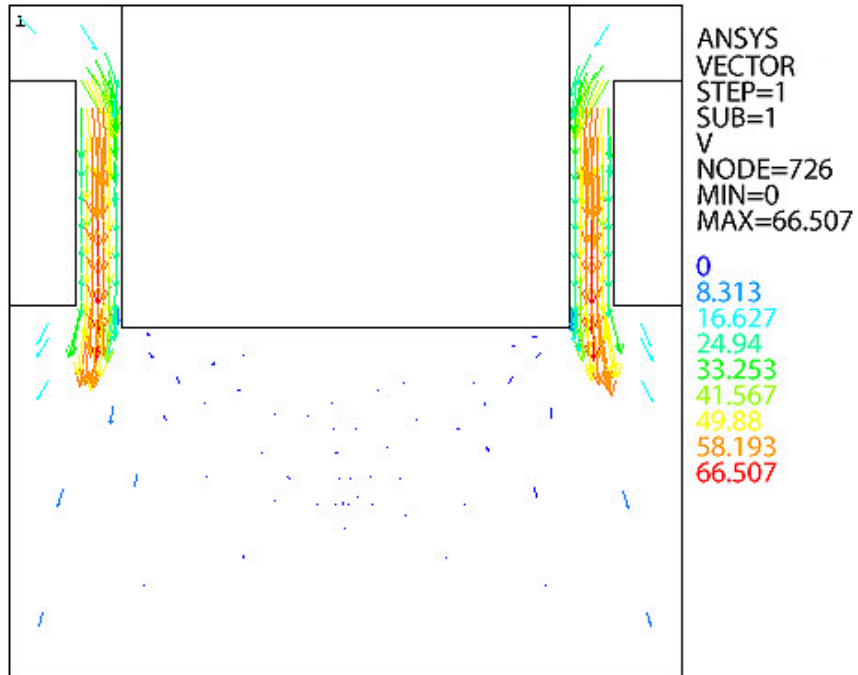
Şekil B.31 : Üst açısı 0° alt açısı 80° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



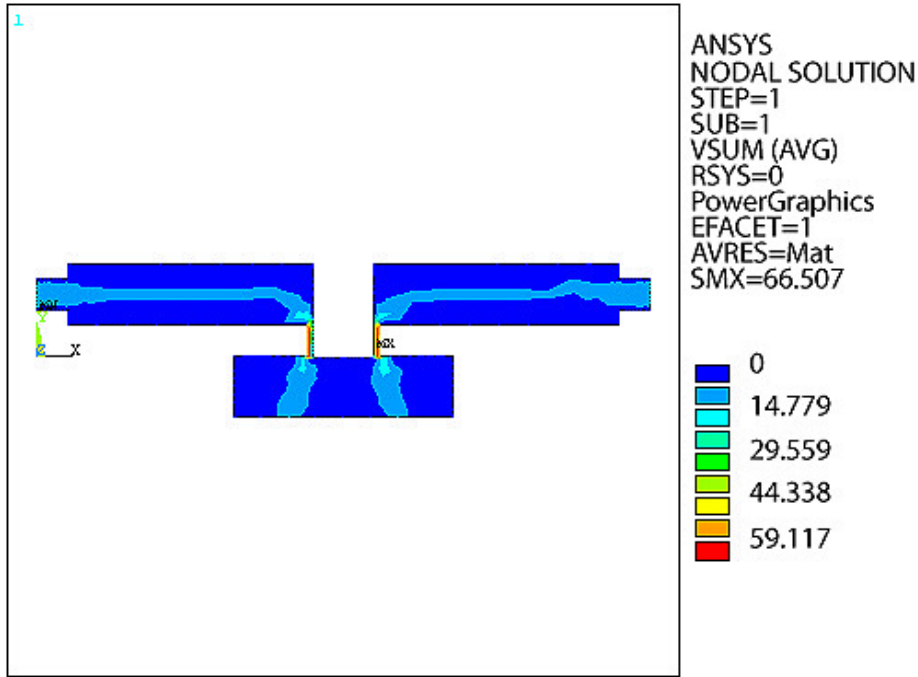
Şekil B.32 : Üst açısı 0° alt açısı 80° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



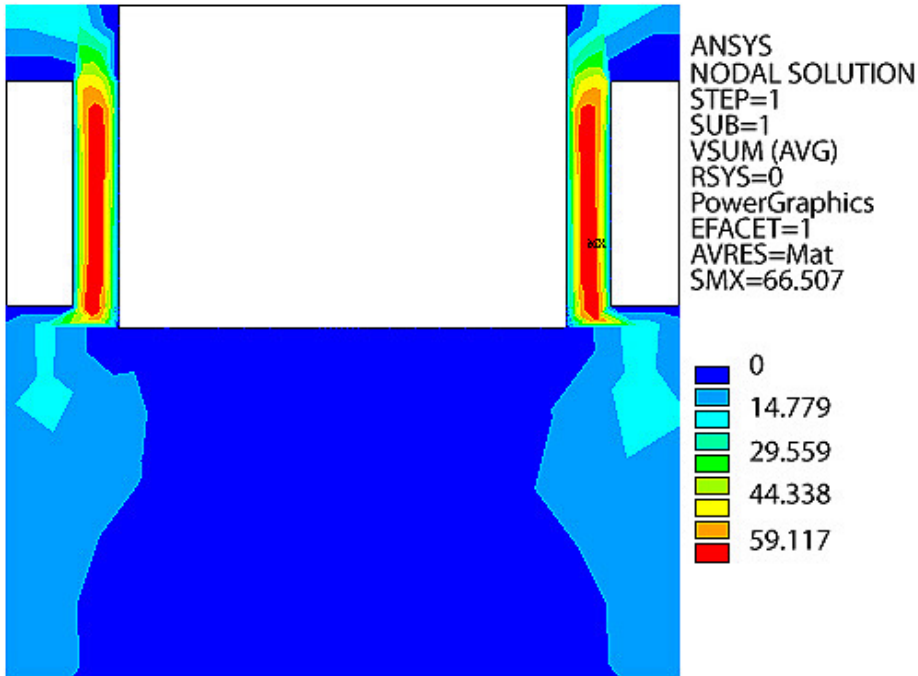
Şekil B.33 : Üst aç 0° alt aç 90° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



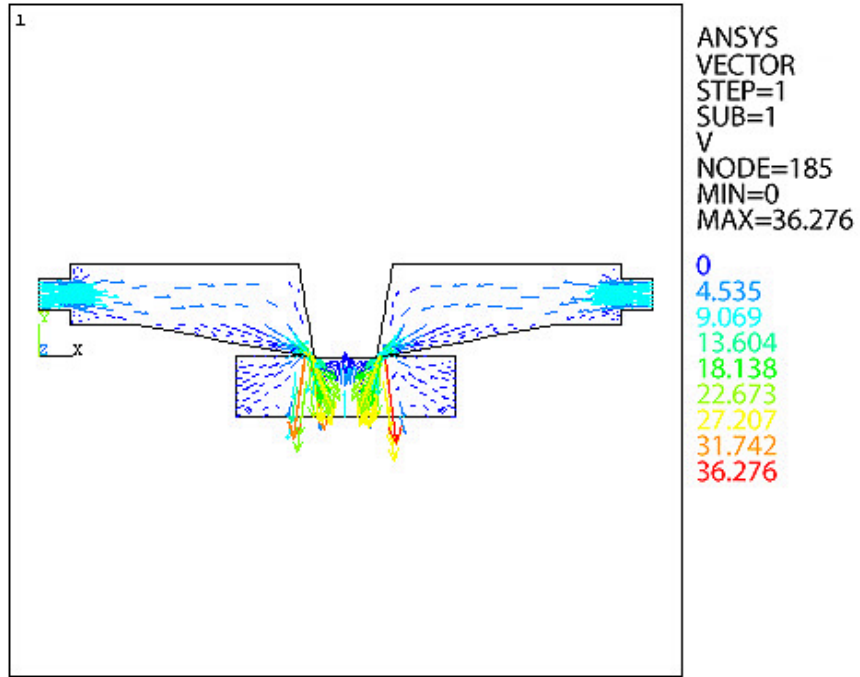
Şekil B.34 : Üst aç 0° alt aç 90° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



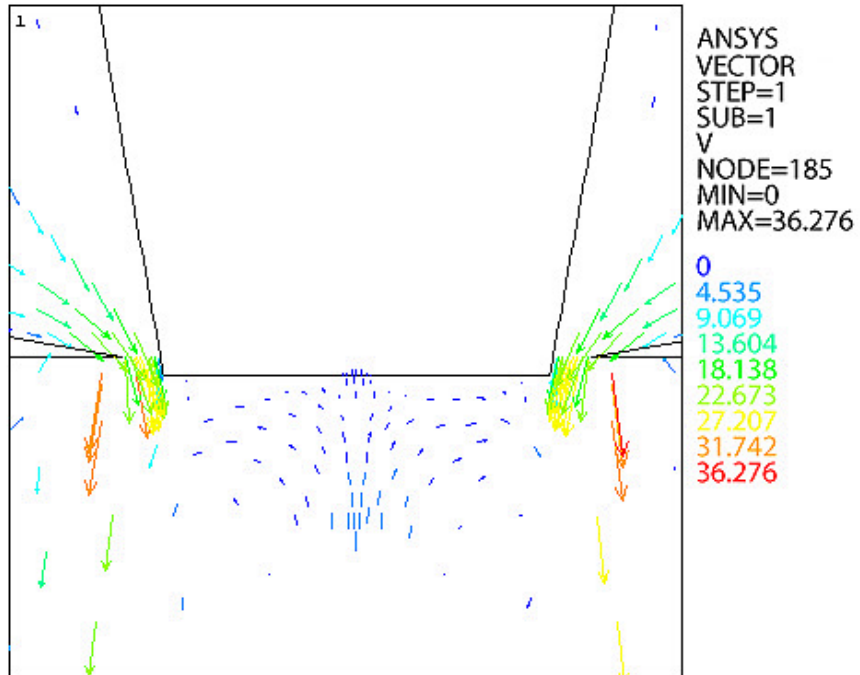
Şekil B.35 : Üst açısı 0° alt açısı 90° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



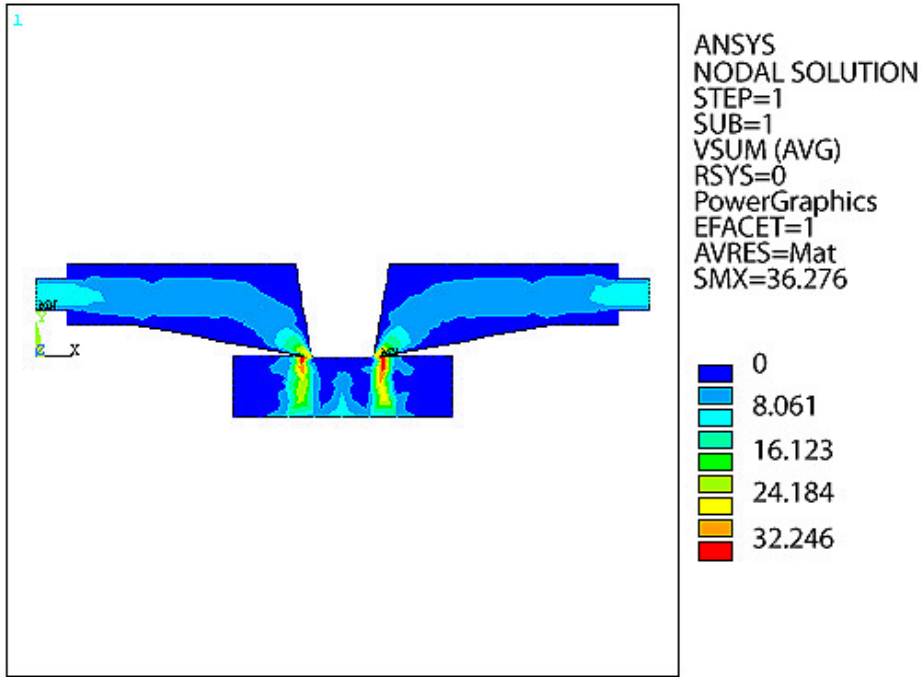
Şekil B.36 : Üst açısı 0° alt açısı 90° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



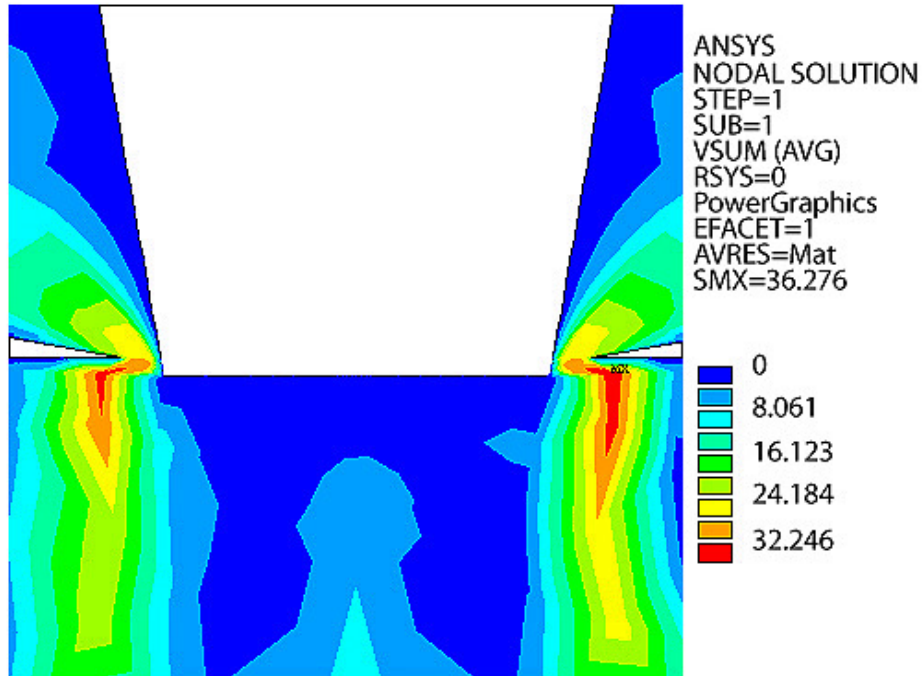
Şekil B.37 : Üst aç 10° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



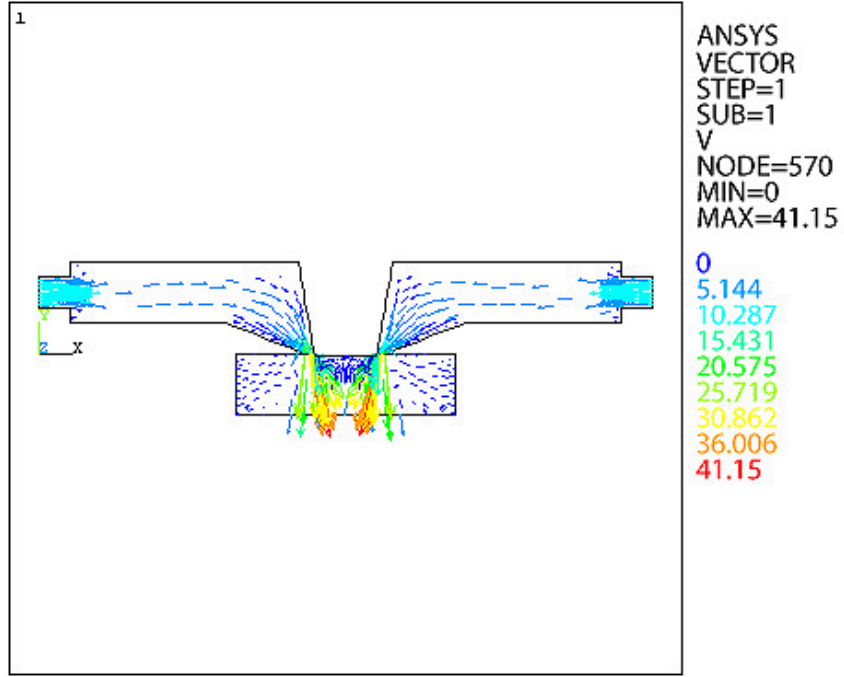
Şekil B.38 : Üst aç 10° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



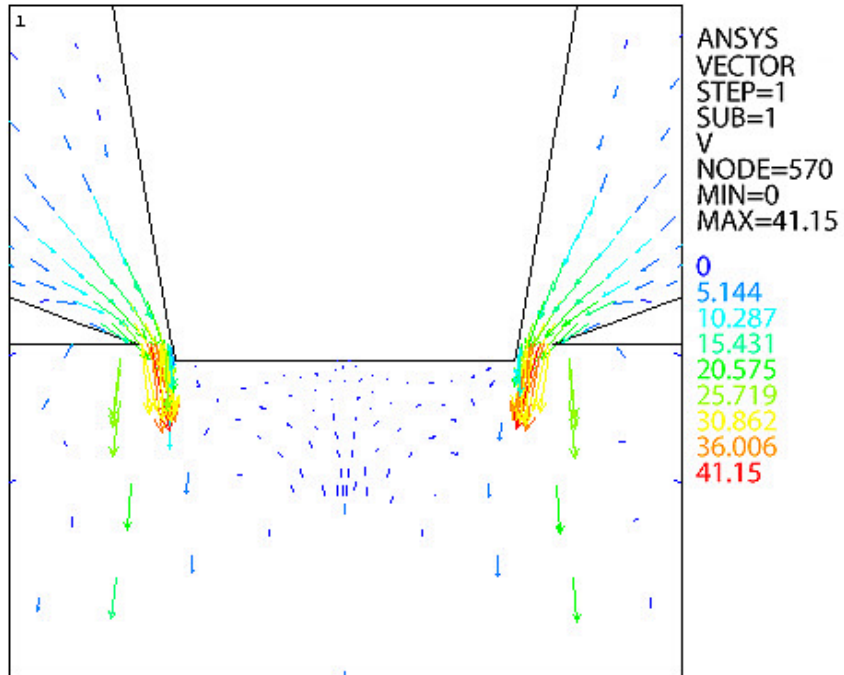
Şekil B.39 : Üst aç 10° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



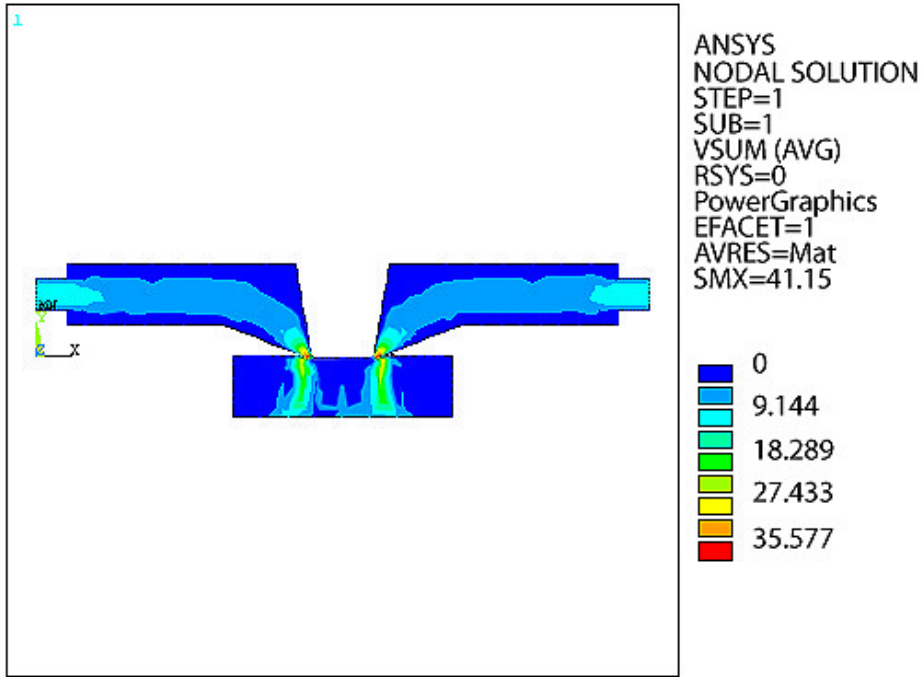
Şekil B.40 : Üst aç 10° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



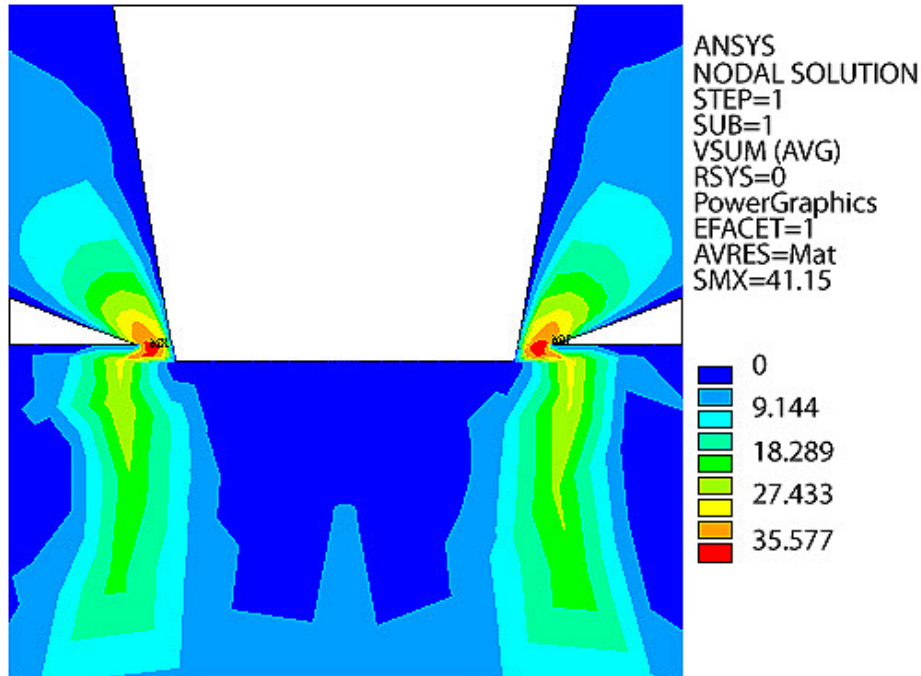
Şekil B.41 : Üst aç 10° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



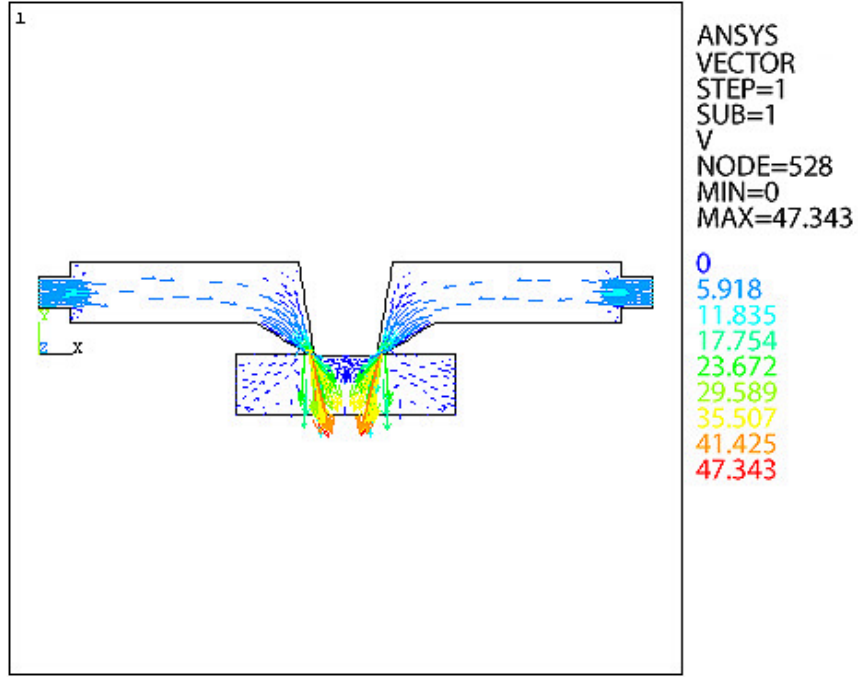
Şekil B.42 : Üst aç 10° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



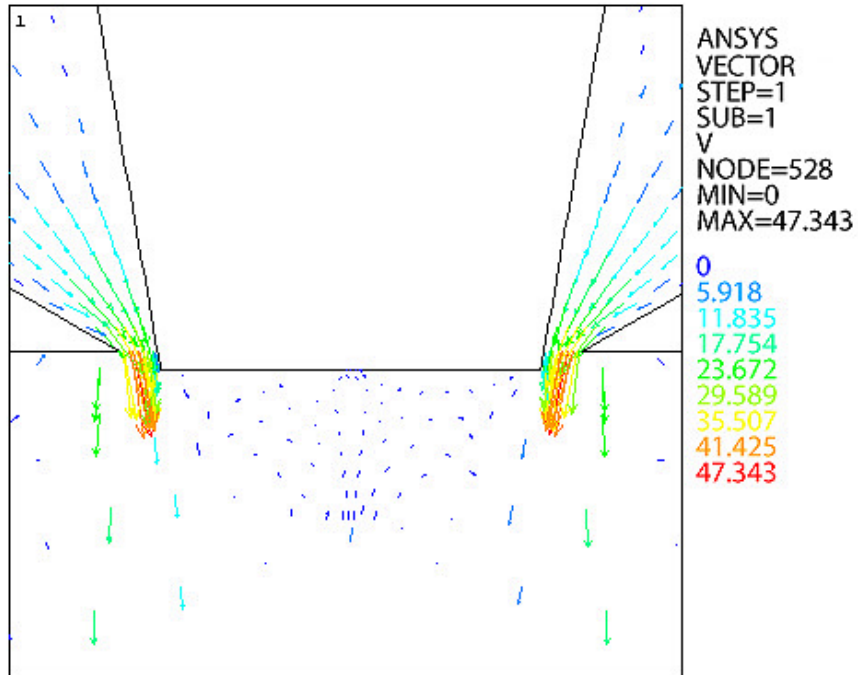
Şekil B.43 : Üst açısı 10° alt açısı 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



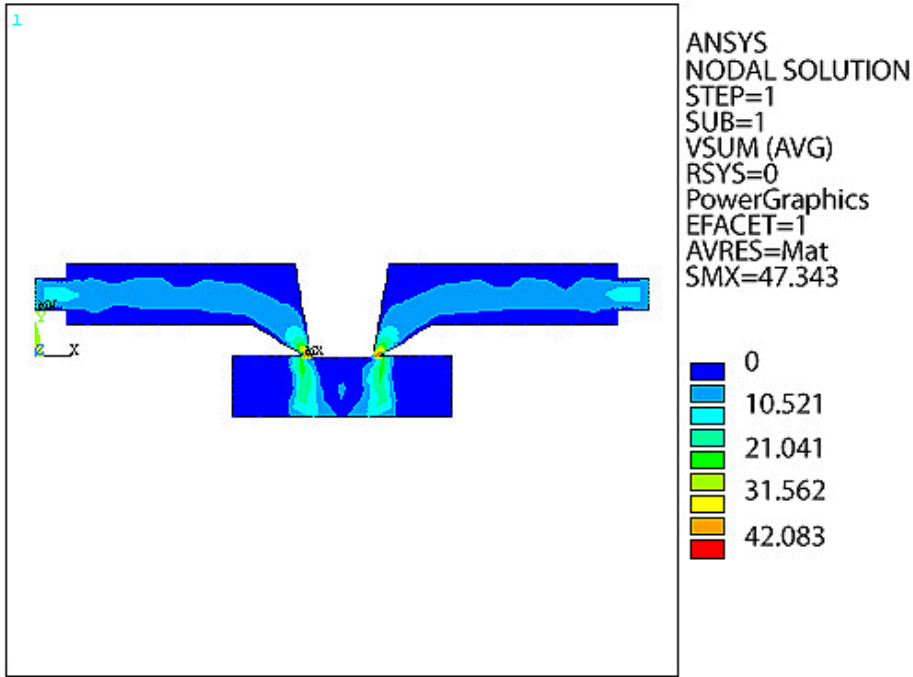
Şekil B.44 : Üst açısı 10° alt açısı 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



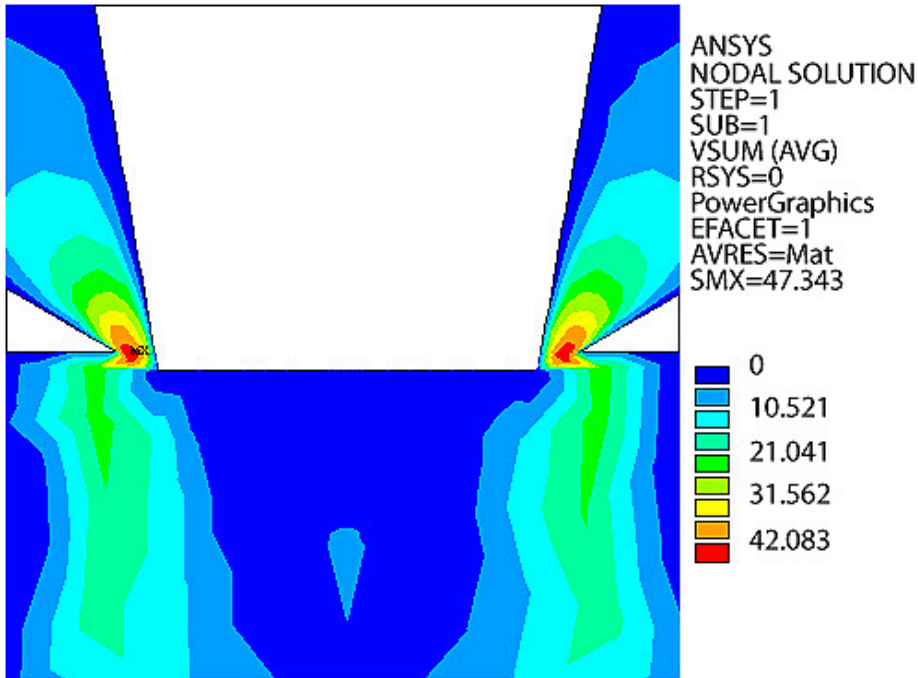
Şekil B.45 : Üst aç 10° alt aç 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



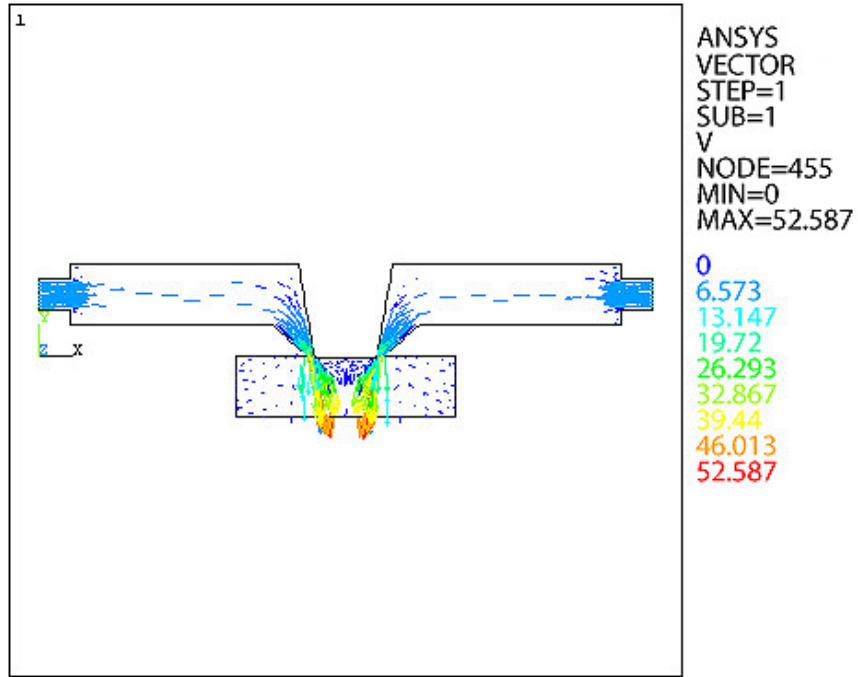
Şekil B.46 : Üst aç 10° alt aç 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



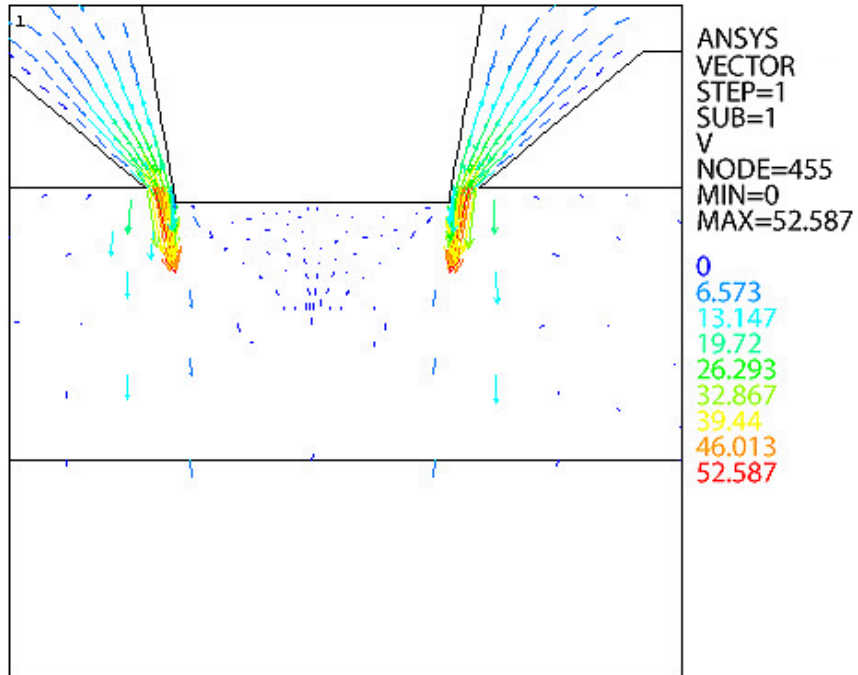
Şekil B.47 : Üst aç 10° alt aç 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



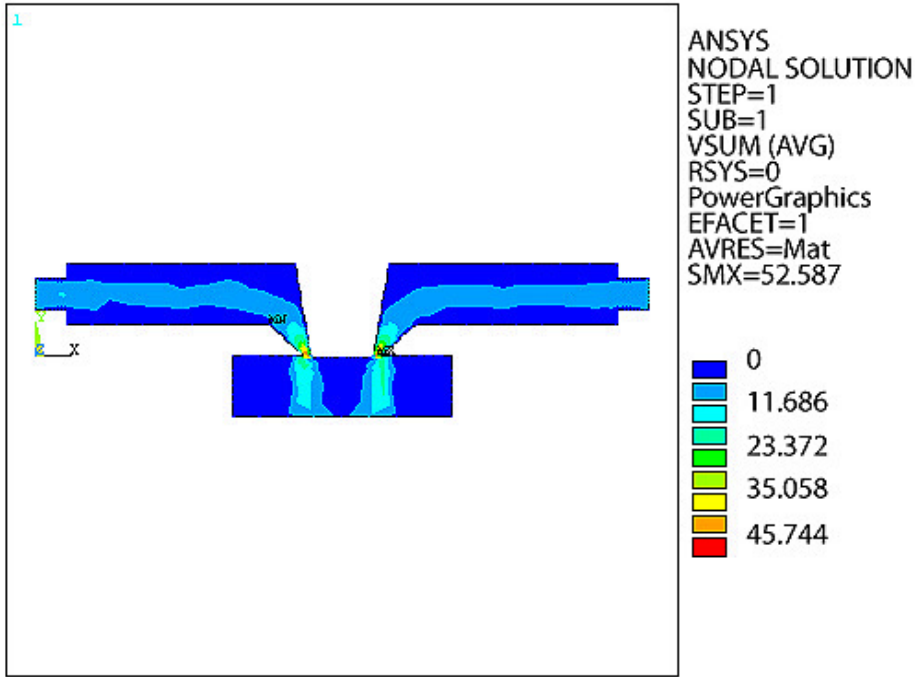
Şekil B.48 : Üst aç 10° alt aç 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



