



**BİLGİSAYAR DESTEKLİ FREKANS ANALİZİ İLE FAN KANATLARI  
TASARIM PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

**Mustafa DİNÇ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2016**

Mustafa DİNÇ tarafından hazırlanan “ BİLGİSAYAR DESTEKLİ FREKANS ANALİZİ İLE FAN KANAT TASARIM PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Makine Eğitimi Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

**Başkan:** Doç. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

**Üye:** Yrd. Doç. Dr. Şener KARABULUT

1. OSB Meslek Yüksek Okulu, Hacettepe Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 27/06/2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

Bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mustafa DİNÇ

27/06/2016

# BİLGİSAYAR DESTEKLİ FREKANS ANALİZİ İLE FAN KANATLARI TASARIM PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Mustafa DİNÇ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2016

## ÖZET

Tasarım aşamasında, fan kritik devirlerinin, hangi parametrelerden nasıl etkilendiğinin bilinmesi süreçte zaman ve maliyet kayıplarını azaltmaktadır. Rezonans şartlarının fanların çalışma ömrüne doğrudan etki etmesinden hareketle, fan kanat tasarım parametrelerinin kritik hızlara olan etkisi bu çalışmayla incelenmiştir. Bu çalışmada fan tasarımında esas alınan bilgilerin ışığında fan ölçüleri analitik yolla hesaplanmış, bilgisayar destekli bir tasarım ortamında (Solidworks) her bir parametre için modelleme yapılmıştır. Kanat giriş açısı, kanat giriş uzunluğu, kanat genişliği, kanat yarıçapı ve kanat sayısı olmak üzere beş farklı fan tasarım parametresi dikkate alınmıştır. Öncelikle kanat giriş açısı, kanat giriş uzunluğu ve kanat genişliği ile debi arasındaki anlamlı değişim aralıklarının tespiti yapılmıştır. Sonra, toplamda 25 adet fan modeli bireysel olarak tasarlanmış ve frekans analizi için kayıt edilmiştir. Fan tasarımında kritik hızlar açısından en ilişkili parametrelerin öncelikle kanat sayısı, sonra sırası ile kanat giriş uzunluğu ve kanat yarıçapı olduğu ortaya konulmuştur. Kanat genişliğinin ve kanat giriş açısının fan vibrasyonu için etkili parametrelerden olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, fan kanatçıklarına düzgün bir kaynak işlemi uygulandığında fan kritik hızlarının dikkate değer oranda düştüğü, ancak, fan kanatçıklarına düzgün bir kaynak işlemi uygulanmadığında fan kritik hızlarının fan tahrik motorunun çalışma hızlarına yakın seyrettiği görülmüştür.

Bilim Kodu : 91433  
Anahtar Kelimeler : Fan tasarımı, Kanat tasarımı, Frekans analizi  
Sayfa Adedi : 97  
Danışman : Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR

A RESEARCH ON DESIGN PARAMETERS OF VENTILATOR BLADES VIA  
COMPUTER AIDED FREQUENCY ANALYSIS

(M. Sc. Thesis )

Mustafa DİNÇ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2016

ABSTRACT

The determination of fan critical velocities depending on the design parameters is going to reduce design and manufacturing costs during design phases. The critical speeds affected by fan blade design parameters are studied because the vibration conditions have directly an effect upon the work life of a fan. Fan dimensions were calculated according to the traditional and analytical equations, the fan solid models were prepared using a computer aided design package (SolidWorks) for each different dimensions and parameters in this study. Five different design parameters which are the blade-enter angle, the blade beam length, the blade width, the blade radius and the number of blades were considered. First of all, the meaningful variation intervals were determined for the parameters of blade-enter angle, blade beam length and blade width. Then, the total 25 fan models were individually designed and saved for frequency analysis. The result of the frequency analysis showed that the most effective parameters were the number of blades, the blade beam length and the blade radius respectively. The blade width and the blade – enter angle were not among the effective parameters for frequency analysis. On the other hand, it is seen that when the fan blades are welded regularly, the critical speeds decrease drastically but when the fan blades are welded irregularly, the critical speeds increase the working speeds of fan actuating motor.

Science Code : 91433

Key Words : Ventilator design, Blade design, Frequency analysis

Page Number : 97

Supervisor : Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR

## TEŐEKKÖR

Çalıőmalarım süresince bilgisini, birikimini ve akademik tecrübelerini benden esirgemeyen Danıőmanım Sn. Prof. Dr. AHMET ÖZDEMİR' e, tecrübe ve doküman konusunda yardımcı olan ALFER MÜHENDİSLİK A.Ő, bu tezi bitirebilmemde moral ve motivasyonumu hep üst noktada tutmama destek veren sevgili kardeőim MUZAFFER DİNÇ' e, annem Nurcan DİNÇ' e ve babam GALİP DİNÇ' e sonsuz teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. FANLAR VE TASARIM PARAMETRELERİ.....	11
3.1. Fanların Genel Olarak Sınıflandırılması .....	11
3.1.1. Radyal fanlar.....	11
3.1.2. Eksenel fanlar .....	12
3.1.3. Dik akımlı fanlar.....	15
3.2. Çark Kanatları.....	15
3.2.1. Airfol kanatlar.....	16
3.2.2. Sabit kalınlıklı kanatlar.....	16
3.3. Radyal (Santrifüj) Fanların Tasarım ve İmalatı .....	19
3.3.1. Akışkanlar mekaniği.....	19
3.3.2. Enerjinin korunumu (Euler Denklemi).....	19
3.3.3. Kütlelin korunumu.....	20
3.3.4. İdeal gaz denklemi.....	20
3.3.5. Atmosfer basıncı.....	20

	<b>Sayfa</b>
3.3.6. Statik ve dinamik basınç .....	20
3.4. Radyal Fanlarda Çark Tasarımı .....	21
3.4.1. Basma yüksekliğinin hesaplanması .....	22
3.4.2. Özgül hızın hesaplanması .....	22
3.4.3. Emiş ağız çapının hesaplanması .....	22
3.4.4. Kanat genişliğinin hesaplanması .....	22
3.4.5. Rotor çapının hesaplanması .....	23
3.4.6. Kanat çıkış açısı değerinin hesaplanması .....	23
3.4.7. Kanat giriş uzunluğunun hesaplanması .....	24
3.4.8. Kanat sayısının hesaplanması .....	24
3.4.9. Kanat eğriliğinin (yarıçapının) hesaplanması .....	24
3.5. Bilgisayar Destekli Frekans Analizi.....	25
3.5.1. Titreşim nedir.....	25
3.5.2. Titreşimin nedenleri ve etkenleri .....	25
3.5.3. Titreşim ile ilgili temel kavramlar .....	26
3.5.4. Titreşim sisteminin elemanları .....	27
3.5.5. Titreşim çeşitleri .....	27
3.6. Kanat Tasarımında Kullanılan Parametrelerinin Fan Karakteristik Özelliklerine Etkisi.....	28
<b>4. BİLGİSAYAR DESTEKLİ FREKANS ANALİZİ VE BULGULAR....</b>	<b>37</b>
4.1. Fanın SolidWorks Ortamında Modellenmesi .....	38
4.2. SolidWorks Ortamında Frekans Analizi Yöntemi .....	40
4.3. Farklı Parametre Değerlerindeki Fanların Analiz İşleminin Gerçekleştirilmesi.	50
4.3.1. Kanat giriş açısı değişiminin kritik hızlara olan etkisinin incelenmesi ....	51

	<b>Sayfa</b>
4.3.2. Kanat giriş uzunluğu değişiminin kritik hızlara olan etkisinin incelenmesi .....	57
4.3.3. Kanat genişliği değişiminin kritik hızlara olan etkisinin incelenmesi.....	64
4.3.4. Kanat yarıçap değişiminin kritik hızlara olan etkisinin incelenmesi.....	71
4.3.5. Kanat sayısı değişiminin kritik hızlara olan etkisinin incelenmesi .....	78
4.3.6. Kanatların kaynaklı birleştirilmesinin kritik hızlara olan etkisinin incelenmesi .....	85
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>93</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>95</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>97</b>

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Mil uzunlukları ve vibrasyon değerleri.....	6
Çizelge 2.2. Mil çapları ve vibrasyon değerleri.....	6
Çizelge 2.3. Mil çapları ve vibrasyon değerleri.....	6
Çizelge 2.4. Fan verimli çalışma aralığı .....	8
Çizelge 2.5. Dik kanatlı fanlarda vibrasyon değerleri .....	8
Çizelge 2.6. Geriye eğik kanatlı fanlarda vibrasyon değerleri.....	8
Çizelge 3.1. Radyal fan karakteristik özellikleri.....	21
Çizelge 3.2. Özgül hız, basınç katsayısı, fan tipi .....	23
Çizelge 3.3. Özgül hıza göre kanat açısı değerleri .....	23
Çizelge 4.1. Kanat giriş açısı parametreleri .....	51
Çizelge 4.2. Kanat giriş (54°) analiz sonuçları .....	51
Çizelge 4.3. Kanat giriş (56°) analiz sonuçları .....	52
Çizelge 4.4. Kanat giriş (58°) analiz sonuçları .....	53
Çizelge 4.5. Kanat giriş (60°) analiz sonuçları .....	54
Çizelge 4.6. Kanat giriş (62°) analiz sonuçları .....	55
Çizelge 4.7. Kanat kiriş uzunluğu parametreleri .....	58
Çizelge 4.8. Kanat kiriş uzunluğu (464,992 mm) analiz sonuçları.....	58
Çizelge 4.9. Kanat kiriş uzunluğu (474,992 mm) analiz sonuçları.....	59
Çizelge 4.10. Kanat kiriş uzunluğu (484,992 mm) analiz sonuçları.....	60
Çizelge 4.11. Kanat kiriş uzunluğu (494,992 mm) analiz sonuçları.....	61
Çizelge 4.12. Kanat kiriş uzunluğu (504,992 mm) analiz sonuçları.....	62
Çizelge 4.13. Kanat genişliği parametreleri.....	64
Çizelge 4.14. Kanat genişliği (129,987 mm) analiz sonuçları.....	65
Çizelge 4.15. Kanat genişliği (139,987 mm) analiz sonuçları .....	66
Çizelge 4.16. Kanat genişliği (149,987 mm) analiz sonuçları.....	67

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 4.17. Kanat genişliği (159,987 mm) analiz sonuçları .....	68
Çizelge 4.18. Kanat genişliği (169,987 mm) analiz sonuçları .....	69
Çizelge 4.19. Kanat yarıçapı parametreleri .....	72
Çizelge 4.20. Kanat yarıçapı (47299,164 mm) analiz sonuçları .....	72
Çizelge 4.21. Kanat yarıçapı (47399,164 mm) analiz sonuçları .....	73
Çizelge 4.22. Kanat yarıçapı (47499,164 mm) analiz sonuçları .....	74
Çizelge 4.23. Kanat yarıçapı (47599,164 mm) analiz sonuçları .....	75
Çizelge 4.24. Kanat yarıçapı (47699,164 mm) analiz sonuçları .....	76
Çizelge 4.25. Kanat sayısı parametreleri.....	79
Çizelge 4.26. Kanat sayısı (12) analiz sonuçları .....	79
Çizelge 4.27. Kanat sayısı (13) analiz sonuçları .....	80
Çizelge 4.28. Kanat sayısı (14) analiz sonuçları .....	81
Çizelge 4.29. Kanat sayısı (15) analiz sonuçları .....	82
Çizelge 4.30. Kanat sayısı (16) analiz sonuçları .....	83
Çizelge 4.31. Kanat giriş açısı (58°) yekpare model kritik hız sonuçları.....	87
Çizelge 4.32. Kanat giriş açısı (58°) kaynaklı model kritik hız sonuçları.....	87
Çizelge 4.33. Kanat kiriş uzunluğu (484,992 mm) yekpare model kritik hız sonuçları.	87
Çizelge 4.34. Kanat kiriş uzunluğu (484,992 mm) kaynaklı model kritik hız sonuçları .....	87
Çizelge 4.35. Kanat genişliği (149,987mm) yekpare model kritik hız sonuçları.....	88
Çizelge 4.36. Kanat genişliği (149,987mm) kaynaklı model kritik hız sonuçları.....	88
Çizelge 4.37. Kanat radüsü (47499,164 mm) yekpare model kritik hız sonuçları.....	88
Çizelge 4.38. Kanat radüsü (47499,164 mm) kaynaklı model kritik hız sonuçları.....	89
Çizelge 4.39. Kanat sayısı (14 adet) yekpare model kritik hız sonuçları .....	89
Çizelge 4.40. Kanat sayısı (14 adet) kaynaklı model kritik hız sonuçları.....	89
Çizelge 4.41. Kanat sayısı (12 adet) düzensiz kaynaklı model kritik hız sonuçları .....	90

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 4.42. Kanat sayısı (13 adet) düzensiz kaynaklı model kritik hız sonuçları .....	90
Çizelge 4.43. Kanat sayısı (14 adet) düzensiz kaynaklı model kritik hız sonuçları .....	91
Çizelge 4.44. Kanat sayısı (15 adet) düzensiz kaynaklı model kritik hız sonuçları .....	91
Çizelge 4.45. Kanat sayısı (16 adet) düzensiz kaynaklı model kritik hız sonuçları .....	91



## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1 Fan analiz sonucu .....	3
Şekil 2.2 Rulmanlarda sıcaklıktan dolayı meydana gelen hasarlar.....	4
Şekil 2.3 Fan vibrasyon ölçümleri .....	4
Şekil 2.4 Vibrasyon ölçüm noktaları .....	5
Şekil 2.5 Motor konumları.....	5
Şekil 2.6 Rotor ve değişken parametreler .....	6
Şekil 2.7. Fan ve atık taşıma sistemi.....	7
Şekil 2.8. Analiz ve uygulama sonuçları .....	7
Şekil 2.9. Fan tasarım programı.....	9
Şekil 3.1. Santrifüj fan .....	11
Şekil 3.2. Çift emişli fan ve rotor .....	12
Şekil 3.3. Eksenel fan şekli ve çalışma prensibi .....	13
Şekil 3.4. Tüp tipi eksenel fan .....	13
Şekil 3.5. Vane tipi eksenel fan .....	14
Şekil 3.6. Pervane tipi fanlar şekli ve çalışma prensibi .....	15
Şekil 3.7. Dik akımlı fanlar şekli ve çalışma prensibi .....	15
Şekil 3.8. Airfol kanadının şematik yapısı .....	16
Şekil 3.9. Öne eğik kanatlı çark şematik yapısı .....	17
Şekil 3.10. Arkaya eğik kanatlı çark şematik yapısı .....	18
Şekil 3.11. Düz kanatlı fan şematik yapısı.....	18
Şekil 3.12. Santrifüj tip fan tasarım parametreleri.....	21
Şekil 3.13. Titreşim ve meydana gelişi.....	25
Şekil 3.14. Fan tasarım parametreleri ve excel ara yüzü .....	27
Şekil 3.15. Kanat giriş açısı, ( $B_1$ ) ile debi, (Q), arasındaki ilişki.....	29
Şekil 3.16. Kanat giriş açısı, ( $\beta_1$ ) ile debi, (Q), arasındaki anlamı parametreler.....	30

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.17. Kanat kiriş uzunluğu, (Lk) ile debi, (Q), arasındaki ilişki.....	31
Şekil 3.18. Kanat kiriş uzunluğu, (Lk) ile debi, (Q), Arasındaki anlamlı parametreler	32
Şekil 3.19. Kanat genişliği (B2) ile debi (Q) Arasındaki ilişki.....	33
Şekil 3.20. Kanat genişliği (B2) ile debi arasındaki anlamlı parametreler .....	34
Şekil 3.21. kontrol hacmi ve kanat radüsü ile debi arasındaki ilişki.....	34
Şekil 4.1. SolidWorks ortamında analiz modülünün aktif hale gelmesi.....	38
Şekil 4.2. Fan tasarım excel arayüzü.....	38
Şekil 4.3. SolidWorks ortamında fanın modellenmesi.....	39
Şekil 4.4. Fanın kütsel özellikleri.....	39
Şekil 4.5. Frekans analizinin başlatılması .....	40
Şekil 4.6. Frekans analizi bölümü .....	41
Şekil 4.7. Frekans analizi özellik penceresi .....	41
Şekil 4.8. Model için malzeme uygulanması .....	43
Şekil 4.9. Malzeme seçimi .....	43
Şekil 4.10. Fan ile tahrik mili montajı.....	44
Şekil 4.11. Fan göbek temas çapı çizgisi .....	44
Şekil 4.12. Ayrım çizgisi komutu.....	45
Şekil 4.13. Ayrım çizgisi komutunun uygulanması .....	45
Şekil 4.14. Frekans analizi özellikleri .....	46
Şekil 4.15. Mesh işlemi başlangıcı.....	46
Şekil 4.16. Mesh ayar menüsü .....	47
Şekil 4.17. Mesh ve yürüt işlemi.....	47
Şekil 4.18. Analiz işleminin başlaması .....	48
Şekil 4.19, Mesh işlemi tamamlanmış fan modeli .....	48
Şekil 4.20. Genlik şekilleri gösterimi.....	49
Şekil 4.21. Kritik devirlerin elde edilmesi .....	49

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.22. Analiz sonuçları .....	50
Şekil 4.23. Giriş açısı ( $\beta_1$ ).....	51
Şekil 4.24. 54° için titreşim analiz mod görünümüleri .....	52
Şekil 4.25. 56° için titreşim analiz mod görünümüleri .....	53
Şekil 4.26. 58° için titreşim analiz mod görünümüleri .....	54
Şekil 4.27. 60° için titreşim analiz mod görünümüleri .....	55
Şekil 4.28. 62° için titreşim analiz mod görünümüleri .....	56
Şekil 4.29. Giriş açısı için kritik devir değişimleri .....	57
Şekil 4.30. Kanat kiriş uzunluğu parametresi gösterimi (LK) .....	58
Şekil 4.31. 464,992 mm için analiz mod görünümüleri .....	59
Şekil 4.32. 474,992 mm için analiz mod görünümüleri .....	60
Şekil 4.33. 484,992 mm için analiz mod görünümüleri .....	61
Şekil 4.34. 494,992 mm için analiz mod görünümüleri .....	62
Şekil 4.35. 504,992 mm için analiz mod görünümüleri .....	63
Şekil 4.36. Kanat kiriş uzunluğu için kritik devir değişimleri .....	64
Şekil 4.37. Kanat genişliği (B2) .....	65
Şekil 4.38. 129,987 mm için analiz mod görünümüleri .....	66
Şekil 4.39. 139,987 mm için analiz mod görünümüleri .....	67
Şekil 4.40. 149,987 mm için analiz mod görünümüleri .....	68
Şekil 4.41. 159,987 mm için analiz mod görünümüleri .....	69
Şekil 4.42. 169,987 mm için analiz mod görünümüleri .....	70
Şekil 4.43. Kanat genişliği için kritik hız değişimi .....	70
Şekil 4.44. Kanat yarıçapı (R) .....	71
Şekil 4.45. Kontrol hacmi .....	72
Şekil 4.46. 47299,164 mm için analiz mod görünümüleri .....	73
Şekil 4.47. 47399,164 mm için analiz mod görünümüleri .....	74