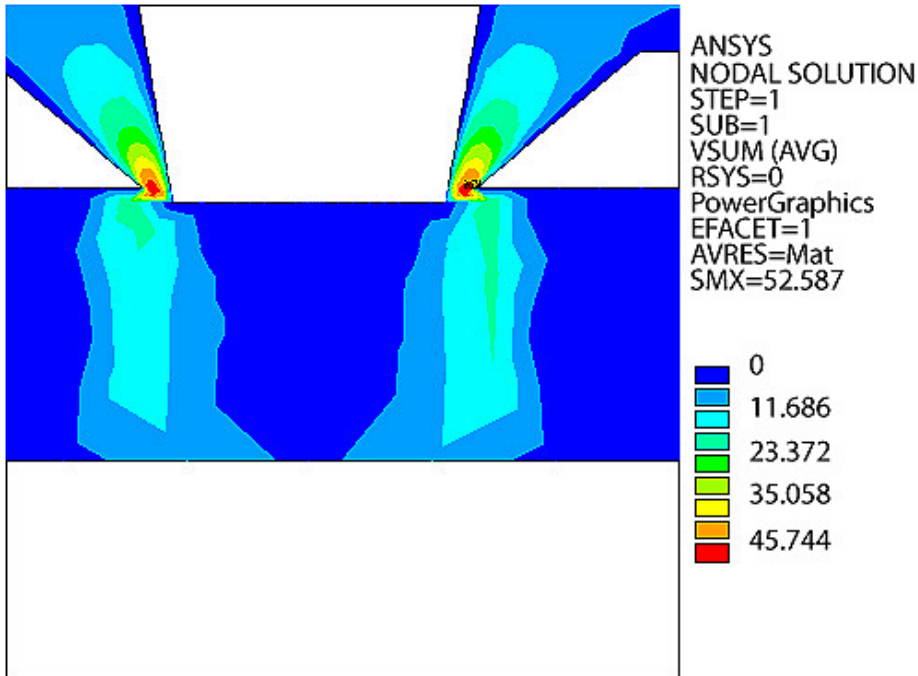
Şekil B.49 : Üst aç 10° alt aç 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



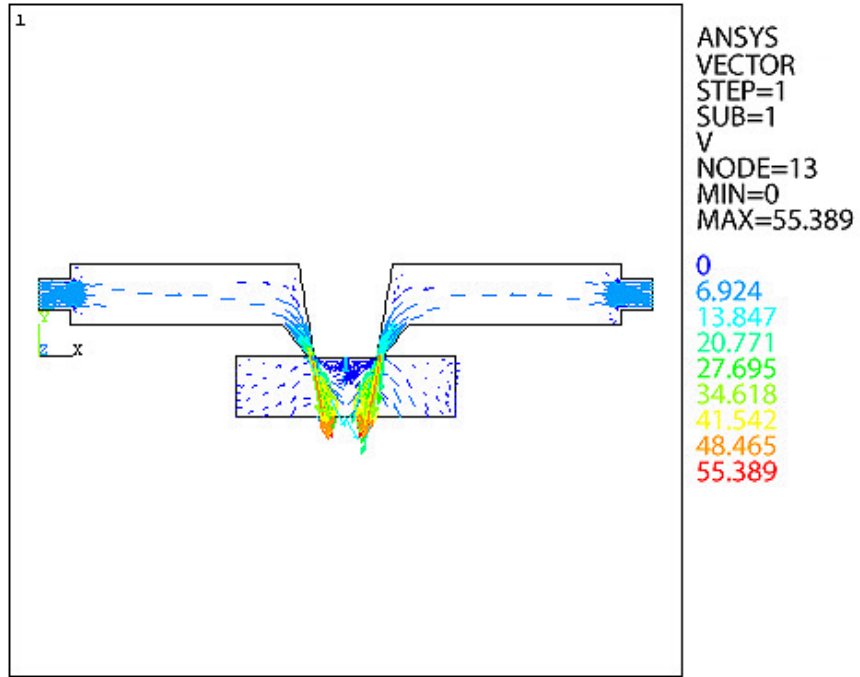
Şekil B.50 : Üst aç 10° alt aç 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



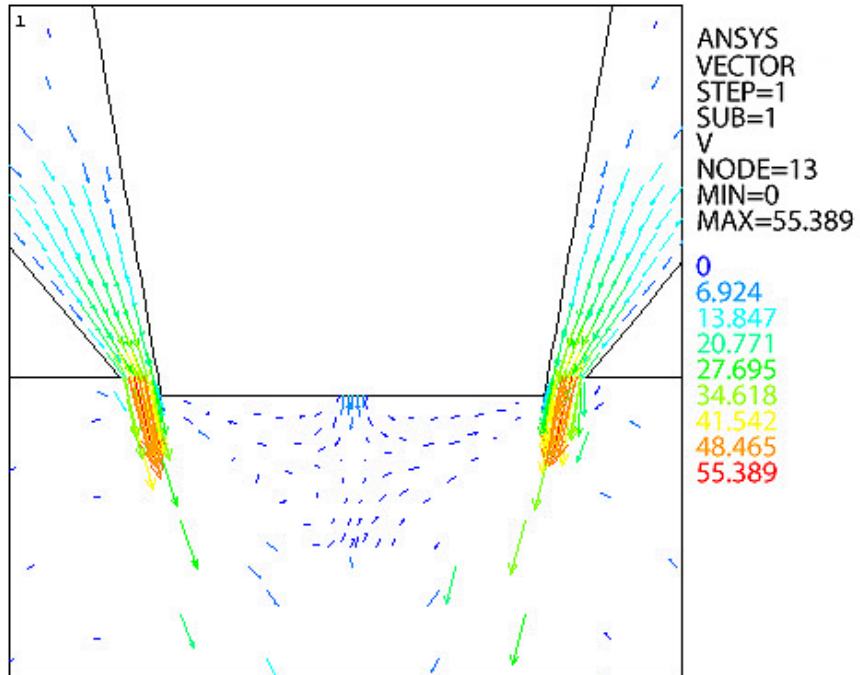
Şekil B.51 : Üst aç 10° alt aç 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



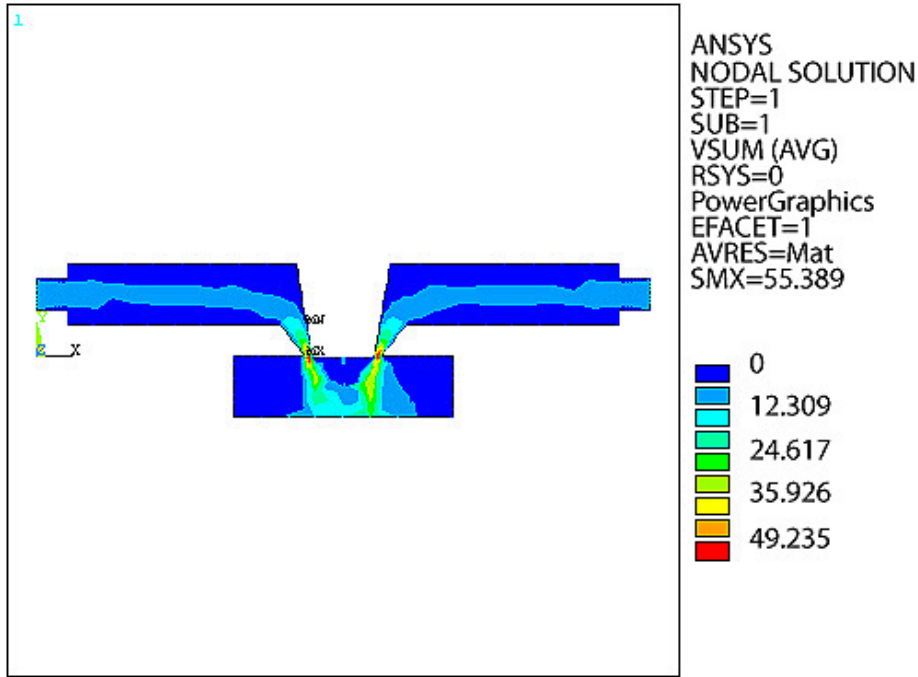
Şekil B.52 : Üst aç 10° alt aç 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



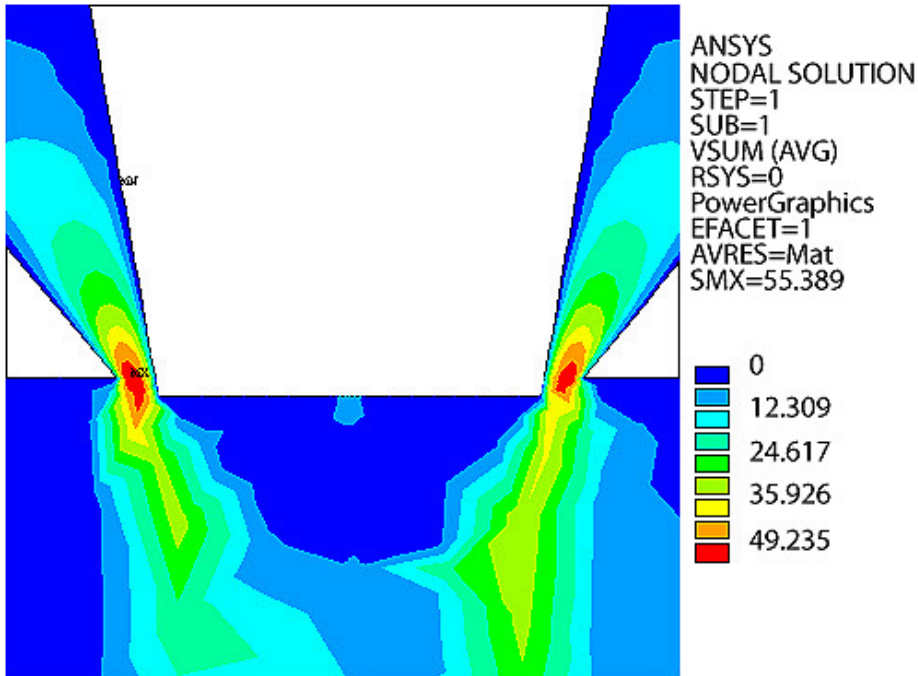
Şekil B.53 : Üst aç 10° alt aç 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



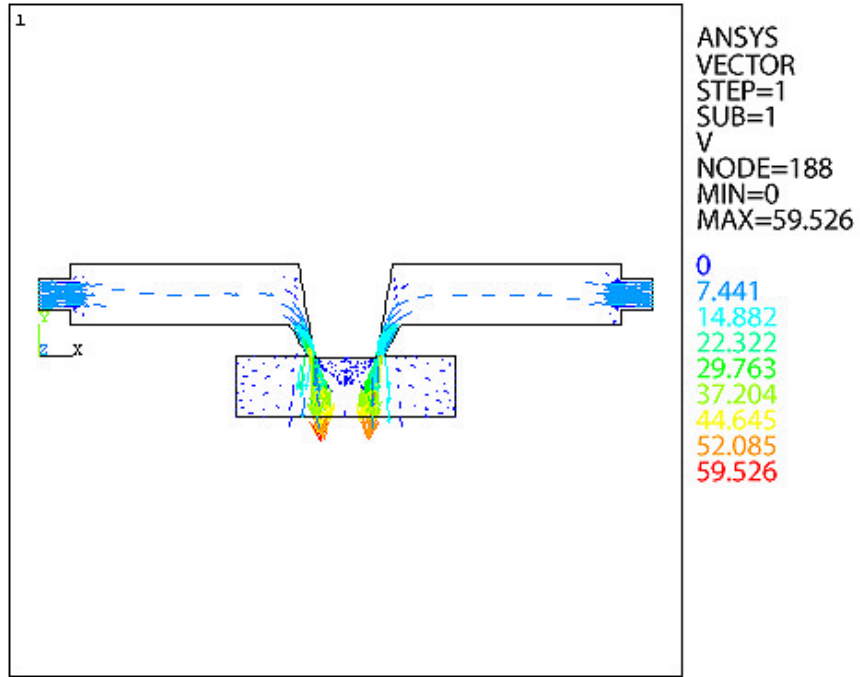
Şekil B.54 : Üst aç 10° alt aç 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



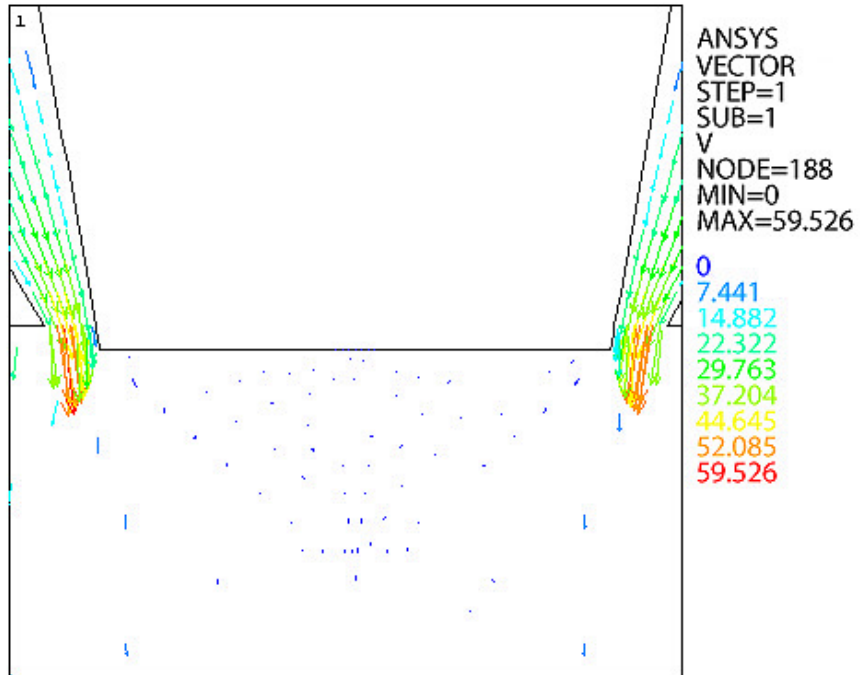
Şekil B.55 : Üst açısı 10° alt açısı 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



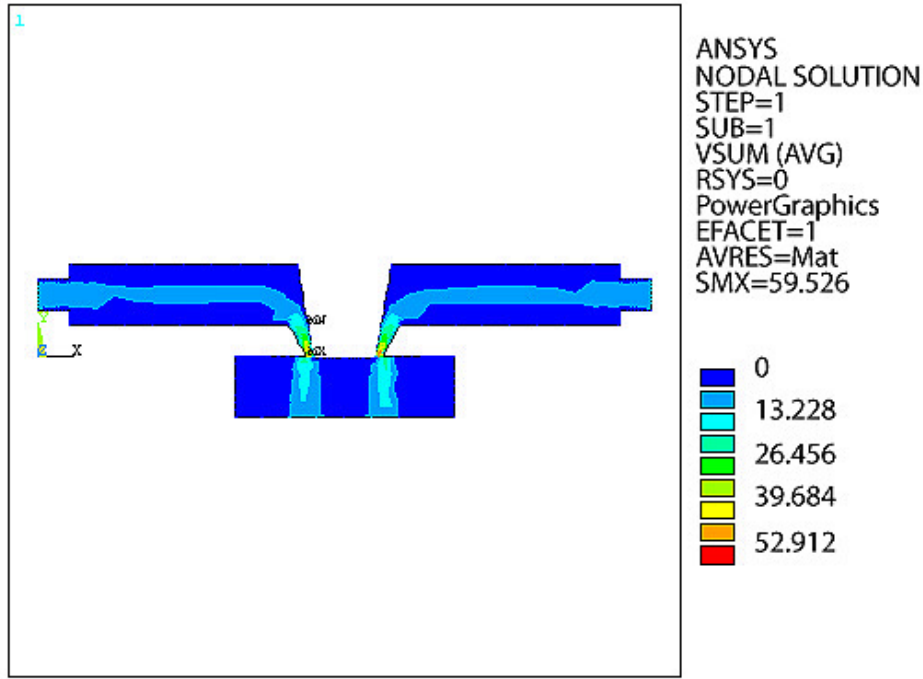
Şekil B.56 : Üst açısı 10° alt açısı 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



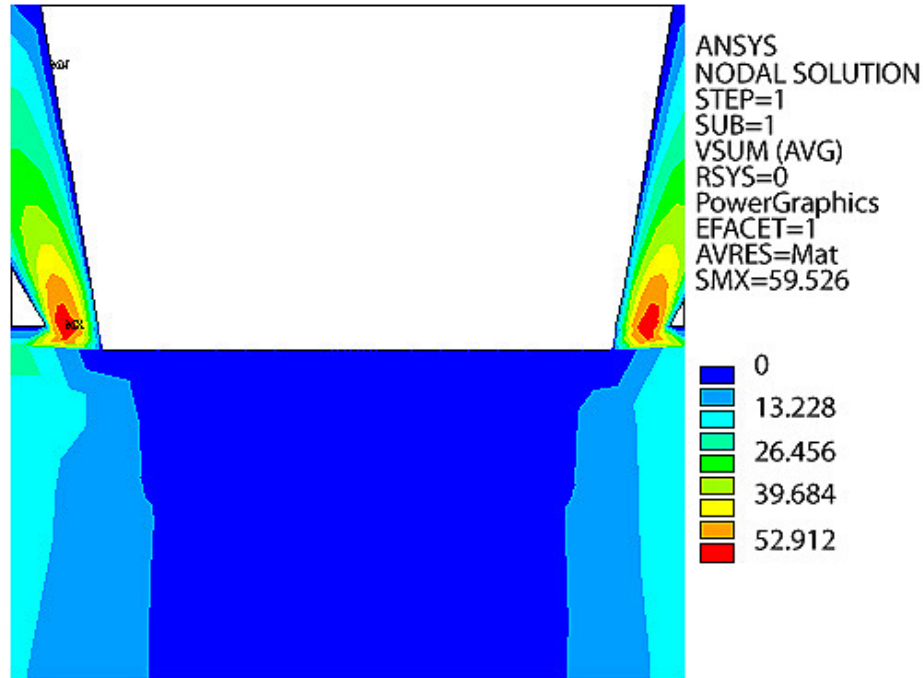
Şekil B.57 : Üst aç 10° alt aç 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



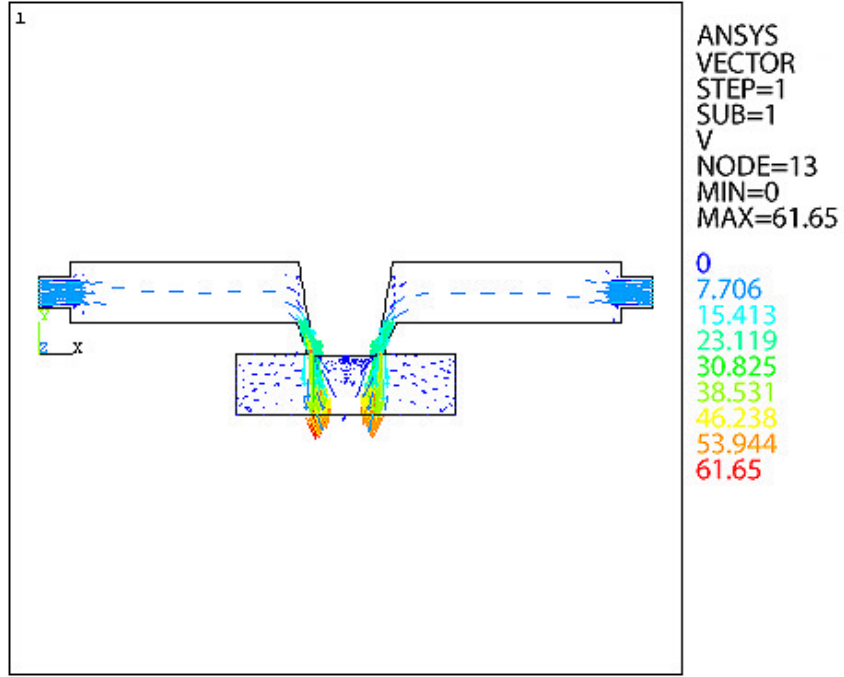
Şekil B.58 : Üst aç 10° alt aç 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



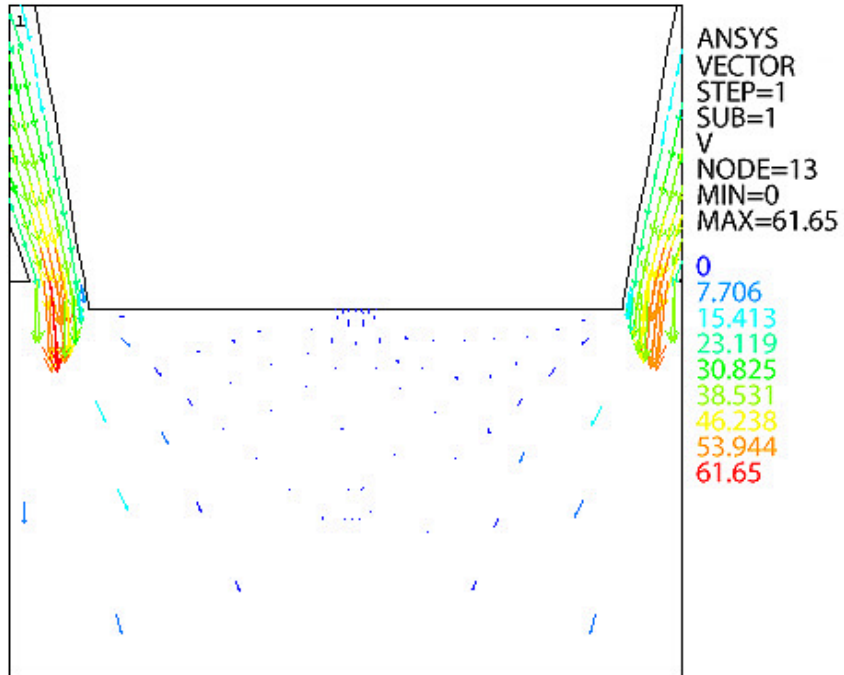
Şekil B.59 : Üst açısı 10° alt açısı 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



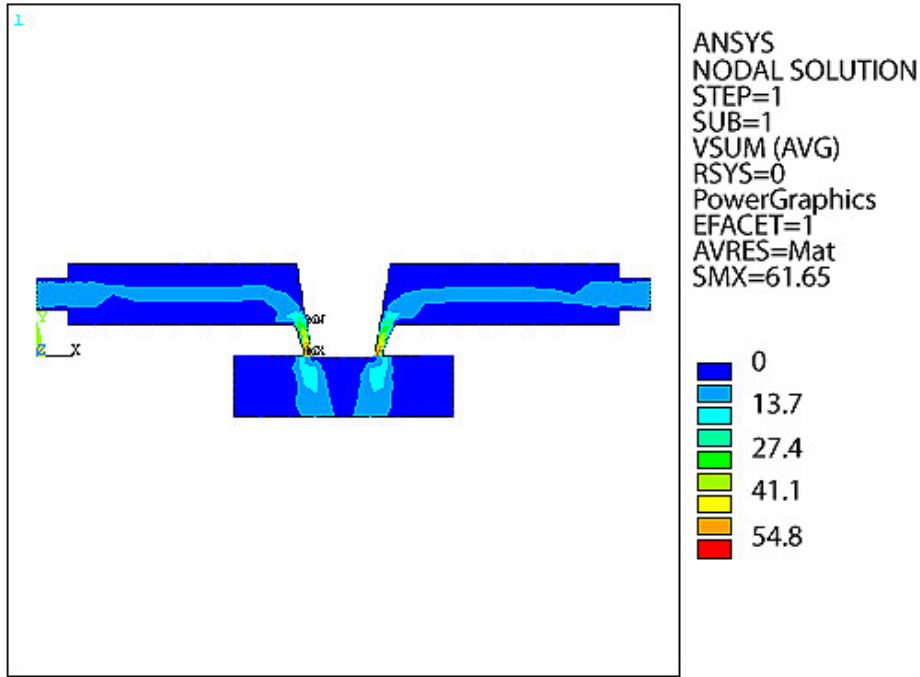
Şekil B.60 : Üst açısı 10° alt açısı 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



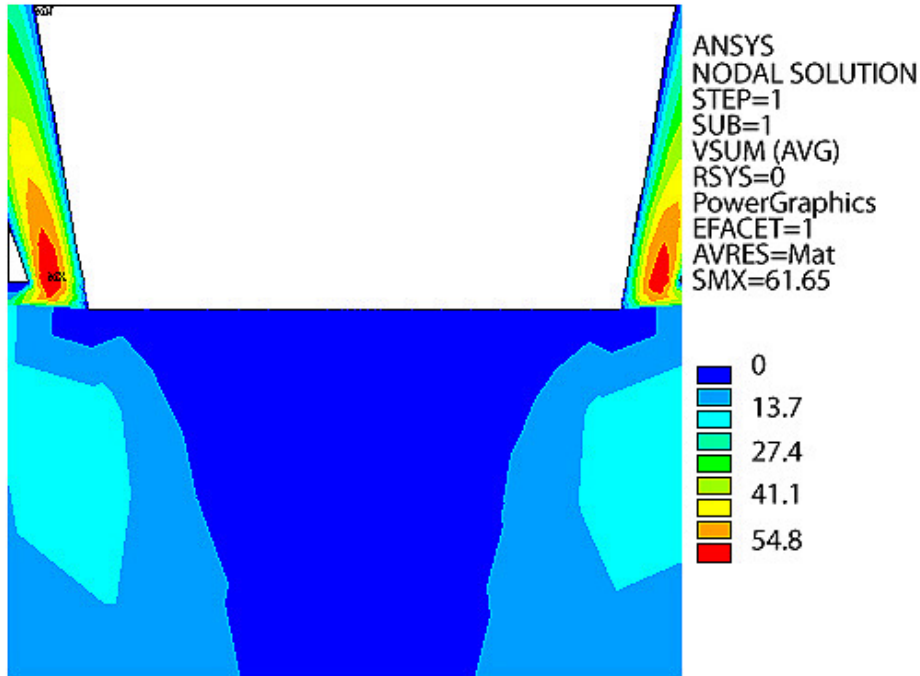
Şekil B.61 : Üst aç 10° alt aç 70° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



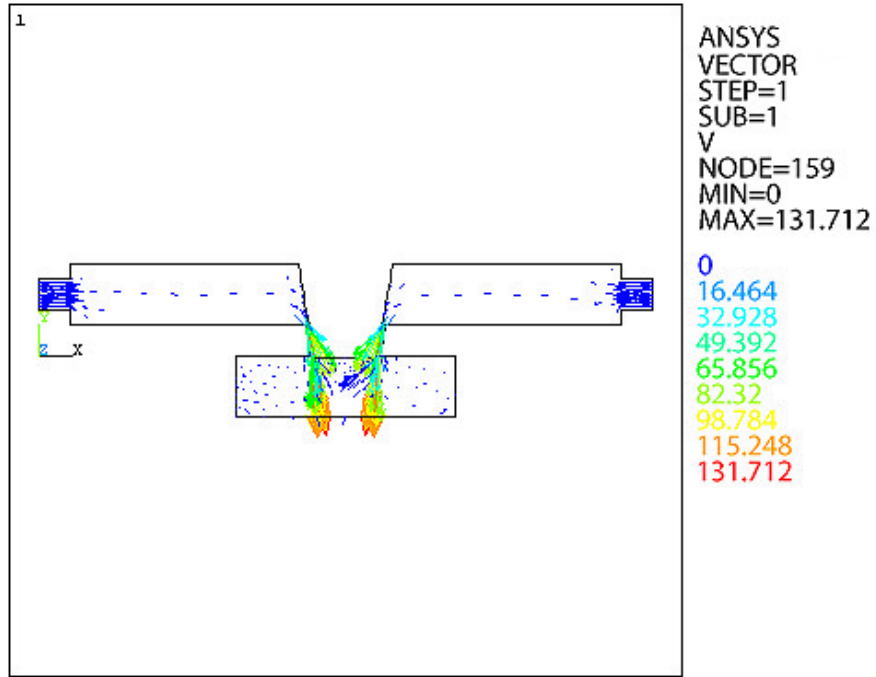
Şekil B.62 : Üst aç 10° alt aç 70° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



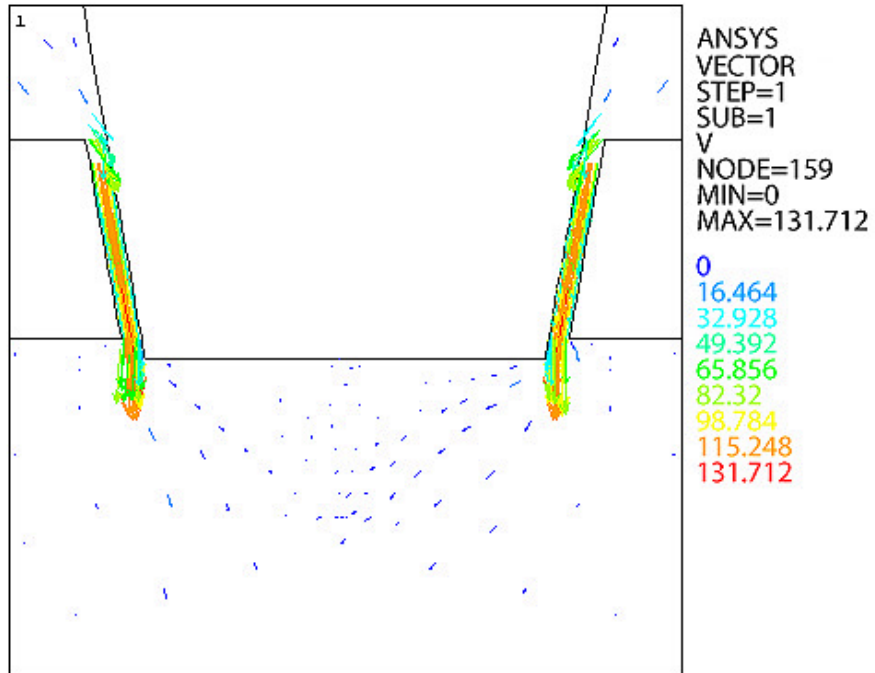
Şekil B.63 : Üst aç 10° alt aç 70° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



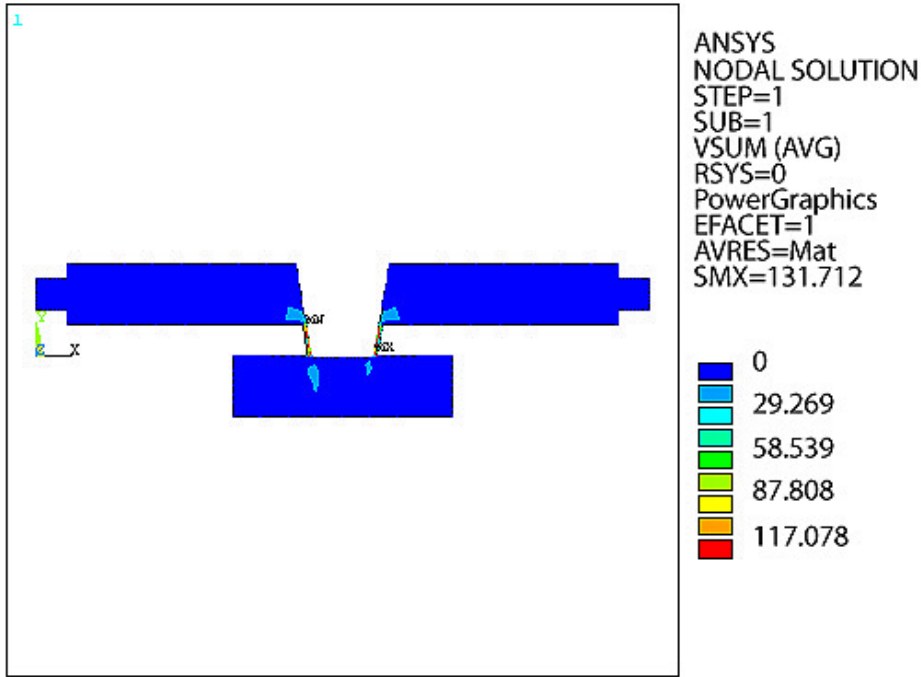
Şekil B.64 : Üst aç 10° alt aç 70° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



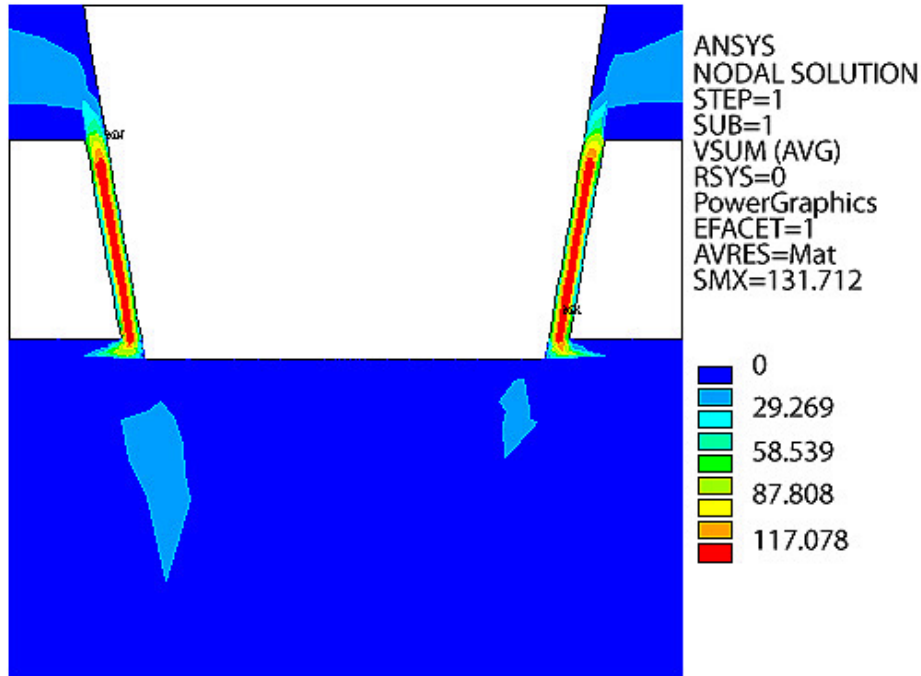
Şekil B.65 : Üst aç 10° alt aç 80° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



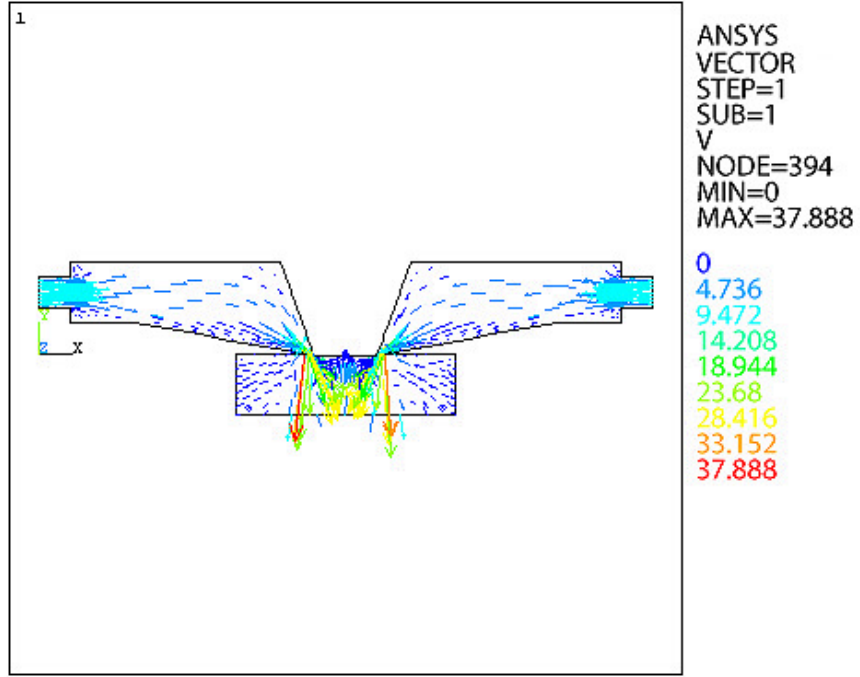
Şekil B.66 : Üst aç 10° alt aç 80° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



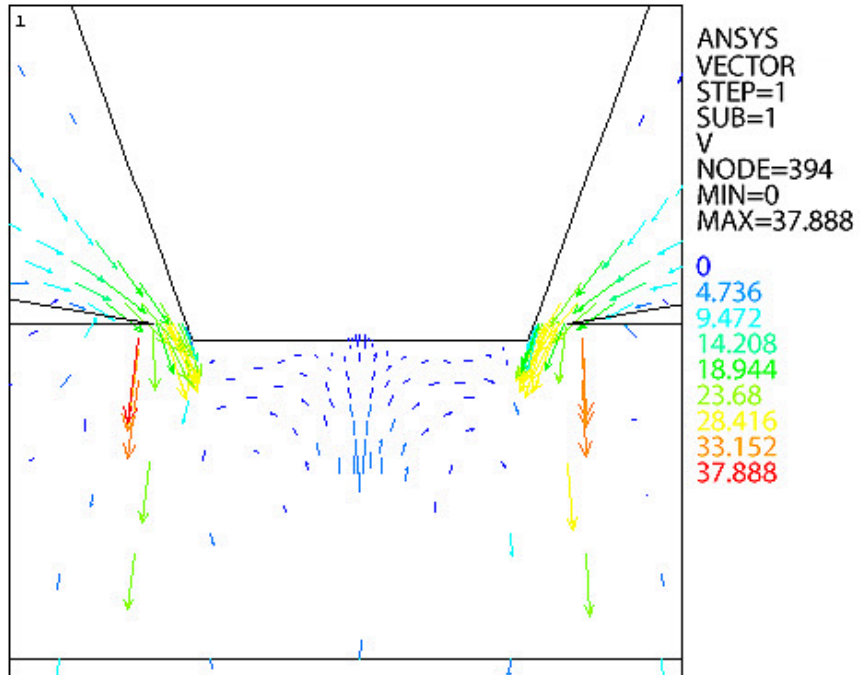
Şekil B.67 : Üst aç 10° alt aç 80° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