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.48. 47499,164 mm için analiz mod görünümleri .....	75
Şekil 4.49. 47599,164 mm için analiz mod görünümleri .....	76
Şekil 4.50. 47699,164 mm için analiz mod görünümleri .....	77
Şekil 4.51. Kanat yarıçapı için kritik hız değişimi .....	78
Şekil 4.52. Kanat sayısı (N) .....	79
Şekil 4.53. 12 adet kanat için analiz mod görünümleri .....	80
Şekil 4.54. 13 adet kanat için analiz mod görünümleri .....	81
Şekil 4.55. 14 adet kanat için analiz mod görünümleri .....	82
Şekil 4.56. 15 adet kanat için analiz mod görünümleri .....	83
Şekil 4.57. 16 adet kanat için analiz mod görünümleri .....	84
Şekil 4.58. Kanat sayısı için kritik hız değişimleri .....	85
Şekil 4.59. Kaynaklı birleşim modeli .....	86
Şekil 4.60. Kaynaklı şekli .....	86
Şekil 4.61. Kanat düzensiz kaynak şekli .....	90

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

### Açıklamalar

<b>m<sup>3</sup></b>	Metre küp
<b>Db</b>	Desibel
<b>Hz</b>	Hertz
<b>m<sup>2</sup></b>	Metrekare
<b>Pa</b>	Pascal
<b>Q</b>	Debi (m <sup>3</sup> /h)
<b>RPM</b>	Devir / Dakika
<b>H</b>	Basma Yüksekliği, m
<b>E</b>	Emiş Ağzı Çapı, mm
<b>B1</b>	Kanat Üst Genişliği, mm
<b>B2</b>	Kanat Alt Genişliği, mm
<b>β<sub>1</sub></b>	Kanat Giriş Açısı, Derece
<b>β<sub>2</sub></b>	Kanat Çıkış Açısı, Derece
<b>Lk</b>	Kanat kiriş uzunluğu, mm
<b>N</b>	Kanat Sayısı, adet
<b>R</b>	Kanat Yarıçapı, mm
<b>Ns</b>	Özgül Hız, dev/dk
<b>Nc</b>	Kritik Devir, Rad/s

### Kısaltmalar

### Açıklamalar

<b>AMCA</b>	Hava Akış ve Kontrol Birliği
<b>CAE</b>	Bilgisayar Destekli Mühendislik
<b>CFD</b>	Hesaplama Akışkanlar Mekaniği
<b>EXP</b>	Deney Sonuçları

## 1. GİRİŞ

Fanlar öncelikli olmak üzere endüstriyel tesislerde, konutlarda ve ulaşım sistemlerinde; basınçlı hava akımları yoluyla elde edilerek hava sirkülasyonunun sağlanmasında kullanılan turbo sistemler olarak adlandırılan grubun alt ve önemli bir donanımdır. Fanlardaki ana çalışma prensibi; döner çarkın (hava kanatlarıyla) havayı bir hacimden diğer bir hacme aktarmasına dayanır. Bu şekilde sistem içerisinde gerekli havanın yer değiştirmesi ve havaya yön verilmesi sağlanmış olur.

Fanlar esas itibarıyla olarak pompalarla benzer şekilde çalışırlar. Aradaki temel fark; pompaların sıvıları; fanların ise gazları bir yerden bir yere taşımada tercih edilmesidir.

Fanlarda standart bir anma ölçüsü vardır. Eksenel fanlarda anma ölçüsü dış çap; santrifüj fanlarda ise giriş çapıdır. Bu ölçüler, Hava Akış ve Kontrol Birliği (AMCA) tarafından detaylı hesaplamalar ve deneysel çalışmalara dayalı olarak standartlaştırılmışlardır.

Fanlar; fan üreticileri tarafından yaptıkları görev bakımından üfleyici tip ve emici tip olmak üzere iki gruba ayırırlar. Üfleyici tip fanlar havayı bir hacimden diğerine aktarıırken havanın basıncını ve hızını artırır ve genel olarak hava akışının gerekli olduğu sistemlerde kullanılırlar. Emici tip fanlar ise, alçak basınç oluşturarak işlem sonucu ortaya çıkan havanın nakledilmesini sağlarlar.

Bu tez çalışmasında; elde olan verilere bağlı olarak (sıcaklık, basınç, rakım vb.) teorik çark tasarımı yapılarak kanat tasarım unsurlarının fan verimine olan etkisi belirlenen parametre aralığında incelenmiştir. Fan tasarım parametreleri olarak kanat genişliği, kanat yarıçapı, kanat giriş uzunluğu, kanat sayısı, kanat giriş açısı alınmış, ilave olarak kanat kaynak düzensizliğinin fan kritik hızlarına olan etkisi araştırılmıştır.

Bu çalışmanın temel amacı ise çark kanat tasarım parametre değişimlerinin fanadaki kritik hız değişimlerine etkilerinin analiz sonuçları ile değerlendirilip, kritik hız sınırı değişimlerinde anlamlı bir sonuç veren parametrelerin önceliğini ve etkisini tespit ederek tasarım aşamasında fanın muhtemel vibrasyon davranışının etkilerini ortaya koymaktır.



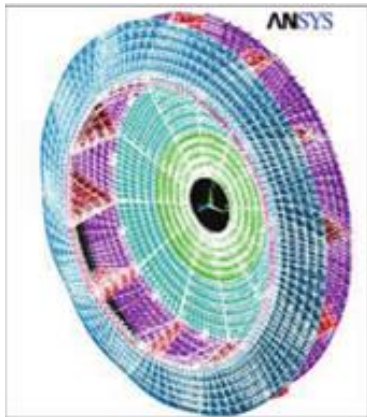
## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Santrifüj fanlar; endüstriyel tip tozsuzlaştırma ve hava ile taşıma sistemleri uygulamalarında geniş bir tercih alanına sahiptirler. Tercih alanının bu kadar yüksek olmasının sebebi; yüksek verim, kapasite değiştirme işlemlerinin kolaylıkla yapılabilmesi, hava ve malzeme taşıma işlemlerinin aynı anda yapılabilmesidir. Santrifüj fanların çalışma verimine doğrudan etki eden bir etmende titreşimdir.

Mohaideen'e göre fanlarda iyileştirme yapılarak maliyette %60 tasarruf sağlanacağı öngörülmüştür [1]. Fanlarda iyileştirme için kullanılan mühendislik alanları aerodinamik, termodinamik, akışkanlar dinamiği, gerilim ve vibrasyon alanlarıdır. Fan üretimine geçilmeden önce analiz ve prototip üretimleri ile bu iyileştirmeler sağlanabilir. Analiz için kullanılan fan özellikleri şu şekildedir:

- 1) Motor Özellikleri: 1 500 kW-1 000 Rpm
- 2) Malzeme: Naxtra-70
- 3) Basınç: 9 850 Nm/Kg
- 4) Debi: 180 000 m<sup>3</sup>/h

Analizde 3 farklı kanatçık kalınlığı kullanılarak fan üzerindeki gerilimler ve akış değişimleri incelenerek optimum kanat kalınlığı saptanmaya çalışılmıştır.



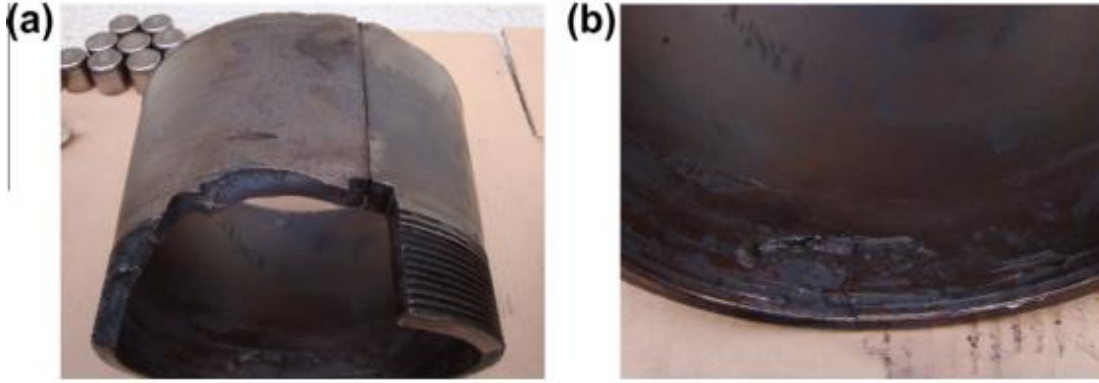
Şekil 2.1. Fan analiz sonucu [1]

Kanatçık kalınlıkları 2, 1.5, 1 mm olarak alınmıştır. Yapılan analizler sonucu gerekli değerleri sağlayan kanat kalınlığında fan ağırlığı %18 azaltılmıştır.

Yüksek sıcaklıklarda çalışan egzoz fanlarındaki malzemede sıcaklıktan dolayı meydana gelen deformasyonlar vibrasyonlar sonucu malzemeler üzerinde kalıcı hasarlar meydana getirmektedir [ 2]

Yüksek sıcaklıktaki egzoz buharını tahliye eden çift emişli fanda sıcaklıktan deforme olan kısımlar şu şekildedir:

- 1) Fan emiş kısmı
- 2) Mil ve rulmanlar



Şekil 2.2. Rulmanlarda sıcaklıktan dolayı meydana gelen hasarlar [2]

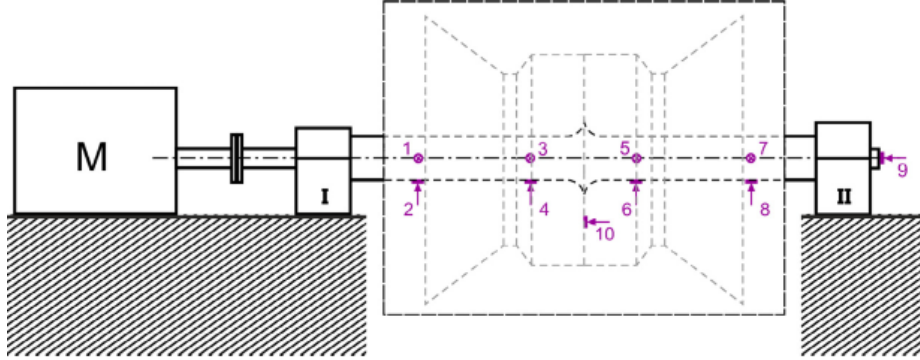
Deforme olan kısımlarda vibrasyon ölçümleri sahada yapılarak titreşim değişimleri incelenmiştir.



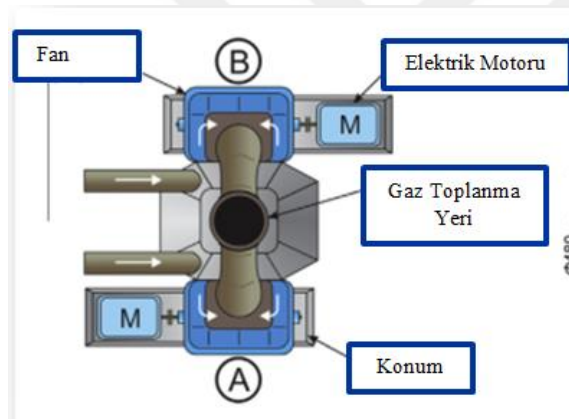
Şekil 2.3. Fan vibrasyon ölçümleri [2]

Vibrasyon ölçümleri 2 farklı montaj şekli ile yapılarak elektrik motoru konumunun vibrasyona olan etkisi incelenerek en uygun motor konumu bulunmaya çalışılmıştır.

Titreşim ölçümleri için vantilatör üzerinde 9 farklı nokta belirlenerek 2 farklı motor konumu için ölçümler yapılmıştır.



Şekil 2.4. Vibrasyon ölçüm noktaları [2]

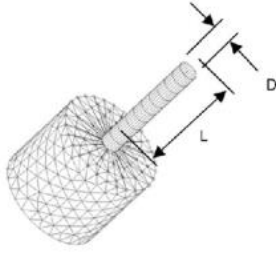


Şekil 2.5. Motor konumları [2]

Yapılan ölçümlerde fanda minimum vibrasyon için A konumu tercih edilmiştir.

Fandaki vibrasyona etki eden etmenlerden biride elektrik motorlarıdır. Elektrik motorları yapısal tasarım itibari ile fanlarda vibrasyon değerlerinin artışına sebep olabilir. Bu sorun elektrik motorunun yapısal ve çalışma değerleri tasarımları ile çözülmeye çalışılmıştır [2] Çalışmada fandaki vibrasyon etmenleri iki açıdan incelemiştir. İlk olarak elektrik motoru sürücü değerleri değiştirilerek motordaki vibrasyon değerlerinin değişimi incelenmiştir.

İkinci faktör ise elektrik motoru rotor mili uzunluğu, çapı ve rotor malzemesi değişimlerinin vibrasyon değerlerindeki etkisi incelenmiştir. Çizelge 2.1, Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3'te parametre değerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Rotor ve değişken parametreler [2]

Çizelge 2.1. Mil uzunlukları ve vibrasyon değerleri [2]

Varsayım	Doğal Frekans (Hz)		
	Boy = 94 mm	Boy = 104mm	Boy = 84 mm
1	47,5	47,1	47,6
2	48,5	47,6	49,9
3	76,2	74,7	78,4
4	107,7	107,5	107,9
5	123,5	123,5	123,5
6	170	169,8	172,2
7	212	212	212
8	238,5	238,2	238,5

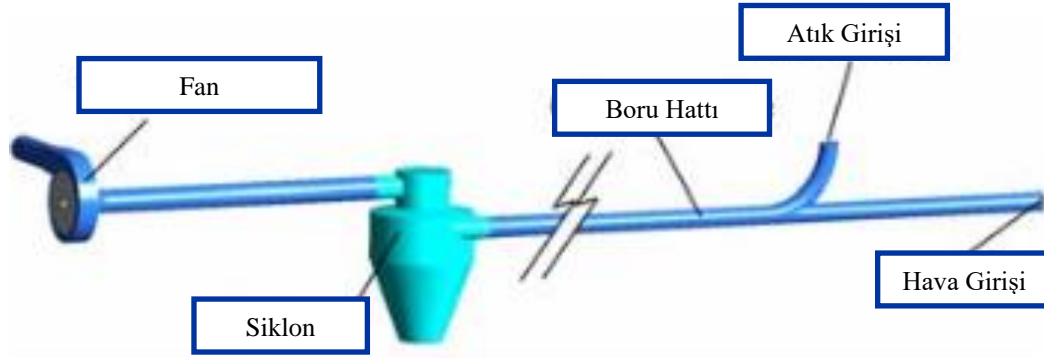
Çizelge 2.2. Mil çapları ve vibrasyon değerleri [2]

Varsayım	Doğal Frekans (Hz)		
	Ø15 mm	Ø13 mm	Ø 17mm
1	47,5	46,1	47,6
2	48,5	47,6	49,9
3	76,2	74	77,5
4	107,7	105	108,6
5	123,5	123,5	123,5
6	170	169,9	170
7	212	212	212,6
8	238,5	238,5	238,6

Çizelge 2.3. Fan malzemesi ve vibrasyon değerleri [2]

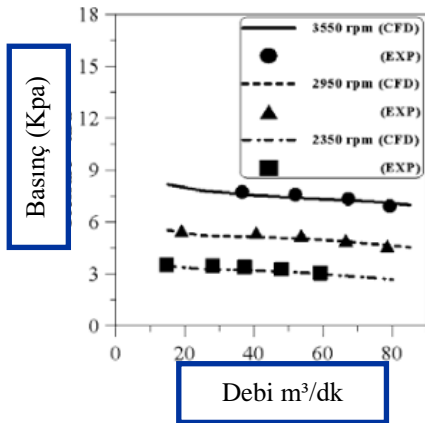
Varsayım	Doğal Frekans (Hz)		
	ABS GF 20%	PP	SAN GF 20%
1	47,5	45,9	50,8
2	48,5	47,4	51,7
3	76,2	74,6	85,5
4	107,7	104,6	115,1
5	123,5	119	131,8
6	170	167	181,6
7	212	205	227
8	238,5	230	254

Jang, Kim ve Lee çöp taşıma sistemlerinde kullanılan fanların değişik çalışma devirlerindeki verimlerini incelemişlerdir [3]. Bu inceleme neticesinde fanın verimli çalışma aralığı belirlenerek tesiste sürekli olarak belirlenen aralıkta çalışması sağlanmıştır. Fan boru hattından gelen atığın siklon içine basınç farkı yaratarak dökülmesini sağlamaktadır.



Şekil 2.7. Fan ve atık taşıma sistemi [3]

Fan analizi CFX programı yardımı ile nümerik analiz yapılmıştır. Analiz sonuçları ve pratikte elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 2.8. Analiz ve uygulama sonuçları [3]

Yukarıdaki karşılaştırma grafiğine bakılarak fan için verimli çalışma aralığını karşılayan fan devir tablosu ortaya çıkarılmıştır.

Çizelge 2.4. Fan verimli çalışma aralığı [3]

	Debi (m <sup>3</sup> /dk)	Çalışma Devri	Basınç (Kpa)	Verim
A	64,5	3550	7,3	49,5
B	53,9	2950	5,1	49,4
C	42,5	2350	3,2	49,2

Esen, geriye eğik ve düz kanatlı fanların vibrasyon değerlerine bağlı olarak gürültü miktarlarının karşılaştırmalarını yapmıştır [4]. Yapılan tasarım ve analiz sonuçları aşağıda verilmiştir:

Çizelge 2.5. Dik kanatlı fanlarda vibrasyon değerleri [4]

Mod	Frekans (Hz)	( Tx ) %	( Ty ) %	( Tz ) %	( Rx ) %	( Ry ) %	( Rz ) %
1	1,3711e+002	0	0	0	0	0	32,05
2	2,8782e+002	0	0	0	0	0	0
3	3,2008e+002	0	0	0	0	0	0
4	3,2012e+002	0	0	0	0	0	0
5	4,0155e+002	0	0	0	0	0	0
6	4,0197e+002	0	0	0	0	0	0
	Toplam	0	0	0	0	0	32,05

Çizelge 2.6. Geriye eğik kanatlı fanlarda vibrasyon değerleri [4]

Mod	Frekans (Hz)	( Tx ) %	( Ty ) %	( Tz ) %	( Rx ) %	( Ry ) %	( Rz ) %
1	3,1721e+002	0	0	0	0	0	29,71
2	3,1941e+002	0	0	0	0	0	0
3	3,5187e+002	0	0	0	0	0	0
4	3,5192e+002	0	0	0	0	0	0
5	4,3511e+002	0	0	0	0	0	0
6	4,3541e+002	0	0	0	0	0	0
	Toplam	0	0	0	0	0	29,71

Burada en önemli nokta vibrasyon değerleri ile ses düzeyi arasında bir orantı yoktur. Şöyle ki ses basıncı düzeyi farklı frekanslarda değişiklik göstermektedir. Buradaki en önemli nokta kanat yüzey alanının artış göstermesine bağlı olarak ses düzeyinin azalmasıdır. Gürültü analizi sonucu olarak en düşük seviyeler geriye eğik kanatlı fanlarda rastlanmıştır.