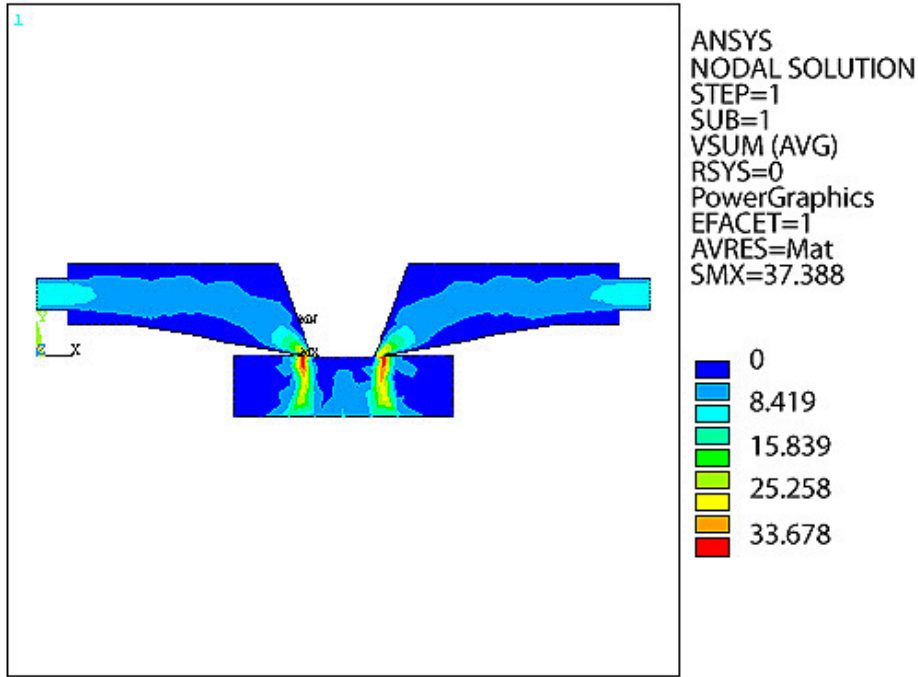
Şekil B.68 : Üst aç 10° alt aç 80° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



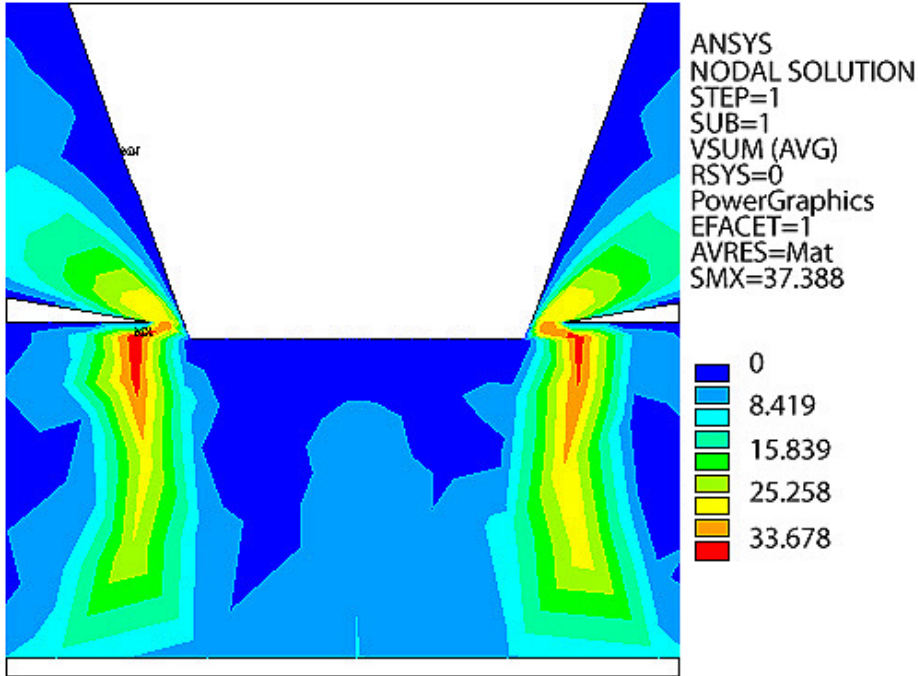
Şekil B.69 : Üst aç 20° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



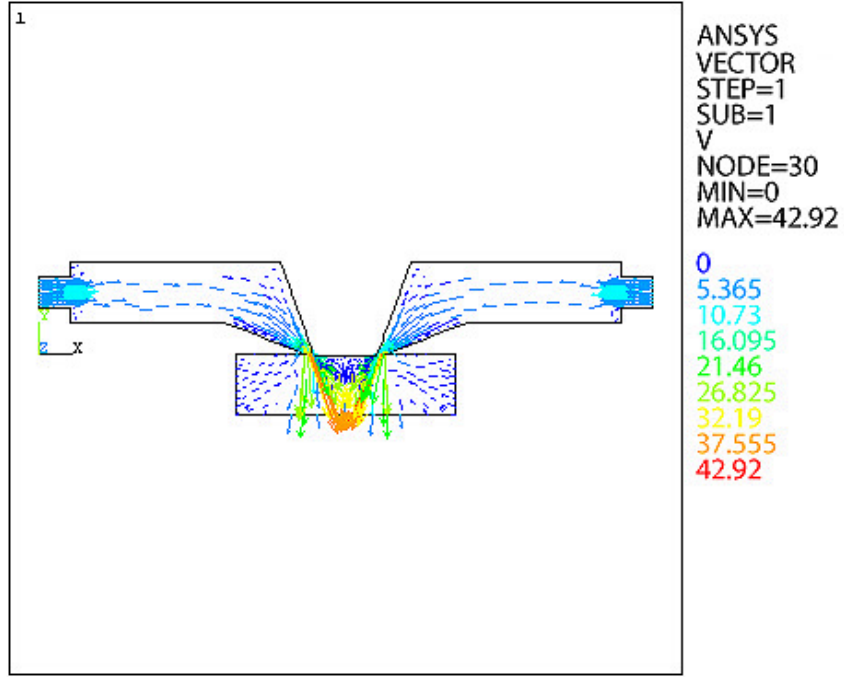
Şekil B.70 : Üst aç 20° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



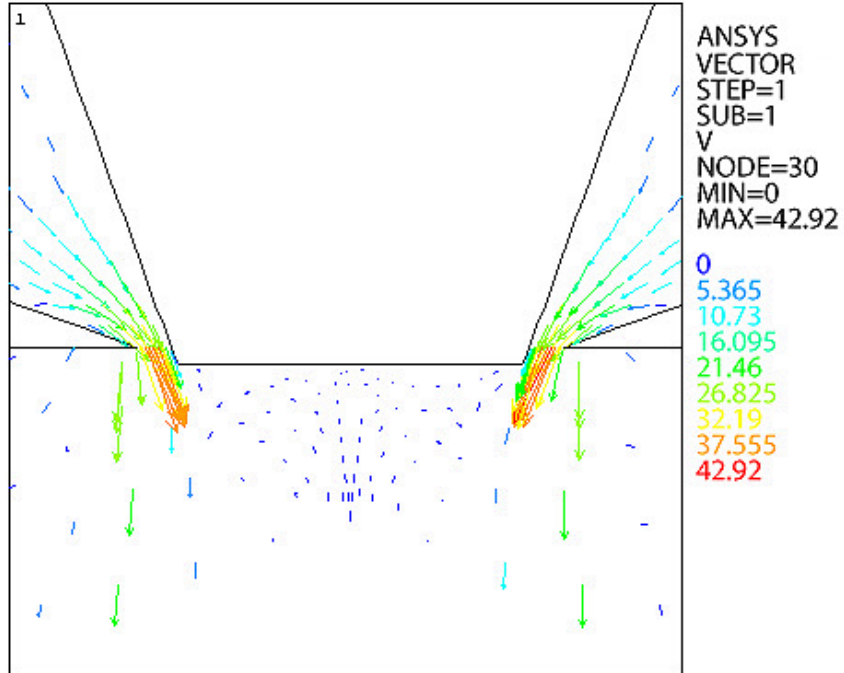
Şekil B.71 : Üst aç 20° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



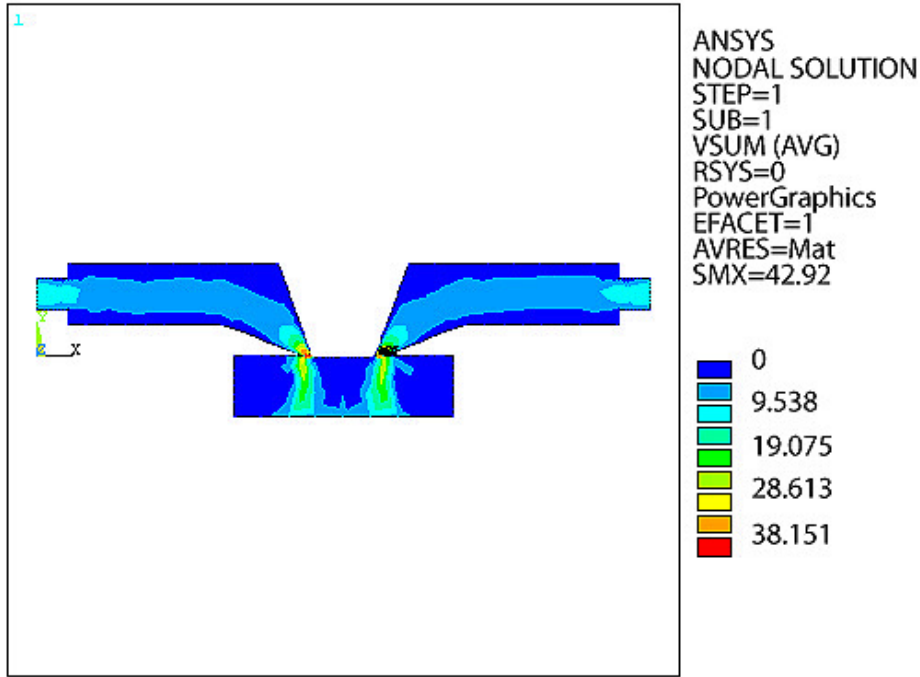
Şekil B.72 : Üst aç 20° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



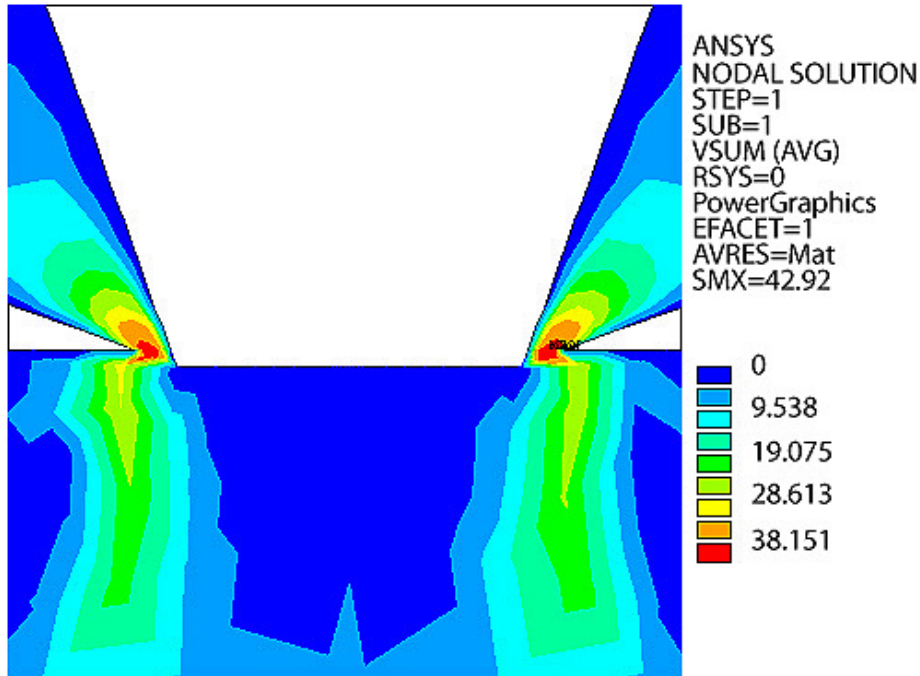
Şekil B.73 : Üst aç 20° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



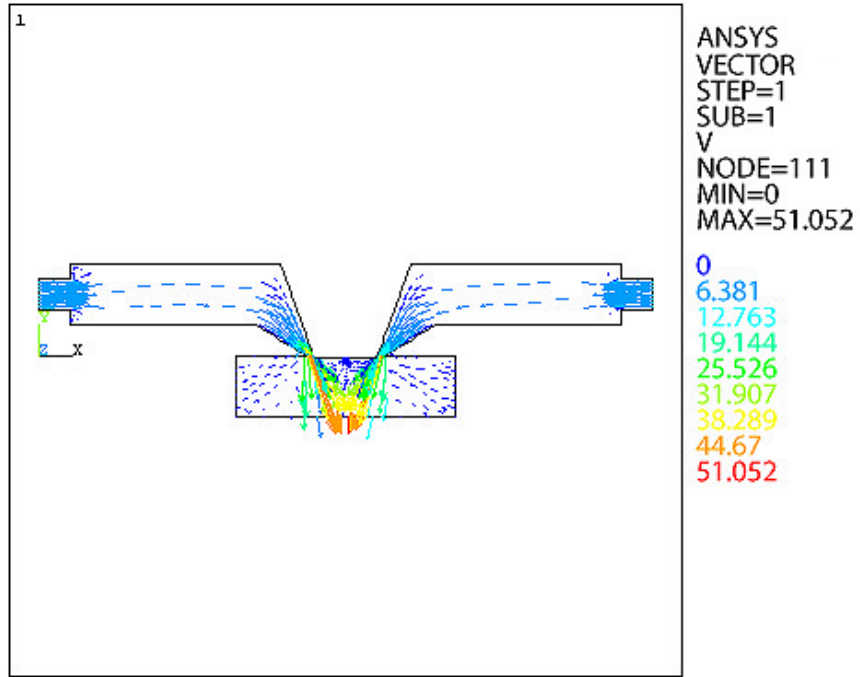
Şekil B.74 : Üst aç 20° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



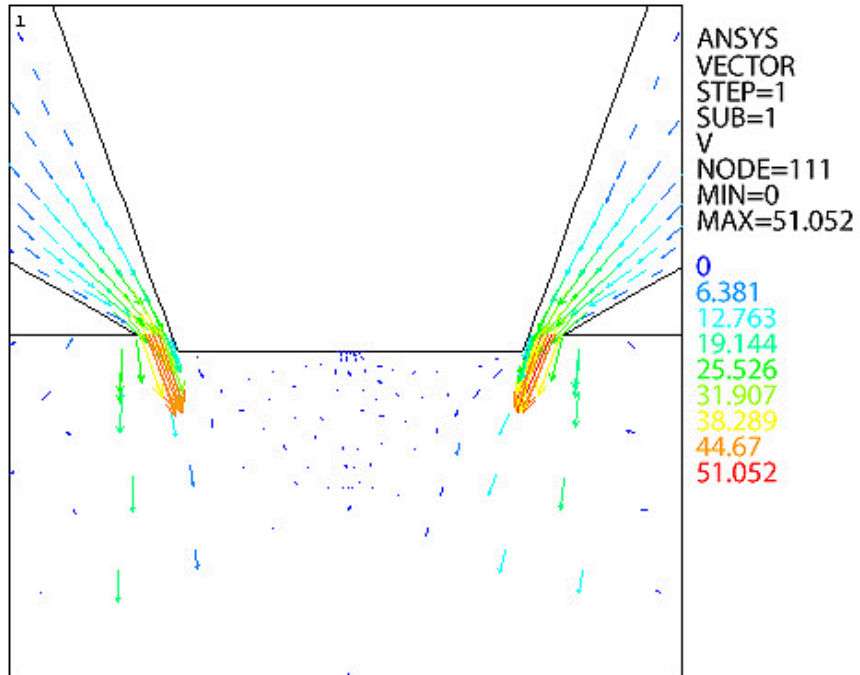
Şekil B.75 : Üst aç 20° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



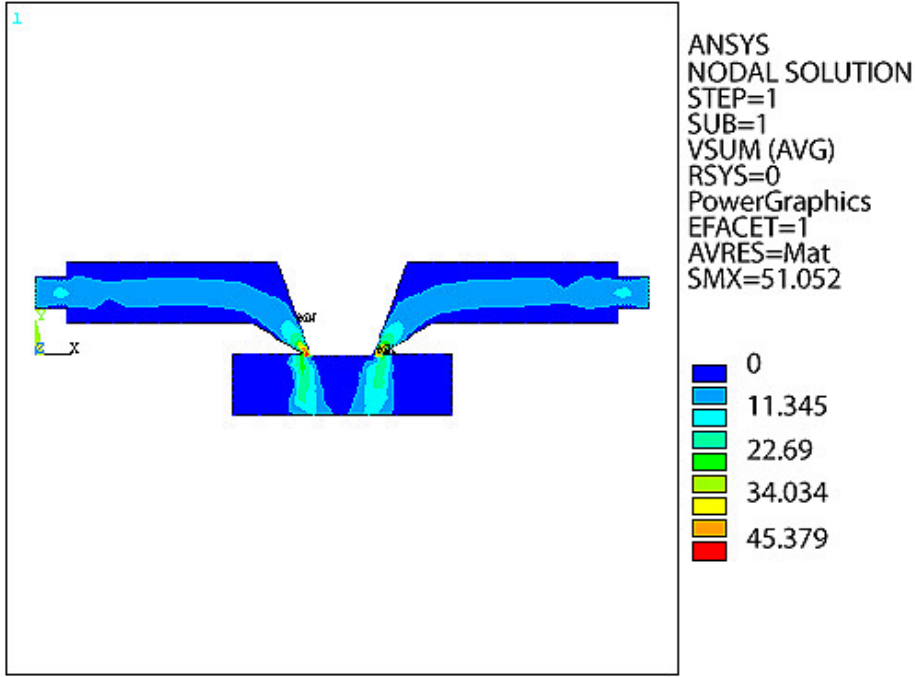
Şekil B.76 : Üst aç 20° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



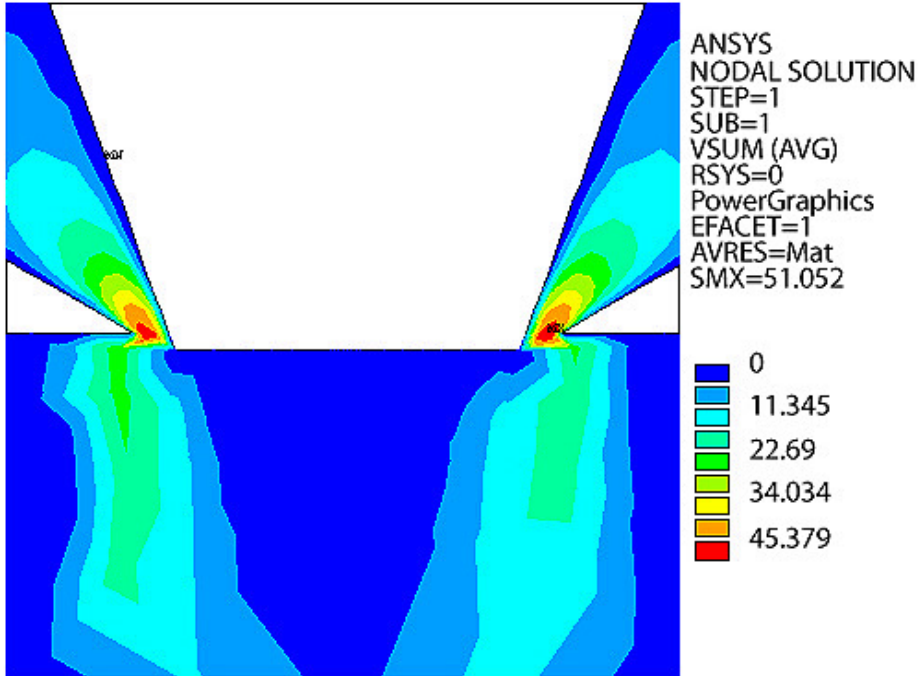
Şekil B.77 : Üst aç 20° alt aç 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



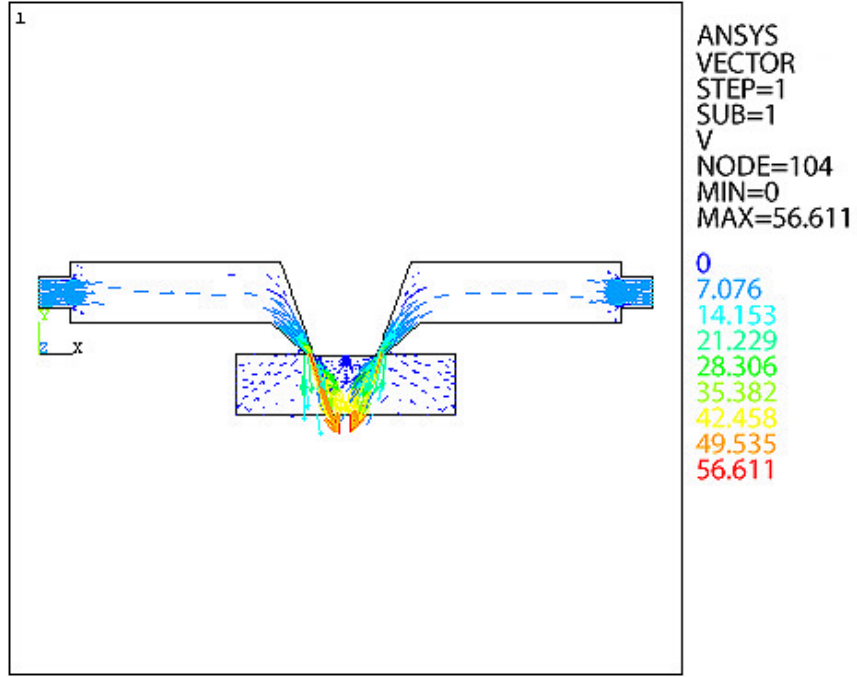
Şekil B.78 : Üst aç 20° alt aç 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



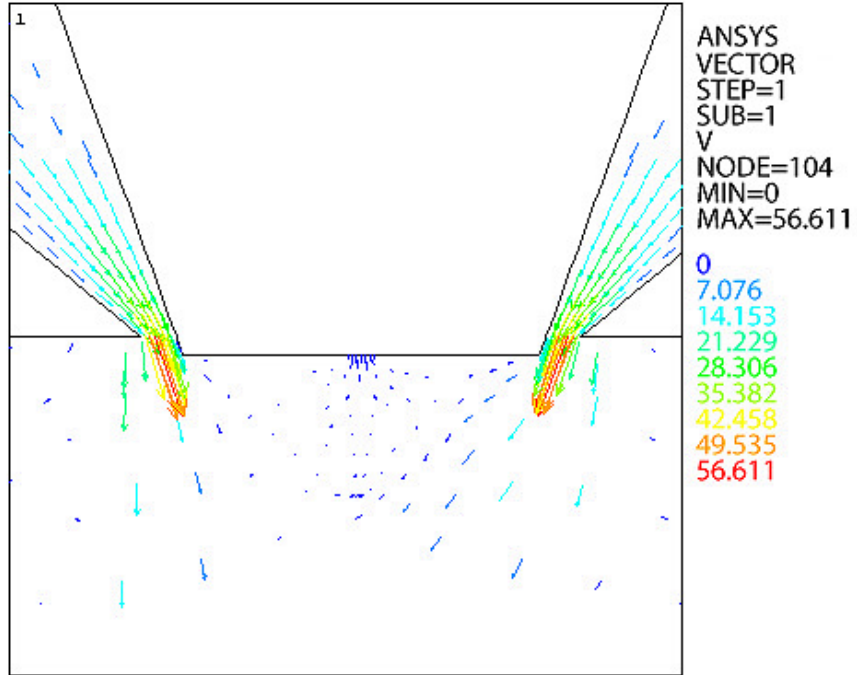
Şekil B.79 : Üst aç 20° alt aç 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



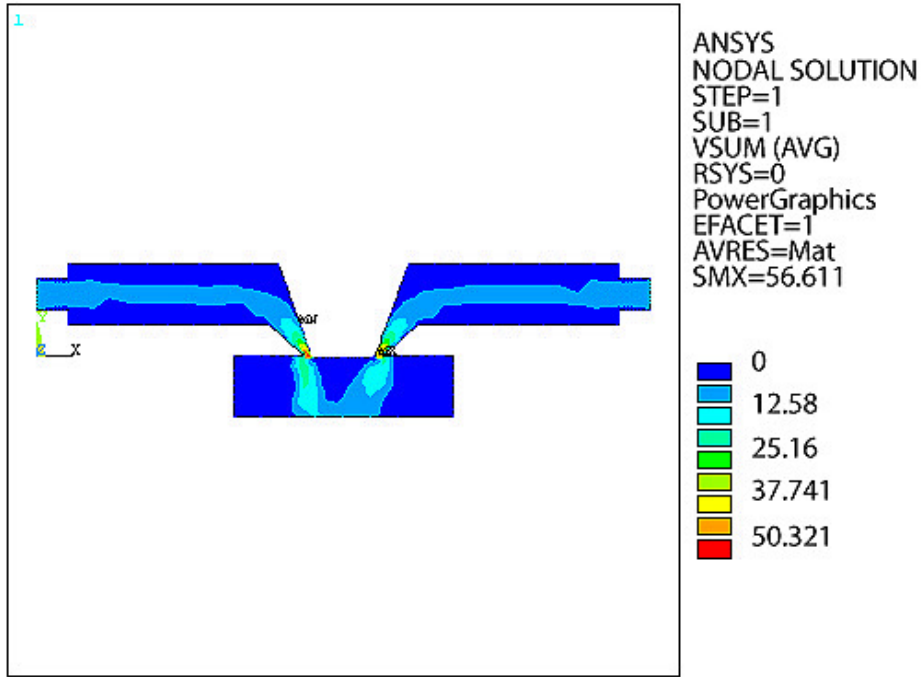
Şekil B.80 : Üst aç 20° alt aç 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



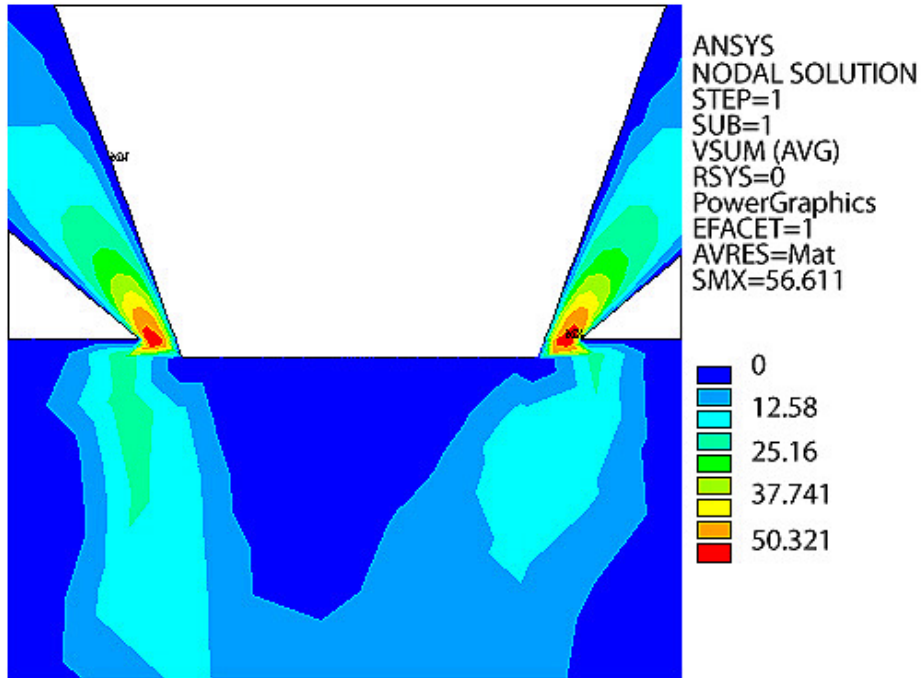
Şekil B.81 : Üst aç 20° alt aç 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



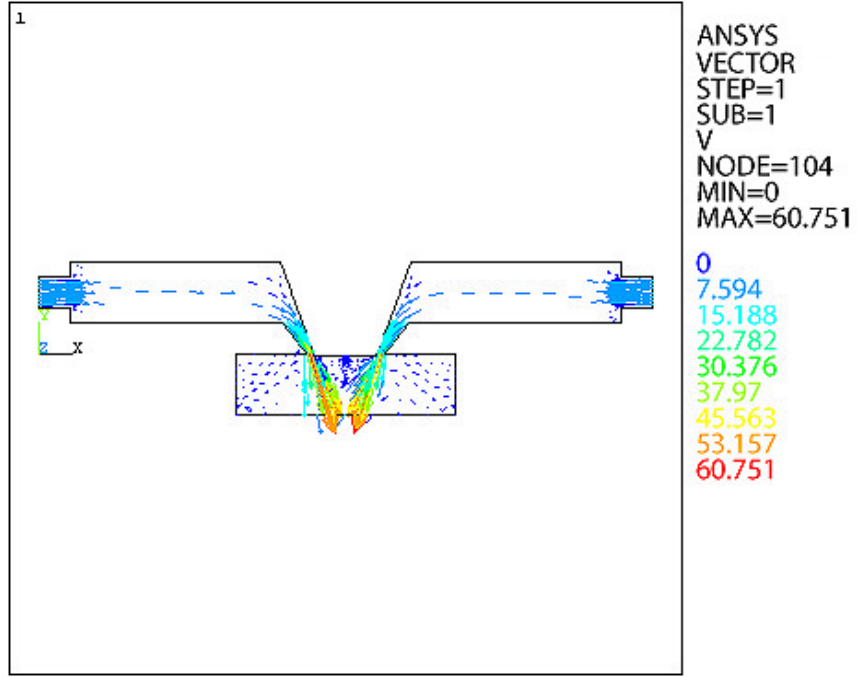
Şekil B.82 : Üst aç 20° alt aç 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



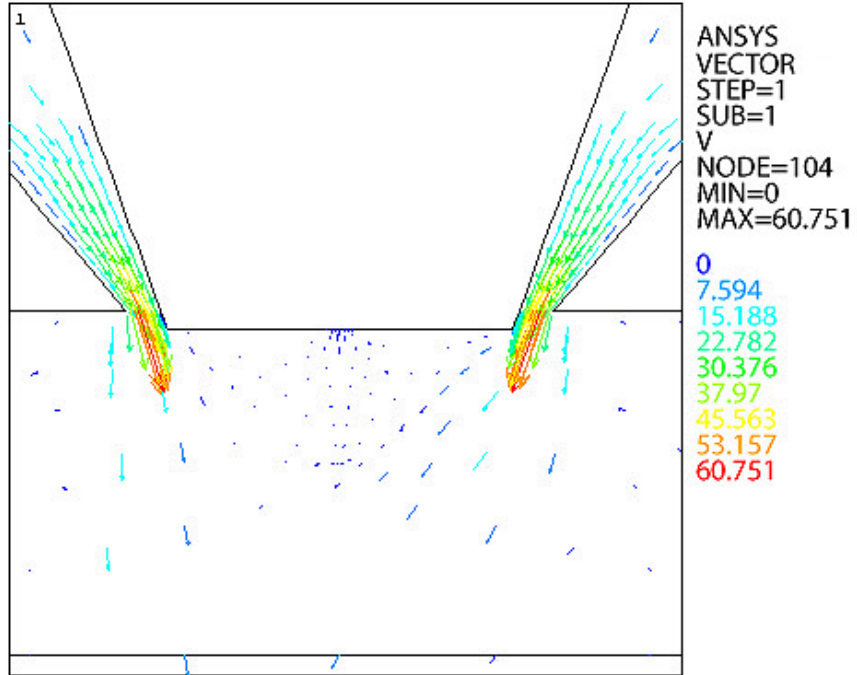
Şekil B.83 : Üst aç 20° alt aç 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



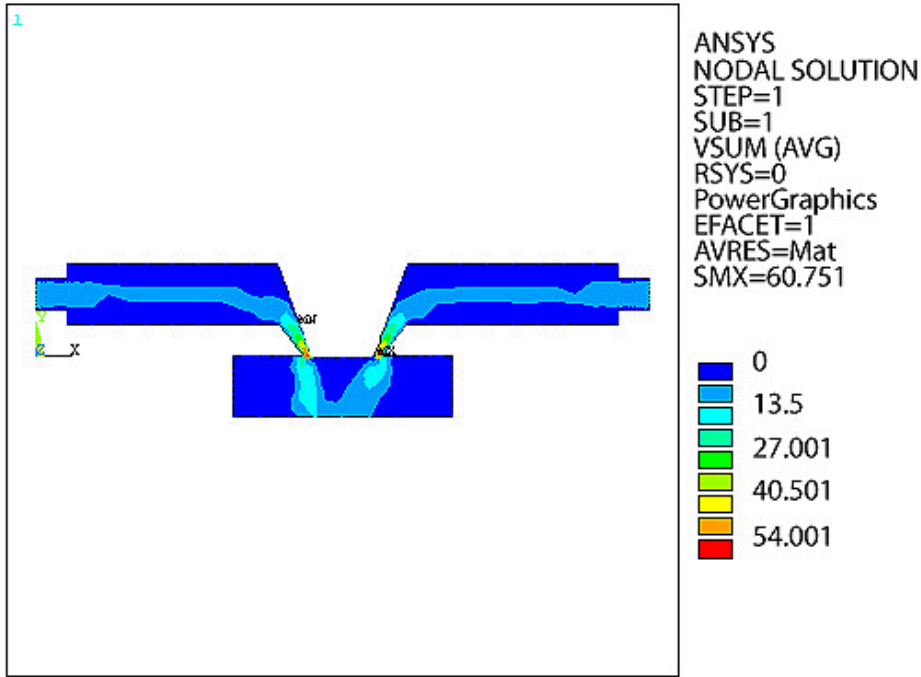
Şekil B.84 : Üst aç 20° alt aç 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



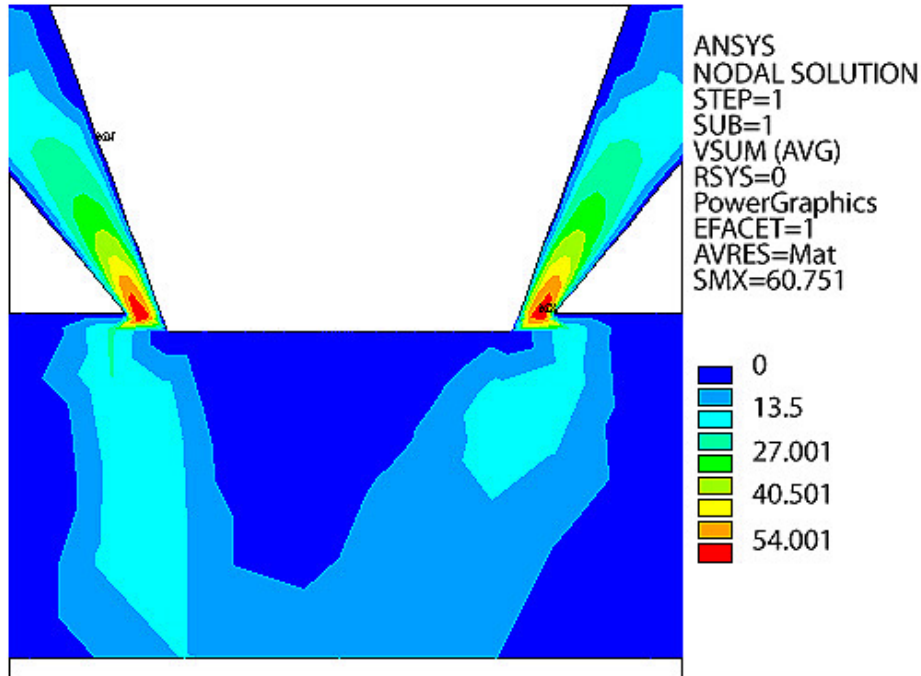
Şekil B.85 : Üst aç 20° alt aç 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



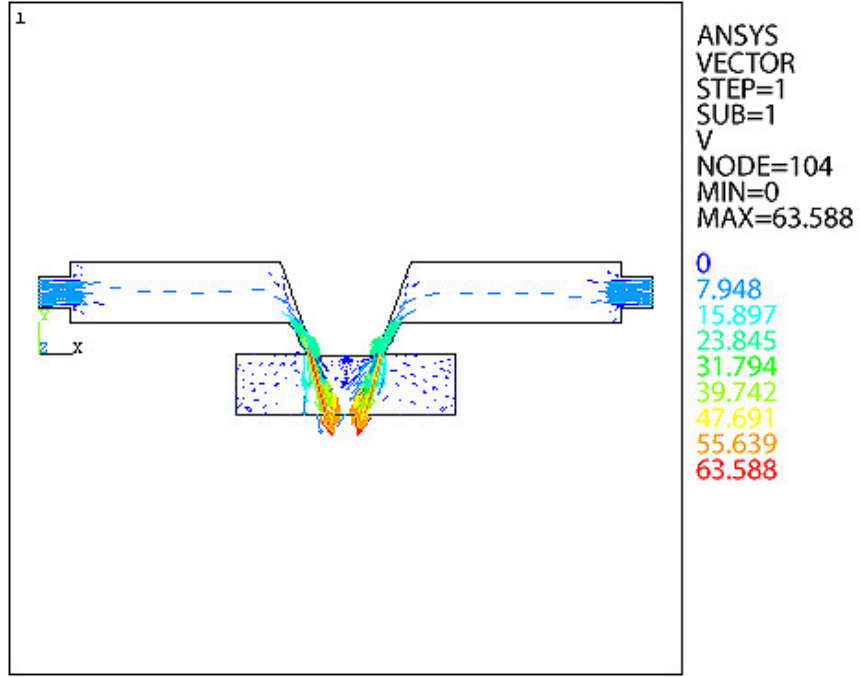
Şekil B.86 : Üst aç 20° alt aç 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



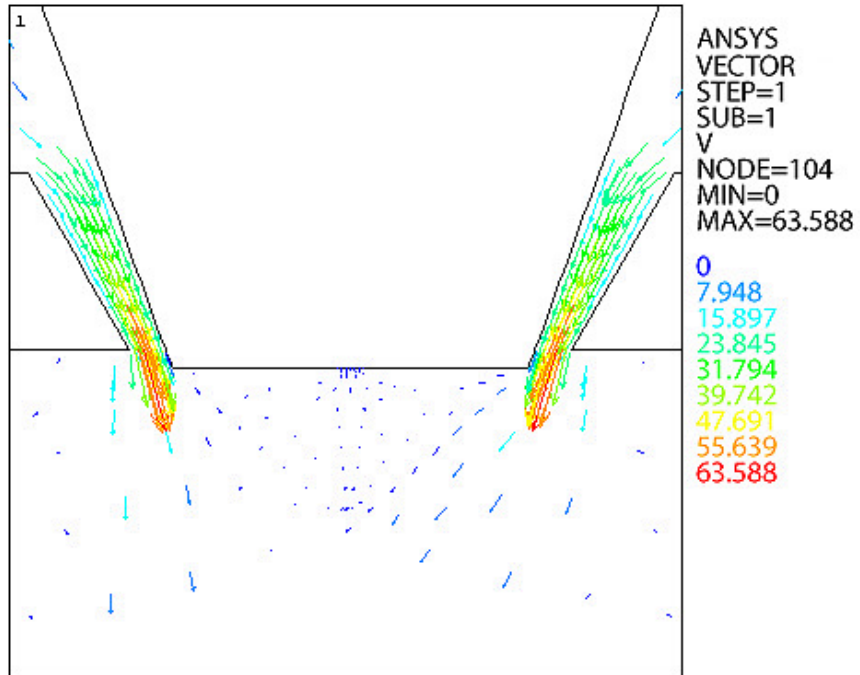
Şekil B.87 : Üst aç 20° alt aç 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



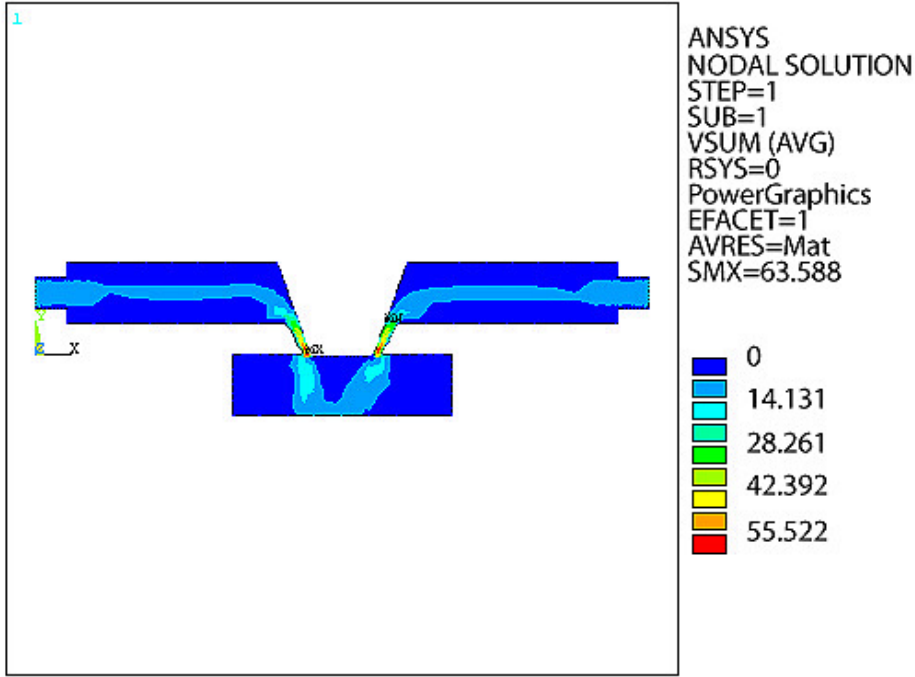
Şekil B.88 : Üst aç 20° alt aç 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



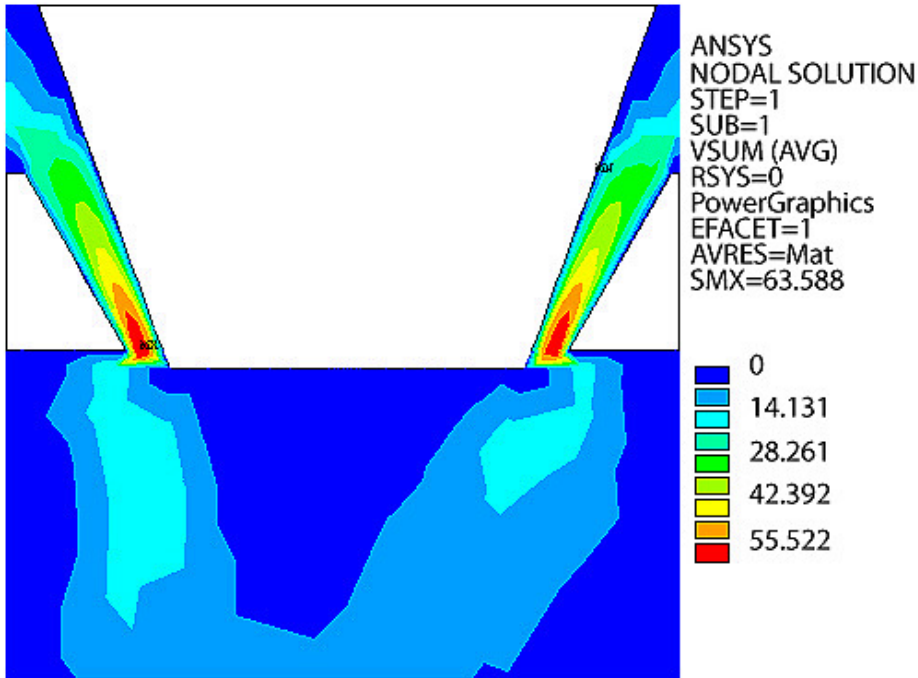
Şekil B.89 : Üst aç 20° alt aç 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



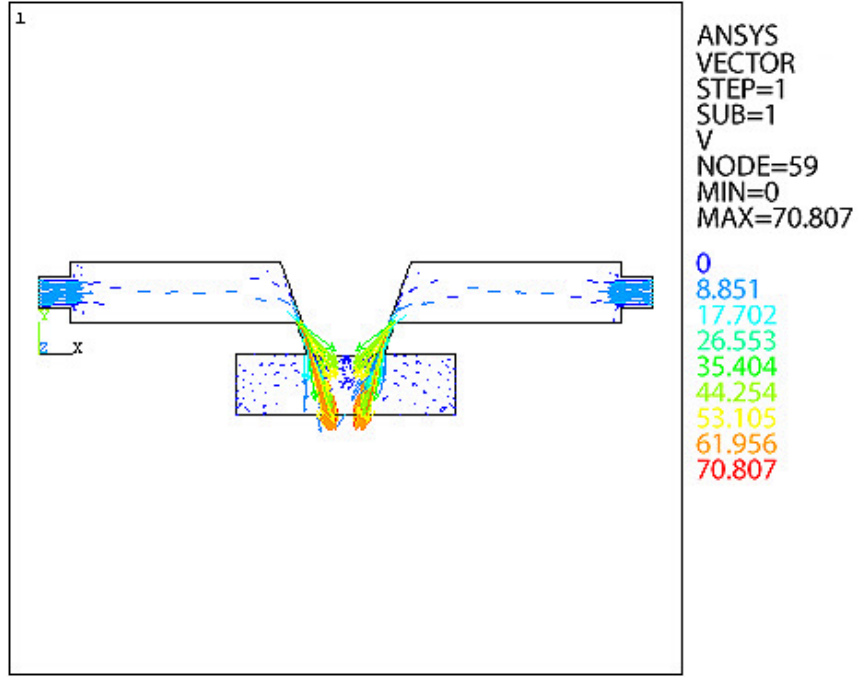
Şekil B.90 : Üst aç 20° alt aç 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



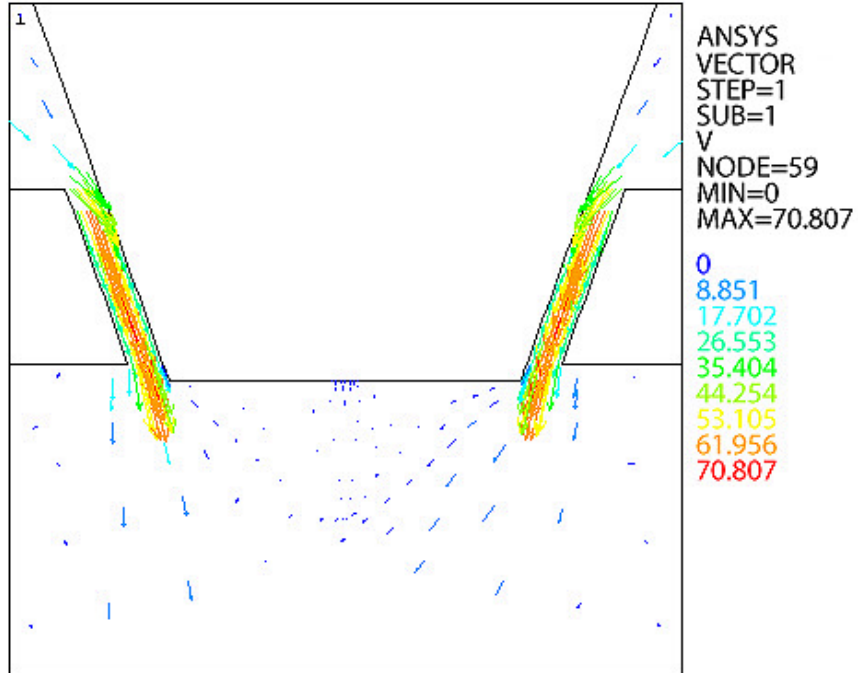
Şekil B.91 : Üst aç 20° alt aç 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



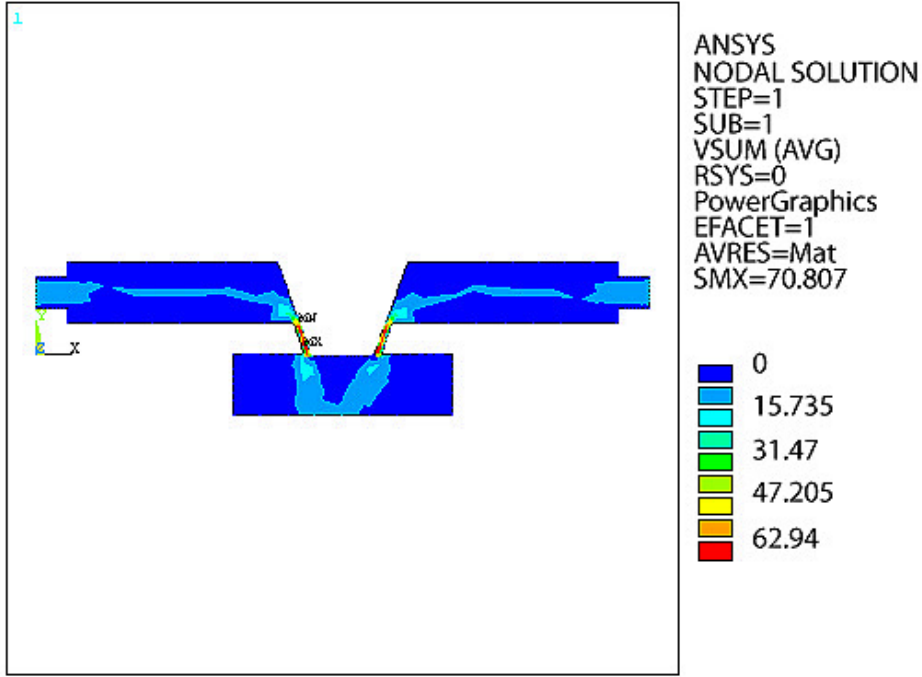
Şekil B.92 : Üst aç 20° alt aç 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



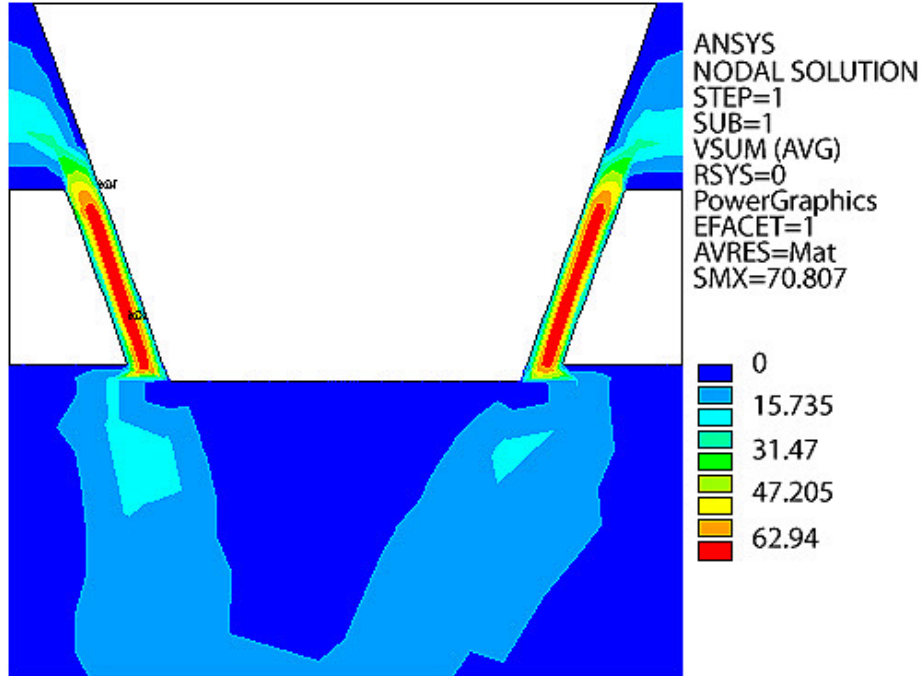
Şekil B.93 : Üst açısı 20° alt açısı 70° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



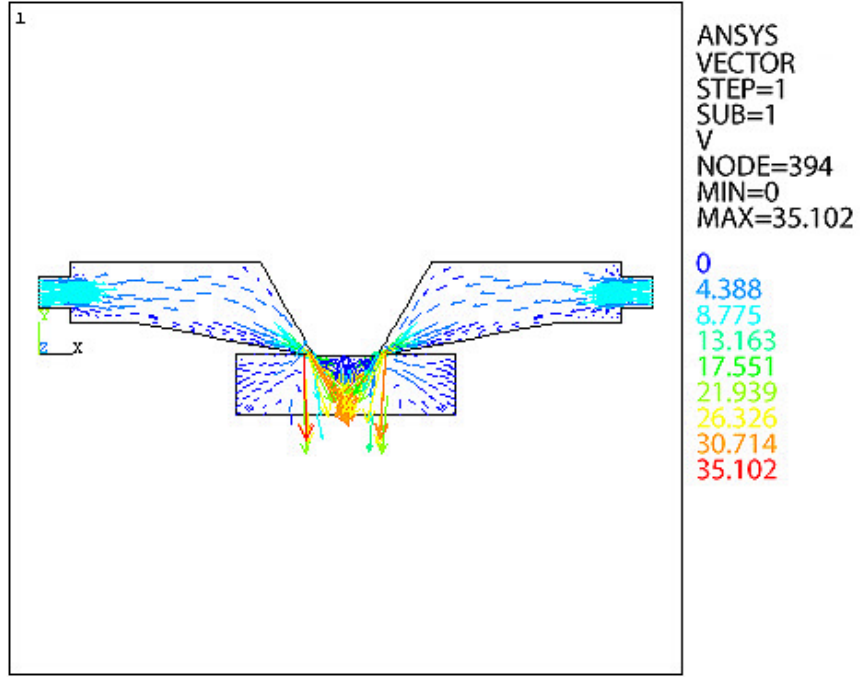
Şekil B.94 : Üst açısı 20° alt açısı 70° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



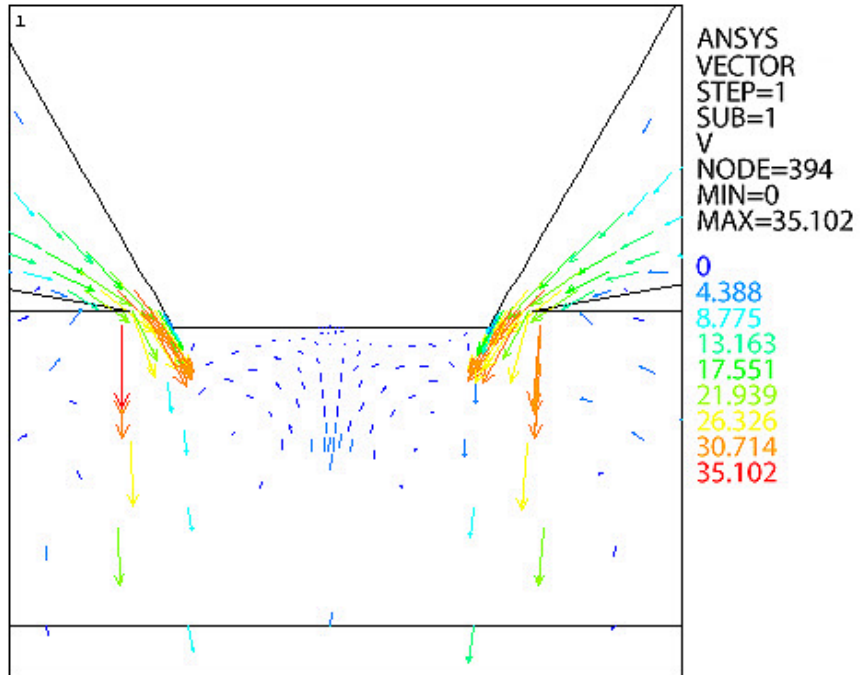
Şekil B.95 : Üst açısı 20° alt açısı 70° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



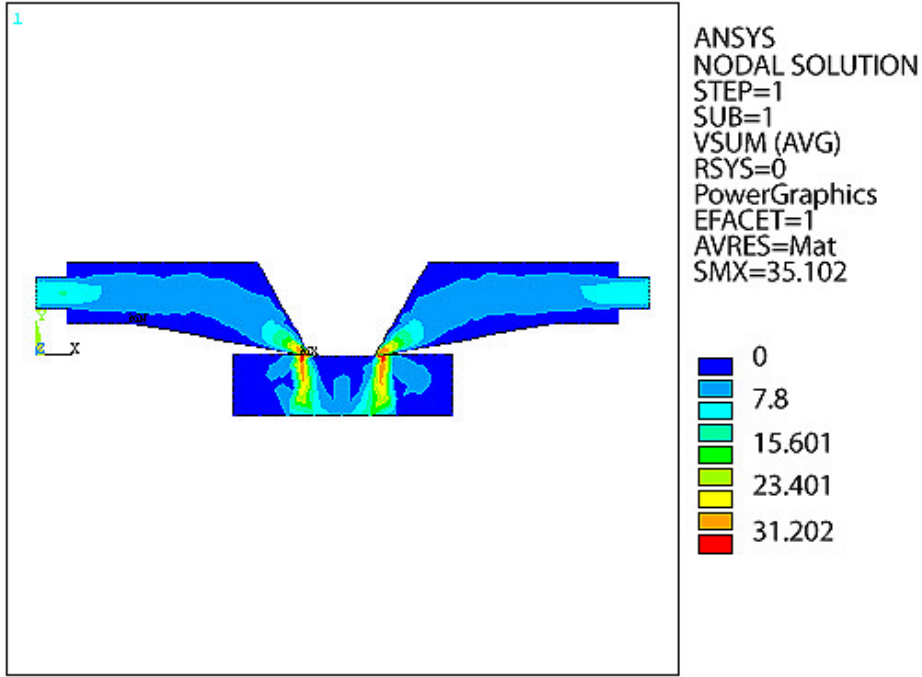
Şekil B.96 : Üst açısı 20° alt açısı 70° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



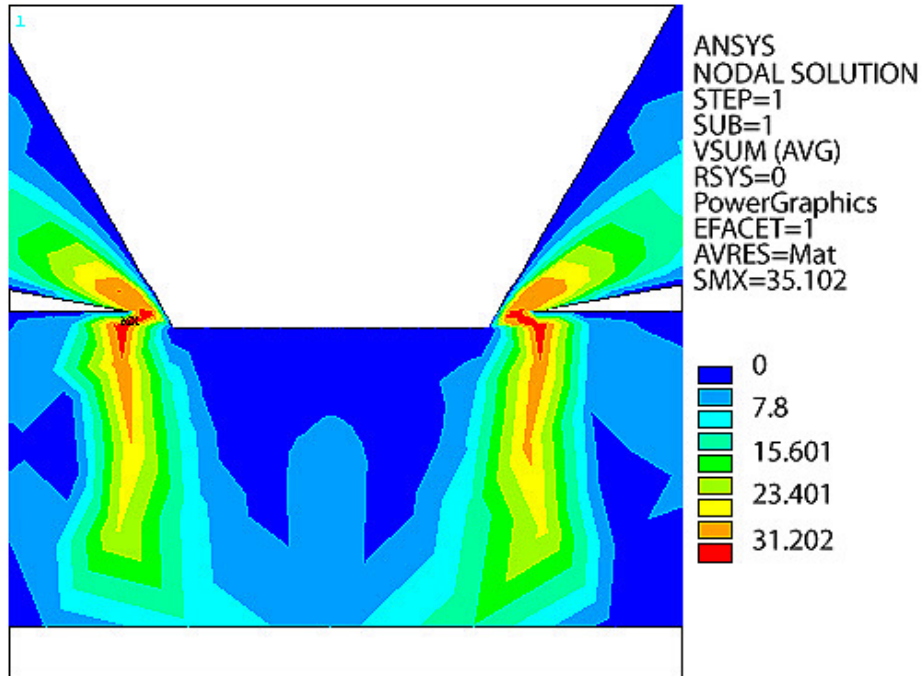
Şekil B.97 : Üst aç 30° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



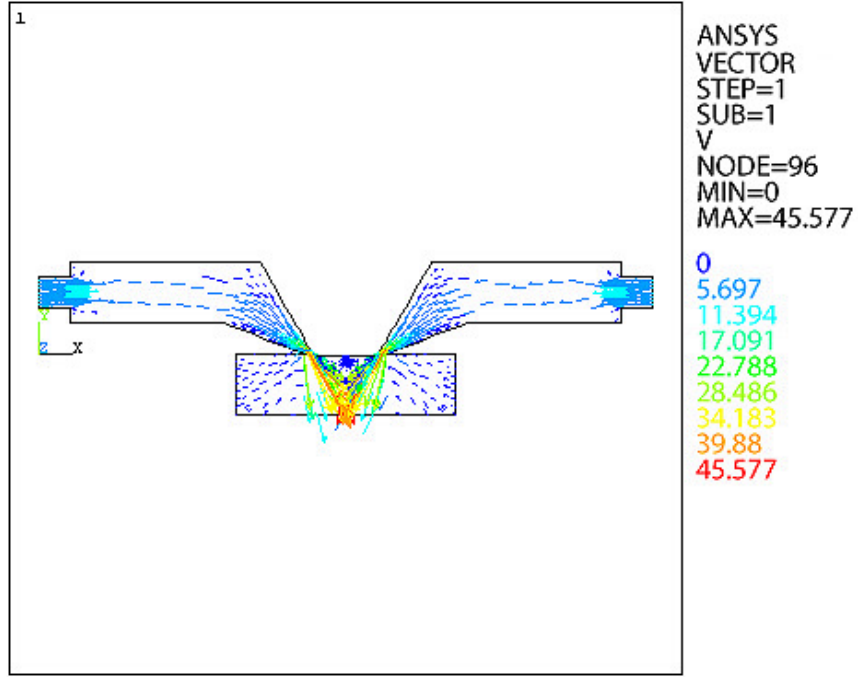
Şekil B.98 : Üst aç 30° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



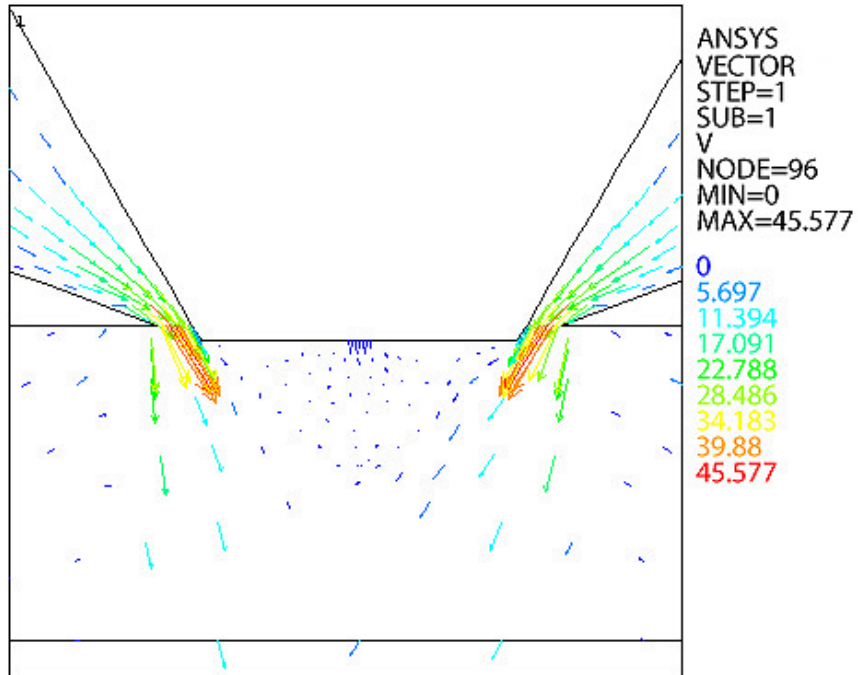
Şekil B.99 : Üst aç 30° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



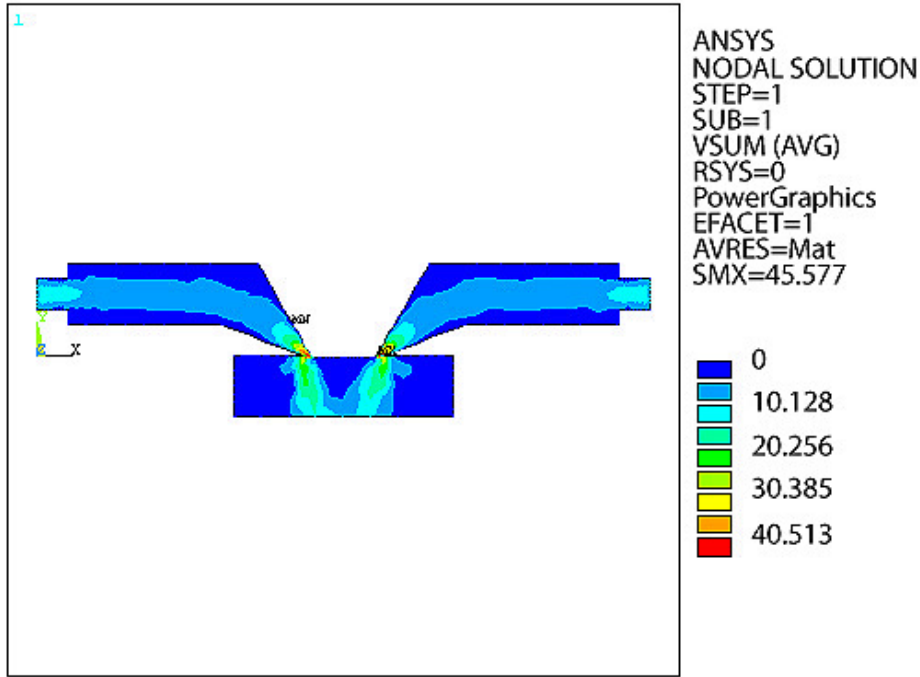
Şekil B.100 : Üst aç 30° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



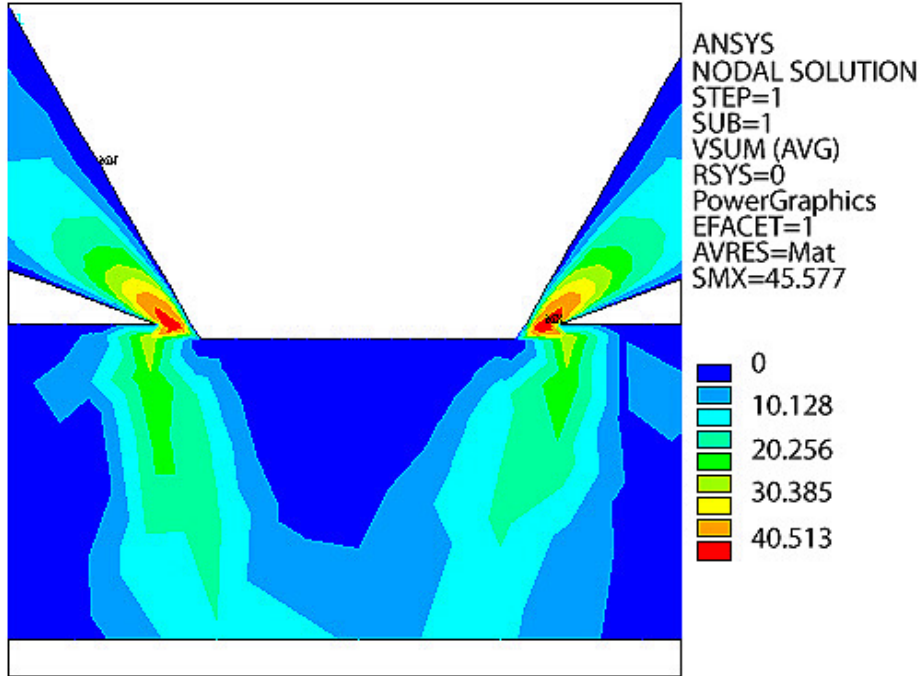
Şekil B.101 : Üst aç 30° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



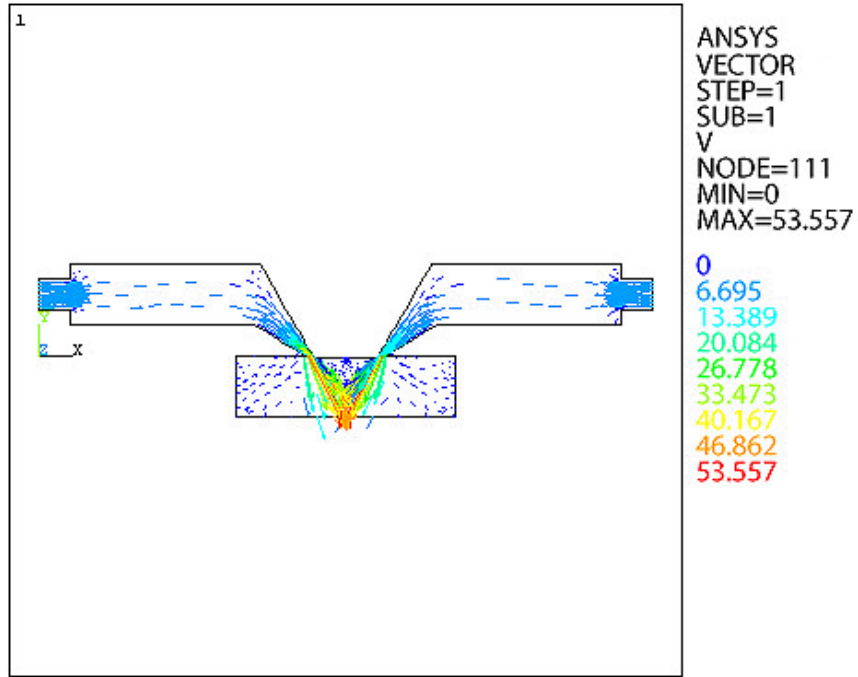
Şekil B.102 : Üst aç 30° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



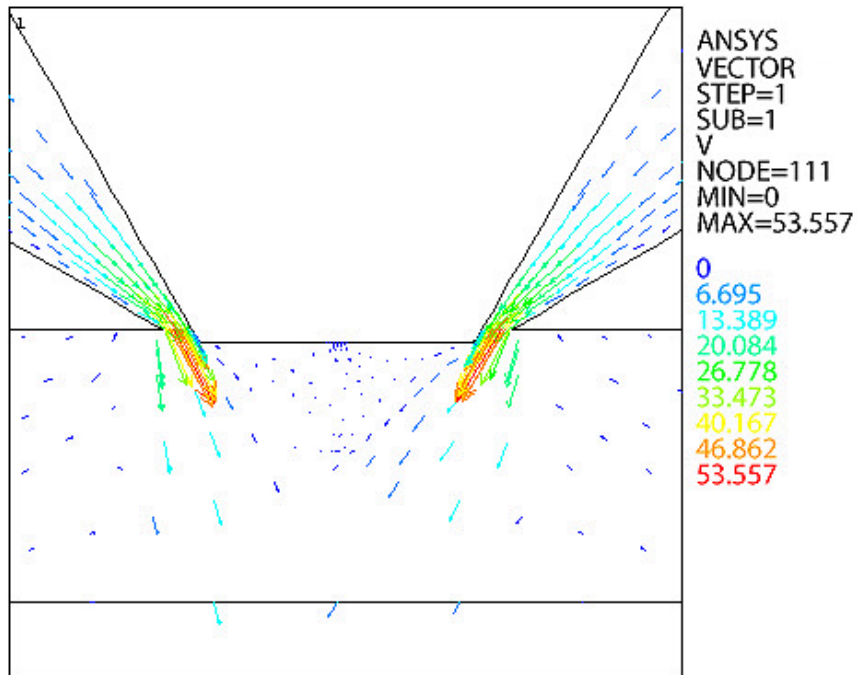
Şekil B.103 : Üst açısı 30° alt açısı 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



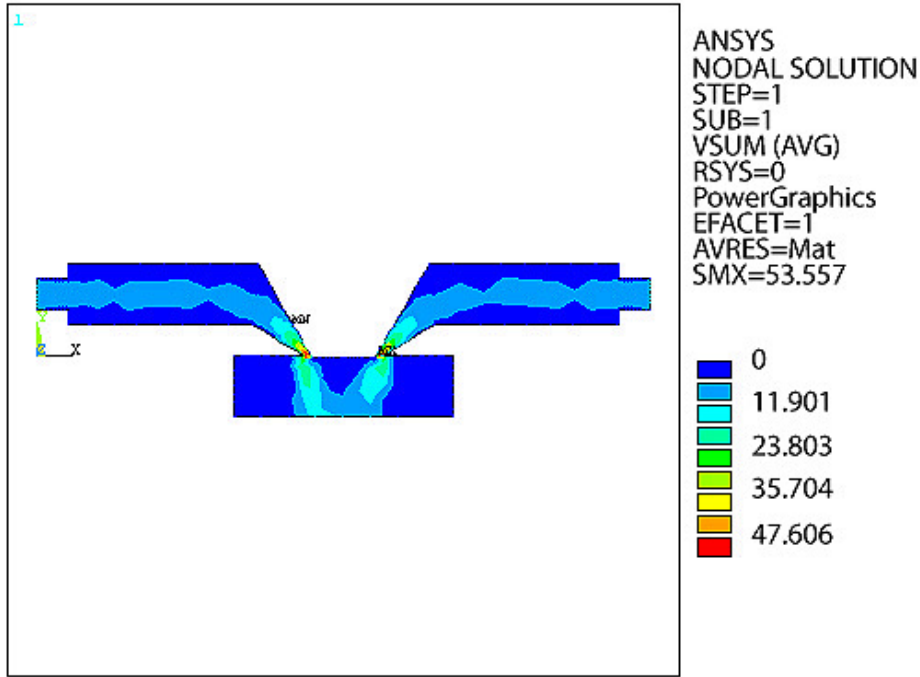
Şekil B.104 : Üst açısı 30° alt açısı 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