Fan tasarımları bilgisayar programlarının gelişmesi ile birlikte tasarım için yapılan rutin hesaplamaların bilgisayar ortamına aktarılması ile fan tasarımı daha kolay bir hal almıştır. Çerçi, V Basic programlama dili ile fan tasarım programı oluşturularak tasarım için gerekli

verileri kolayca elde edebilecek bir program yazmıştır [5]. Bu sayede farklı farklı fan tasarımı için vakit kaybı minimuma düşürülmüştür.

The screenshot displays a software interface for fan design, titled "Ventilatör". It is divided into several sections:

- Ventilatörün Karakteristik Değerleri:**
  - Ventilatör Debi (m<sup>3</sup>/h): 8000
  - Ventilatör Toplam Basıncı (mmHG): 340
  - Ventilatör Devir Sayısı (d/d): 2000
  - Tahrik Şekli:**
    - Motor Mühne Diskli Akupla
    - Kayış Kasnak Bağlantılı
    - Kapalı Kavrama Bağlantılı
  - Mekanik Verim: 0,85
  - Vakumetik Verim: 0,95
  - Kanat Kalınlığı (mm): 4
  - Dinamik Faktörü: 0,90
- Çevre Şartları:**
  - Hava Sıcaklığı (C): 20
  - Hava Basıncı (mmHG): 760
  - Havanın Yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>): 1,204
  - Düzeltilme Katsayısı (F): 1
- Ventilatörün Gücü:**
  - Ventilatör İş Gücü (kW): 8,5418
  - Ventilatörün Mİ Gücü (kW): 10,0452
  - Kullanılacak Gerekli Motor Gücü (kW): 11
- Hesaplanan Değerler:**
  - Hava Yoğunluğu: 1,204
  - Debi: 2,222
  - Toplam Debi: 2,3392
  - Basma Yüksekliği: 282,398
  - Çizgi Hız: 43,279
  - Basma Sayısı: 1,05
  - İş Çevrimi: 0,8672
  - Geçerli Çevre Hızı: 72,6416
  - Geçerli Tablo Çapı: 0,6937
  - Akış Sayısı: 0,416
  - Basma Hızı: 20,8672
  - Emme Çapı: 0,3102
  - Grig Çapı: 0,3102
  - Grig Çevre Hızı: 32,4831
  - İn değişimi: 0,5749
  - Akış Ortalama Hızı: 17,803
  - Grig Heli Kanet Eri: 0,1345
  - Hesaplanan Dinamik Faktörü: 0,9672
  - Kanat Grig Açısı: 90
  - Kanat Çizgi Açısı: 90
  - Kanat Sayısı: 8
  - Grig Kanet Takımı: 121,82
  - Kanat Kalınlığı: 4
- Butonlar:**
  - Pervane Hesabını Başlat
  - Temizle
  - Salyangoz Gövdesi Hesapla

Şekil 2.9. Fan tasarım programı [5]



### 3. FANLAR VE TASARIM PARAMETRELERİ

#### 3.1. Fanların Genel Olarak Sınıflandırılması

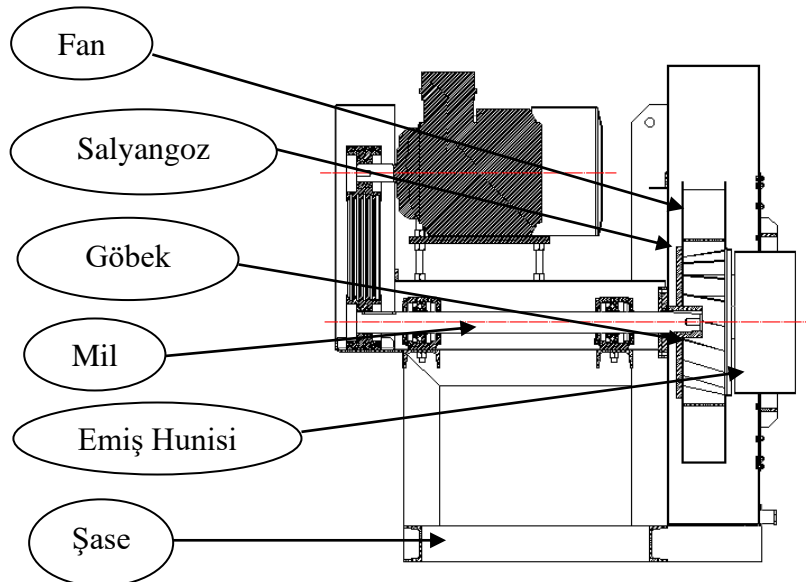
Fanlar hava akış çeşitlerine göre 3 gruba ayrılırlar [6].

- a) Radyal Fanlar
- b) Eksenel Fanlar
- c) Dik Akımlı Fanlar

##### 3.1.1. Radyal fanlar

Şekil 3.1’ de görüldüğü üzere hava, emiş ağızı olarak adlandırılan kısımdan girdikten sonra, salyangozunu radyal bir akış yaparak fanı basma ağızı kısmından terk eder. Bu fanlar milin rotor kısmını hareket ettirmesi sonucu ortaya çıkan santrifüj kuvvetin havayı taşıması esasına dayanır. Radyal fanlar santrifüj fanlar olarak da adlandırılırlar.

Santrifüj fanlar bazı ana parçalar ve buna bağlı olan elemanlardan oluşmaktadır. (Şekil 3.1)



Şekil 3.1. Santrifüj fan [7]

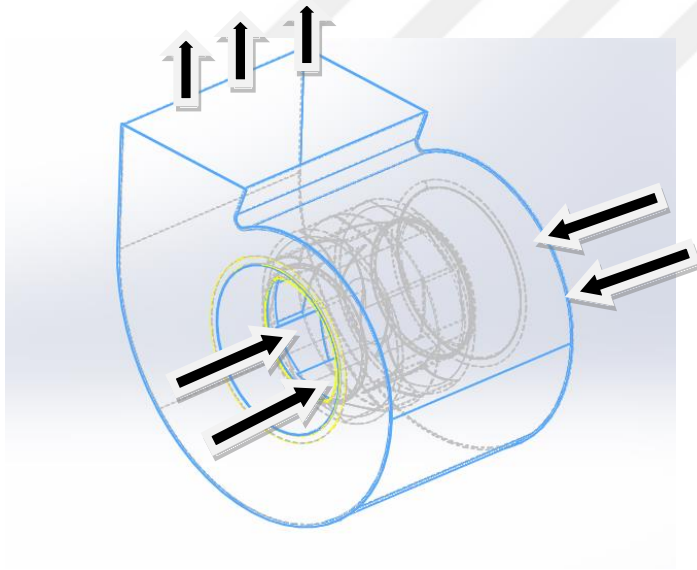
Radyal vantilatörler akışkana yön verme esasına dayanılarak 2 temel gruba ayrılmaktadır.

### Tek emişli radyal fanlar

Tek yönden emiş yapan fanlarda, hava mil eksenini çevresinden emilerek salyangoz içinde radyal biçimde yataklandıktan sonra fanı terk eder ( Şekil 3.1). Endüstride ana sisteme bağlı yardımcı sistemlerde tercih edilirler. Düşük, orta, yüksek basınçlarda ve düşük, orta kapasite debiler olmak üzere farklı tasarımları bulunmaktadır.

### Çift emişli radyal fanlar

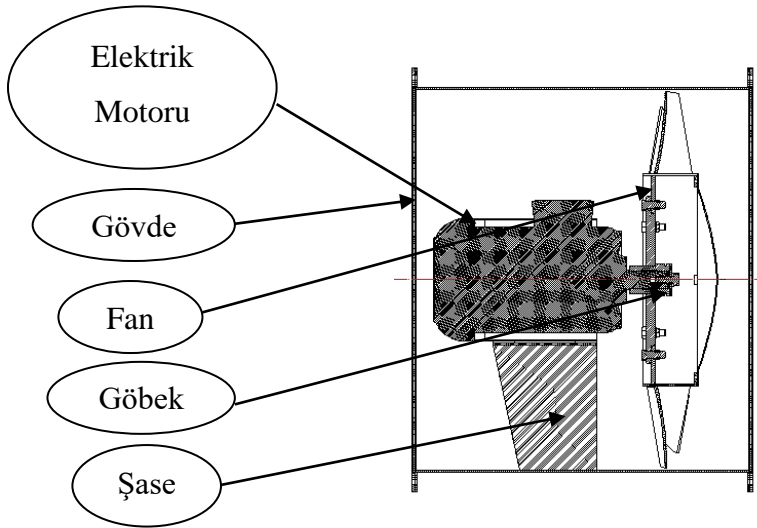
Bu tip fanlar, fan ekseninde iki taraftan emiş yaparak, havayı tek yönde dışarı atar ve çok yüksek debi için tercih edilirler (Şekil 3.2). Verimleri tek emişli fanlara göre düşüktür; sebebi ise vantilatörün emiş işlemini yapabilmesi amacıyla çift taraflı yapılan emiş cepleridir. Çift emişli fanlar temel yapı olarak tek emişli santrifüj fanların ana parçalarına sahiptir ve harcadıkları enerji yüksek olan fanlardır.



Şekil 3.2. Çift emişli fan ve rotor

### **3.1.2. Eksenel fanlar**

Bu tip fanlarda hava dönme mili eksenine paralel olarak fana girer ve mil eksenine paralel olarak terk eder. Eksenel fanlar havayı sadece bir yerden alıp diğer yere nakledilmesinde kullanılırlar. Havanın basıncını fazla değiştirmezler. Verimleri %70-80 civarlarında olup, gövde içersine kılavuz kanat takılmasıyla %85' e kadar artan verim elde edilebilir.

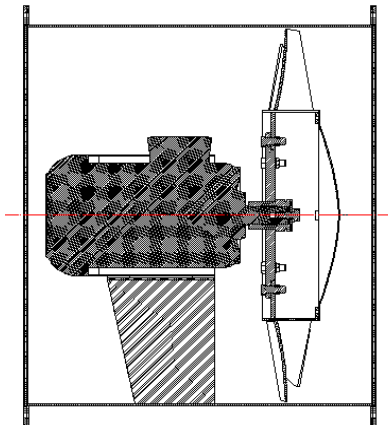


Şekil 3.3. Eksenel fan şekli ve çalışma prensibi

Eksenel fanlar fiziksel özelliklerine bağlı olarak pervane tipi, tüp tipi, kılavuz kanatlı olmak üzere 3 gruba ayrılırlar [8] .

#### Tüp tipi eksenel fanlar

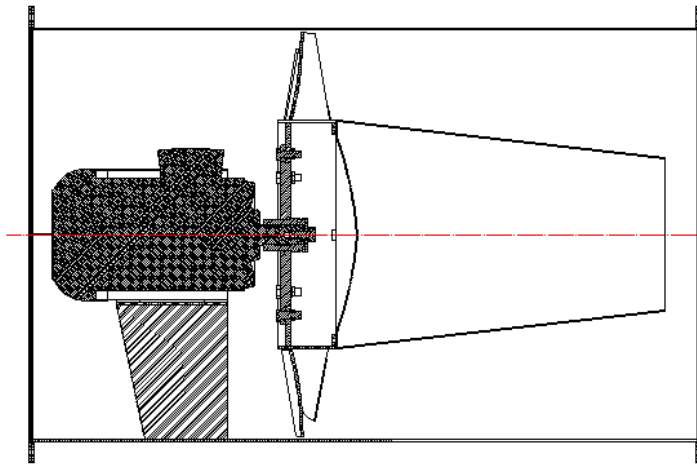
Bu tip fanlar düşük basınç kayıplarına sahip, akış bağlantısı doğrudan olan sistemlerde tercih edilirler (Şekil 3.4). Tahrik motorları havanın giriş ve çıkış konumuna göre konumlandırılabilir ancak verim açısından motorun havanın geliş tarafında olması tercih edilir. Bu yerleşim havanın çıkışta türbülansa girmesini engeller ve fan içerisinde gürültünün azaltılması sağlanır. Bu fanlarda akış hızları 5 ila 7,5 m/sn civarındadır. Sistem içerisinde ise kısa kanallarda bağlantıları yapılabilir. Şekil 3.4' te ise tüp tipi vantilatör görülmektedir.



Şekil 3.4. Tüp tipi eksenel fan

### Vane tipi eksenel fanlar

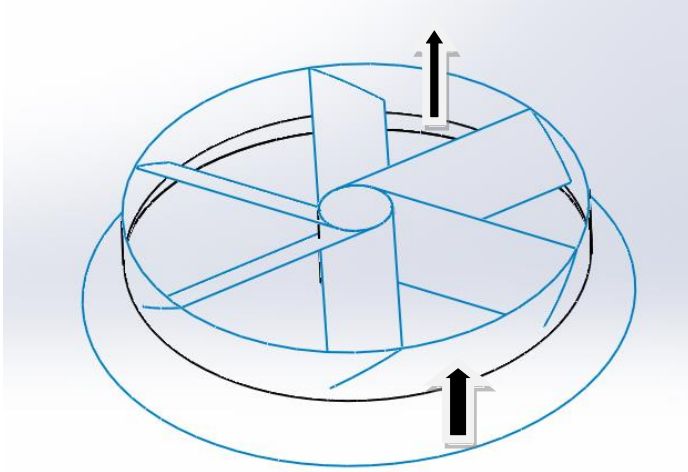
Yüksek basınç istenen sistemlerde tercih edilen ve eksenel fanlarda türbülansın en az olduğu tip bu fanlardır ( Şekil 3.5). Türbülansın en az olmasının sebebi havanın giriş veya çıkış kısmına konulan helisel form verilmiş kanatların akışa kılavuzluk etmesidir. Ayrıca kılavuz kanatların konumuna bağlı olarak hız enerjisini basınç enerjisine dönüştürmek için difüzör bulunur. Verim itibariyle santrifüj fanlara daha yakındırlar. Bu tip fanlar yüksek basınç sağlama amacıyla tasarlandığı için çok sayıda kanada sahiptirler. Fan giriş kısmı vane tipi eksenel vantilatörlerde verimi yükseltmek için yumuşak geçiş özelliğine sahip olmalıdırlar.



Şekil 3.5. Vane tipi eksenel fan

### Pervane tipi eksenel fanlar

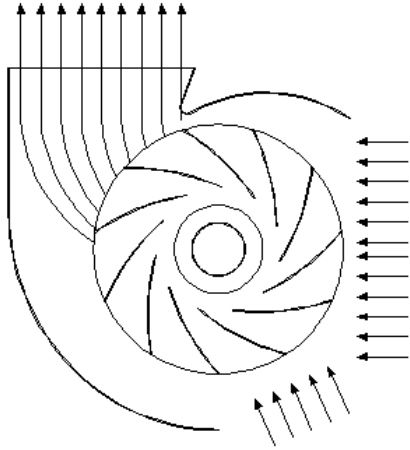
Bu tip fanlar düşük ve orta basınçlı (25-50Pa) ısıtma ve soğutma sistemlerde tercih edilirler (Şekil 3.6). Soğutma kuleleri ve kondenserlerde, atık gaz tahliye sistemlerinde tercih edilirler. Tahrik şekilleri doğrudan, kayış-kasnak veya redüktör aracılığı ile yapılabilir [25]. Fan kanatları helisel formdadır buna bağlı olarak sıfır statik basınca sahiptirler. Şekil 3.6' da pervane tipi eksenel tip fanlara ait bir resim bulunmaktadır.



Şekil 3.6. Pervane tipi fanlar şekli ve çalışma prensibi

### 3.1.3. Dik akımlı fanlar

Bu tip vantilatörler yaygın olarak tercih edilmezler (Şekil 3.7). Tasarım itibariyle radyal fanlara benzerler. Hava mil eksenine dik olarak fana girer, salyangozda radyal bir form alarak fanı terk eder. Tahıl taşıma ve işleme sistemlerinde kullanılan hava hareketleri için tercih edilmektedirler.



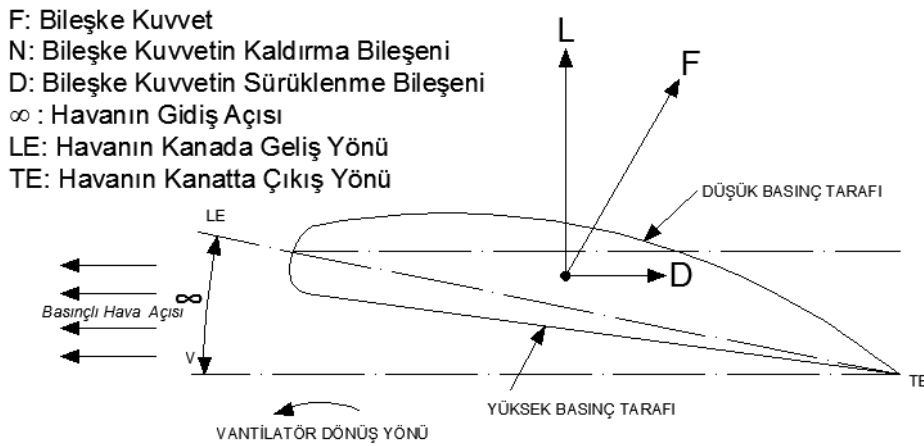
Şekil 3.7. Dik akımlı fanlar şekli ve çalışma prensibi

### 3.2. Çark Kanatları

Kanatlar, fanda hava akış yönüne ve debi miktarına doğrudan etki eden temel elemanlardır. Yapısal olarak airfol ve tek kalınlıklı olmak üzere 2 grupta incelenebilirler.

### 3.2.1. Airfol kanatlar

İdeal tip kanat yapılarındandır ve en yaygın olarak uçaklarda, ayrıca gemi ve uçak motorlarının pervanelerinde kullanılmaktadır. Airfol kanatların özelliklerini ortaya çıkarmak amacıyla NACA Langley' deki araştırma merkezinde binlerce kanat ve pervane deneysel olarak incelenerek veri tabanı oluşturulduğu bildirilmektedir [8].