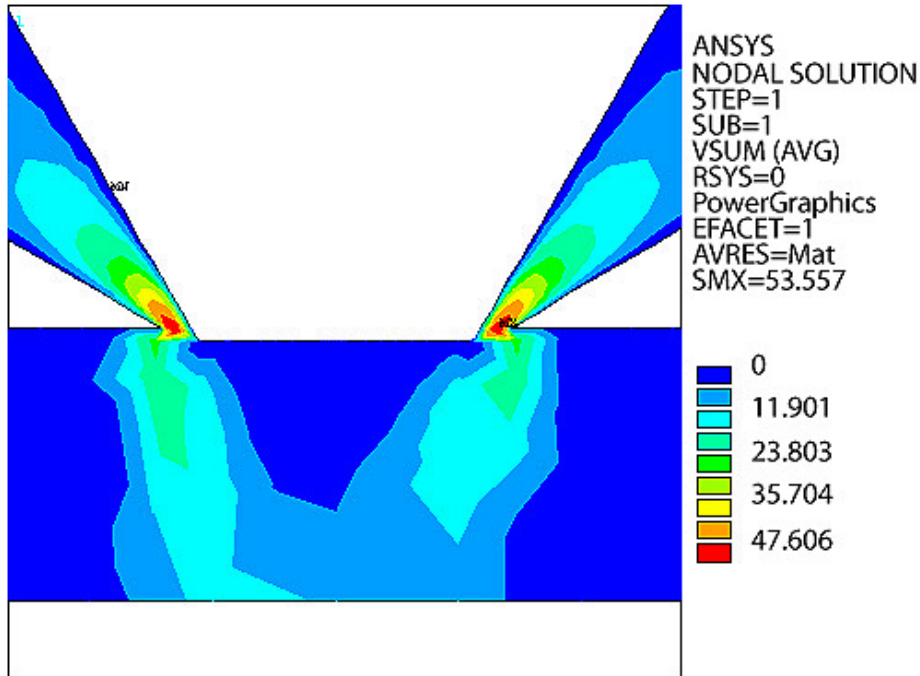
Şekil B.105 : Üst aç 30° alt aç 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



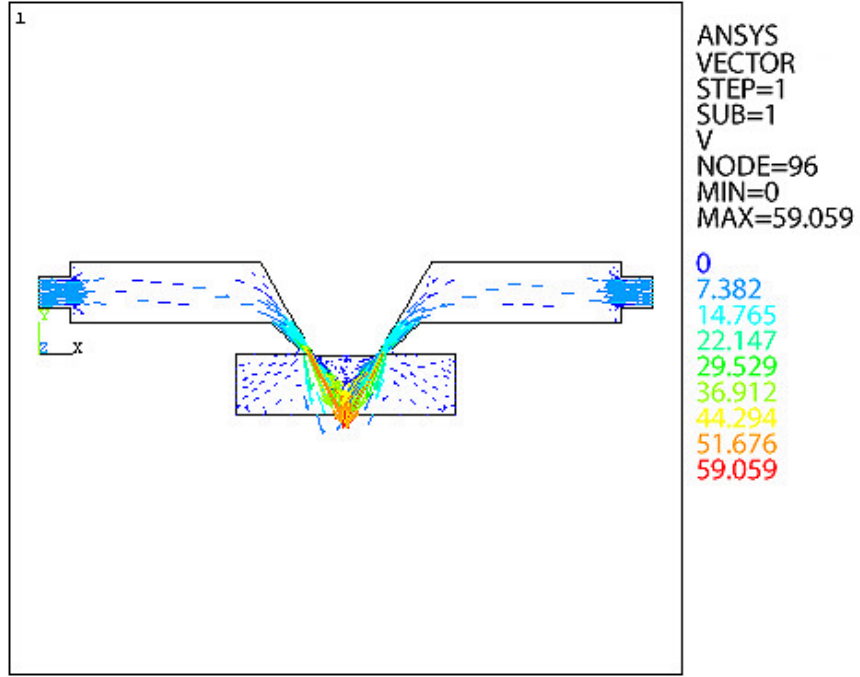
Şekil B.106 : Üst aç 30° alt aç 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



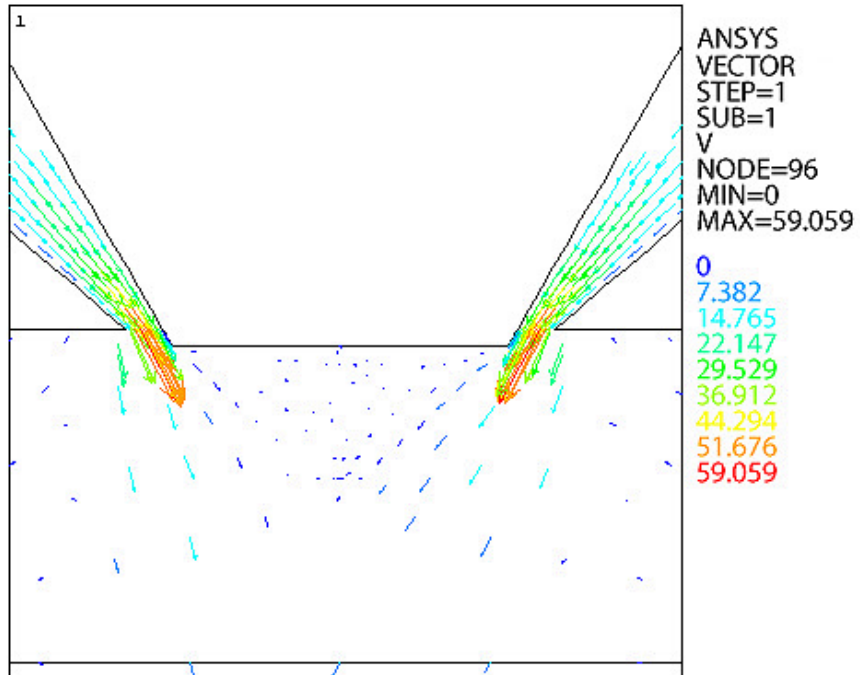
Şekil B.107 : Üst açısı 30° alt açısı 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



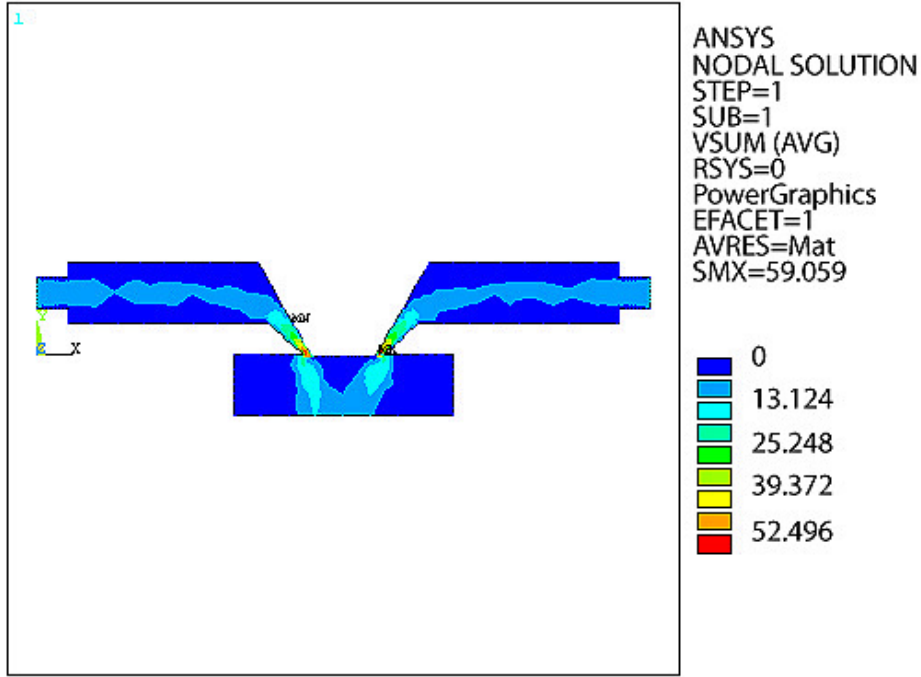
Şekil B.108 : Üst açısı 30° alt açısı 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



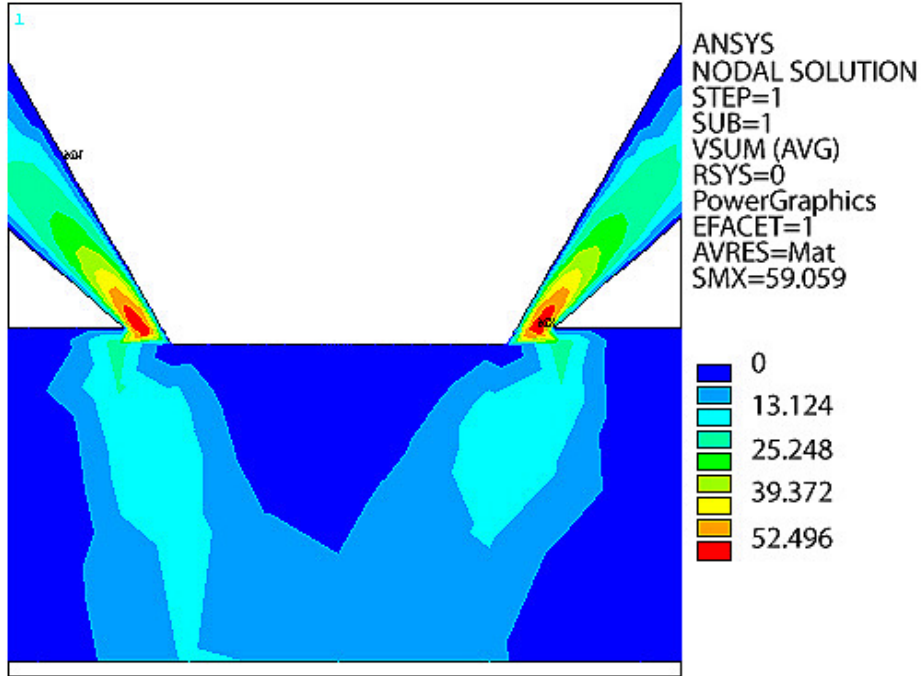
Şekil B.109 : Üst aç 30° alt aç 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



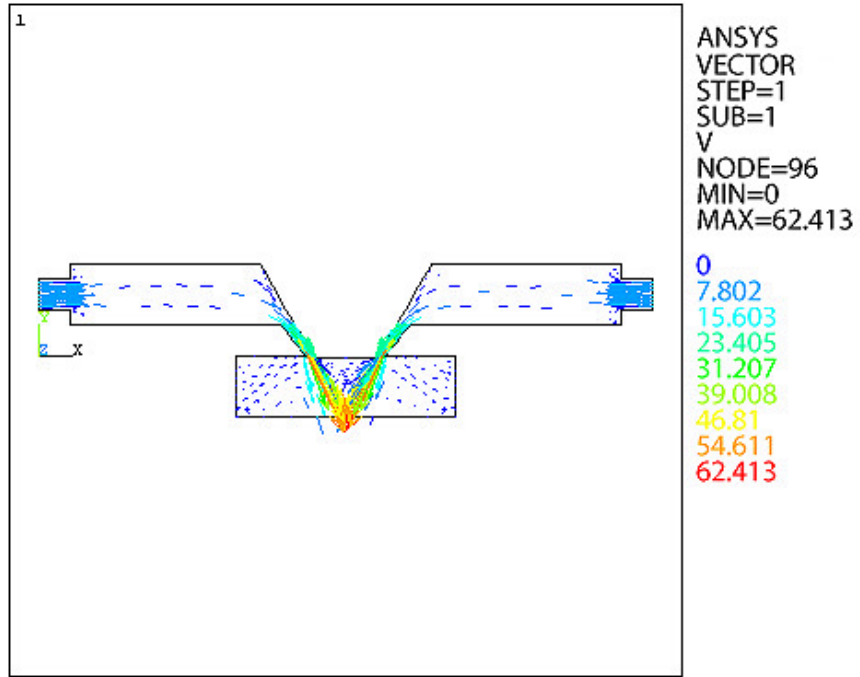
Şekil B.110 : Üst aç 30° alt aç 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



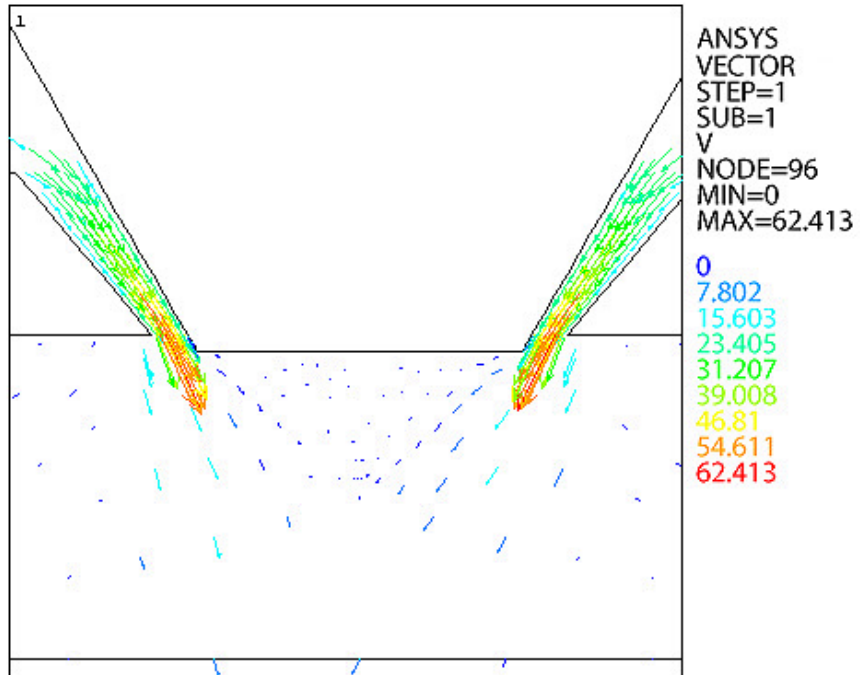
Şekil B.111 : Üst açısı 30° alt açısı 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



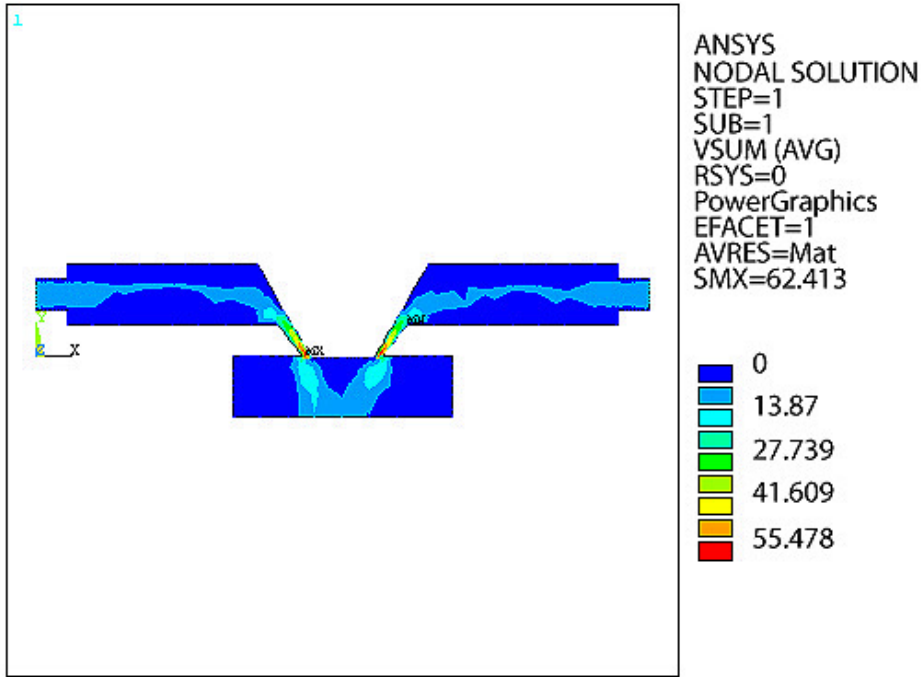
Şekil B.112 : Üst açısı 30° alt açısı 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



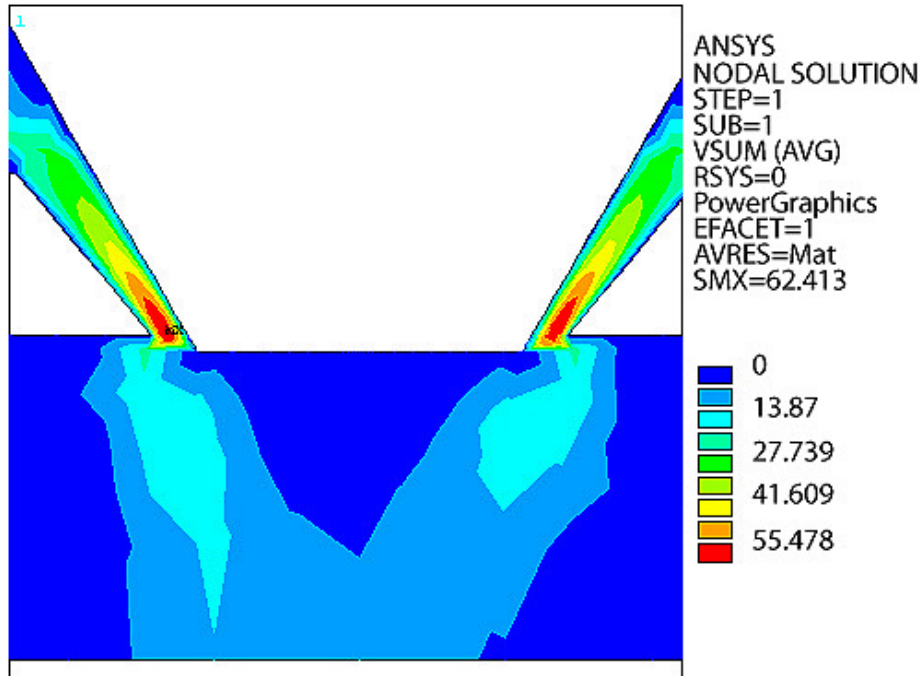
Şekil B.113 : Üst aç 30° alt aç 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



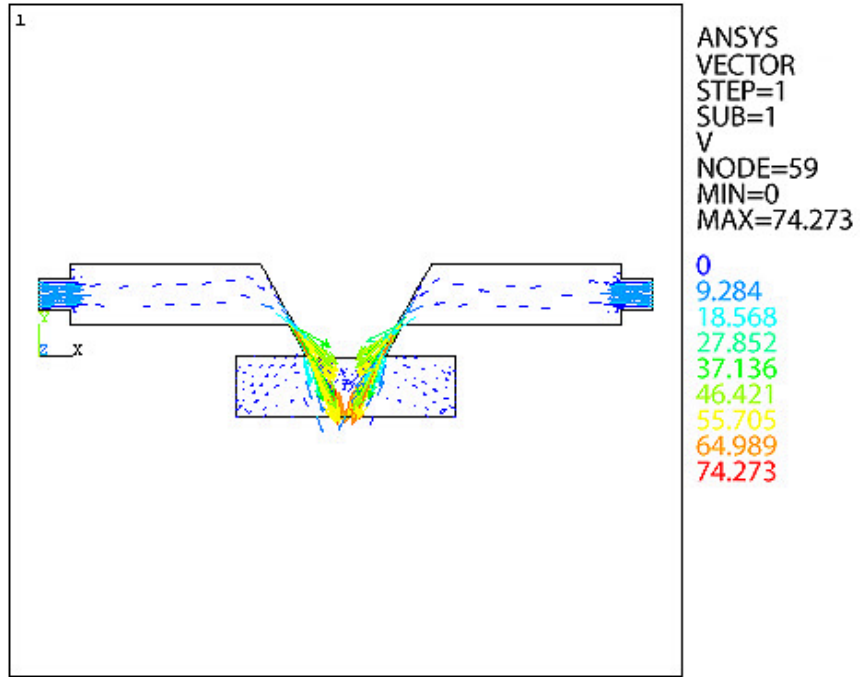
Şekil B.114 : Üst aç 30° alt aç 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



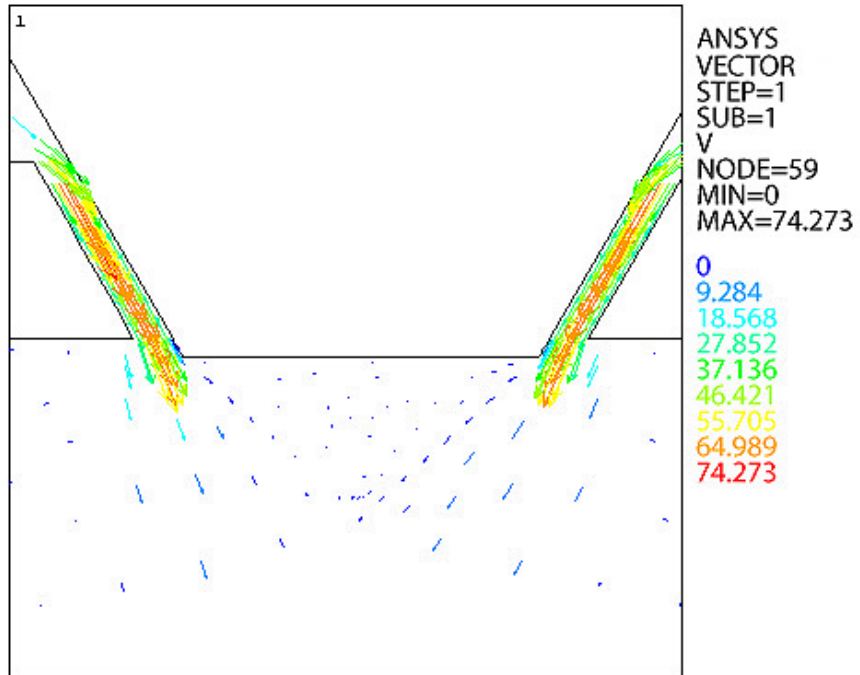
Şekil B.115 : Üst açısı 30° alt açısı 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



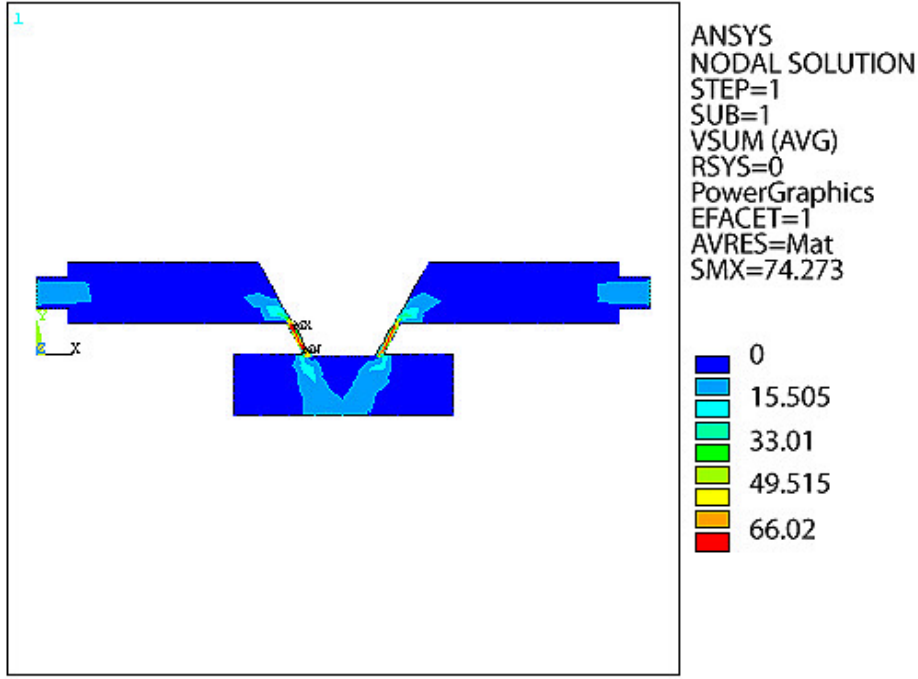
Şekil B.116 : Üst açısı 30° alt açısı 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



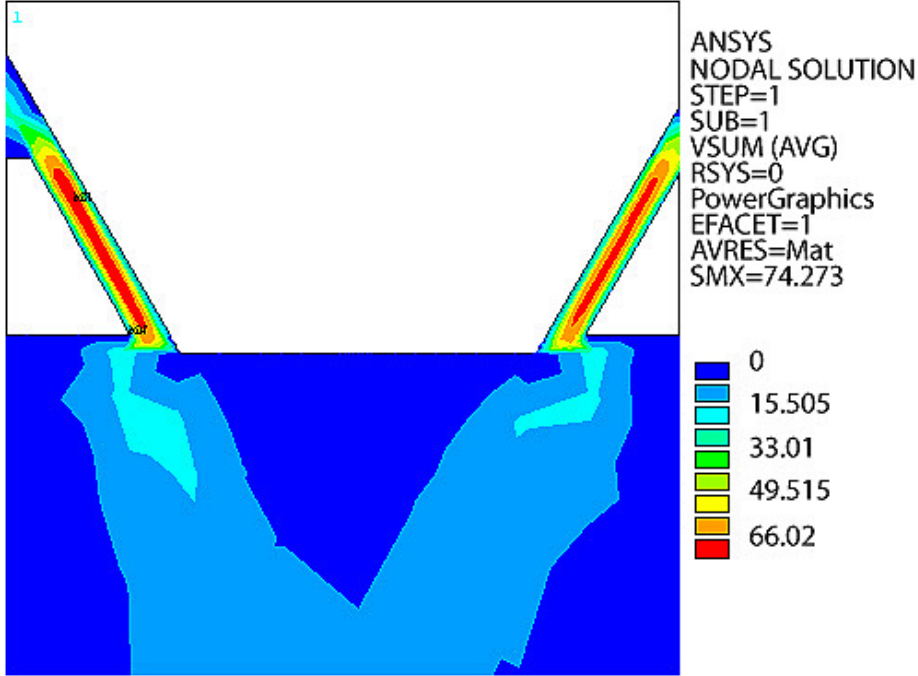
Şekil B.117 : Üst aç 30° alt aç 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



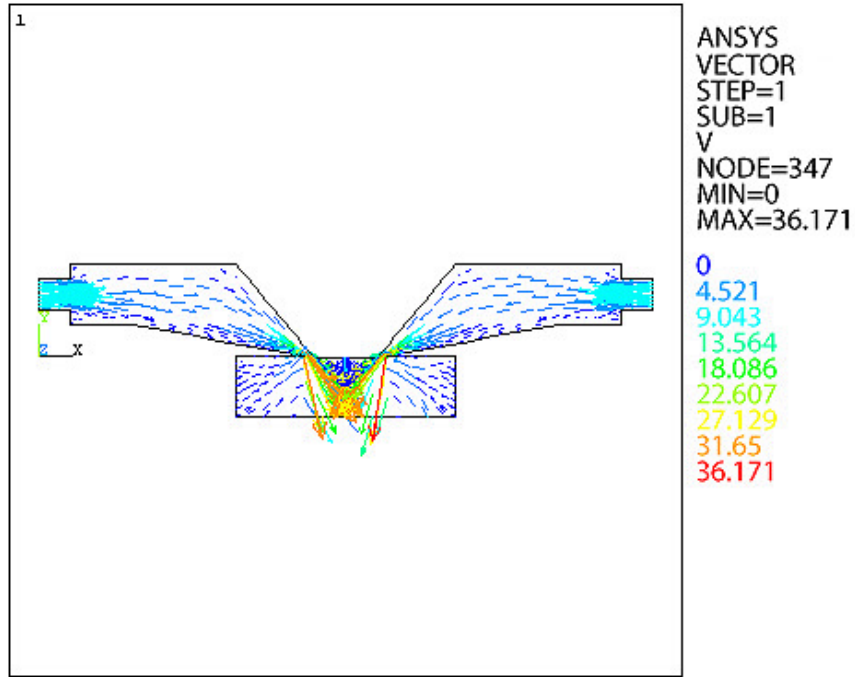
Şekil B.118 : Üst aç 30° alt aç 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



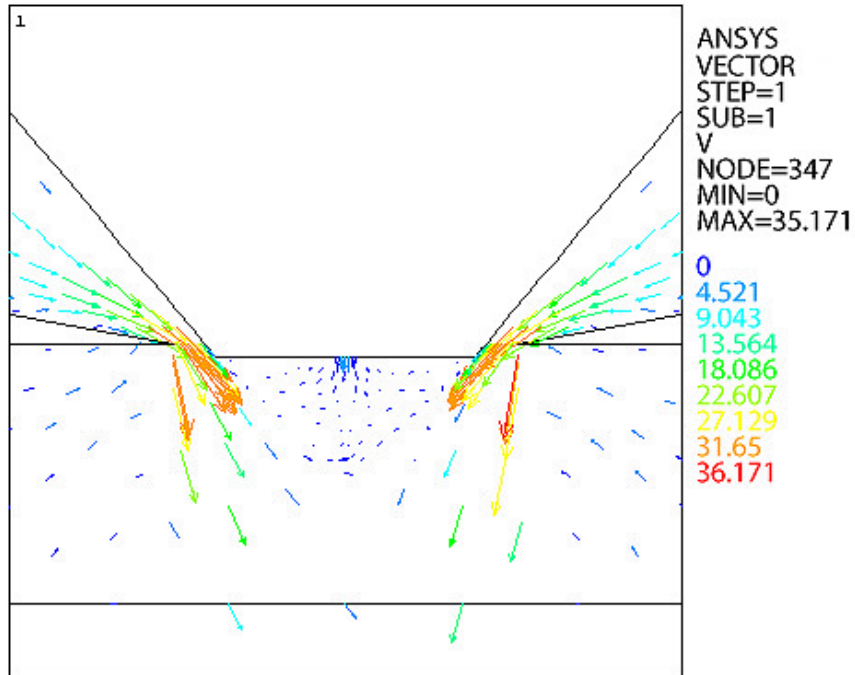
Şekil B.119 : Üst açısı 30° alt açısı 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



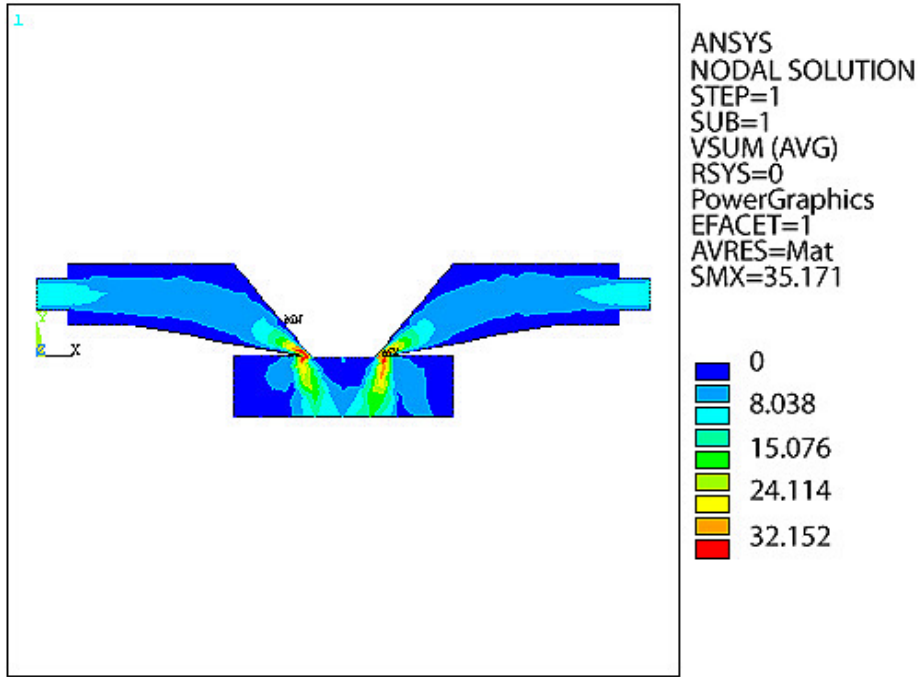
Şekil B.120 : Üst açısı 30° alt açısı 60° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



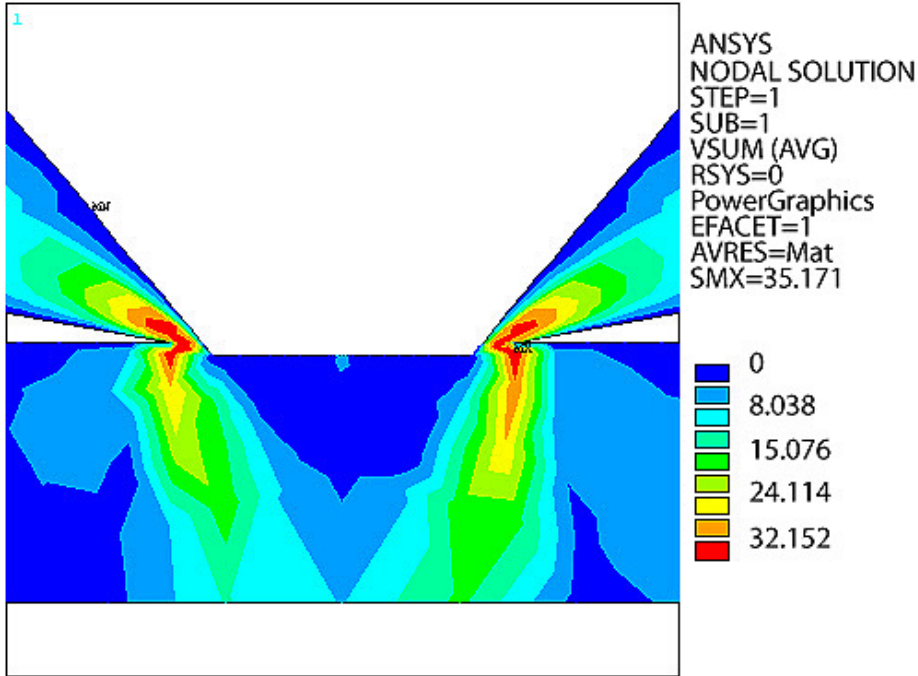
Şekil B.121 : Üst aç 40° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



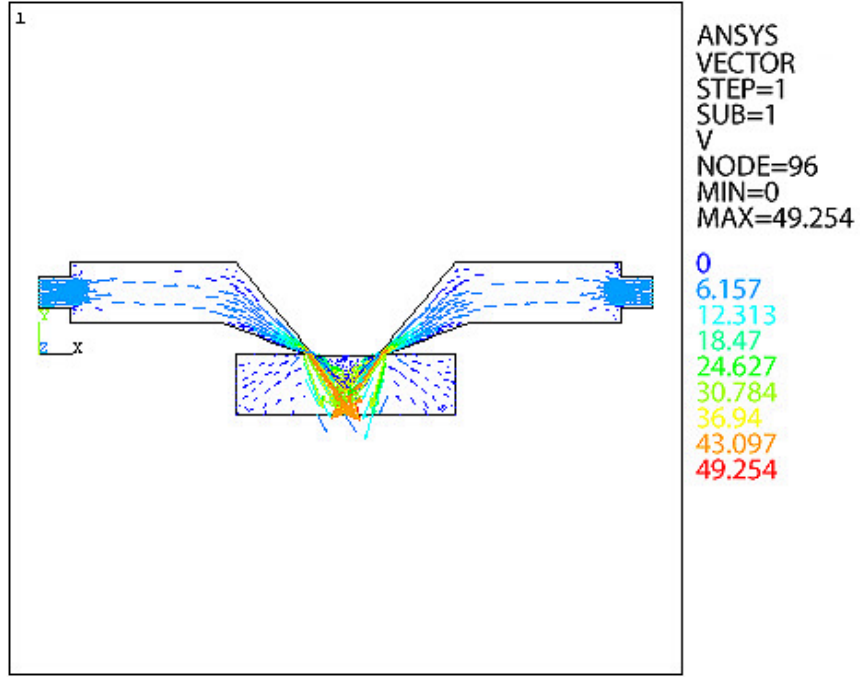
Şekil B.122 : Üst aç 40° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