Şekil 3.8. Airfol kanadının şematik yapısı

Bu tip kanatlar simetrik ve asimetric olarak 2 gruba ayrılmakta, fan tasarımında ise asimetric yapıda olanlar tercih edilmektedir. Ancak çift yönlü jet fanlarda simetrik yapıli fan kanatları kullanılmaktadır. NACA bu tip binlerce kanatları rüzgâr tünellerinde test etmiş ve performans katsayılarını belirlemiştir. Airfol tip kanada sahip fanlarda verim %90'nın üzerindedir. Airfol kanatların imalatı çok zor ve pahalı olduğundan yüksek aşınma dayanımı gerektiren uygulamalarda tercih edilirler. Airfol kanatlarının santrifüj ve eksenel fanlarda uygulama şekli aşağıdaki alt başlıklarda aktarılmıştır.

### 3.2.2. Sabit kalınlıklı kanatlar

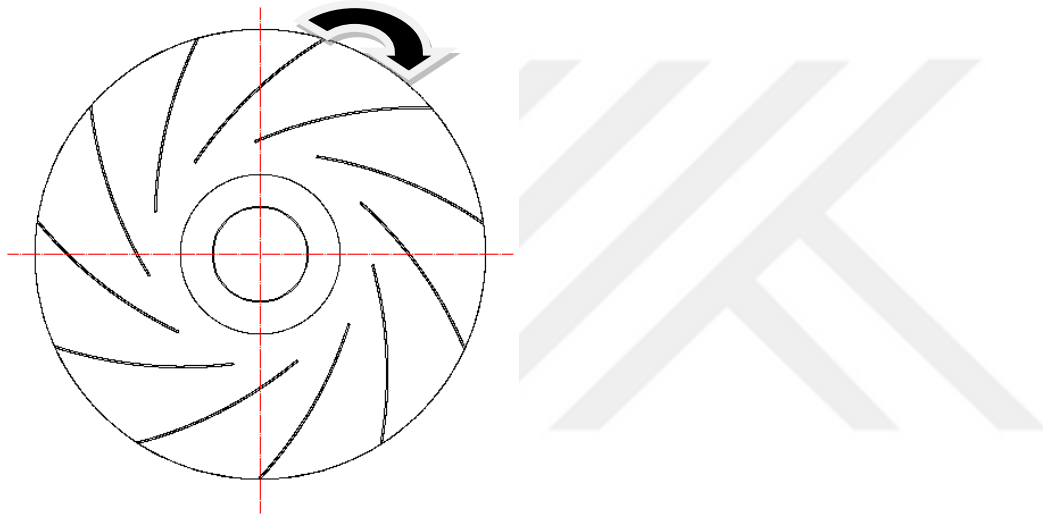
Airfol kanatların imalatının zor ve pahalı olmasından dolayı tercih edilen sabit kalınlıklı fanlar, genelde tozlu ortamlar ve malzeme taşınımı için tercih edilirler. Bu kanatlar şekil itibariyle airfol kanatlarına benzeyerek sac levhalardan daire eğriliği profilinde imal edilirler. Bu kanat airfol kanadın üst yüzeyinin taklidi olarak değerlendirilebilir. Airfol

kanatlar ile tek kalınlıklı kanatlar karşılaştırıldığında aşağıdaki olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır.

- Sabit kalınlıklı kanatlarda kaldırma katsayısı airfol kanatlara göre düşüktür.
- Sabit kalınlıklı kanatlarda verim airfol kanatlara göre düşüktür.

Sabit kalınlıklı fan kanatları santrifüj fanlarda kanat formuna göre 3 alt gruba ayrılır.

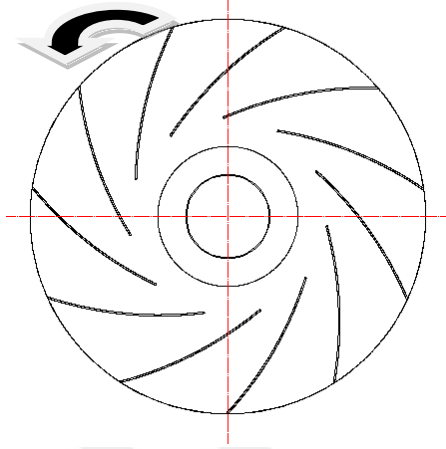
### Öne eğik kanatlı santrifüj fanlar



Şekil 3.9. Öne eğik kanatlı çark şematik yapısı

Öne eğik kanatlı fanlarda kanatlar fanın dönüş yönüne göre eğik bir şekilde konumlanmışlardır. Kanat bu tür fanlarda havayı kepçeleme işlemi yaparak taşımaktadır. Kanat arasına emiş ağzından içeri giren hava, kanat iç kısmı vasıtası ile hızlandırılarak fan gövdesinden dışarı atılır. Bu tip fanlar genelde düşük ve orta basınçlı sistemlerde kullanılırlar (2000-5000 Pa). Yüksek statik basınç olan sistem ve ünitelerde tercih edilmezler. Sistemde bulunan havanın içerik olarak yoğun, mikro seviye parçacık bulundurduğu durumlarda tercih edilirler (çimento, alçı, toz, ağaç sanayii vb.). Yüksek debili olmaları, düşük gürültü seviyelerine sahip olmaları ve yüksek verime sahip olmaları bu tip fanların olumlu yönleridir. Yüksek motor gücüne gereksinimleri ve mil vb. hareket iletim mekanizmalarının yüksek kalitede olması gibi olumsuzluklarda bulunmaktadır.

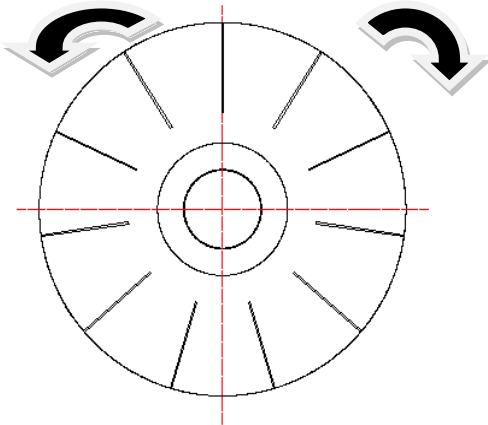
### Geriye eğik kanatlı santrifüj fanlar



Şekil 3.10. Arkaya eğik kanatlı çark şematik yapısı

Geriye eğik kanatlı fanlarda temel özellik fan kanatlarının fanın dönüş yönü tersine göre eğik bir şekilde konumlandırılmış olmasıdır (Şekil 3.10). Fan içerisine emiş ağzından giren hava kanat sırt kısımları vasıtası ile hızlandırılarak fan gövdesinden dışarı atılır. Bu tip fanlar parçacık mikro seviyede, orta ve düşük basınçlı sistemlerde (2000-5000 Pa) tercih edilmektedirler.

### Düz kanatlı santrifüj fanlar



Şekil 3.11. Düz kanatlı fan şematik yapısı

Bu tip fanlar yüksek basınçlı sistemlerde tercih edilirler ( $P_a > 5000$ ). Bu tip fanlarda kanatlar fan-mil eksenine dik bir şekilde konumlandırılmışlar (Şekil 3.11). Kullanım alanı olarak basınçlı havanın gerekli olduğu sistemlerde (fırınlara, kazanlar); düşük debili yüksek basınçlı sistemlerde tercih edilmektedirler.

### **3.3. Radyal ( Santrifüj) Fanların Tasarım ve İmalatı**

Fan tasarımı karmaşık bir süreç olmakla beraber tasarımda; çeşitli bilim dallarından yararlanır. (Makine Elemanları, Akışkanlar Mekaniği, Elektrik-Elektronik, Malzeme bilimi gibi). Bu bilim dallarıyla ilgili elde edilen verilerin ortaya konulması ve birleştirilmesi sonucu fan tasarımı yapılabilmektedir. Fan tasarımında dikkate alınan akışkanlar mekaniği bilim dalı ve konuları fan tasarımındaki ilgileri itibariyle aşağıda verilmiştir.

#### **3.3.1. Akışkanlar mekaniği**

Akışkanlar mekaniği; akışkanlardan istenilen davranışların elde edilmesini sağlayan verileri ortaya çıkaran bilim dalıdır ve fan tasarımını doğrudan etkileyen verilerin elde edilmesi ile ilişkilidir. Bu veriler doğrudan fan geometrisini etkilemektedir. Fan tasarımında dikkate alınan akışkanlar mekaniği temel kanunlarından bazıları kısa açıklamalar halinde aşağıda verilmiştir.

#### **3.3.2. Enerjinin korunumu (Euler Denklemi)**

Radyal vantilatör tasarımında enerjinin önemli kilometre taşlarından biri olan enerji korunumu denklemi, döner çarkın havaya aktardığı enerjiyi ve bunun sonucunda havanın nasıl bir davranış sergileyeceğini inceler.  $\theta$  açısız hızıyla hareket eden çark girişte alçak basınç oluşturarak havanın döner çarkın içine emilmesini sağlar. Emilen hava çarkın dönmesinden dolayı dışarı doğru ivmelendirilir. Bu ivmelendirme sonucu hava çevre hızını ve bağıl hızını oluşturur. Çevre hızı ve bağıl hızın bileşkesi olarak mutlak hız oluşur. Özet olarak rotor giriş ve çıkışındaki hız bileşenleri havanın mutlak hız değerini oluşturur. Havaya dönme esnasında ne kadar az enerji aktarırsa enerji dönüşümlerindeki kayıplarda o kadar az olacaktır.

### 3.3.3. Kütlenin korunumu

Bir akış kontrol hacminde iken sisteme giren ve çıkan akışkan kütleleri birbirine eşittir, sistem kayıpları ihmal edilirse  $m_1=m_2$  eşitliği yazılabilir. Bu eşitliği açacak olursa  $\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2$  şeklinde genişlemektedir. Burada  $\rho$  yoğunluk ( $\text{kg/m}^3$ ),  $V$  hız ( $\text{m/sn}$ ),  $A$  akış kesit alanıdır. Eğer akış sıkıştırılmaz ve giriş çıkış arasında sıcaklık değişimi ihmal edilebilecek düzeyde ise  $\rho_1 = \rho_2$  yazılarak  $V_1 A_1 = V_2 A_2$  bu eşitlik haline getirilebilir. Sistemde bir kaçak olmadığı varsayımı yapılarak debi denklemi sürekliliğin gereği olarak  $Q = V.A$  (sabit) elde edilir. Kütlenin korunumu ilkesinin santrifüj fanlarda etkisi rotor giriş çapı küçük, çıkış bölgesi kesiti daha büyük olduğundan giriş kısmında hava hızı yüksek, çıkış kısmında hava hızı düşük olarak görülmektedir. Santrifüj fanlarda rotor giriş çapı küçük; çıkış bölgesi daha büyüktür. Buna bağlı olarak giriş kısmında havanın hızı yüksek, çıkış kısmında ise düşüktür.

### 3.3.4. İdeal gaz denklemi

İdeal gaz denklemi gazın akışkan ve karakteristik özelliklerinin basınç ve hacme olan etkisini ortaya koyar. Amaç gazın karakteristiğine uygun olarak akış şekli oluşturulmasını sağlamaktır. İdeal gaz denklemi,  $PV = mRT$  şeklinde ifade edilmektedir. Burada  $P$  basınç (Pa),  $V$  hacim ( $\text{m}^3$ ),  $R$  gaz sabiti ( $\text{kJ/K}$ ),  $T$  termodinamik sıcaklık (K) olarak yer almaktadır. Fan tasarımında önemli etkenlerden biri rakım yani deniz seviyesinden olan çalışma yüksekliğidir.

### 3.3.5. Atmosfer basıncı

Dünyayı çevreleyen ve yaşanılabilir alandaki havayı %78 nitrojen, %21 oranında oksijen ve %1'lik kısmını ise diğer gazlar oluşturmaktadır. Havanın deniz seviyesindeki atmosfer basıncı 760 mmSS (1 bar),  $15^\circ\text{C}$  sıcaklıkta yoğunluğu ise  $1.205 \text{ kg/m}^3$  'tür. Deniz seviyesinden yükseldikçe basınç, sıcaklık ve yoğunluk düşer.

### 3.3.6. Statik ve dinamik basınç

Fanlarda bulunan statik ve dinamik basınç değerleri fan tasarımında kullanılan ana parametrelerdir.

**Statik Basınç:** Hava kanalları, filtreler ve benzeri havalandırma elemanlarının sebep olduğu, hava akışını engelleyici yönde etki eden kuvvetleri yenebilmek için fan tarafından oluşturulan birim alana etki eden kuvvet miktarıdır.

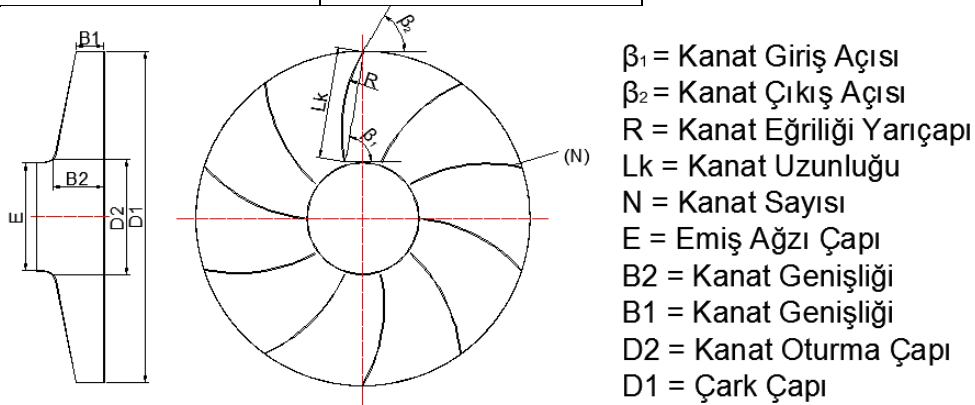
**Dinamik Basınç:** Fanın hava transferi sırasında akış hızından kaynaklanan birim alandaki kuvvet miktarıdır. Fanın çalıştığı yönde ya da etkilediği ekipmanların tasarımında kullanılan ana verilerden biridir. Örneğin, fanın çıkış kısmına bağlanan borulama, baca gibi ekipmanların tasarımı bu veri ile yapılmaktadır.

### 3.4. Radyal Fanlarda Çark Tasarımı

Fan tasarımına giriş parametreleri demir çelik fabrikasında sıcak gaz tahliye fanına ait karakteristik özellikler alınmıştır. Değerler Çizelge 3.1’ de sunulmuş ve bu parametrelerin şematik gösterimi Şekil 3.12 de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Radyal fan karakteristik özellikleri

Debi (Q)	80000 m <sup>3</sup> /h
Basınç (P)	400 mmSS
Sıcaklık (T)	160 ° C
Motor Gücü/Devir	160 kW / 1200 dev/dk
Rakım	0 (Deniz Seviyesi)



Şekil 3.12. Santrifüj Tip fan tasarım parametreleri

Verilen girdilere bağlı olarak fan boyutlarının belirlenmesi için matematiksel hesaplamalar adım adım gösterilmiştir.[8].

### 3.4.1. Basma yüksekliğinin hesaplanması

Sistemdeki herhangi iki nokta arasındaki basınç farkına denk gelen basma yüksekliği değeridir ve aşağıda Eş. [3.1] ile verilmiştir.

$$H = \Delta Pt / 1,025 = 400 / 1,025 = 390,2 \text{ metre} \quad (3.1)$$

Burada  $\Delta Pt$  sistemin statik basınç farkını, 1,025 değeri ise deniz seviyesindeki hava yoğunluğunu belirtmektedir. Havanın yoğunluğu rakıma ve diğer sistem özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

### 3.4.2. Özgül hızın hesaplanması

Özgül hız; 1 m<sup>3</sup> debiyi basma yüksekliğine ulaştırmak için gereken devir sayısıdır ve Eş. [3.2] ile verilmiştir.

$$\text{Özgül Hız (Ns)} = 3,65 \cdot n \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt[3]{H^3}} = Q \text{ (debi } m^3/sn), H \text{ (Basma yüksekliği (metre))}^3 \quad (3.2)$$

Burada ilk olarak debi m<sup>3</sup>cinsinden hesaplanır.

$$= 80000 / 3600 = 22,22 \text{ m}^3/s$$

Sonra bulunan değer formülde yerine yazılır.

$$= 3,65 \cdot 1200 \cdot \frac{\sqrt{22,2}}{\sqrt[3]{390,2^3}} = 235,1 \text{ devir}$$

### 3.4.3. Emiş ağız çapının hesaplanması

Emiş ağız çapı fanın hava girişinin olduğu kısımdır. Emiş ağız çapı Eck formülüne göre hesaplanmıştır ve Eş. [3.3] ile verilmiştir.

$$[3.3] E = \sqrt[3]{\frac{240V}{\pi^2 \cdot \tan \beta_1 \cdot n}} \quad V(m^3/sn), \beta_1 \text{ (Kanat için hava giriş açısı)}, n(\text{devir sayısı}) \quad (3.3)$$

$$E = \sqrt[3]{\frac{240 \cdot 22,2}{\pi^2 \cdot \tan 60 \cdot 1200}} = 0,638 \text{ m} \sim 638 \text{ mm}$$

### 3.4.4. Kanat genişliğinin hesaplanması

Kanat genişliği fan tasarımında iki farklı değere sahip olmakla hava giriş ve çıkışı

olmak üzere iki farklı genişliği hesaplamaktadır. Bunlar girişteki ve çıkıştaki kanat eni olmak üzere 2 farklı değer olarak hesaplanır. Çark çıkışındaki kanat eni  $B_1$ , girişteki kanat eni ise  $B_2$  olarak adlandırılır ve Eş. [3.4] ile verilmiştir.

$$B_2 = (0,20 - 0,27).E \text{ ve } B_1 = (1,1 - 1,3).B_2 . \quad (3.4)$$

$$B_2 = 0,235.0,638 = 149,9mm \quad B_1 = 1,2.60,86 = 179,9 mm$$

### 3.4.5. Rotor çapının hesaplanması

Çark çapı hesaplama formülü Eş. [3.5] ile verilmiştir.  $D_1 = \left(\frac{240}{\pi \cdot n}\right) \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta Pt}{Ns \cdot \varphi}\right)}$  (3.5)

Burada  $\Delta Pt$  (Basınç mmSS),  $\varphi$  (özgül hıza bağlı olarak belirlenen basınç katsayısı),

Çizelge 3.2. Özgül hız, basınç katsayısı, fan tipi [8]

ÖZGÜL HIZ	BASINÇ KATSAYISI	FAN TİPİ
$N_s < 40$	$1,2 < \varphi < 1,6$	Çok Yüksek Basınçlı
$40 < N_s < 80$	$1,0 < \varphi < 1,1$	Yüksek Basınçlı
$80 < N_s < 100$	$0,9 < \varphi < 1,0$	Orta Basınçlı
$100 < N_s < 200$	$0,6 < \varphi < 0,9$	Orta – Alçak Basınçlı
$150 < N_s < 300$	$0,6 < \varphi < 0,7$	Düşük Basınçlı

Özgül 235,1 devir değerine bağlı kalarak basınç katsayısı  $0,6 < \varphi < 0,7$  değerine bağlı kalarak 0,6425 alınır.

$$= \left(\frac{240}{\pi \cdot 1200}\right) \cdot \sqrt{\left(\frac{400}{0,6425}\right)}$$

$$= 1,579 m \sim = 1588,4 mm$$

### 3.4.6. Kanat çıkış açısı değerinin hesaplanması ( $\beta_2$ )

Bu değer ilk başta fan basıncına bağlı olarak sabit kabul edilen  $\beta_1$  değerine bağlı olarak hesaplanır ve açılar arasında ilişki aşağıdaki şekildedir Eş. [3.6] ile verilmiştir.

Çizelge 3.3. Özgül Hıza Göre Kanat Açısı Değerleri [8]

Özgül Hız	Kanat Açısı Değerleri
$N_s > 250$	30-40-50

$N_s > 150$	40-60-80
$N_s > 100$	40-60-80
$N_s < 50$	50-70-80

$$= D1 \cdot \cos \beta_2 = E \cdot \cos \beta_1 \quad (3.6)$$

Burada D2 rotor çapı, E emiş ağzı çapı; B<sub>1</sub> fan kanadının giriş kısmındaki açısı; B<sub>2</sub> ise fan çıkış kısmındaki açıdır. Formüle bağlı kalarak B<sub>2</sub> değerini hesaplırsak;

$$= 1,5884 \cdot \cos \beta_2 = 0,638 \cdot \cos 60$$

$$= 1,5884 \cdot \cos \beta_2 = 0,319$$

$$= \cos^{-1} (0,202026599)$$

$$\beta_2 = 78,4^\circ$$

### 3.4.7. Kanat kiriş uzunluğunun hesaplanması

Kanat kiriş uzunluğu Eş. [3.7] ile verilmiştir.

$$= (D_1 - E) / 2(\sin \beta_2) \text{ olarak dikkate alınmıştır.}$$

$$= (1,588 - 0,638) / 2(\sin 78) = 0,4849 \text{ m} \sim = 484,9 \text{ mm} \quad (3.7)$$

### 3.4.8. Kanat sayısının hesaplanması

Kanat sayısı hesabı fan tasarımında kritik hesaplamalardan biridir Eş. [3.8] ile verilmiştir.

$$N = 8,5 \cdot \frac{\sin B_2}{1 - (E/D_1)} \quad (3.8)$$

$$N = 8,5 \cdot \frac{\sin 78,4^\circ}{1 - (0,638/1,588)}$$

$$N = 13,92 \sim = 14 \text{ adet kanat}$$

### 3.4.9. Kanat eğriliği (yarıçapının) hesaplanması

Giriş ve çıkış açıları belirlenmiş fanın kanat eğriliği yarıçapı Eş. [3.9] ile verilmiştir.

$$R = \frac{D_1^2 - E^2}{4 \cdot (D_1 \cdot \cos \beta_2 - E \cdot \cos \beta_1)} \quad (3.9)$$

$$R = \frac{1,579^2 - 0,638^2}{4 \cdot (1,579 \cdot \cos (78) - 0,638 \cdot \cos (60))}$$

$$R = 47,99 \text{ m} \sim = 47999,16 \text{ mm}$$

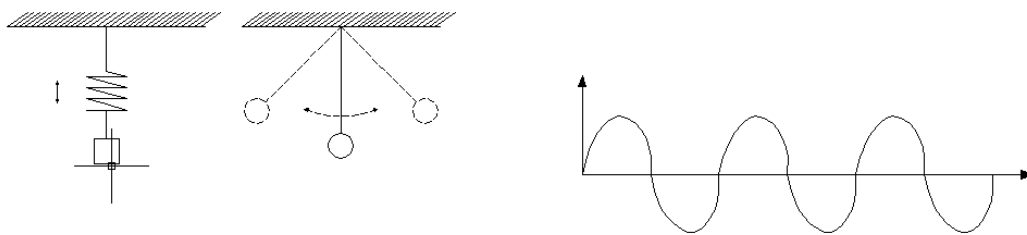
Elde edilen parametrelere dayalı olarak bilgisayar destekli tasarım ortamında (SolidWorks) her farklı parametre için ayrı 3d modeller, titreşim analizinde değerlendirilmek üzere ayrı ayrı kaydedilmiştir.

### 3.5. Bilgisayar Destekli Frekans Analizi

Fanlar tasarım itibariyle ve üzerine uygulanan kuvvetlerden dolayı titreşime maruz kalırlar ya da titreşim üretirler. Ortaya çıkan titreşim dalgaları sönümlenmez ya da hesaplamalar sonucu istenilen kriterlerde olmazlarsa diğer yandan sistem kritik devirlerde uzun süre çalışmaya zorlanırsa makine üzerinde kalıcı hasarlara neden olabilirler. Bu bölümde fanlar üzerinde meydana gelen titreşimin nedenleri, sonuçları ve fan tasarım parametreleri yardımı ile kontrol altında tutulabilmesi incelenecektir.

#### 3.5.1. Titreşim

Bir sistemin denge konumu civarında yapmış olduğu salınım hareketlerine titreşim denir. [9]. Titreşim olayı potansiyel enerjinin kinetik enerjiye; kinetik enerjinin potansiyel enerjiye dönüşümünü içermektedir. Titreşimi meydana getiren sistemler kinetik ve potansiyel enerjiyi depolayan sistemlere sahip olmalıdırlar. Aşağıda basit yapıda cisimlerin dış kuvvet etkenlerinden dolayı denge konumunda yapmış oldukları salınım hareketleri gösterilmiştir. Bu salınım hareketleri cisim üzerinde titreşimi meydana getiren etmenlerdir. Bu tip örnekler sistemlerin konumu, etken kuvvetler, cismin şekli gibi değişkenlere bağlı olarak salınım hareketleri türlerinin değişiklik göstereceğini ifade etmektedir.



Şekil 3.13. Titreşim ve meydana gelişini

### 3.5.2. Titreşimin kaynağı ve etkenleri

Sistemlerdeki titreşimler; dış kuvvetlerin sisteme etkisi sonucu ve sistemin bu kuvvetlere cevap verme özelliklerinden kaynaklanır. Bu cevap verme işlemi sistemde olmazsa sistemin iki davranış modeli vardır, ya sistem dış kuvvetleri sönmlemektedir ya da sönmlemeyerek sistem dağılmaktadır. Sistem tasarımında titreşim ele alınarak sistemin bu etkileri minimize etmesi sağlanması amaçlanmaktadır.

Titreşimi sistemde meydana getiren etmenler aşağıda sıralanmıştır. Bunlar sırası ile

- a) Sistemin bağlı olduğu temelden ve çevreden gelen kuvvet
- b) Dönen mekanik sistemlerde dengelenmemiş kütleler
- c) Motorlarda meydana gelen kuvvet yükselme – alçalmaları

Makine ya da sistem üzerindeki bu etmenler titreşimin kaynağıdır ve titreşim ile ilgili problemler belirlenirken yukarıdaki maddeler değerlendirilmelidir.

### 3.5.3. Titreşim ile ilgili temel kavramlar

Titreşim ile ilgili bazı temel kavramlar mevcuttur. Bu terimler sırası ile aşağıda açıklamaları ile verilmiştir.

#### Doğal frekans

Bir cismin esnekliğine ve sünekliğine bağlı olarak titreşeceği sürekli frekansa doğal frekans denir. Sistemin tabii özellikleri doğal frekansın ana belirleyicisidir. Doğal frekansı biraz daha açıklayacak olursak; sisteme dışarıdan uygulanan kuvvet sonucu sistemde sürekli olarak titreşimin meydana gelmesidir. Doğal frekans değeri malzeme cinsi, konum, kuvvet, moment gibi etmenlere bağlı olarak değişkenlik gösteren kavramdır. Eğer sistemde sürekli olarak bu durumda çalıştırılırsa sistemde parçalanmalar meydana gelir.

- 1) Kritik Hız: Dönmekte olan tambur, mil tarzı makine elemanları yataklanmalarından dolayı aynı zamanda kırırlar. Kendi eksenlerinde dönen mil, tambur gibi sistemlerde dönen cismin doğal frekansı ile dışarıdan uygulanan kuvvet değeri çakışıyorsa sistemde sürekli titreşim meydana gelir. Titreşimin meydana geldiği hız ve kuvvet değeri bize kritik hız değerini verir.
- 2) Rezonans: Yukarıda açıklandığı üzere sistemin sürekli bir titreşim haline girmesi sonucu ortaya çıkan fiziksel duruma denir.

- 3) Koordinat: Hareket halindeki sisteme ait elemanların belirlenen sistem referans noktasına göre konumlarına denir. Titreşim verilerinin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Değerler mm cinsinden olup, sistem ya da elemanın referans noktasına bağlı olarak hareket değerlerini zamana bağlı olarak elde edilmesinde koordinat değerleri kullanılmaktadır.

### Serbestlik derecesi

Bir sistemin parçalarının herhangi bir zamanda konumlarının belirlenmesi için gerekli olan minimum koordinat sayısına denir.

Ayrık Sistem: Sonlu sayıda serbestlik derecesi olan sistemlere denir.

Sürekli Sistem: Sonsuz sayıda serbestlik derecesi olan sistemlere denir.

Periyot: Hareketin tekrar ettiği zaman aralığıdır.

Salınım: Periyodik titreşimin bir periyotluk bölümüne verilen addır.

Frekans: Birim zamanda meydana gelen salınım sayısıdır. Frekans ile periyot arasında bir ilişki vardır. Salınım / Saniye şeklinde ifade edilen frekans birimi Hertz ( Hz) olarak ifade edilir.

### **3.5.4. Titreşim sisteminin elemanları**

Titreşim sistemleri, kütle, yay, sönümleyici ve kuvvet olmak üzere 4 farklı tipte elemandan oluşur.

### **3.5.5. Titreşim çeşitleri**

Titreşim meydana getirildiği etkenlere bağlı olarak çeşitlere ayrılmıştır. Şimdi bu çeşitleri sırası ile açıklayalım.

Serbest Titreşim: Sistemin üzerinde hiçbir kuvvet yokken, sadece başlangıçta uygulanan bir kuvvet ya da hareket nedeniyle yaptığı hareketlere denir.

Periyodik Titreşim: Sistemde belirli zaman aralığında tekrar eden hareketlerdir.

Harmonik Titreşim: Bir sinüs dalgası şeklinde değişen titreşim hareketidir.

$$X = A \sin 2\pi \frac{t}{T}$$

X: Yer değiştirme

A: Genlik (m/rad)

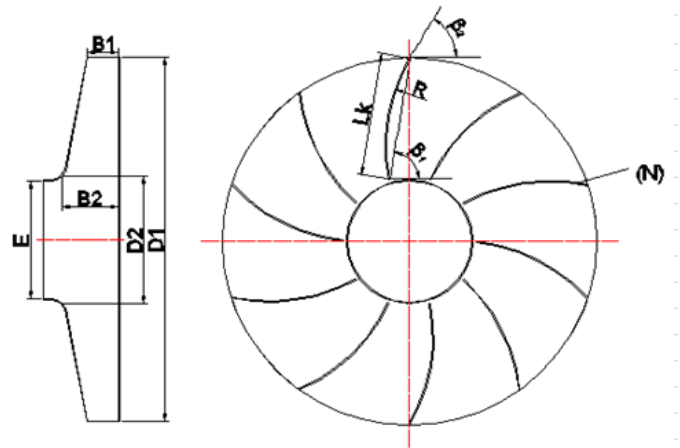
t: zaman (s)

T: Periyot (s)

### 3.6. Kanat Tasarımında Kullanılan Parametrelerinin Fanın Karakteristik Özelliklerine Etkisi

Kanat tasarımı fan tasarımının önemli unsurlarından biridir. Kanat tasarımına doğrudan etki eden ana parametrelerden biride debidir. Debi; kanat açısını, uzunluğunu, genişliğini doğrudan belirleyen bir tasarım etkenidir. Bu bölümde kanat tasarım parametreleri olan kanat giriş açısı ( $\beta_1$ ), kanat kiriş uzunluğu (Lk), kanat genişliği (B2), kanat radüsü (R) parametre değerlerinin debi değişimi arasındaki değişimler ortaya konularak, frekans analizi için uygun parametreler elde edilecektir. Kanat sayısı ile kanat radüsünün debi ile olan ilişkisinin incelenmemesinin sebebi debi – kanat sayısı, kanat radüsü arasındaki ilişkinin formülle ifade edilememesidir.

Fan Verileri		
Debi	80000	m <sup>3</sup> /h
Basınç	400	mmSS
Sıcaklık	160	°C
Motor Gücü	160	kW
Motor Devri	1200	dev/dk
Rakım	0	metre
B1 (Kanat Giriş Açısı)	60	Derece
Basma Yüksekliği (H)	390,244	metre
Özgül Hız	235,161	devir
Emiş Ağız Çapı (E)	638,242	mm
Kanat Genişliği (B2)	149,987	mm
Kanat Genişliği (B1)	179,984	mm
Rotor Çapı (D1)	1588,450	mm
Kanat Çıkış Açısı B2	78,410	derece
Kanat Kiriş Uzunluğu (Lk)	484,992	mm
Kanat Sayısı (N)	14	adet
Kanat Eğriliği Yarıçapı (R)	47499,164	mm

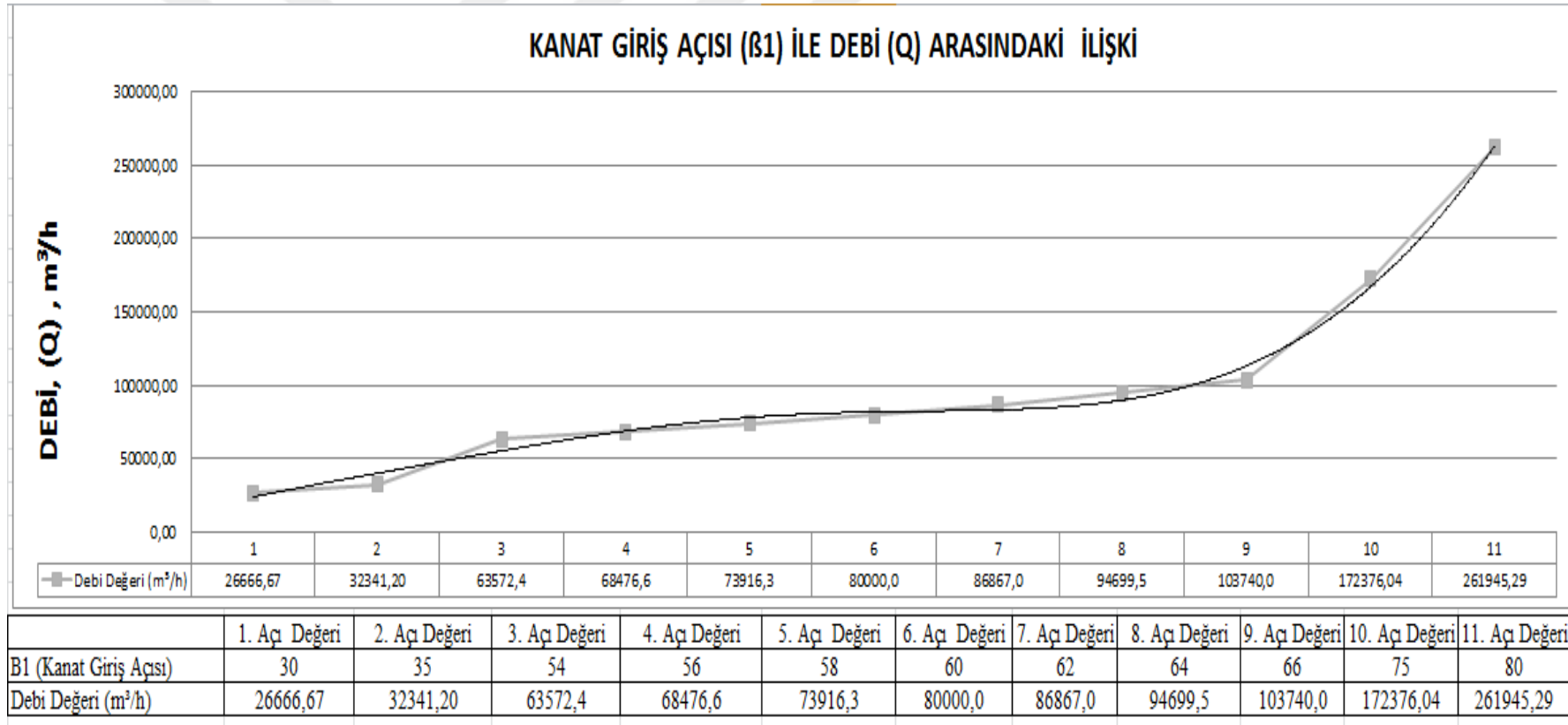


Şekil 3.14. Fan tasarım parametreleri ve excel ara yüzü

Şekil 3.14 de gösterilen EXCEL ortamında hazırlanmış ara yüzde fan tasarımı için gerekli olan veriler girilerek tasarım için gerekli olan basma yüksekliği (H), emiş ağız çapı (E), kanat genişliği (B1, B2), rotor çapı (D1), kanat çıkış açısı ( $\beta_2$ ), rotor çapı (D1), kanat kiriş

uzunluğu (Lk), kanat sayısı (N), kanat eğriliği yarıçapı (R) değerleri doğrudan elde edilebilecektir.