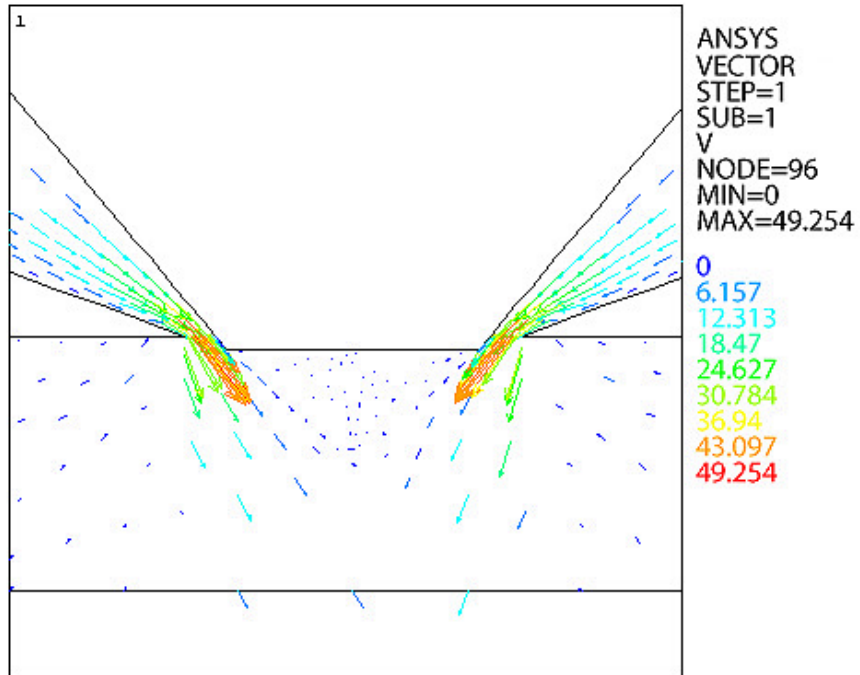
Şekil B.123 : Üst açısı 40° alt açısı 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



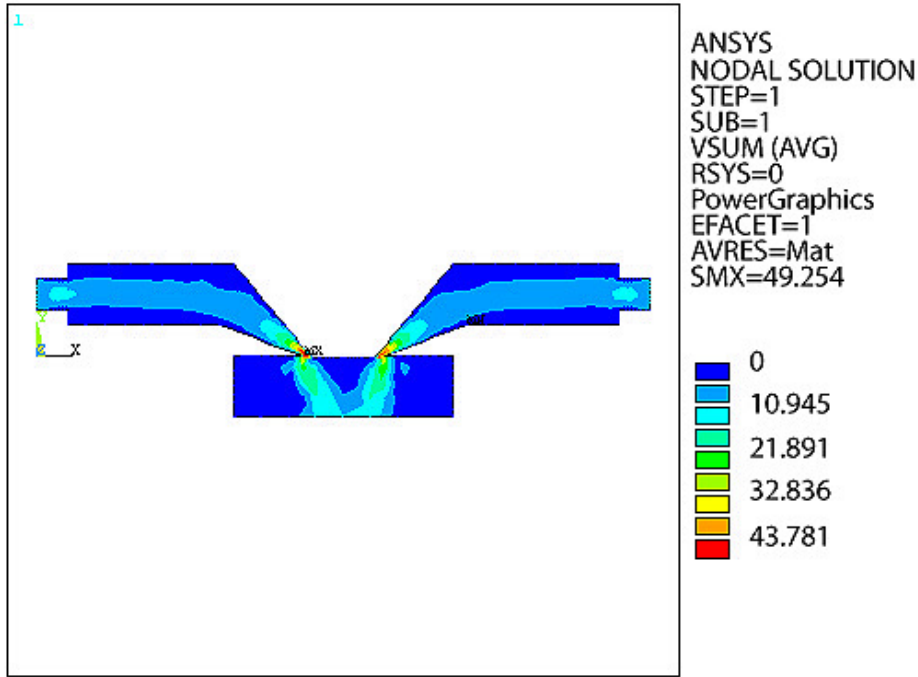
Şekil B.124 : Üst açısı 40° alt açısı 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



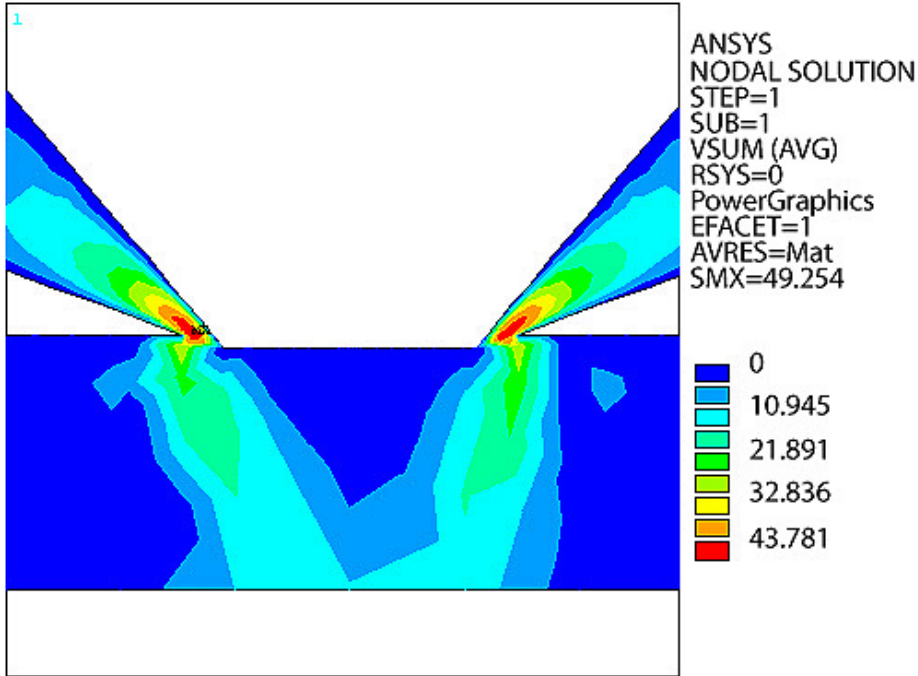
Şekil B.125 : Üst aç 40° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



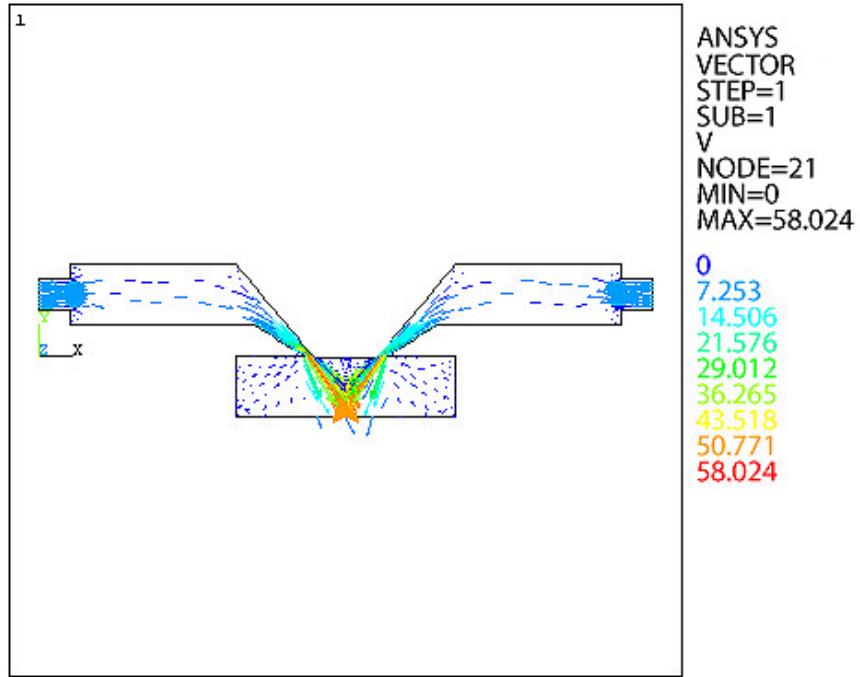
Şekil B.126 : Üst aç 40° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



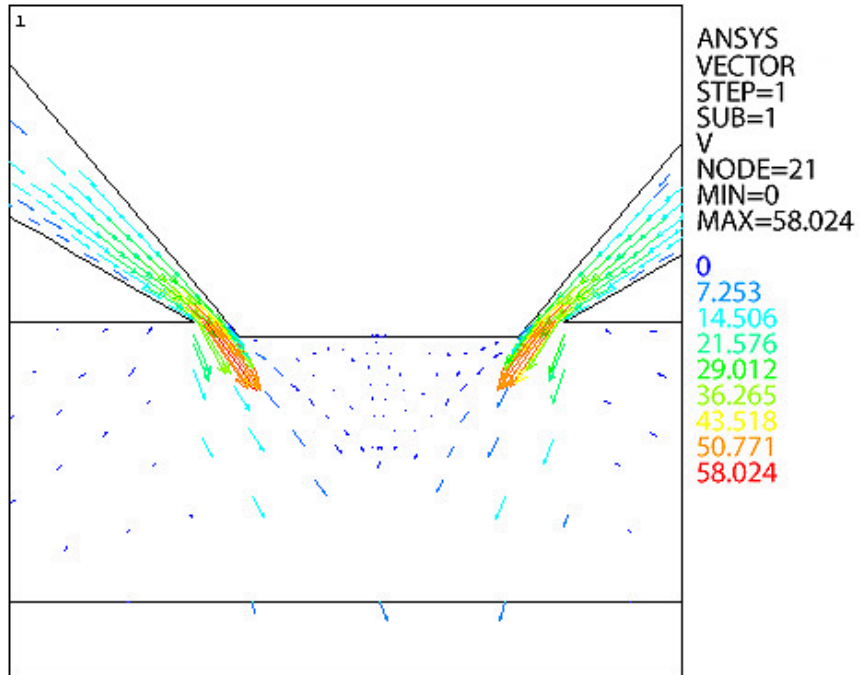
Şekil B.127 : Üst açısı 40° alt açısı 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



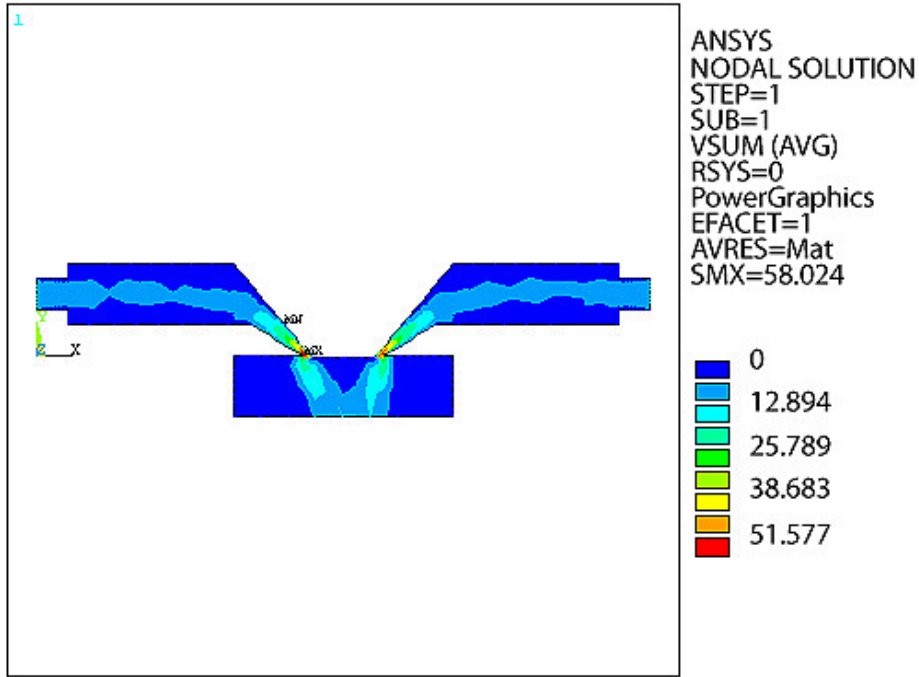
Şekil B.128 : Üst açısı 40° alt açısı 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



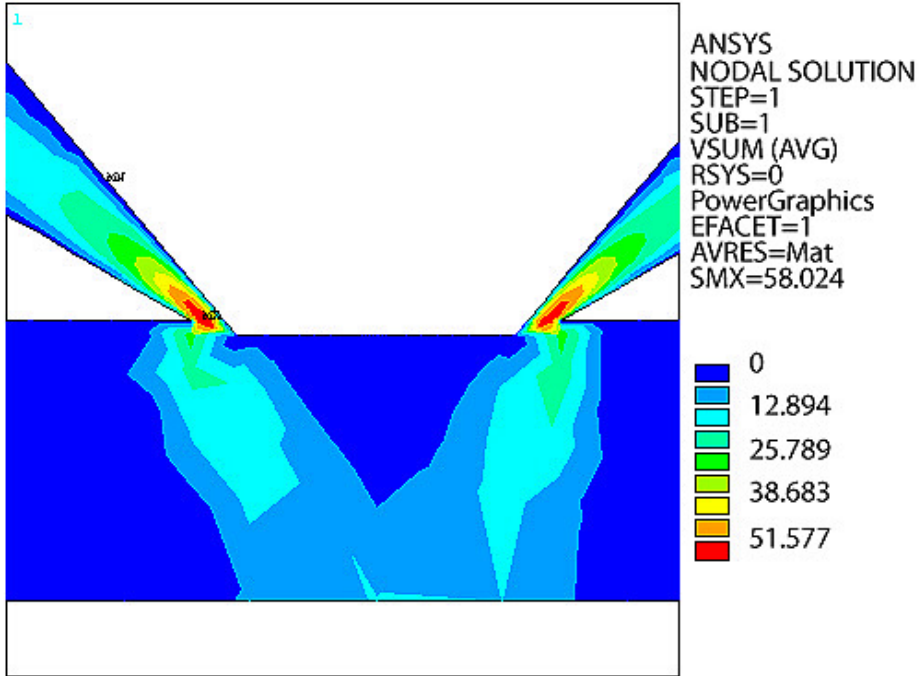
Şekil B.129 : Üst açısı 40° alt açısı 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



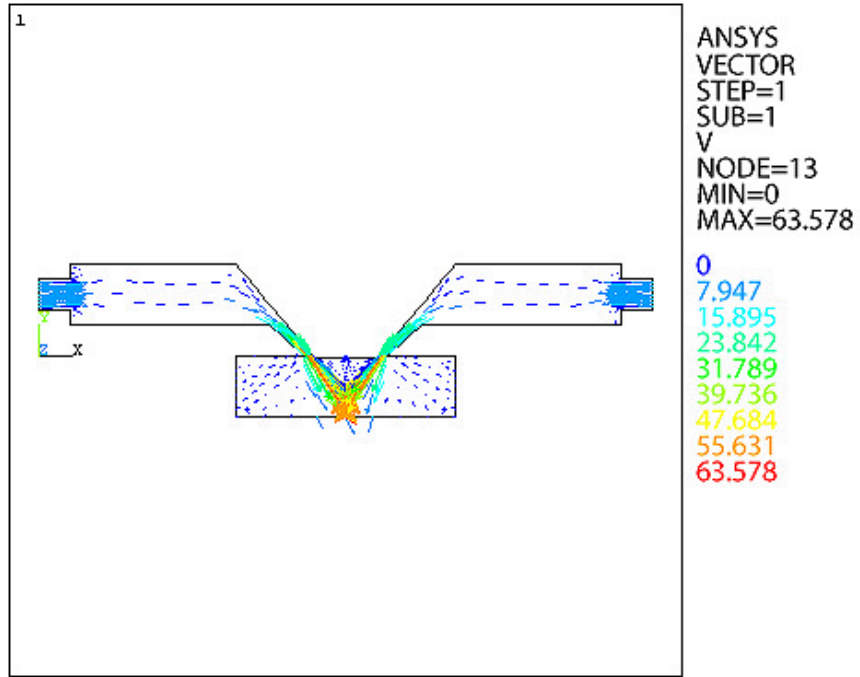
Şekil B.130 : Üst açısı 40° alt açısı 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



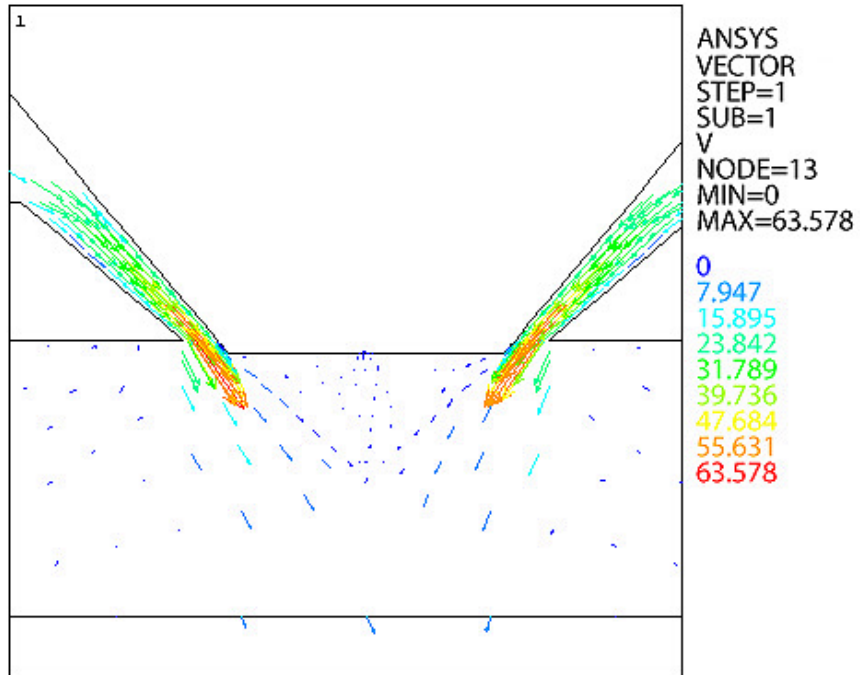
Şekil B.131 : Üst açısı 40° alt açısı 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



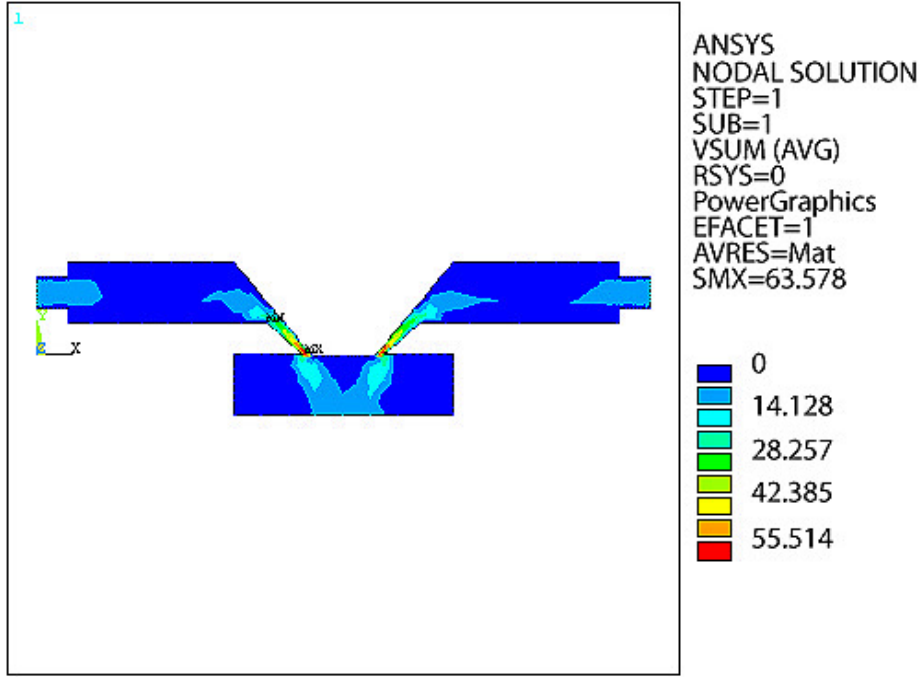
Şekil B.132 : Üst açısı 40° alt açısı 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



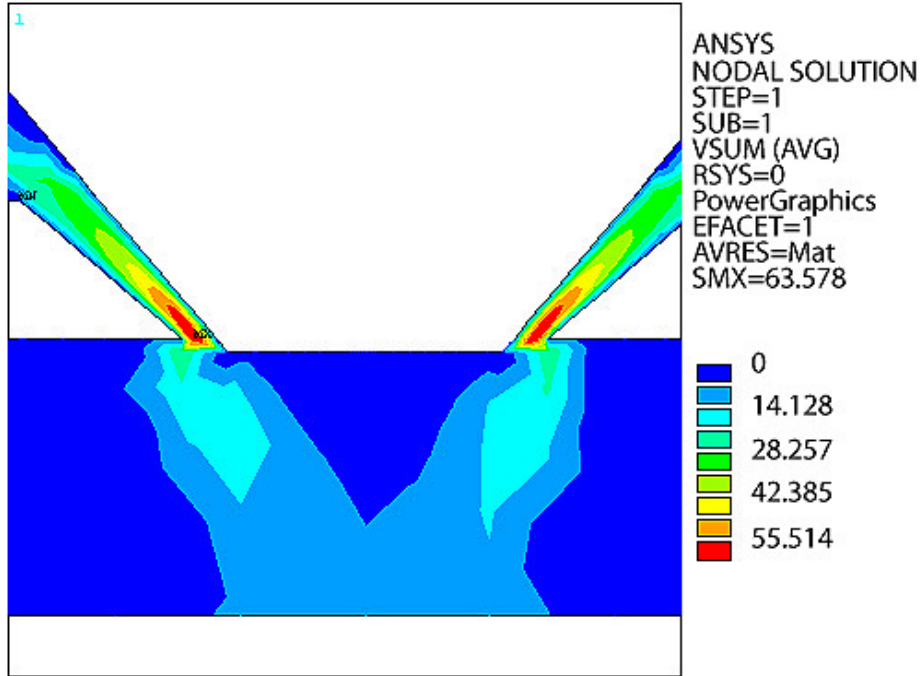
Şekil B.133 : Üst açısı 40° alt açısı 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



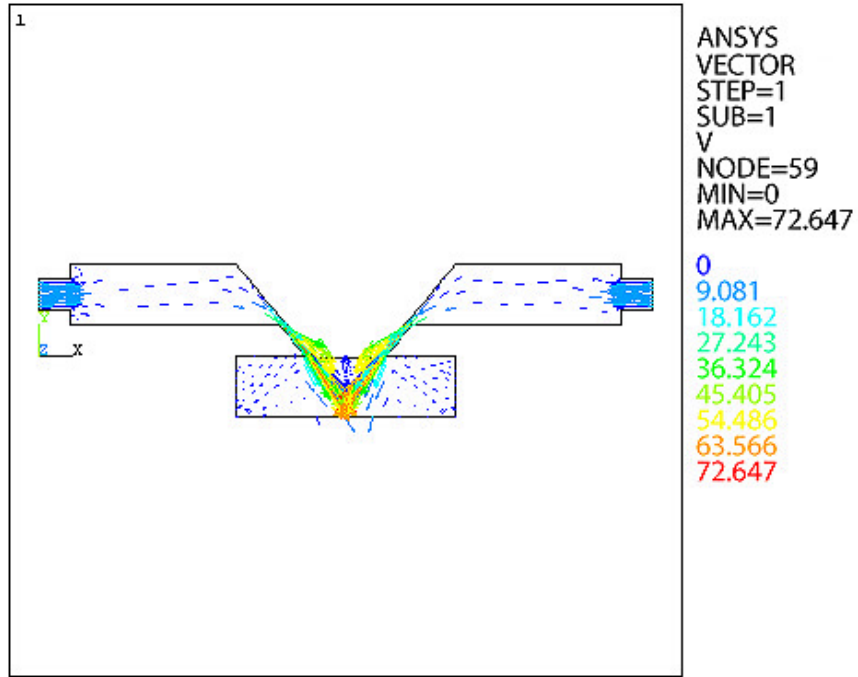
Şekil B.134 : Üst açısı 40° alt açısı 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



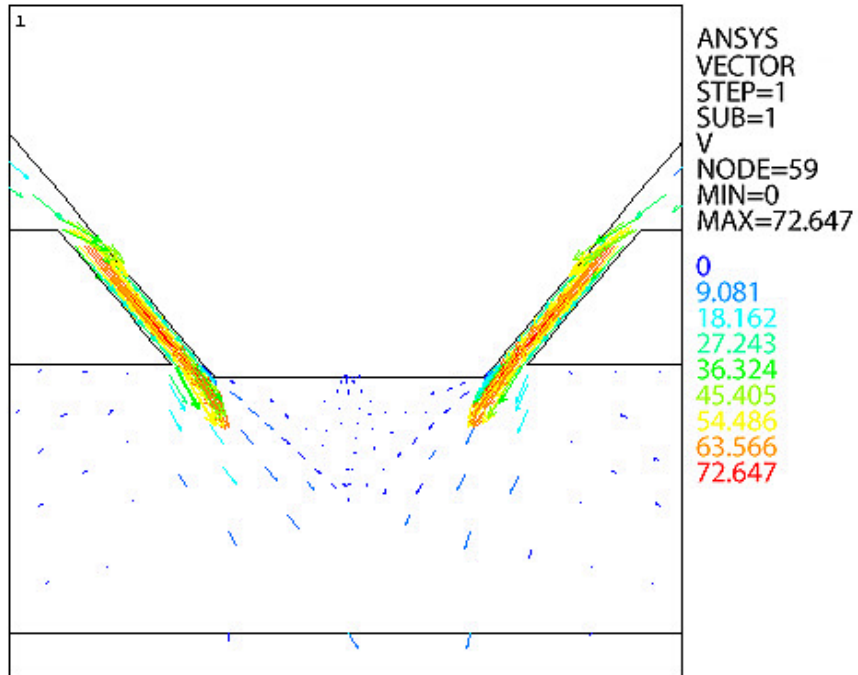
Şekil B.135 : Üst açısı 40° alt açısı 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



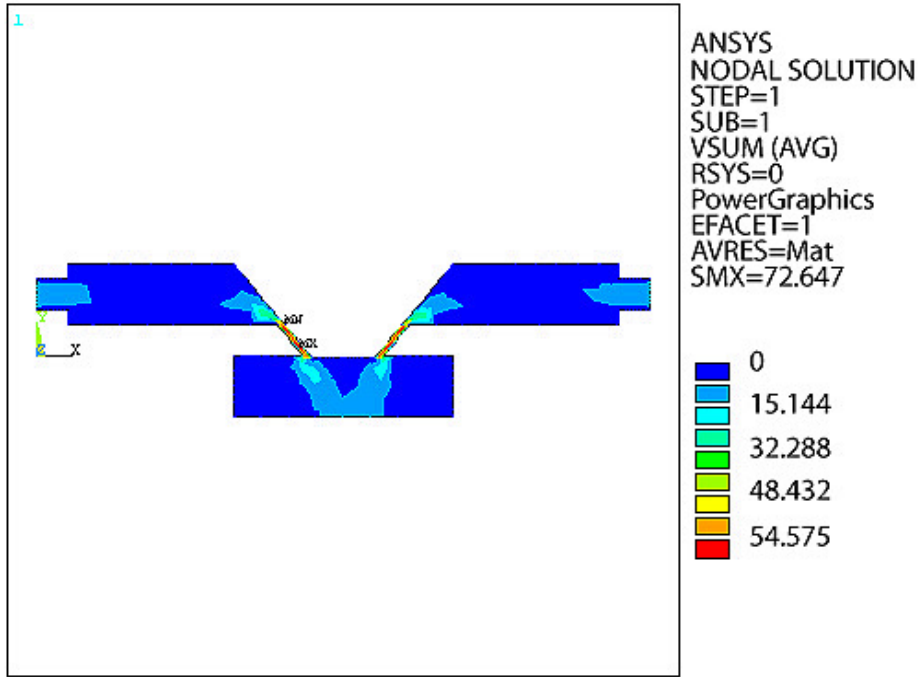
Şekil B.136 : Üst açısı 40° alt açısı 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



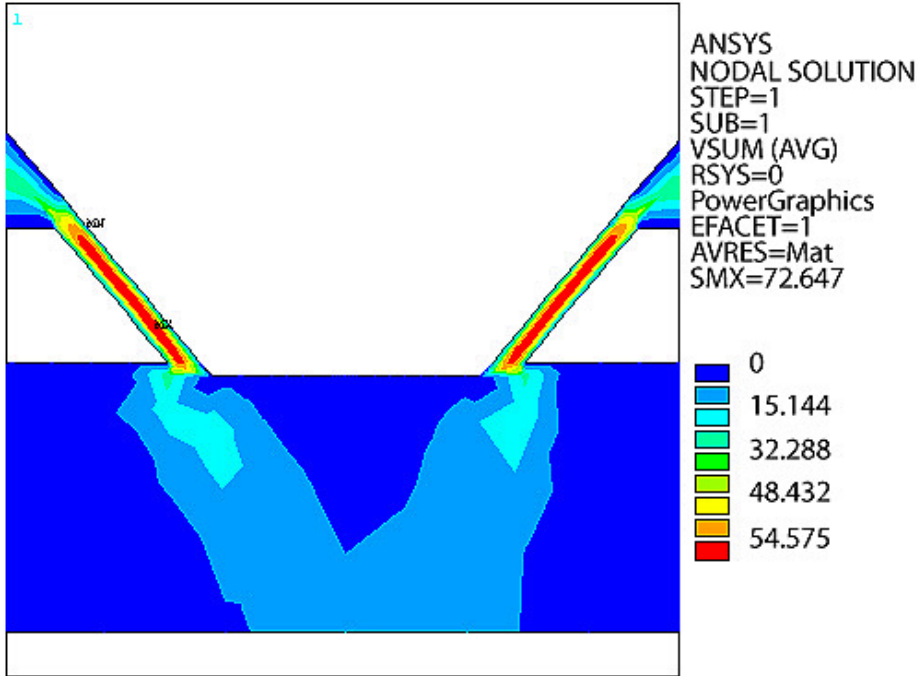
Şekil B.137 : Üst aç 40° alt aç 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



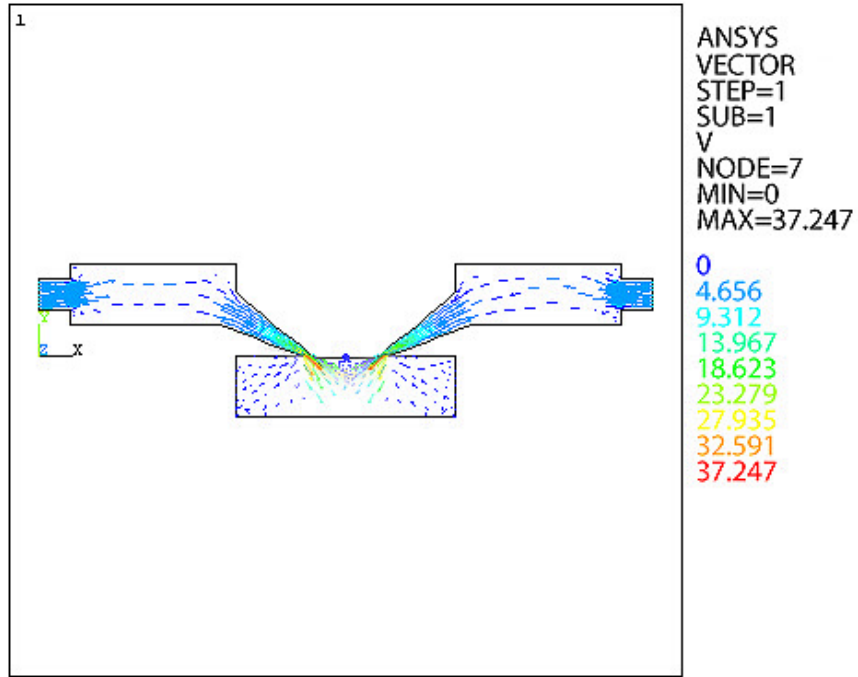
Şekil B.138 : Üst aç 40° alt aç 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



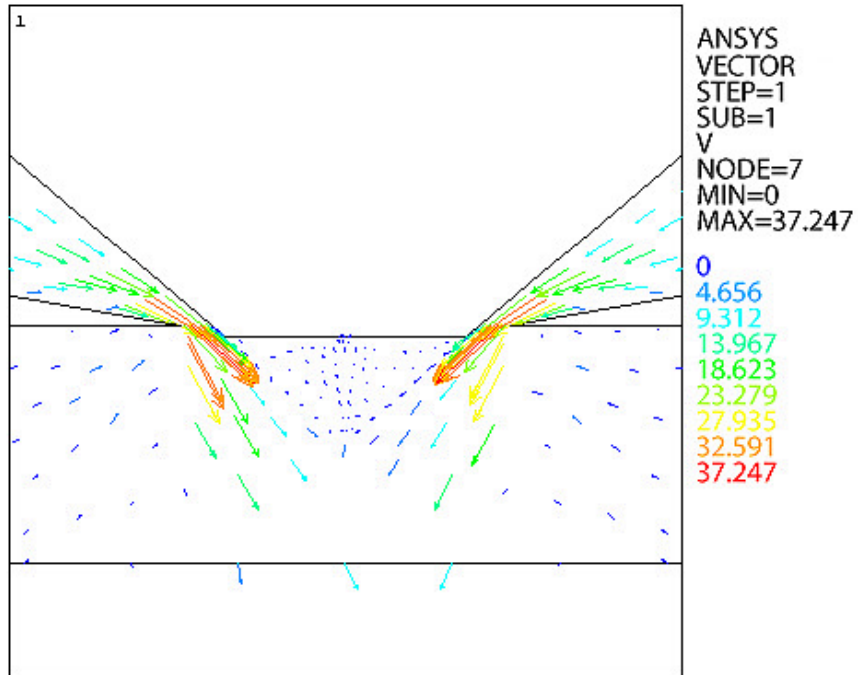
Şekil B.139 : Üst açısı 40° alt açısı 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



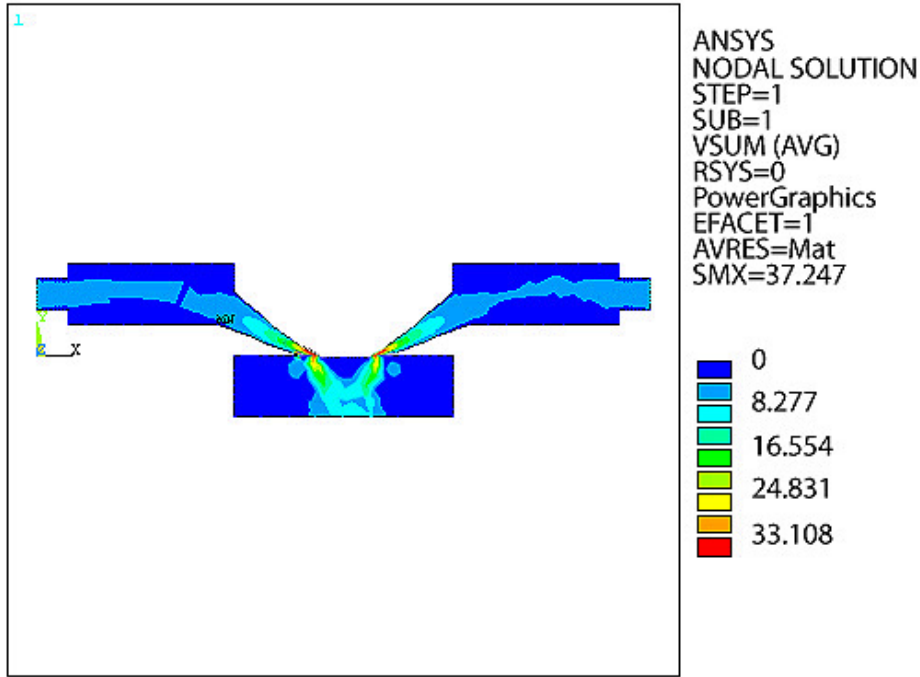
Şekil B.140 : Üst açısı 40° alt açısı 50° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



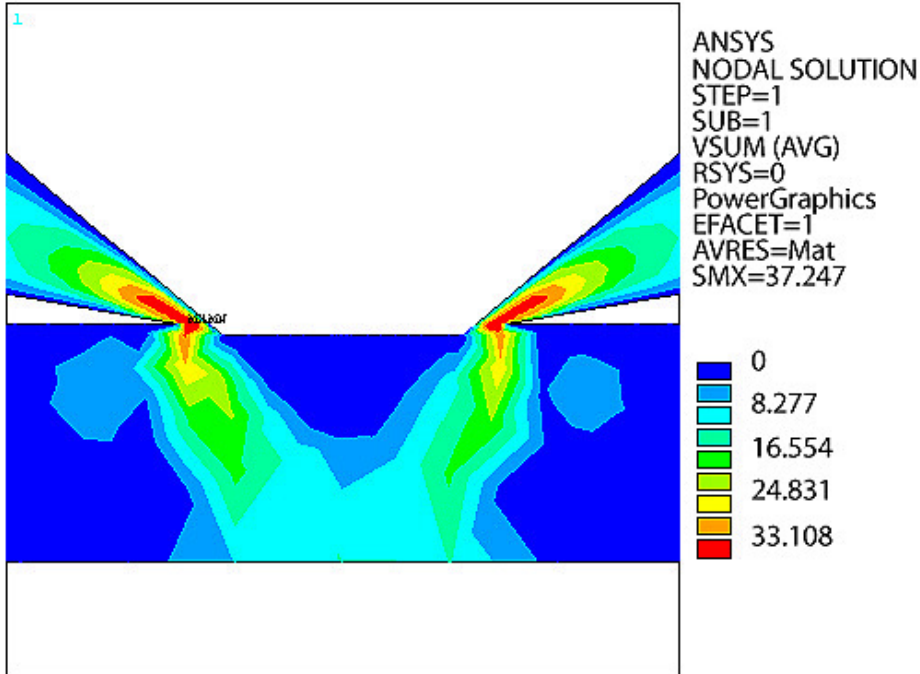
Şekil B.141 : Üst aç 50° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