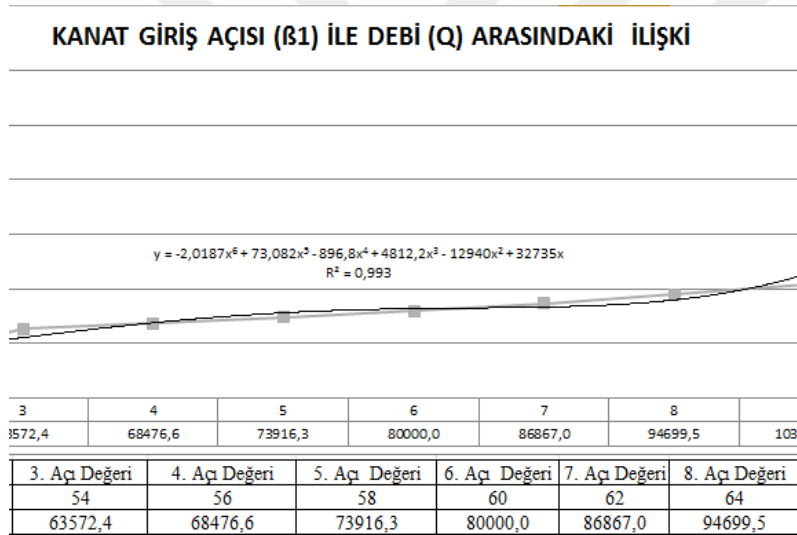




Şekil 3.15 Kanat giriş açısı, ( $\beta_1$ ) ile debi, (Q), arasındaki ilişki

Şekil 3.15’ de verilen grafikte fan kanat giriş açısı ile debi arasındaki ilişki ele alınmıştır. Bu grafiğin oluşturulmasının sebebi; fan konstrüksiyonu değiştirilmeden fan kapasitesinin değişiminin incelenebilmesidir. Grafik yorumlanırsa, fan kanat açısı arttıkça fan debisinin belirli bir oranda arttığı, değişim gösterdiği ve 54 derecelik alt ve 64 derecelik üst değerlerin dışında ani değişimlerin varlığı ortaya konulmuştur. Fan kanat giriş açısı ile fan kontrol hacmi değiştirilerek fan debisi fan karakteristiği çerçevesinde istenilen seviyeye getirilebilmektedir.

Bu ön çalışma diğer taraftan, fan kanat giriş açısının debi açısından anlamlı olduğu aralığı (54° - 64°) vermiş, fanın titreşim analizinde kanat giriş açısının alt ve üst sınırlarının elde edilmesini sağlamıştır (Şekil 3.16).

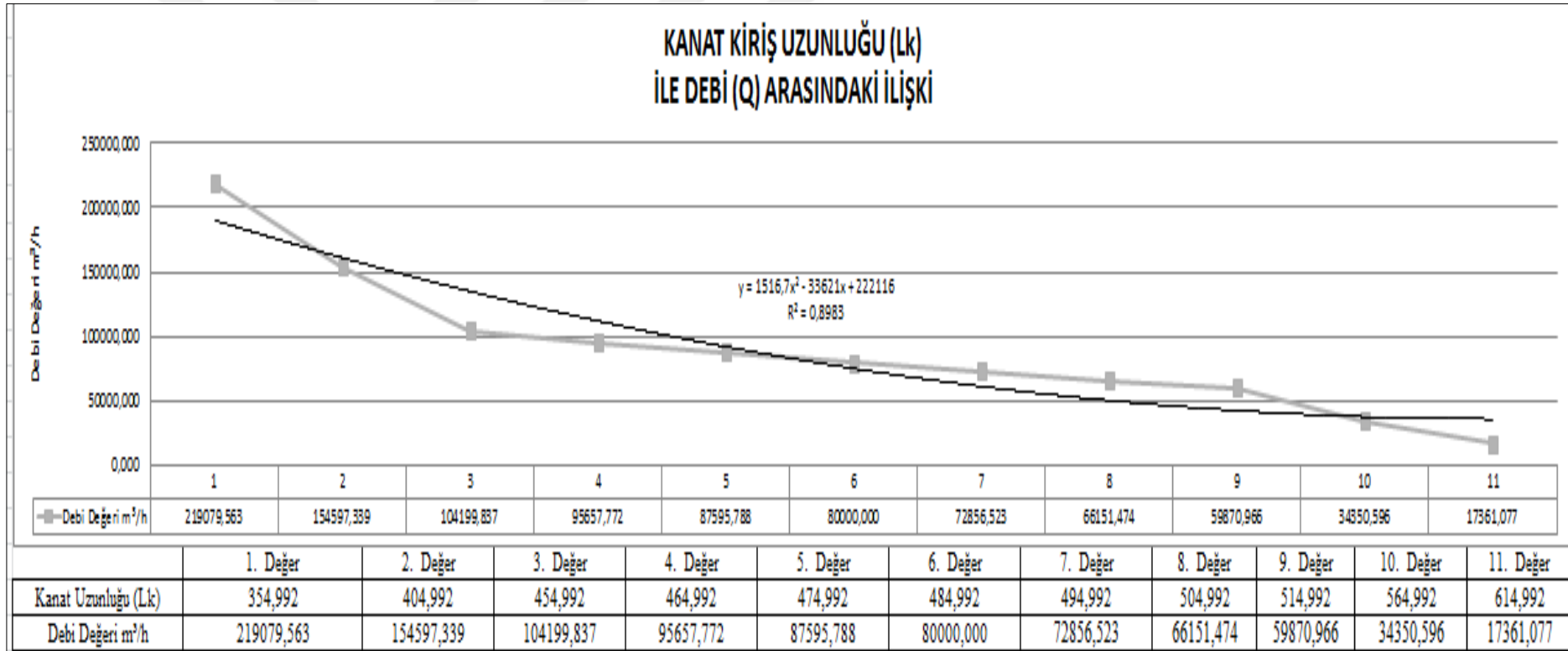


Şekil 3.16. Kanat giriş açısı, ( $\beta_1$ ) ile debi, (Q), arasındaki anlamlı parametreler

Grafik fan kanat giriş açısının anlamlı sınırları için 54° ve 64° aralığında yeniden hazırlanır ve bu aralıktaki doğrusala çok yakın olan değişimin görüleceği şekilde elde edilirse (şekil 3.16) daha anlamlı ilişki eşitliği elde edilmiş olacaktır. Yukarıdaki grafikten çıkan denklem; Eş. [3.9] ile verilmiştir.

$$y = -2,0187x^6 + 73,082x^5 - 896,8x^4 + 4812,2x^3 - 12940x^2 + 32735x \quad (3.9)$$

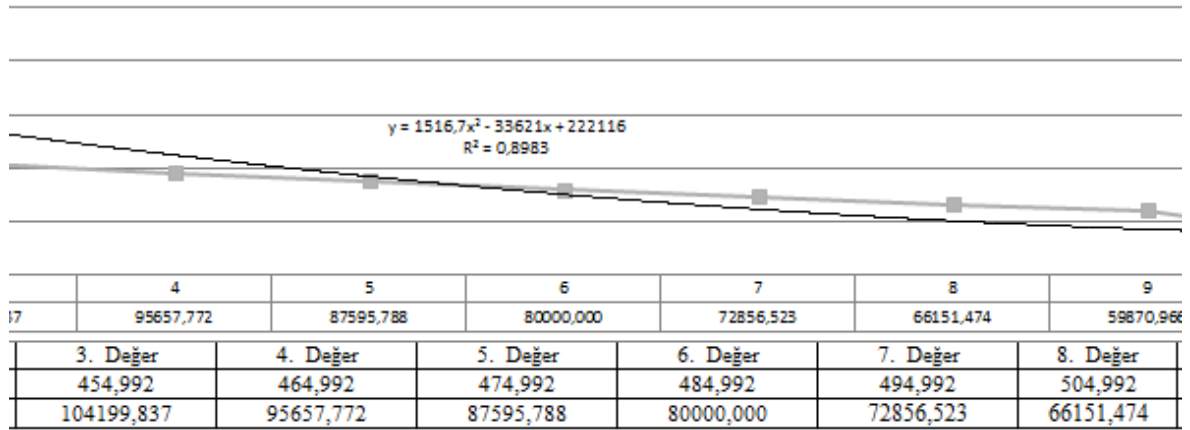
şeklindedir. Denklemde x, kanat giriş açısını; y debiyi göstermektedir.



Şekil 3.17. Kanat giriş uzunluğu, (Lk) ile debi, (Q), arasındaki ilişki

Kanat kiriş uzunluğu ön çalışması kiriş uzunluğu açısından anlamlı aralığı ~ 450 mm ila ~ 510 mm' de yer aldığı görülmektedir. Fanın titreşim analizinde kanat kiriş uzunluğunun bu aralıkta değiştirilmesi uygun bulunmuştur. Grafik, bu aralık için yeniden oluşturulmuş ve aşağıdaki gibi doğrusal değişim elde edilmiştir.

### KANAT KİRİŞ UZUNLUĞU (Lk) İLE DEBİ (Q) ARASINDAKİ İLİŞKİ



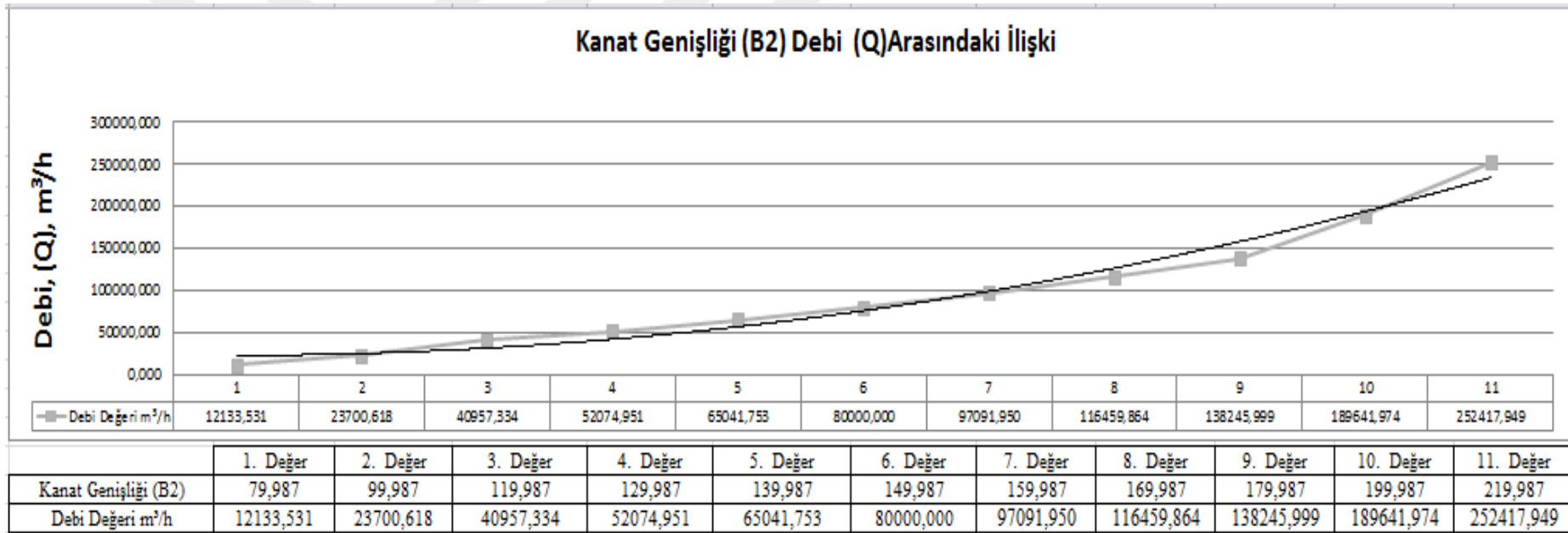
Şekil 3.18. Kanat kiriş uzunluğu, (Lk) ile Debi, (Q), arasındaki anlamlı parametreler

Grafik kanat kiriş uzunluğunun anlamlı sınırları için 454,992 mm ila 504,992 mm aralığında yeniden hazırlanır ve bu aralıktaki doğrusala çok yakın olan değişimin görüleceği şekilde elde edilirse (Şekil 3.18) daha anlamlı ilişki eşitliği elde edilmiş olacaktır. Yukarıdaki grafikten çıkan denklem; Eş. [3.10] ile verilmiştir.

$$y = 1516,7x^2 - 33621x + 222116 \quad (3.10)$$

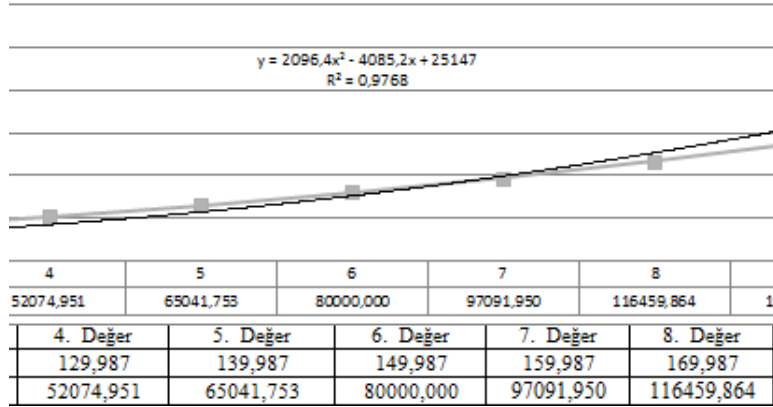
Denklemden x, kanat kiriş uzunluğunu; y debiyi göstermektedir.

Şekil 3.19' da grafikte kanat genişliği ile debi arasındaki ilişki ele alınmıştır. Grafik yorumlanırsa; kanat kiriş uzunluğu arttıkça debi değerinin yükseldiği gözlemlenmiştir. Bu ön çalışma fan kanat genişliğinin debi açısından anlamlı aralığı ~ 129 mm ila ~ 169 mm vermiş, fanın titreşim analizinde kanat genişliğinin alt ve üst sınır değerlerinin elde edilmesini sağlamıştır.



şekil 3.19. Kanat genişliği (B2) ile debi (q) arasındaki ilişki

### Kanat Genişliği (B2) Debi (Q) Arasındaki İlişki



şekil 3.20. Kanat genişliği (B2) ile debi arasındaki anlamlı parametreler

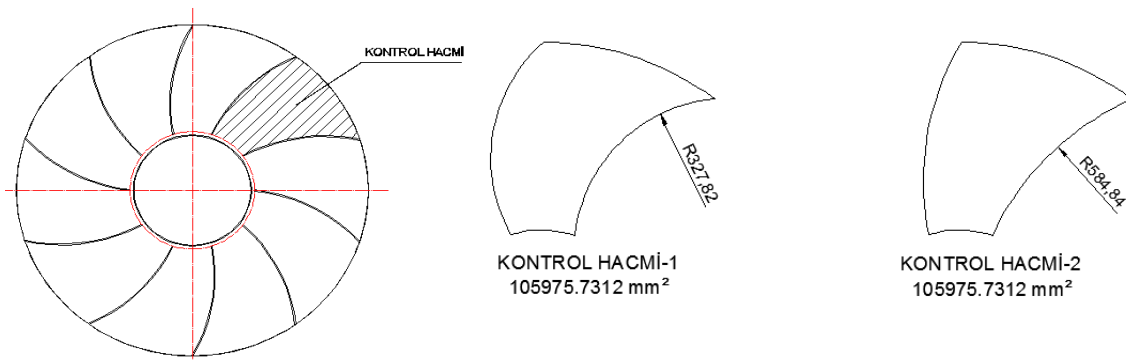
Grafik, fan kanat genişliği anlamlı sınırları için ~ 129 mm ile ~169 mm aralığında yeniden hazırlanır ve bu aralıktaki doğrusala çok yakın olan değişimin görüleceği şekilde elde edilirse (şekil 3.20) aşağıdaki gibi anlamlı bir ilişki türetilmiş olacaktır ve Eş. [3.11] ile verilmiştir.

$$y = 2096,4x^2 - 4085,2x + 251 \quad (3.11)$$

denkleminde x, kanat genişliği; y debiyi göstermektedir.

Kanat tasarımında debiye en önemli etki eden kısım kontrol hacmidir. Kontrol hacmi 2 kanat arasındaki hacimdir. Fan tasarımında bu kısmın hacmi artırılarak ve azaltılarak fanın debisi ayarlanmaktadır (şekil 3.21).

Kanat radüsünün artırılması ve azaltılması durumunda kontrol hacmi değişiminde değişim meydana gelmemiştir ( şekil 3.22) Bu nedenle şekil 3.14' de hesaplanan değer baz alınarak titreşim analizi parametreleri belirlenmiştir.



şekil 3.21. Kontrol hacmi ve kanat eğriliği yarıçapı ile debi arasındaki ilişki

Bundan sonraki bölümde yukarıda kullanılan tasarım parametrelerine bağı olarak SolidWorks ortamında frekans analizi yapılacak ve fan için kritik devirler belirlenecektir.



#### 4. BİLGİSAYAR DESTEKLİ FREKANS ANALİZİ VE BULGULAR

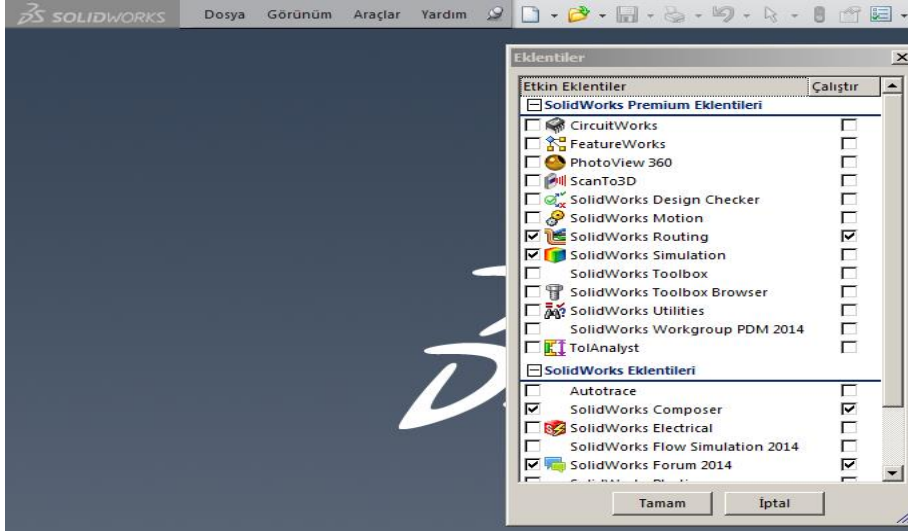
Frekans analizi; klasik yöntemlerle gerçekleştirilmesi zor olan ve el ile hesaplama yöntemleri ile aylarca sürebilecek bir süreci kapsayan bir analiz yöntemidir. Günümüzde gerekli analitik hesaplamalar yerine bilgisayar destekli analiz yöntemleri ile oldukça kısa süre içinde hesaplamalar yapılabilmektedir.