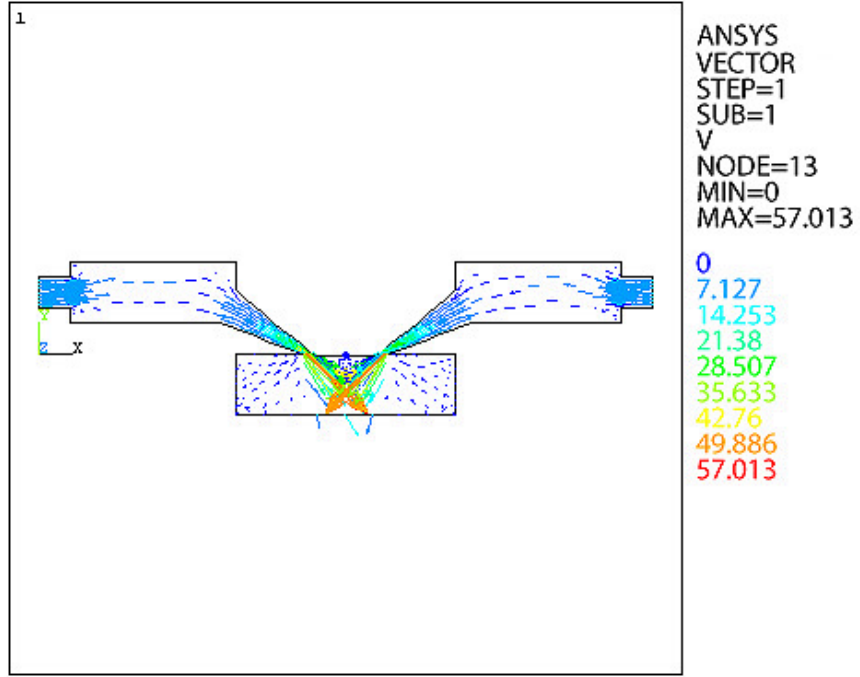
Şekil B.142 : Üst aç 50° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



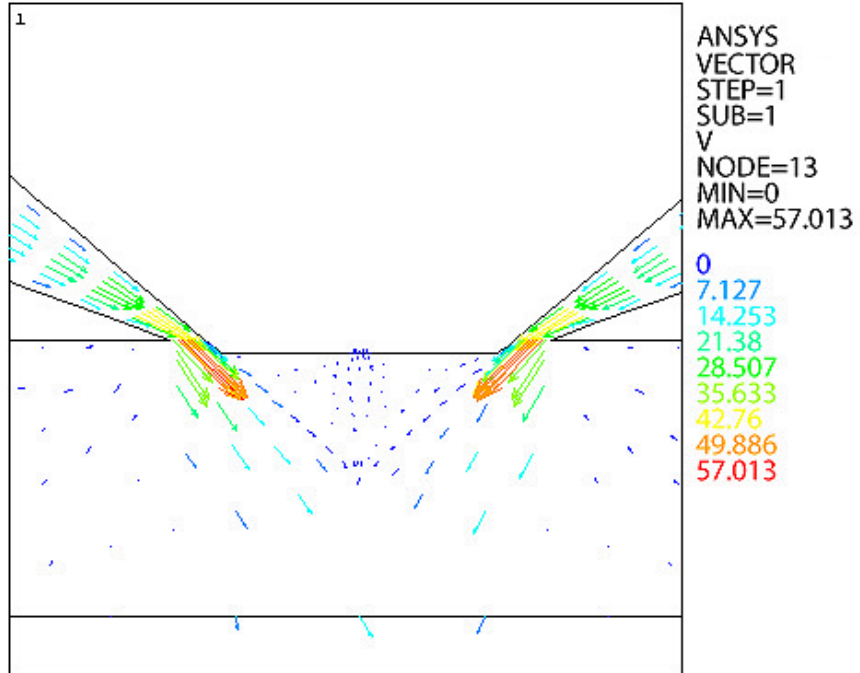
Şekil B.143 : Üst açısı 50° alt açısı 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



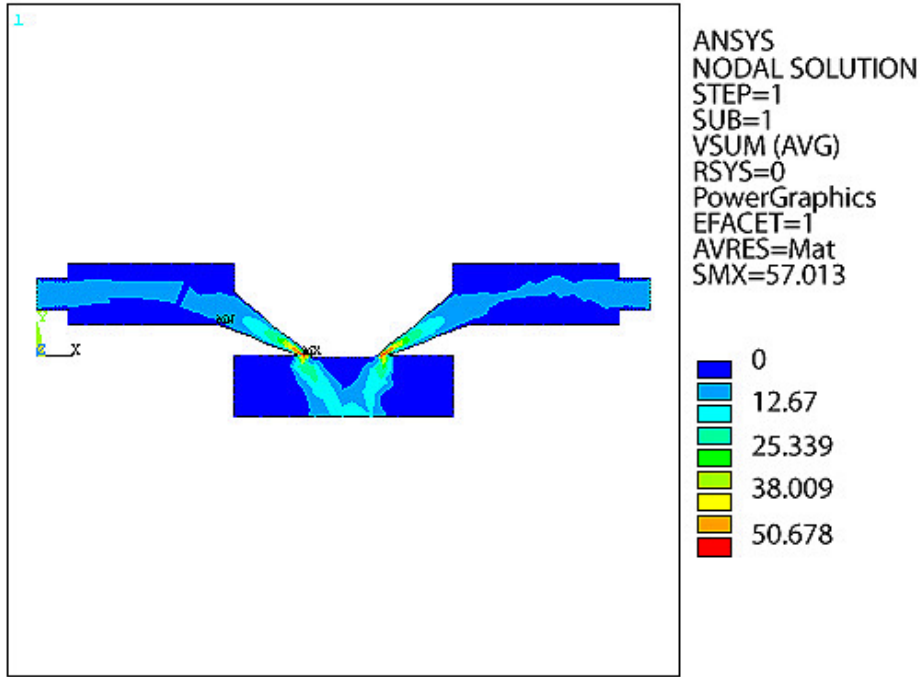
Şekil B.144 : Üst açısı 50° alt açısı 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



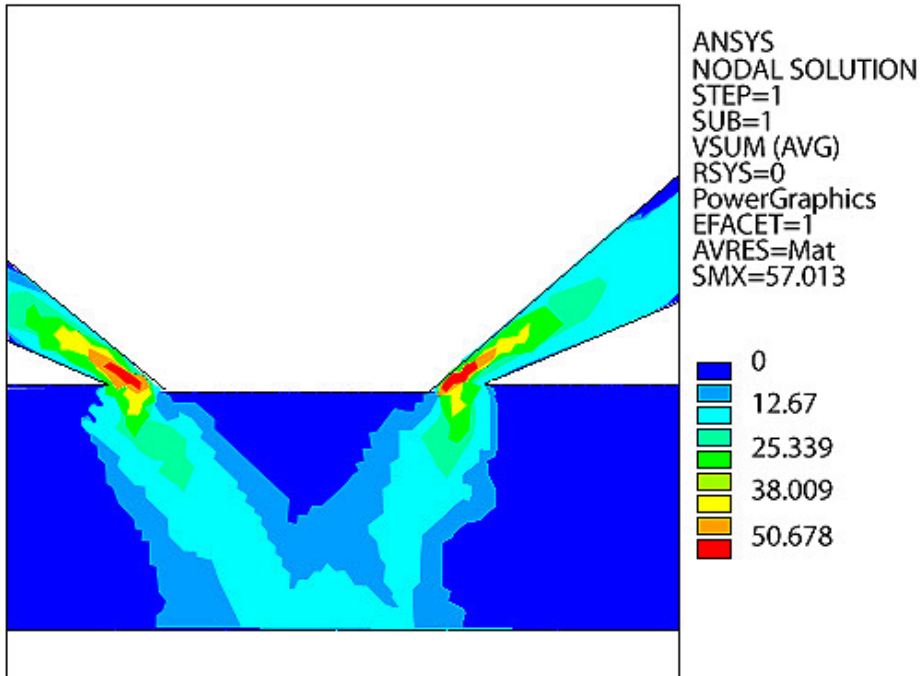
Şekil B.145 : Üst aç 50° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



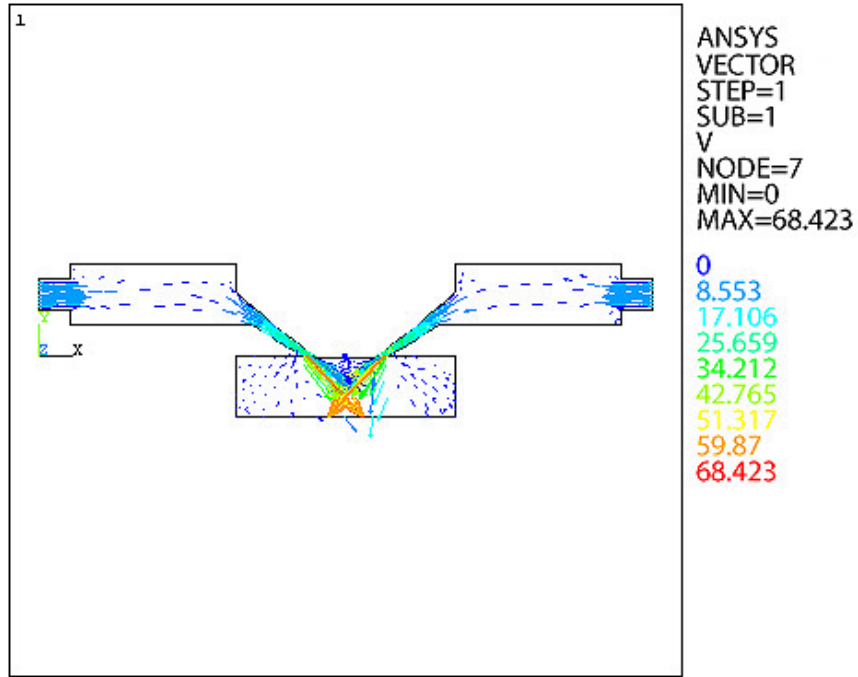
Şekil B.146 : Üst aç 50° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



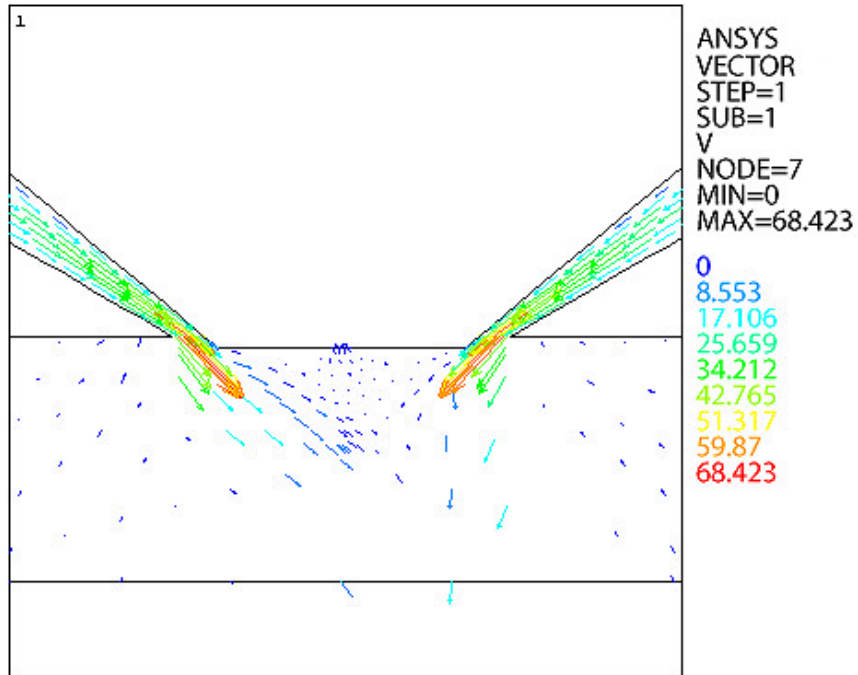
Şekil B.147 : Üst açısı 50° alt açısı 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



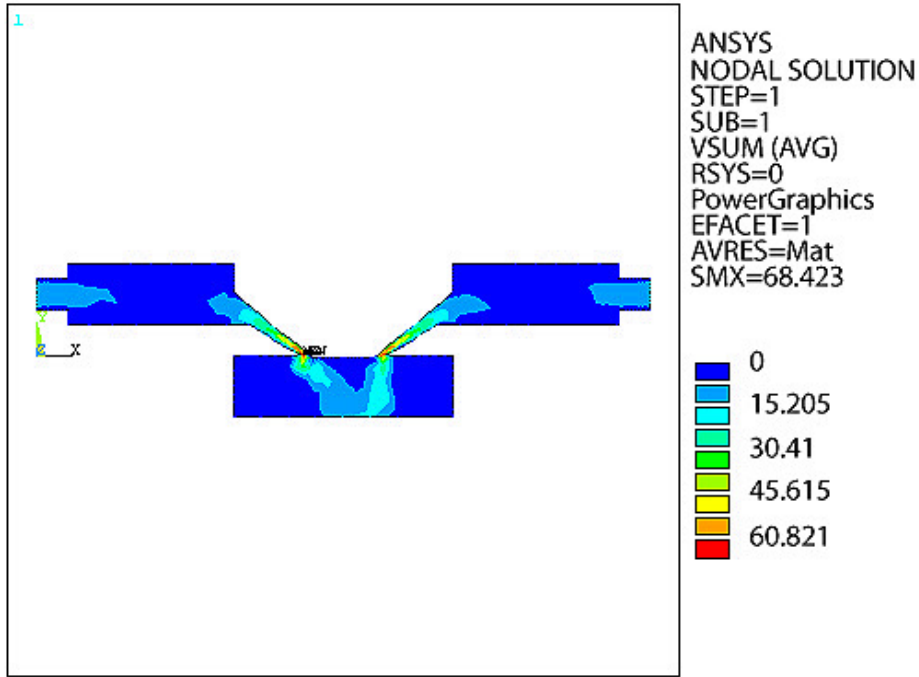
Şekil B.148 : Üst açısı 50° alt açısı 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



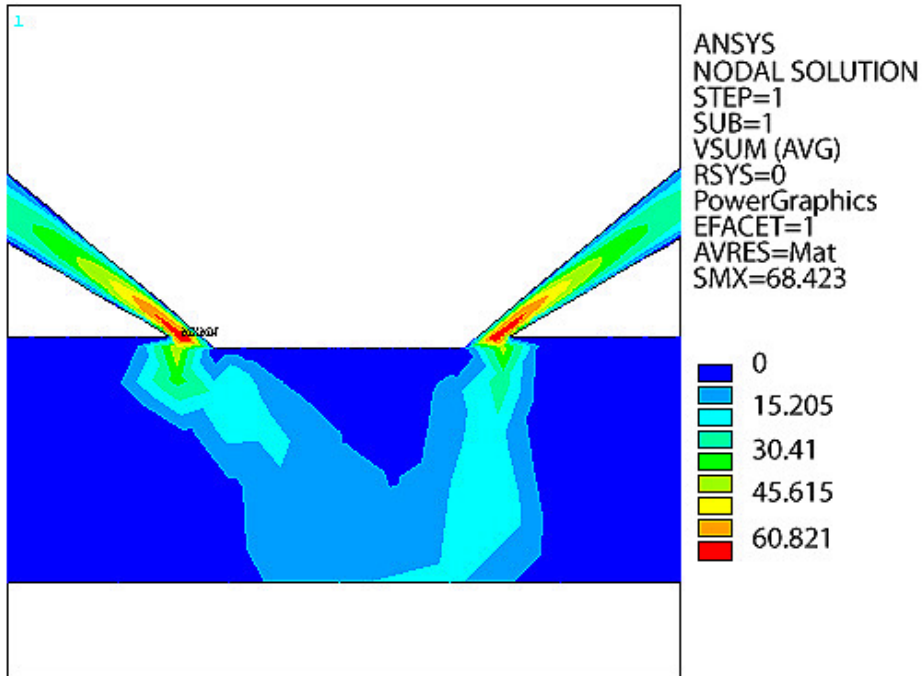
Şekil B.149 : Üst aç 50° alt aç 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



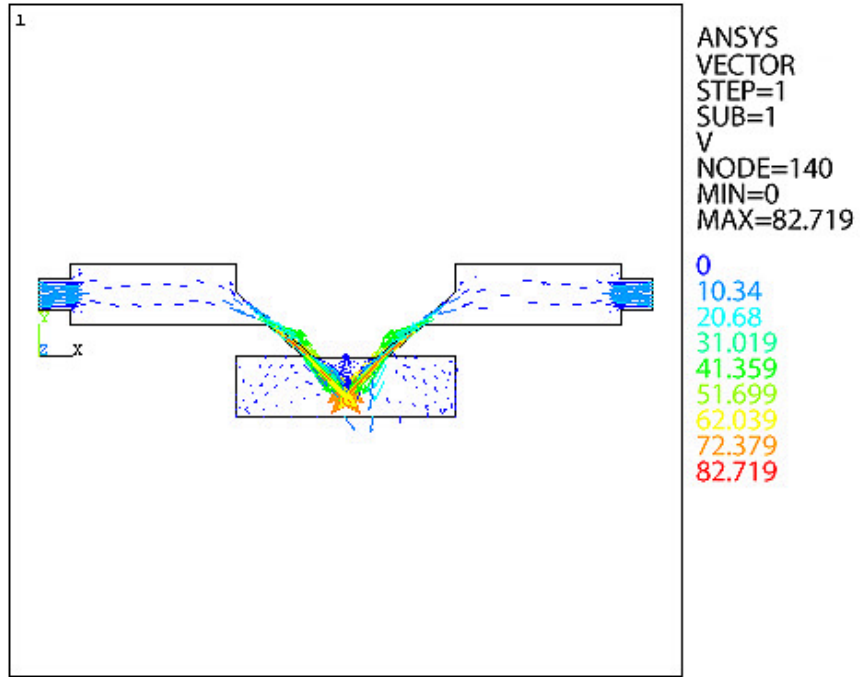
Şekil B.150 : Üst aç 50° alt aç 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



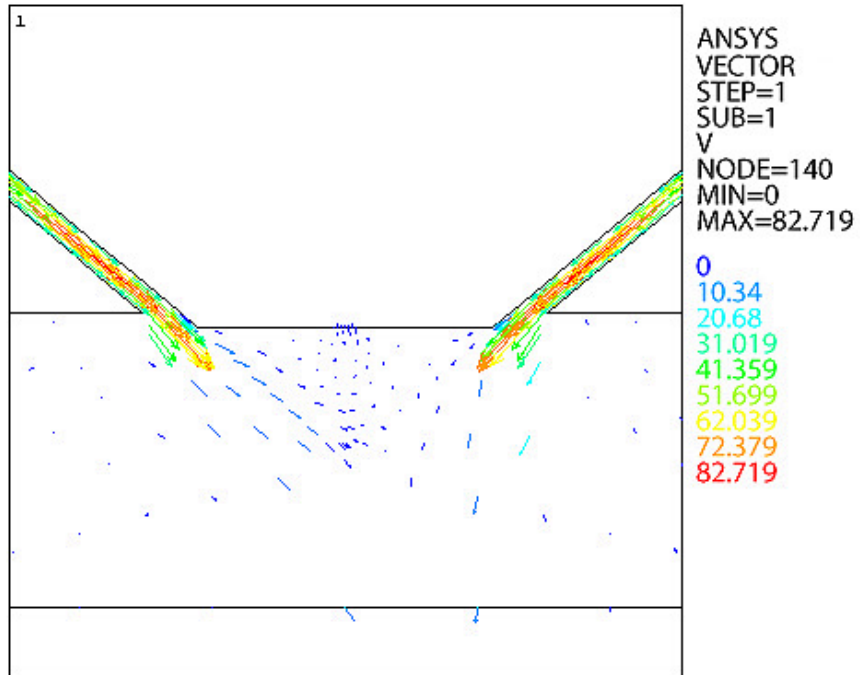
Şekil B.151 : Üst açısı 50° alt açısı 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



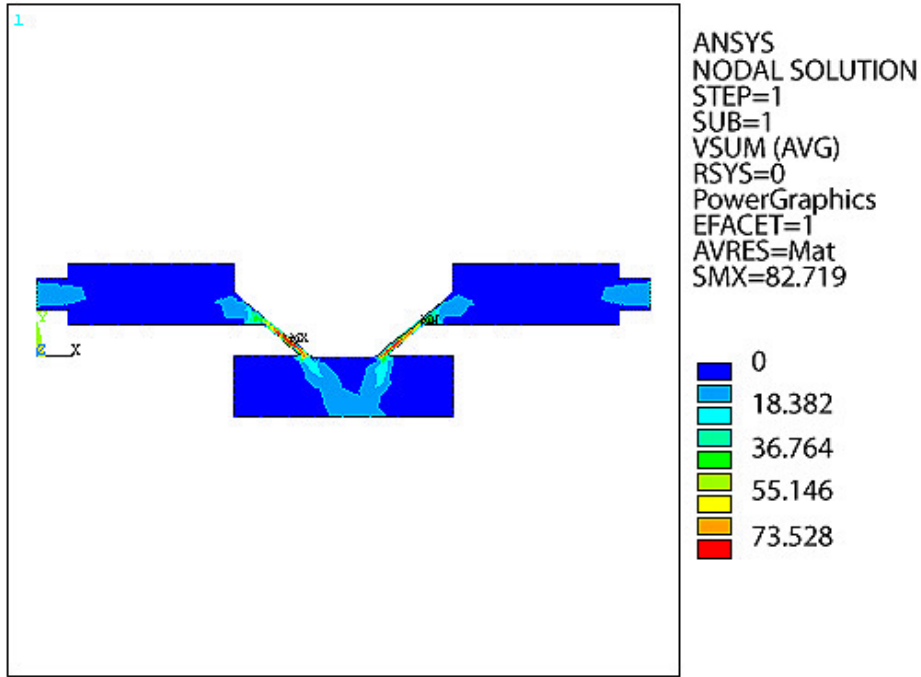
Şekil B.152 : Üst açısı 50° alt açısı 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



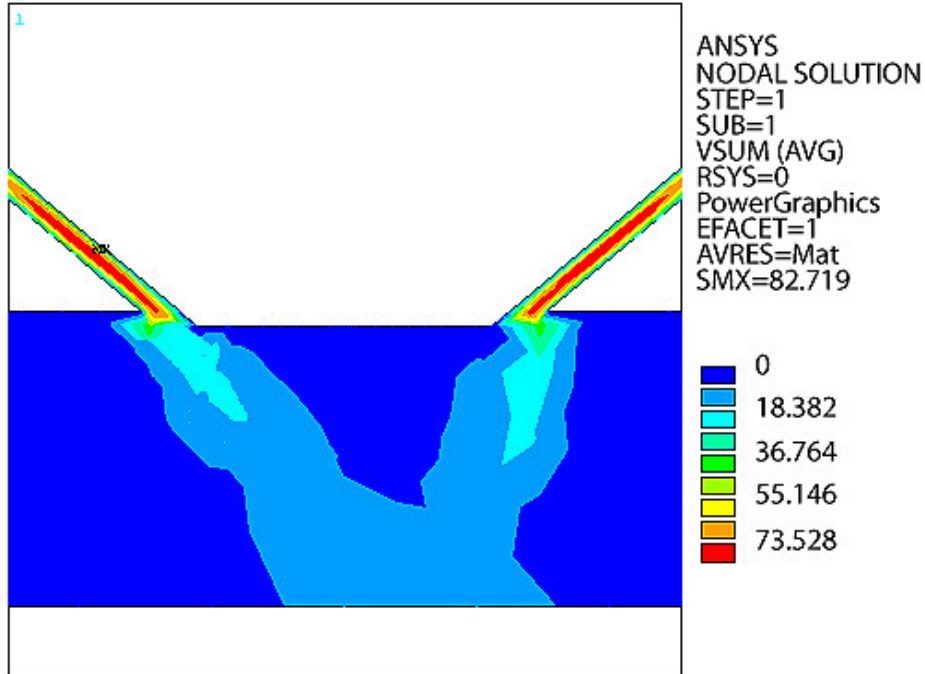
Şekil B.153 : Üst açısı 50° alt açısı 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



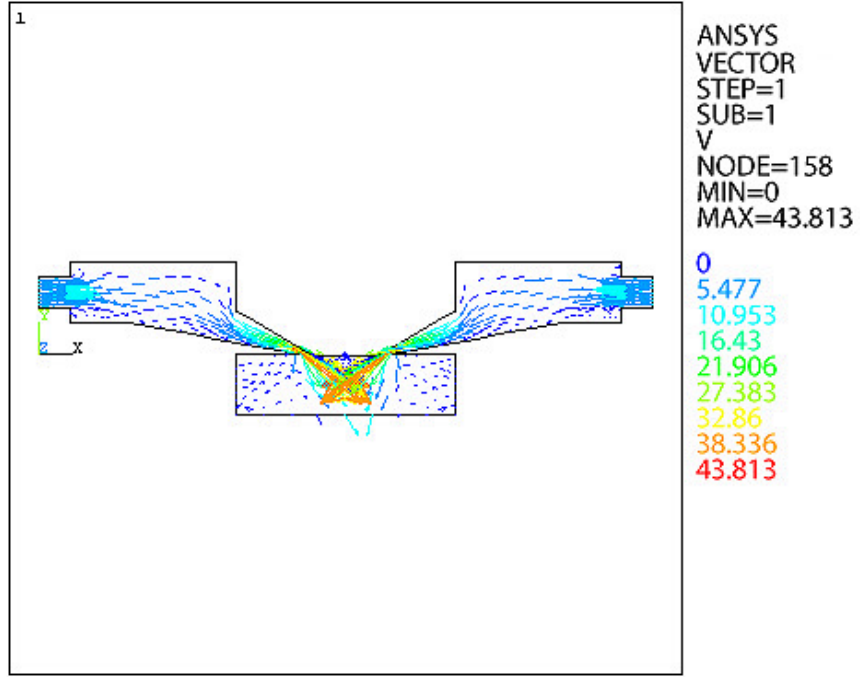
Şekil B.154 : Üst açısı 50° alt açısı 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



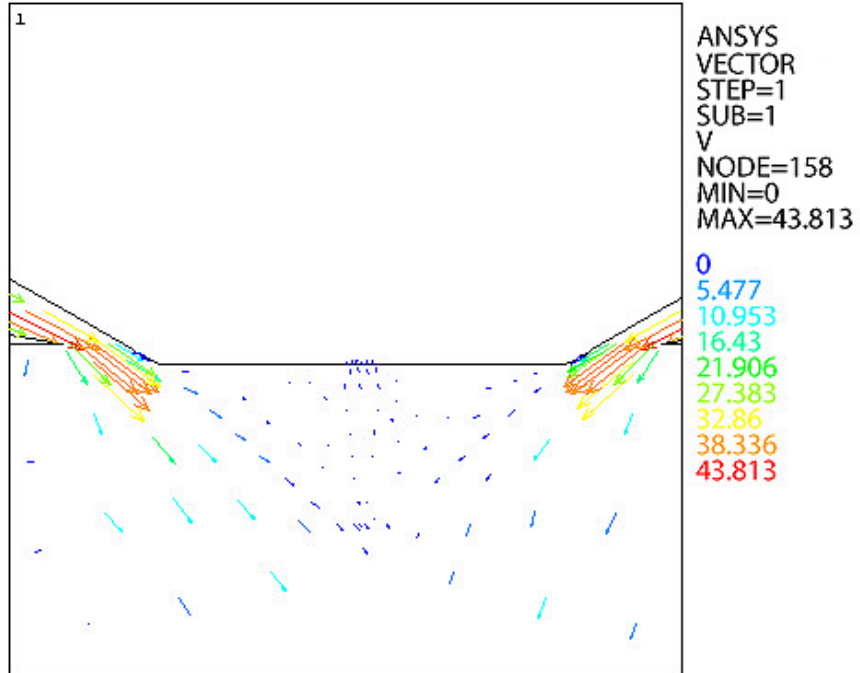
Şekil B.155 : Üst aç 50° alt aç 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



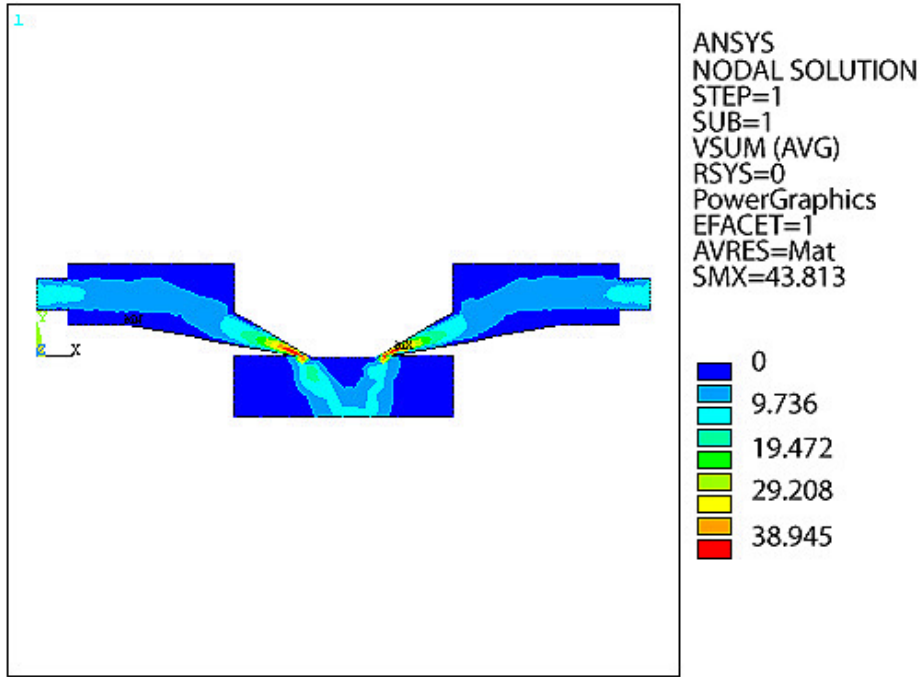
Şekil B.156 : Üst aç 50° alt aç 40° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



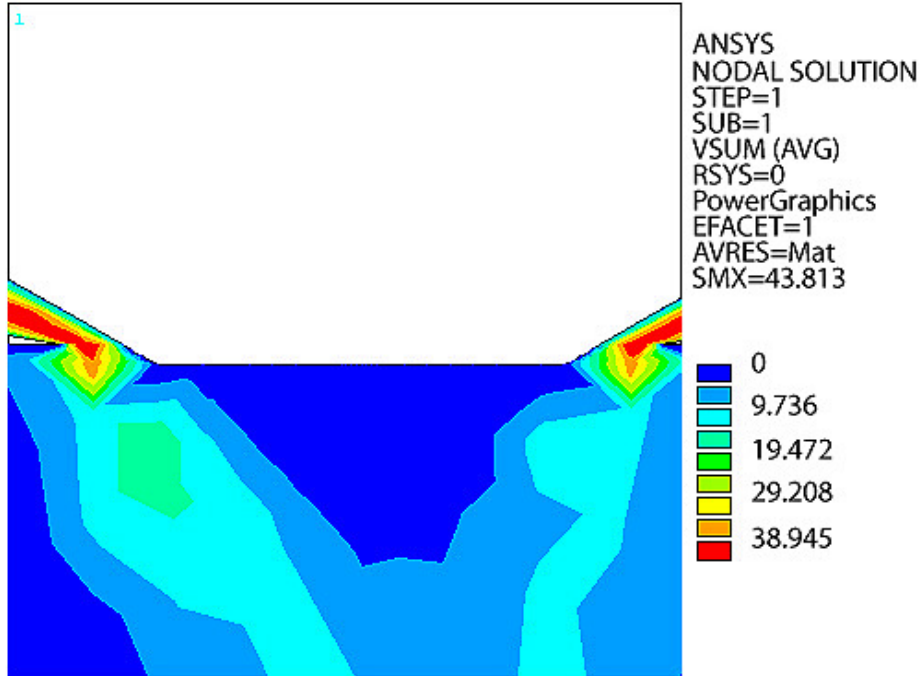
Şekil B.157 : Üst aç 60° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



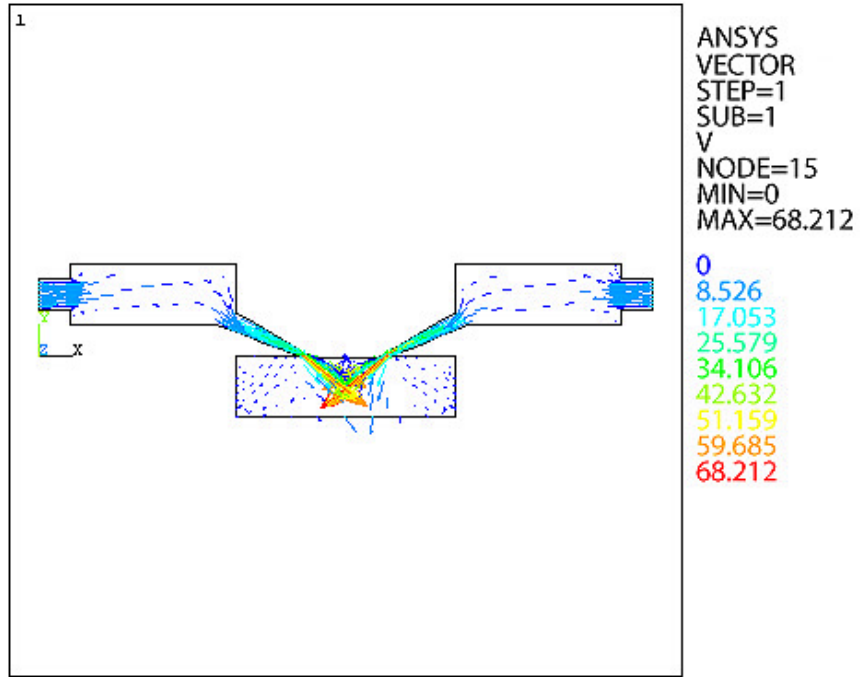
Şekil B.158 : Üst aç 60° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



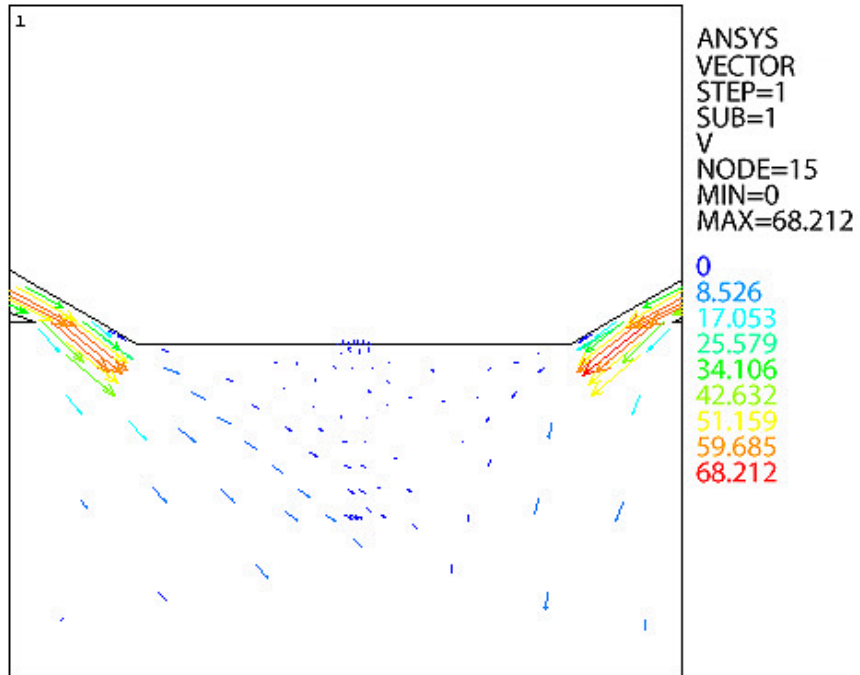
Şekil B.159 : Üst açısı 60° alt açısı 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