Frekans analizi yapılmadan üretilen havalandırma sisteminde birbirine bağlı donanımların yerinde montajı tamamlanıp deneme işlemlerinde çalışan bir makinanın diğer bir makineyi etkilediği ortaya çıkmakta; sonuç olarak telafisi güç, hatta yeniden üretim gibi istenmeyen olaylar meydana gelmektedir. Bu tür olayların önüne geçmek için bilgisayar ortamında tasarımı tamamlanan makinelerin kritik hızlarının hesaplanarak elde edilmesiyle sahada montajı müteakip istenmeyen sonuçların önüne geçilebilmektedir.

Bilgisayar destekli tasarım programları, bilgisayarların donanım özelliklerinin iyileştirilmesiyle birlikte analiz modülleri ile de donatılmaya başlanmıştır. SolidWorks programı ilk olarak 1998 yılında piyasaya sürüldüğünde sadece parça modellemesi yapabiliyordu. Sonraki yıllarda montaj, teknik resim gibi eklentiler de eklenmiştir. 2000' li yıllarda ) bilgisayar destekli mühendislik kapsamında Cosmosworks uygulaması başlatıldı. İlerleyen yıllarda ise simülasyon paketlerine dönüştürülen analiz paketleri kullanıldı. Simülasyon paketi içerisinde sıcaklık, akışkan, dayanım, sehim, düşme, basınç, frekans ve yorulma analiz modülleri bulunmaktadır.

SolidWorks programında parça modelleme ortamında tasarım parametreleri değiştirilebilecek şekilde hazırlanan fan modelleri kullanılarak fanlara ait kritik hızlar belirlenecektir. SolidWorks ortamında elde edilen frekans değerleri kullanıcıya Hertz (Hz) ve rad/s olarak sunulmaktadır. Çalışmada rad/s değerleri dev/dk dönüştürülmüştür.

Modelleme ve analiz işlemi için SolidWorks 2014 SP3 versiyonundan faydalanılmıştır. SolidWorks ekranında Araçlar (Tools) düşey menüsünün aşağısında yer alan Eklentiler (Add , Ins) seçeneği tıklanarak açılan pencere içinde bulunan “ SolidWorks Simulation “ eklenti isminin solundaki kutucuk tıklanır ve tamam tuşu ile modül kullanıma hazır hale getirilir.

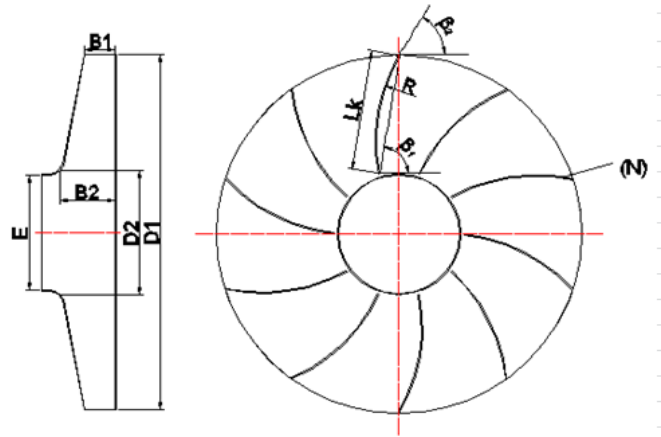


Şekil 4.1. SolidWorks ortamında analiz modülünün aktif hale gelmesi

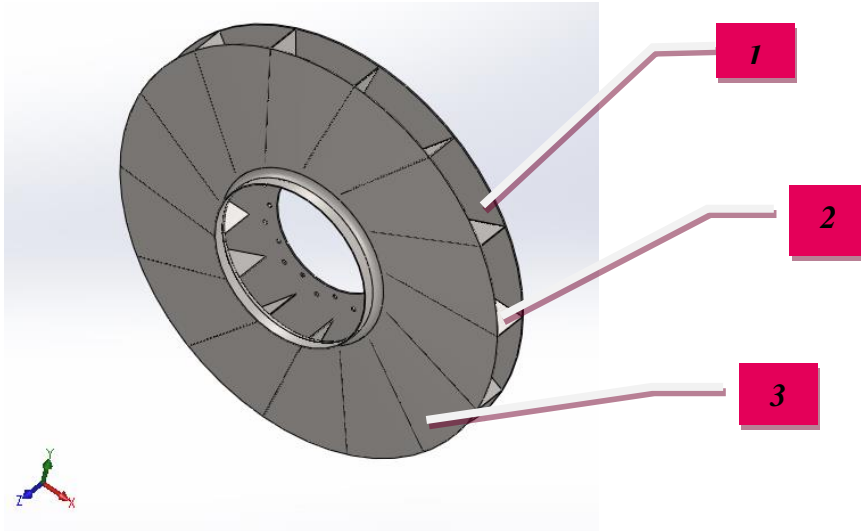
#### 4.1. Fanın SolidWorks ortamında modellenmesi

Bölüm 3' te fan tasarımı için gerekli olan verilere bağlı olarak fanın ölçüleri hesaplamalar sonucu çıkarılmıştı. Bu hesaplamaları Excel' de bir ara yüze entegre ederek tasarım ölçü belirleme işlemi pratik hale getirilmişti. Aşağıda hesaplamalar neticesinde elde edilen ölçülere bağlı olarak modellenen fanın görüntüsü bulunmaktadır.

Fan Verileri		
Debi	80000	m <sup>3</sup> /h
Basınç	400	mmSS
Sıcaklık	160	°C
Motor Gücü	160	kW
Motor Devri	1200	dev/dk
Rakım	0	metre
B1 (Kanat Giriş Açısı)	60	Derece
Basma Yüksekliği (H)	390,244	metre
Özgül Hız	235,161	devir
Emiş Ağzı Çapı (E)	638,242	mm
Kanat Genişliği (B2)	149,987	mm
Kanat Genişliği (B1)	179,984	mm
Rotor Çapı (D1)	1588,450	mm
Kanat Çıkış Açısı B2	78,410	derece
Kanat Kiriş Uzunluğu (Lk)	484,992	mm
Kanat Sayısı (N)	14	adet
Kanat Eğriliği Yarıçapı ( R )	47499,164	mm



Şekil 4.2. Fan tasarım excel arayüzü



Şekil 4.3. SolidWorks ortamında fanın modellenmesi

Fan SolidWorks ortamında sac metal modülü yardımı ile modellenmiştir. Bunlar ayna (1) ve kanatlardır (3). Fan kanat formu yüzey modelleme yardımıyla sac metal'e çevrilmiştir. Ronde kısmı ise yüzey modelleme Revolve komutu sonucunun kalınlaştırılması ile oluşturulmuştur. Modelleme işlemi sonrasında ise malzeme tanımlama işlemi yapılmıştır. Toplamda 16 adet body (gövde)'ye DIN 1.0045 (S235JR) yani St-52 kalitede malzeme tanımlama işlemi yapılmıştır. Aşağıdaki tabloda fanın fiziksel özellikleri görülmektedir.

fan_1 ögesinin kütle özellikleri		
Konfigürasyon: Varsayılan<Makinelenmiş Olarak>		
Koordinat sistemi: -- varsayılan --		
Yoğunluk = 0.00 kilogram / milimetre küp		
Kütle = 149.20 kilogram		
Hacim = 19128713.15 milimetre küp		
Yüzey alanı = 9278840.29 milimetrekare		
Kütle merkezi: ( milimetre )		
X = 0.00		
Y = 0.00		
Z = 56.39		
Birincil atalet eksenleri ve birincil eylemsizlik momentleri: ( kilogram * milimetre		
Kütle merkezinden alınmış.		
Ix = (1.00, 0.00, 0.00)	Px = 26575875.60	
Iy = (0.00, 1.00, 0.00)	Py = 26575875.60	
Iz = (0.00, 0.00, 1.00)	Pz = 51455037.17	
Atalet momenti: ( kilogram * milimetrekare )		
Kütle merkezinden alınmış ve çıktı koordinat sistemi ile hizalanmış.		
Lxx = 26575876.13	Lxy = 0.21	Lxz = -0.00
Lyx = 0.21	Lyx = 26575875.07	Lyz = -0.00
Lzx = -0.00	Lzy = -0.00	Lzz = 51455037.17
Atalet momenti: ( kilogram * milimetrekare )		
Çıktı koordinat sisteminden alınmış.		
Ixx = 27050255.69	Ixy = 0.21	Ixz = 0.00
Iyx = 0.21	Iyy = 27050254.64	Iyz = -0.00
Izx = 0.00	Izy = -0.00	Izz = 51455037.17

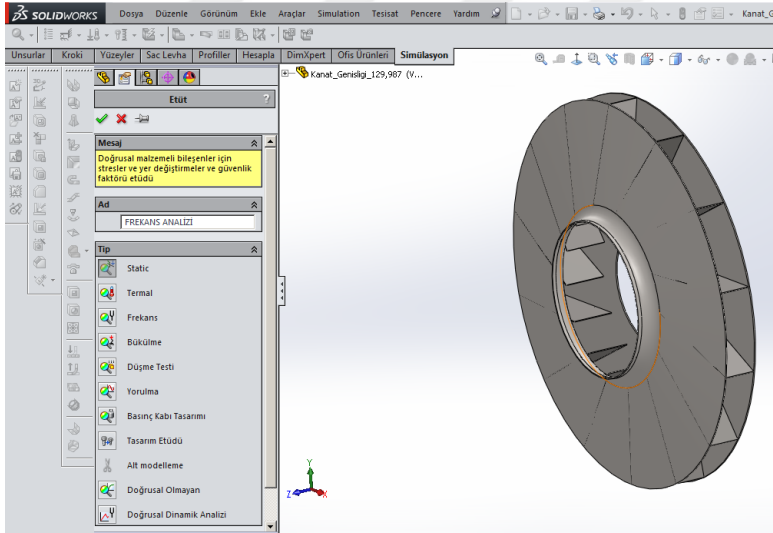
Şekil 4.4. Fanın kütle özellikleri

Kanat giriş açısı, kanat kiriş uzunluğu, kanat genişliği, kanat radüsü ve kanat sayısı adlı değişkenlerin 5 farklı değerinde ve her bir değişken için 5 farklı katı model olmak üzere 25 adet ayrı ayrı modeller hazırlanmış ve kaydedilmiştir. Fanların modellenmesinde uygulanan prosedür, örnek olarak aşağıda verilmiştir:

- İlk olarak çark dış çapı için ayna kısmı modellenmiştir.
- Kanat için gerekli olan profil çizilerek modellenmiştir.
- Ronde kısmı modellenmiştir.
- Ronde profiline göre kanat fazlalığı kesimi yapılmıştır.
- Profili rondaye göre ayarlanan kanat sayısı kadar kanat çoğaltılır.

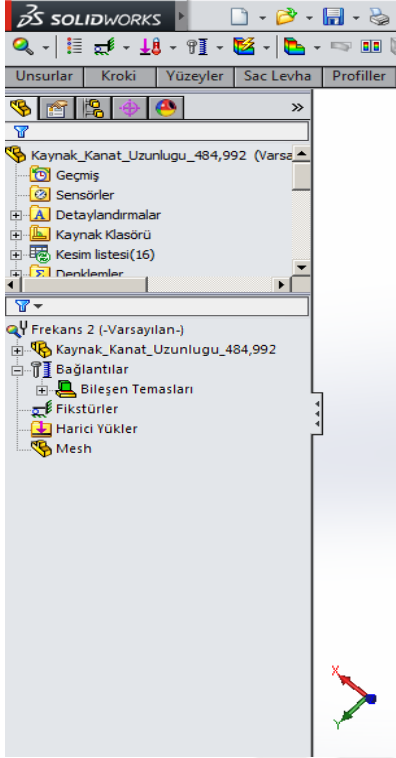
## 4.2. SolidWorks Ortamında Frekans Analizi Yöntemi

SolidWorks ortamında modellenmesi tamamlanan fanlar dikkate alınarak frekans analizi yapılmıştır. Simulation eklentisi yüklendikten ve Simulation sekmesine tıklandıktan sonra solda açılan listeden frekans analizi seçeneğine tıklanır (Şekil 4.5).

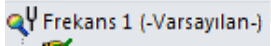


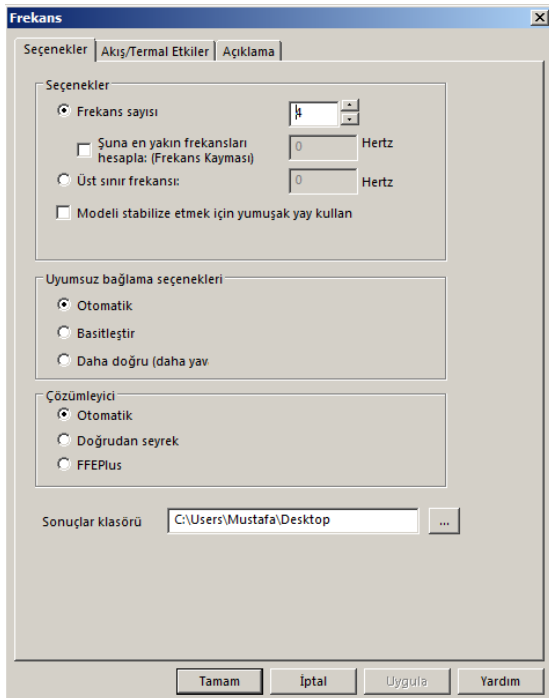
Şekil 4.5. Frekans analizinin başlatılması

Penceredeki ad kısmına frekans analizi ve numarası yazılır ve frekans sekmesine tıklanarak onay tuşu ile onay verilirse solda frekans analizi unsur penceresi belirir. Takım çubukları listesinde simülasyon takımlarının oluşturduğu çubuk açık ise ekranda bu takım çubuğu yer alacaktır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Frekans analizi bölümü

Frekans analizine başlamadan önce analiz ayarlarını yapılması gerekmektedir. Analiz 4 mod olarak hesaplanacak, sıcaklık önemsenmeyecektir.  Sekmesine sağ tıklanarak özellikler seçilir. Şekil 4.7' deki pencere açılır. Pencere ve özellikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.7. Frekans analizi özellik penceresi


İlk sekmedeki seçenekler menüsünden frekans (mod) sayısı girilebilir. Yapılacak olan tüm analizlerde mod sayısı 4 tür. Alt kutucuklardaki frekans sekmesinde ise alt ve üst sınır frekans değerlerinin girildiği yerlerdir. Kutucuklardaki değerlere yakın sonuçlar analiz değerlerinde gösterilir. Diğer sonuçlar gösterilmez. Modeli stabilize etmek için yumuşak yay kullan sekmesi, yeterince sabit ve kayar mesnetler tarafından desteklenmeyen parçalar için kullanılır.

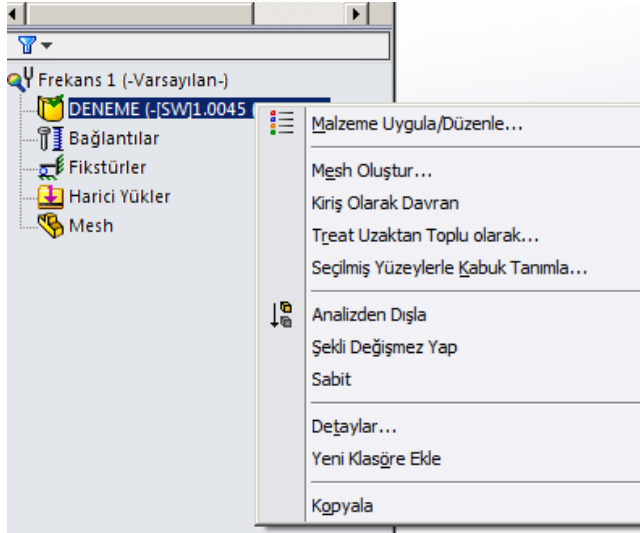
Uyumsuz bağlama seçenekleri mesh işleminde uyumsuz geometri durumlarında izlenmesi gereken yol belirtilir. Otomatik seçeneğinde düğümden yüzeye doğru mesh işlemi yapılır. Frekans analizi için en uygun yöntem budur. Basitleştir seçeneği, aşırı şekilde temas olan montajlarda kullanılır. Bu sayede analiz süresi kısalmış olur. Daha doğru seçeneği ile tam detaylı bir çözüm elde edilir. Bu seçenek genelde hassas sistem analizlerinde kullanılır.

Çözümleyici seçeneği frekans ve mod şekillerini hesaplarken çözüm yöntemini belirlemesini sağlar. Otomatik seçeneği belirlemiş olduğunuz analiz etki ve çevre faktörlerine bağlı kalarak analiz yapar. Doğrudan seyrek sekmesi çözüm işlemi sırasında detaylı çözüm işlemi yapılmasını engeller. FREEPlus seçeneği ile bu tip bir çözücü kullanılabilir.

Sonuçlar sekmesi ile analiz raporunun bilgisayarda hangi dosyaya kaydedileceği belirtilir. Akış ve termal etkiler sekmesinde analiz için etki eden sıcaklık etkileri tanımlanabilmektedir. Fan frekans analizi için termal etkiler dikkate alınmamıştır.

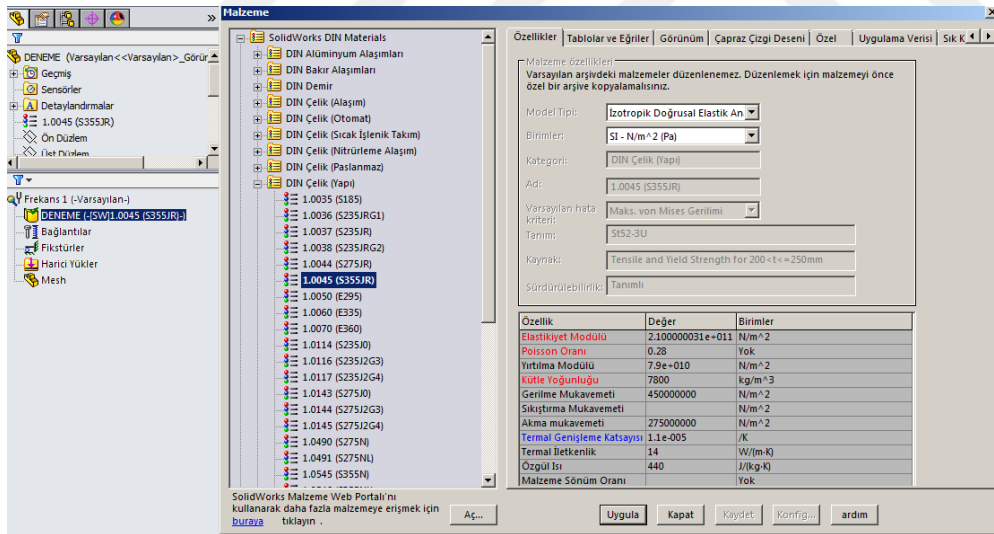
Açıklama kısmına ise analiz raporu kaydedilirken gerekli görüldüğü zaman açıklama eklenmesi amacıyla kullanılabilir. Yukarıdaki özellik menüsündeki işaretli kısımlar tüm analizlerin ortak özelliğidir. Frekans analizi yapıldıktan sonra model için malzeme tanımı yapılacaktır. Simülasyon takım çubuğu içinde sıralı halde bulunan takımlar frekans analizi için gerekli olan adımları ihtiva etmektedir. İlk adım olarak malzeme atama işlemine geçilir.