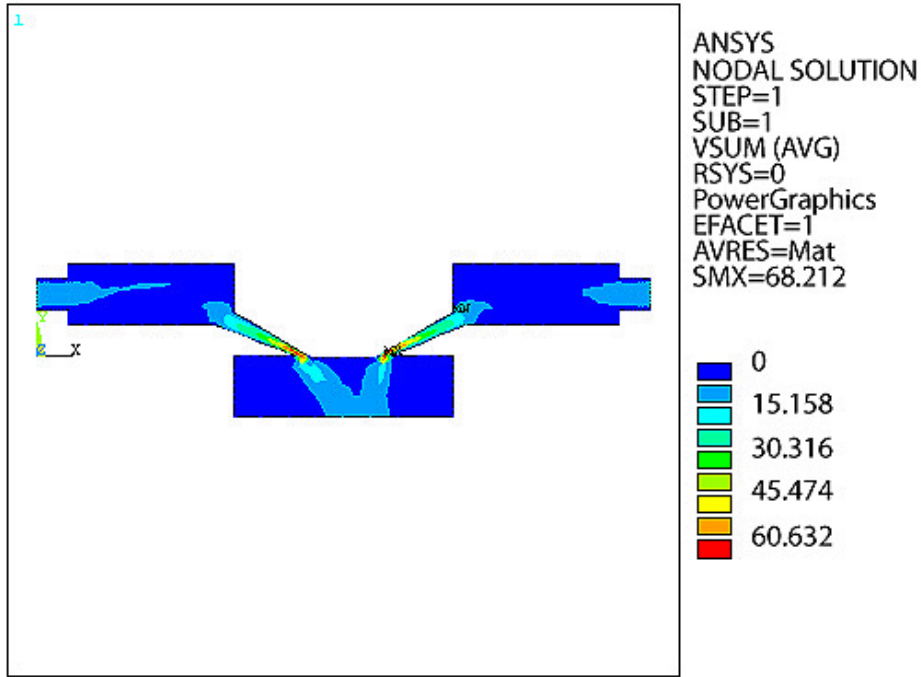
Şekil B.160 : Üst açısı 60° alt açısı 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



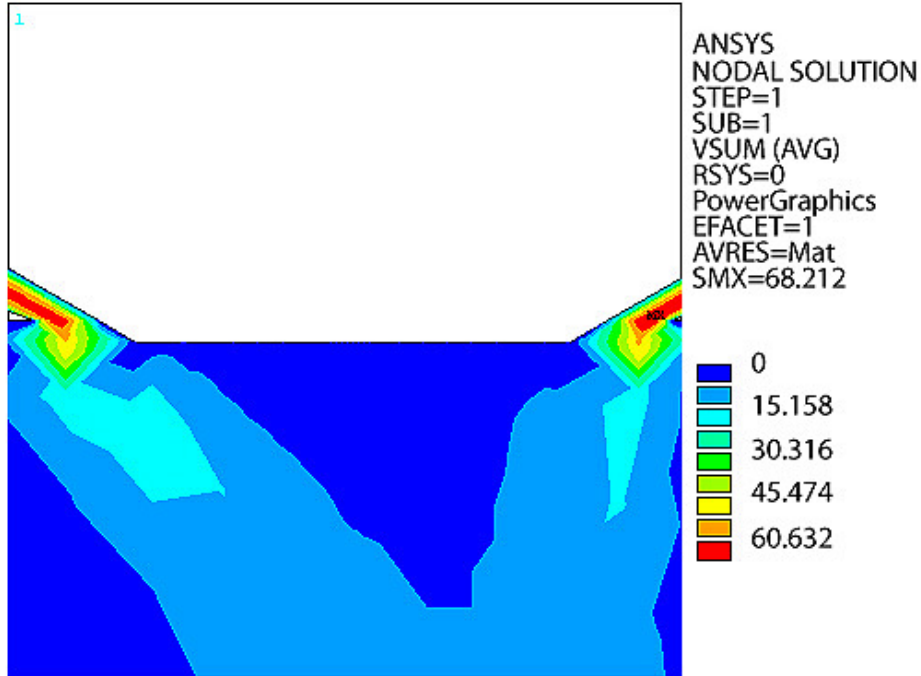
Şekil B.161 : Üst aç 60° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



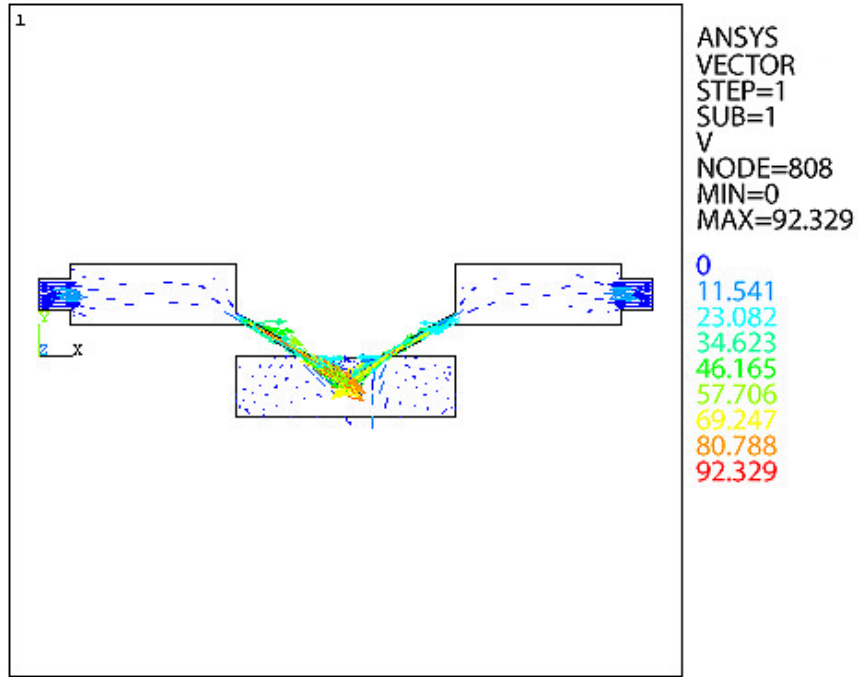
Şekil B.162 : Üst aç 60° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



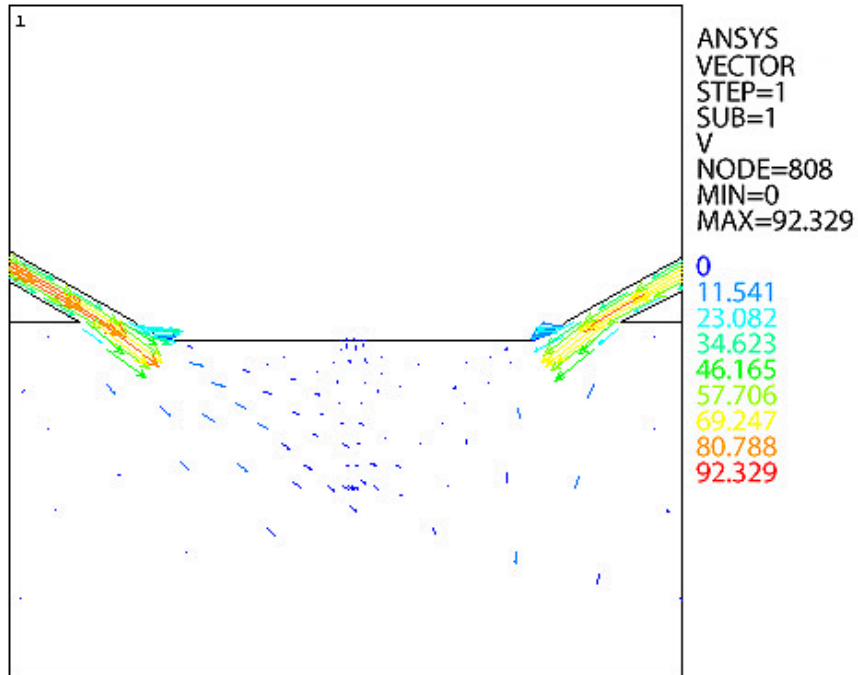
Şekil B.163 : Üst açısı 60° alt açısı 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



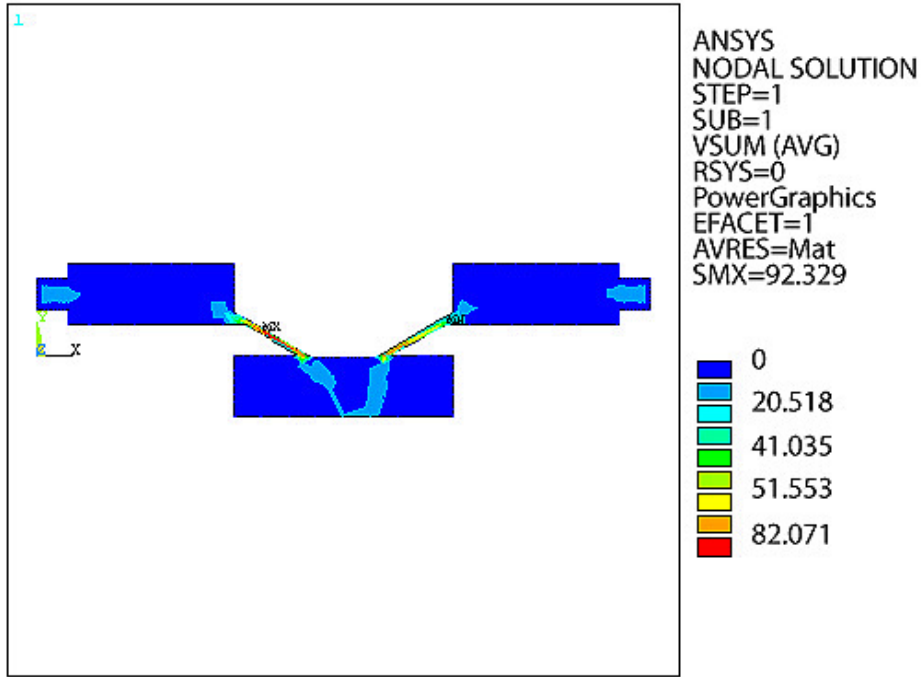
Şekil B.164 : Üst açısı 60° alt açısı 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



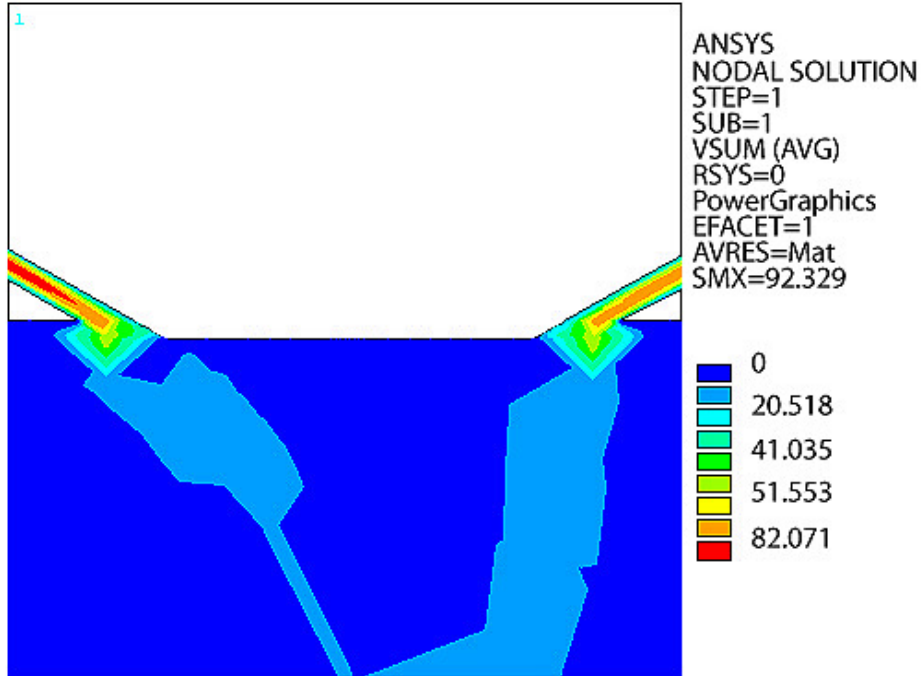
Şekil B.165 : Üst aç 60° alt aç 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



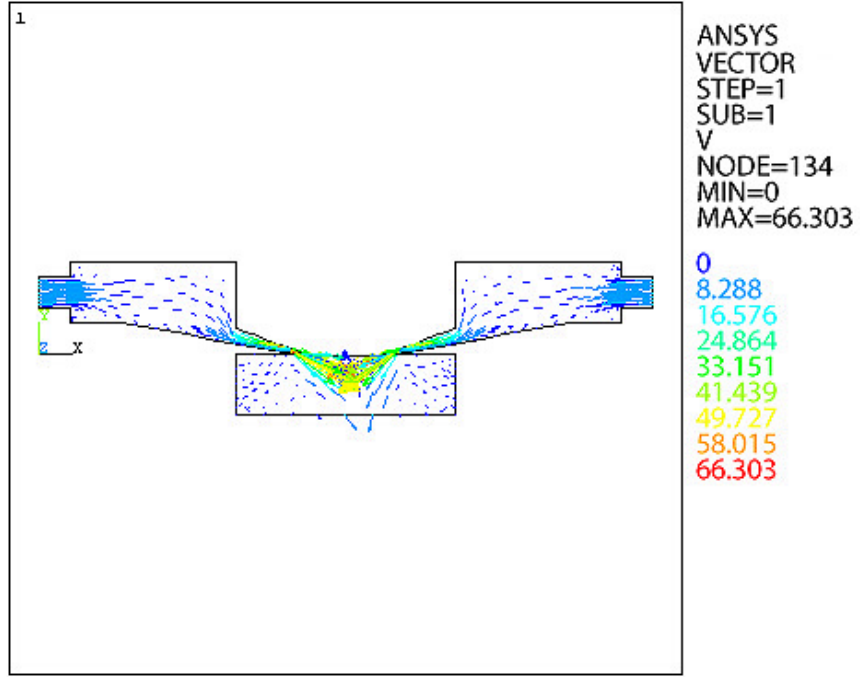
Şekil B.166 : Üst aç 60° alt aç 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



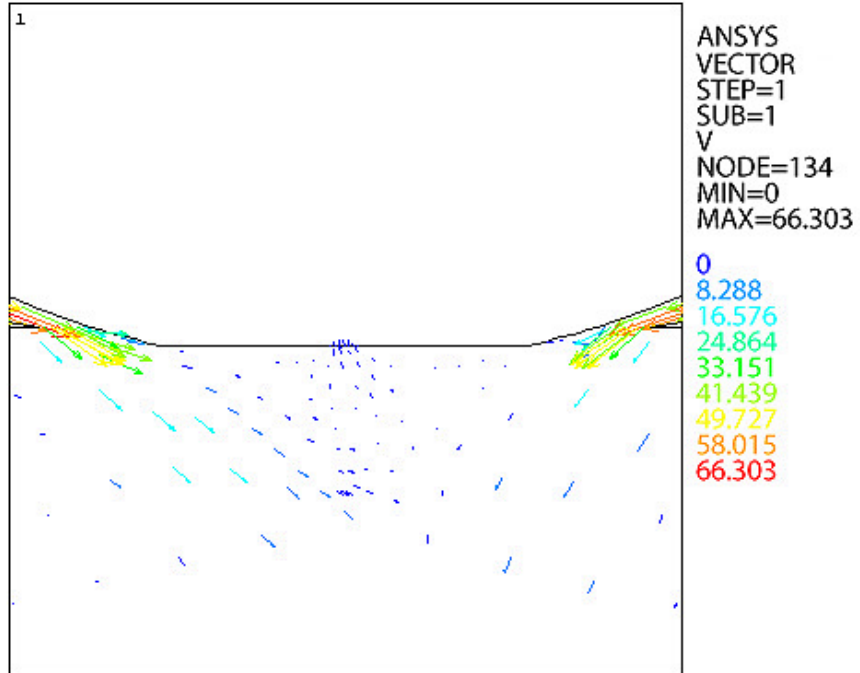
Şekil B.167 : Üst açısı 60° alt açısı 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



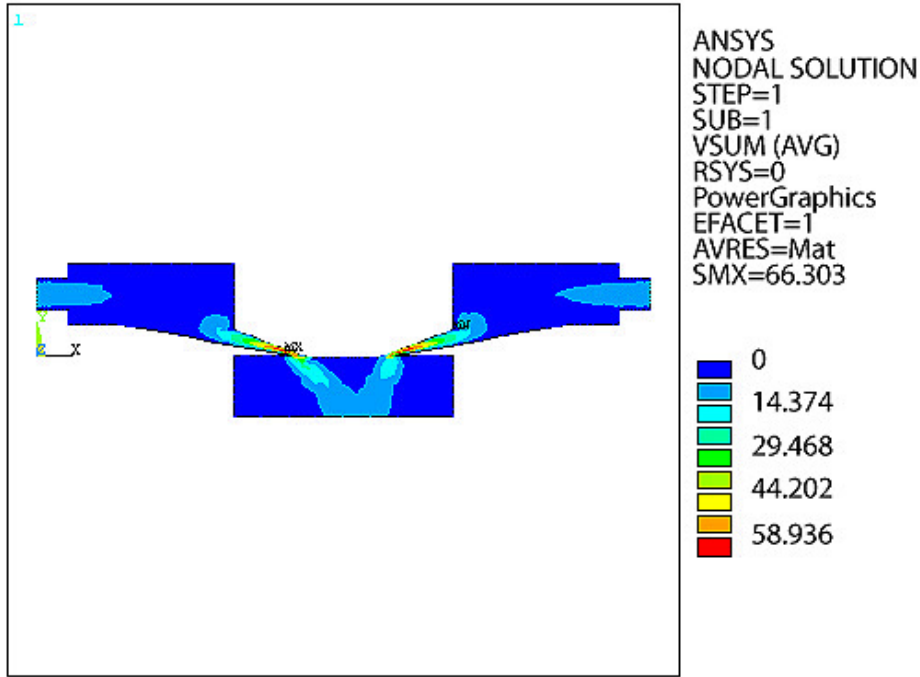
Şekil B.168 : Üst açısı 60° alt açısı 30° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



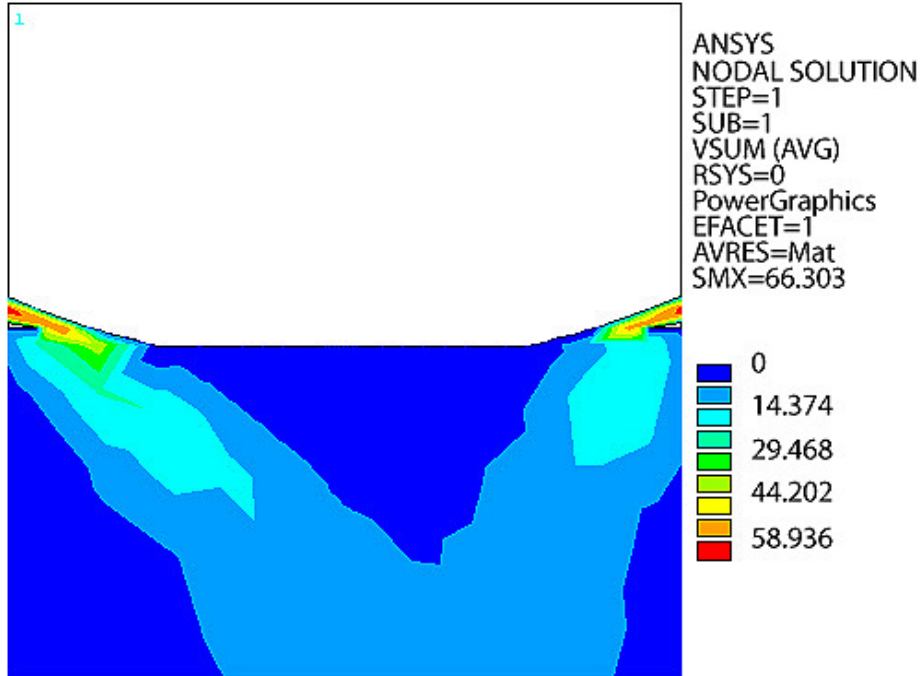
Şekil B.169 : Üst aç 70° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



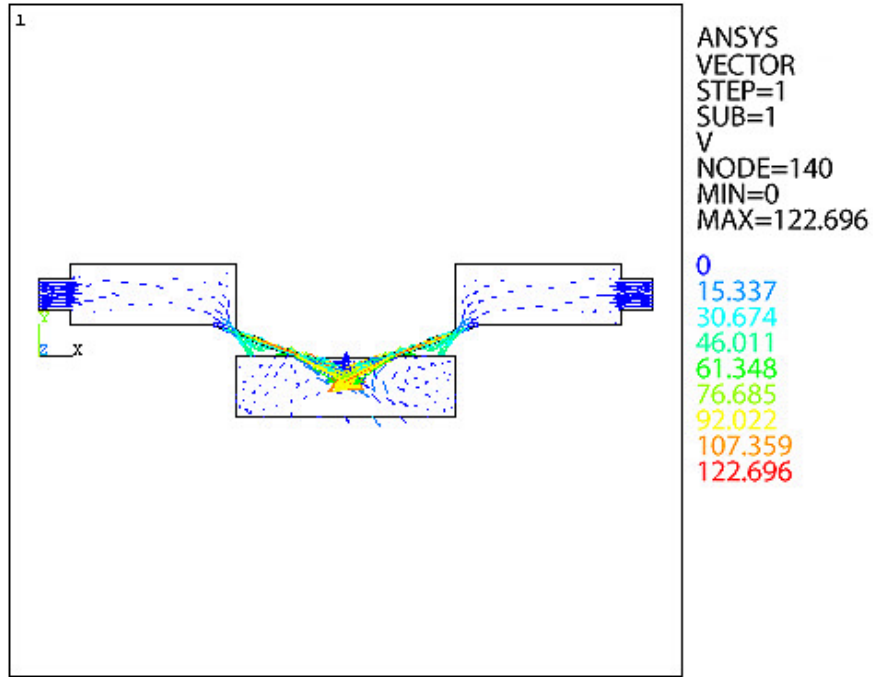
Şekil B.170 : Üst aç 70° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



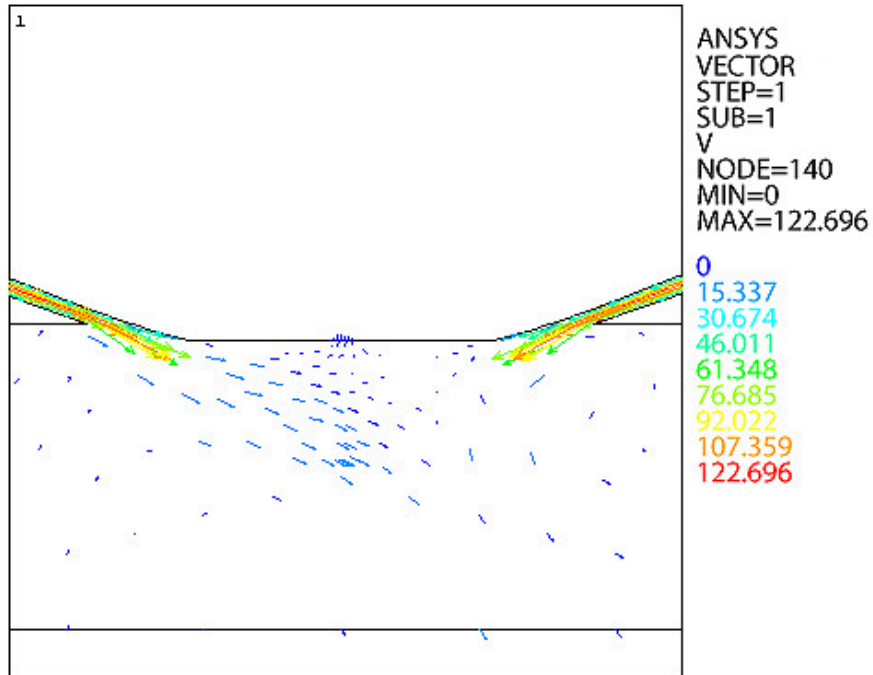
Şekil B.171 : Üst açısı 70° alt açısı 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



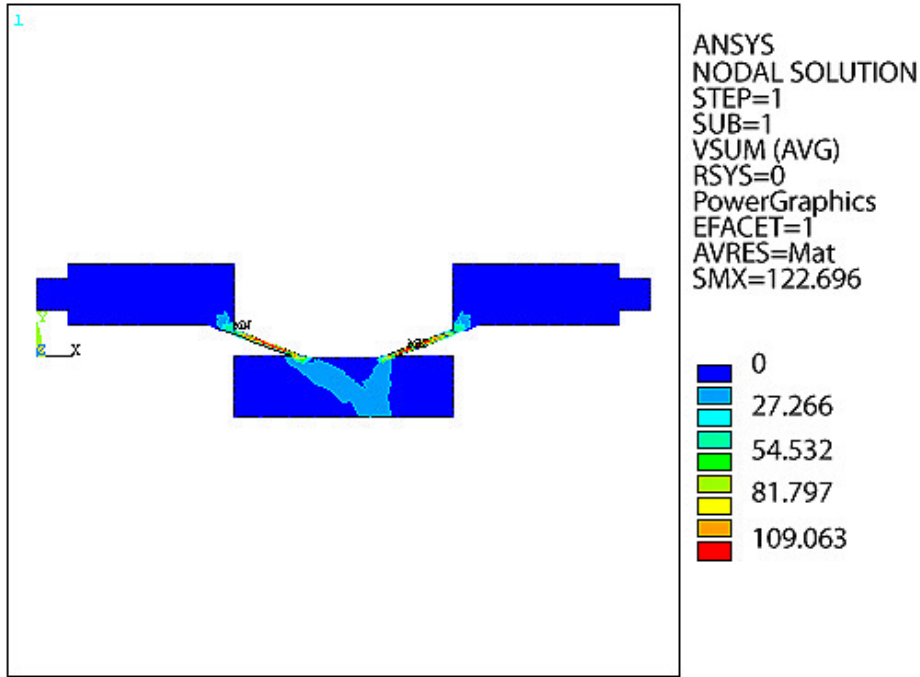
Şekil B.172 : Üst açısı 70° alt açısı 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



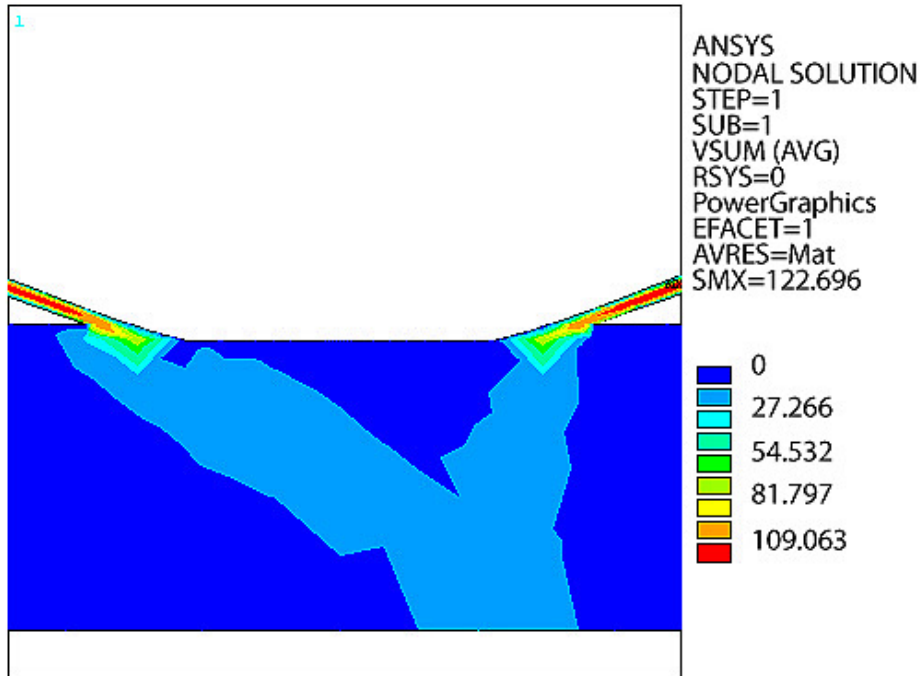
Şekil B.173 : Üst aç 70° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



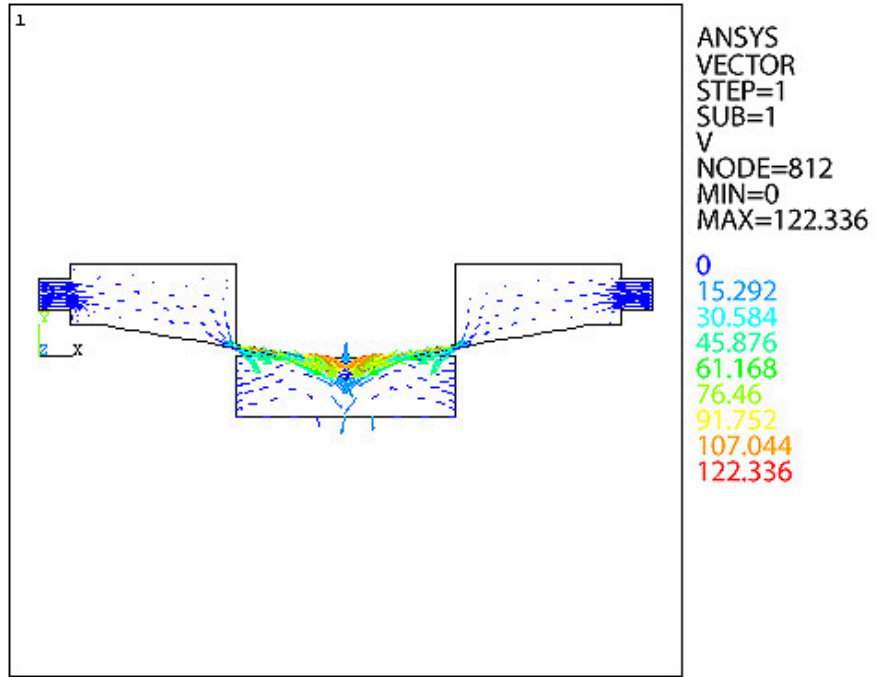
Şekil B.174 : Üst aç 70° alt aç 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



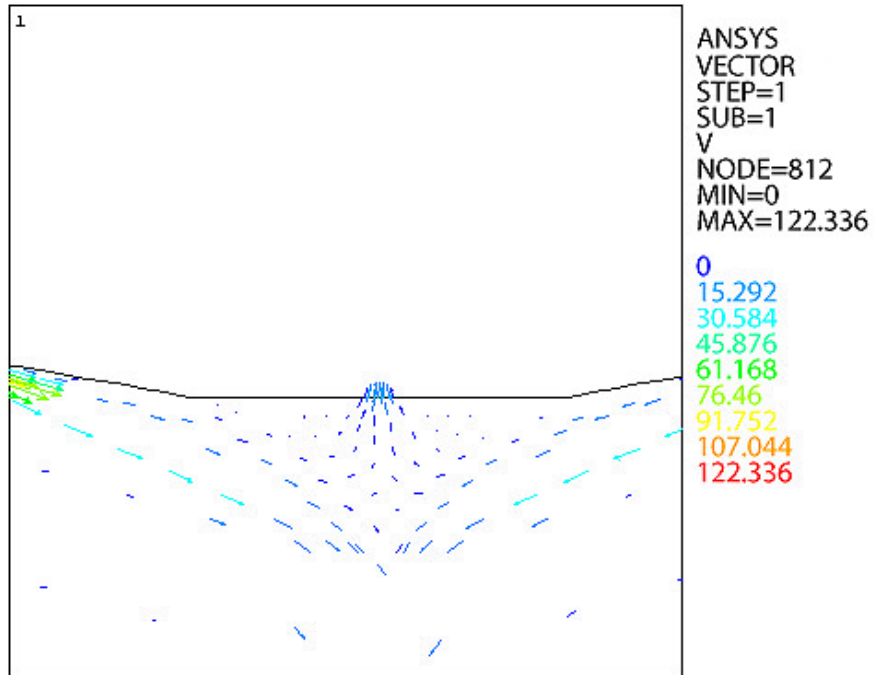
Şekil B.175 : Üst açısı 70° alt açısı 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



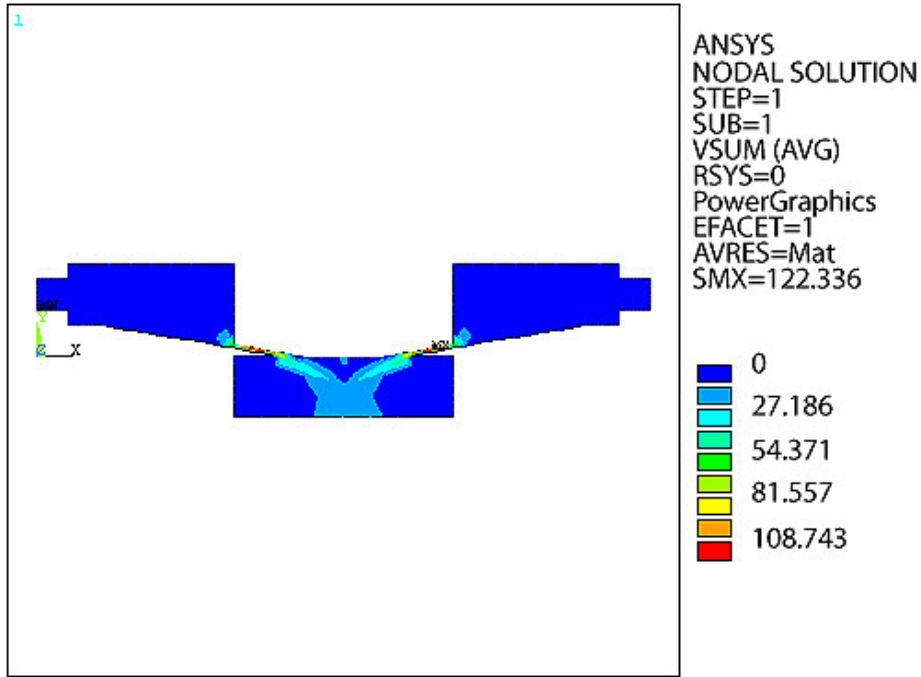
Şekil B.176 : Üst açısı 70° alt açısı 20° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.



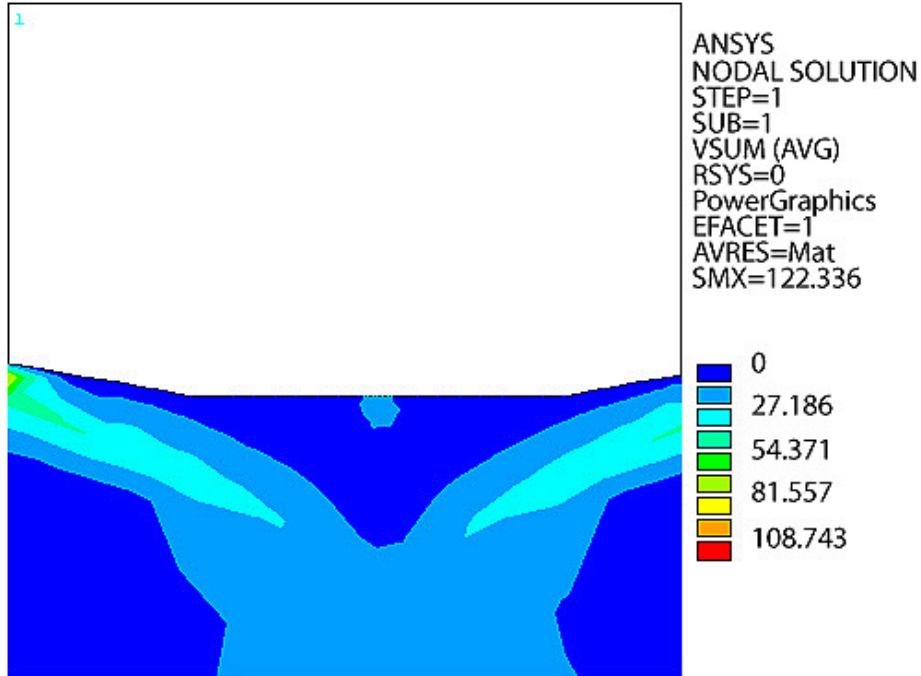
Şekil B.177 : Üst aç 80° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının vektörel gösterimi.



Şekil B.178 : Üst aç 80° alt aç 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki vektörel gösterimi.



Şekil B.179 : Üst açısı 80° alt açısı 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının alan grafiği gösterimi.



Şekil B.180 : Üst açısı 80° alt açısı 10° atomizasyon nozulünün ANSYS ile modellenmesinde nozuldeki gaz hız dağılımının nozul ucundaki alan grafiği gösterimi.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ahmet Güner
Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 1971
Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji Mühendisliği
Yüksek Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi,
Metalurji Mühendisliği Programı, Malzeme Bölümü