İster simülasyon takım çubuğu üzerindeki  buton kullanılarak ister simülasyon unsur penceresinde fan adının ve kodunun yer aldığı unsur üzerinde farenin sağ tuşu tıklanarak malzeme atama başlatılabilir.



Şekil 4.8. Model için malzeme uygulanması

Malzeme uygula/düzenle sekmesine tıklanır. SolidWorks malzeme kütüphanesinden St-52 malzeme için DIN normu karşılığı olan 1.0045 (S355JR) malzemesi çelik grubu içinden seçilir.

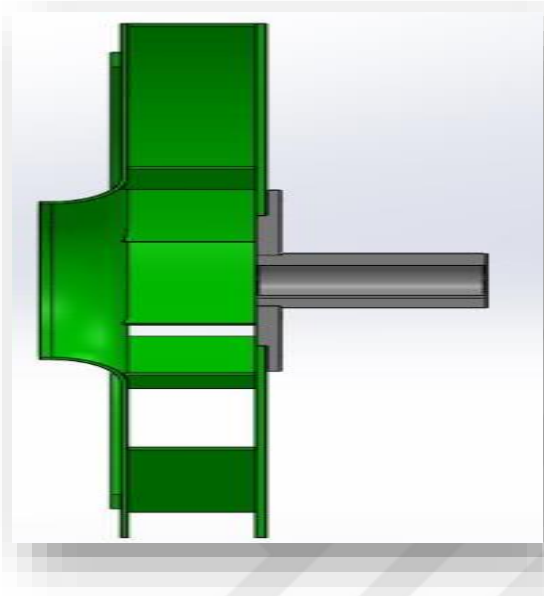


Şekil 4.9. Malzeme seçimi

Malzeme tıklandıktan sonra uygula sekmesine ve kapat sekmesine tıklanır (Şekil 4.9). Böylece fan modeline malzeme ataması gerçekleştirilmiş olur.

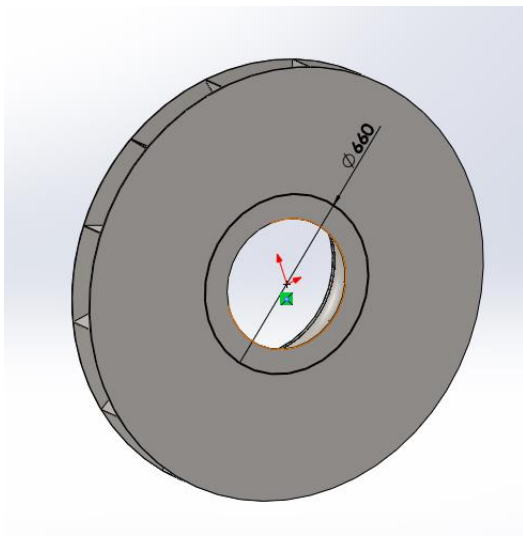
İkinci adımda fanın sabit ya da serbest bölgelerinin tanımlanması gerekmektedir. Fan göbek vasıtası ile mil gücünü kullanır. Bu çalışmada analiz için göbeğin temas ettiği kısımlar sabitlenmiş geometri olarak dikkate alınmıştır.

Fanı tahrik eden mil ve flanşın bağlanma yüzeyi ve çapı, fanın sabit kısımlarının atanmasında önem arz etmektedir ( Şekil 4.10). Bu kısmın yüzey olarak ayrılması için flanş çapı kadar bir çember çizilerek SolidWorks ortamında yüzey ayrılma işlemi yapılmıştır (Şekil 4.11).




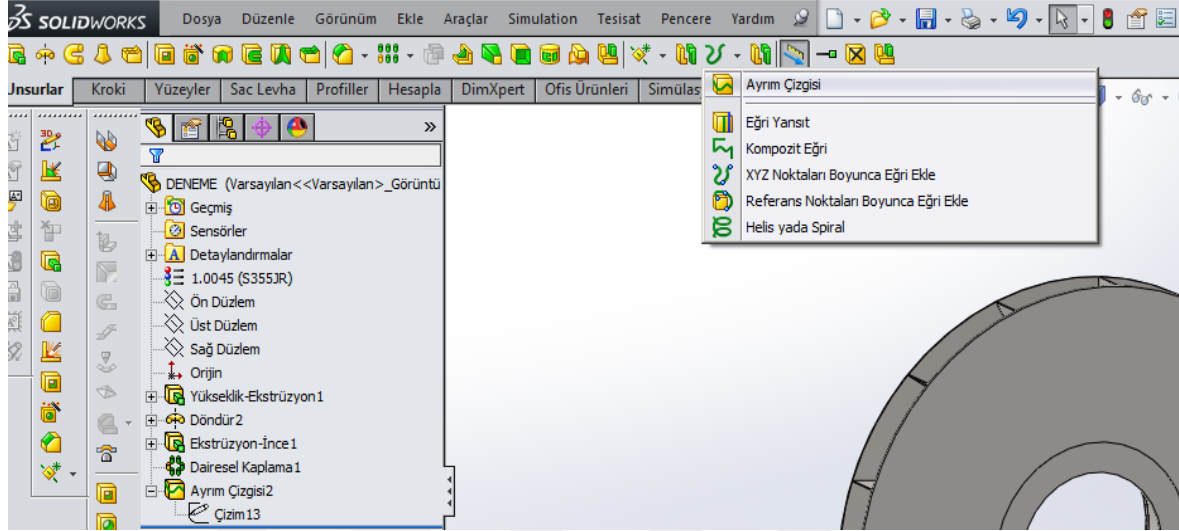
Şekil 4.10. Fan ile tahrik mili montajı

Flanşa temas eden ayna arka yüzey üzerinde Part ortamında ayırım çizgisi olarak fan arka kısmında flanş üst çapı kadar (660mm) bir çember çizilmiştir (Şekil 4.11).




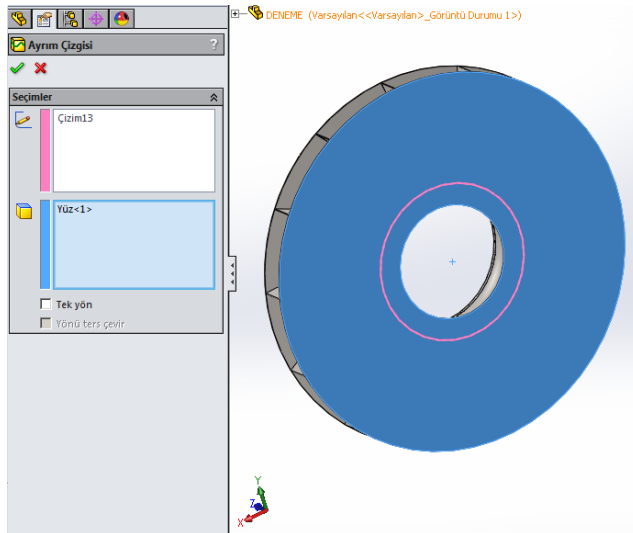
Şekil 4.11. Fan göbek temas çapı çizgisi

Çizimin ardından unsurlar sekmesinden eğriler/ayrım çizgisi  komutuna tıklanır (Şekil 4.12).



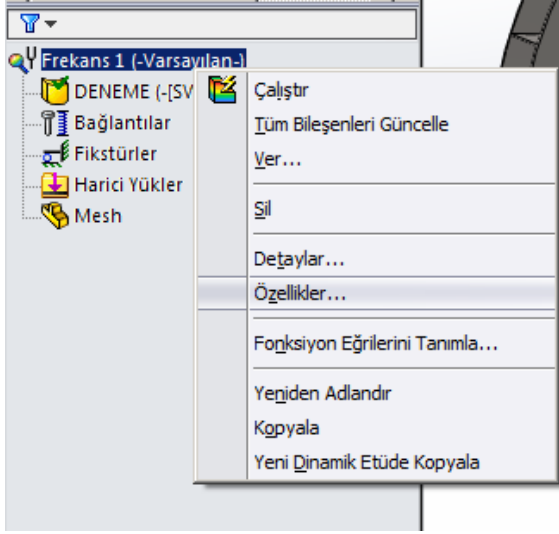
Şekil 4.12. Ayrım çizgisi komutu

Komuta tıkladıktan sonra ayrım çizgisi ve yüzey seçilir. İşlem ardından tamama  tıklanır.



Şekil 4.13. Ayrım çizgisi komutunun uygulanması

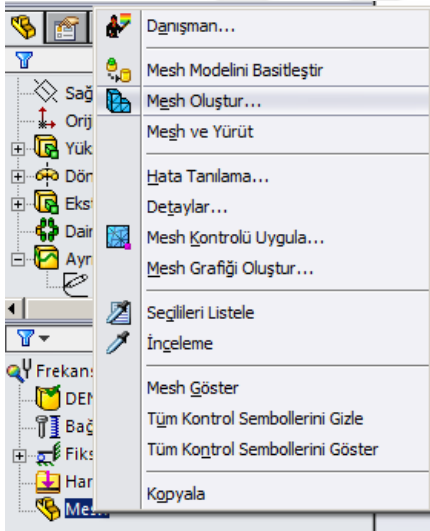
İşlem tamamlandıktan sonra frekans analizi özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için etüt sekmesi sağ tıklanarak özellikler seçilerek gerekli analiz ayarları yapılır.



Şekil 4.14. Frekans analizi özellikleri

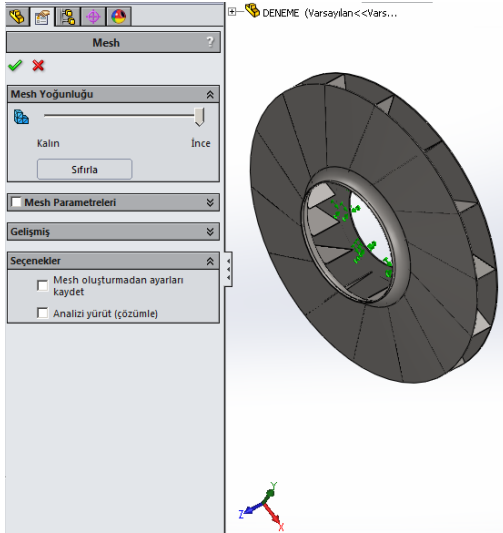
Sekmeye sağ tıklandıktan sonra aşağıdaki ayar penceresi açılır.

Özellik ayarlarından sonra model için mesh işlemine geçilir. Analiz soy ağacından mesh sekmesine sağ tıklanarak mesh oluştur seçilir.



Şekil 4.15. Mesh işlemi başlangıcı

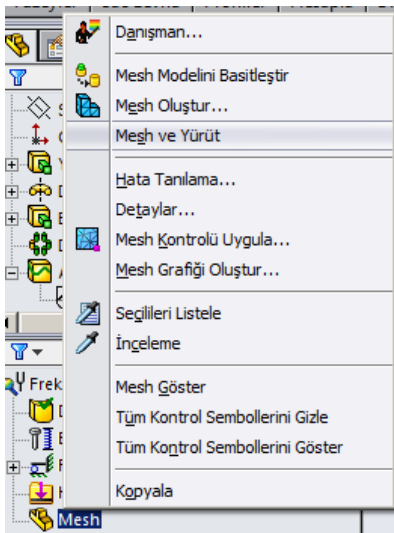
Mesh oluştur seçeneğine tıklandıktan sonra seçilen pencereden mesh ayarları yapılır.



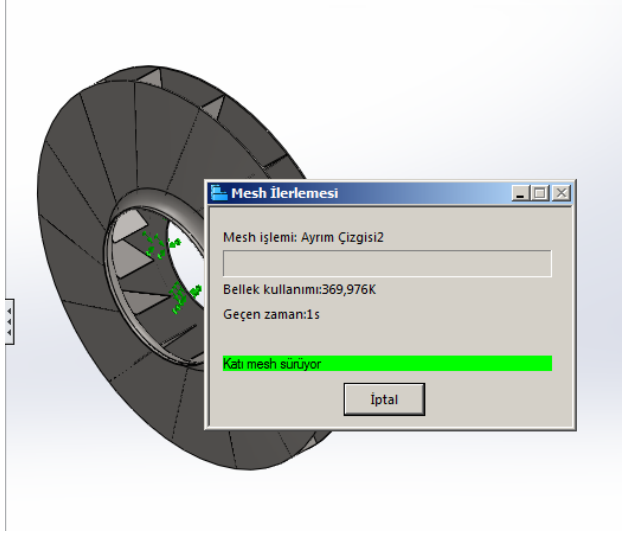
Şekil 4.16. Mesh ayar menüsü

Fan geometrisi kıvrımlı olduğundan mesh yoğunluğu en yüksek seviyede alınmıştır. Alt seviyelerde kıvrımlı geçişlerden dolayı işlem hata vermiştir.

Mesh yoğunluğunu en yüksek seviyeye ayarladıktan sonra tamam sekmesine tıklanır. Mesh ayar işlemi tamamlandıktan sonra analiz soy ağacından mesh sekmesine sağ tıklanarak mesh ve yürüt sekmesi seçilerek analiz işlemi başlatılır. Böylece mesh ve çözüm işlemi vakit kaybetmeksizin tamamlanmış olur.

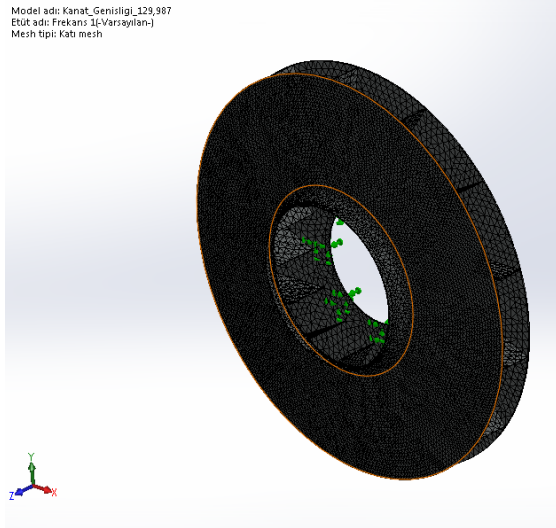


Şekil 4.17. Mesh ve yürüt işlemi



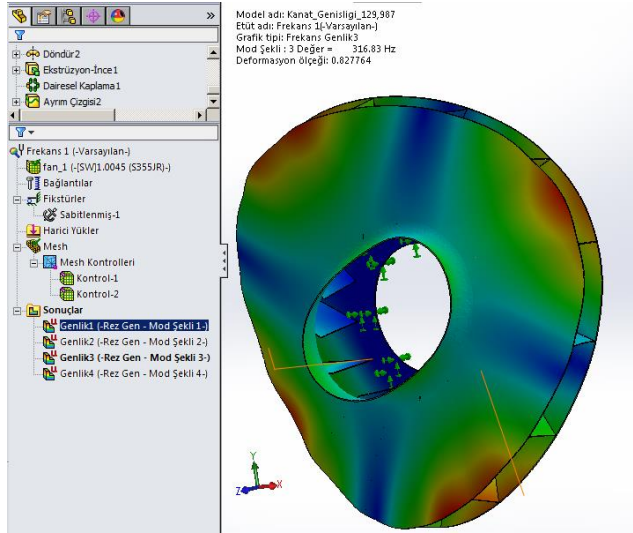
Şekil 4.18. Analiz işleminin başlaması

Şekil 4.18’de mesh ve analiz işleminin devam ettiği görülmektedir. İşlem tamamlandıktan sonra model mesh örgüsü ve mod şekilleri görülebilecektir. Analiz soy ağacı mesh sekmesine sağ tıklanıp mesh göster sekmesi tıklanırsa fan mesh modeli görülebilir. Şekil 4.19’ da mesh işlemi tamamlanmış bir fan modeli görülmektedir.



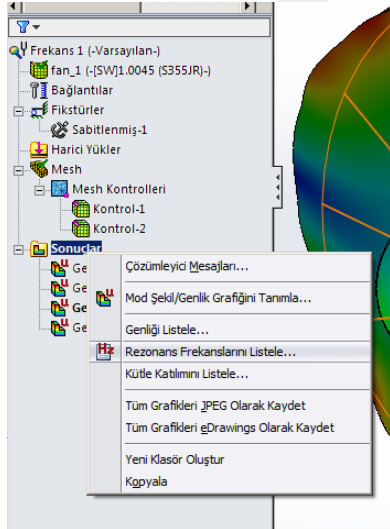
Şekil 4.19 Mesh işlemi tamamlanmış fan modeli

Analiz soy ağacından sonuçlar kısmı belirlenen mod sayısı kadar analiz sonucu verir. Şekil 4.20’ de sonuçlar kısmı gösterilmiştir. Mod sayısı başlangıçta 4 olarak girildiğinden 4 farklı sonuç elde edilmiştir. Genlik değerlerinin üzerine tıklayarak fan üzerindeki muhtemel deformasyonlar görülebilir.



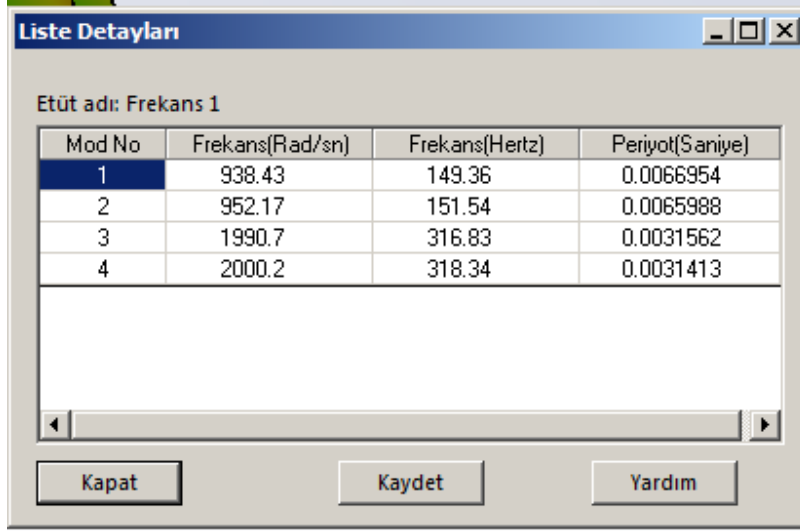
Şekil 4.20. Genlik şekilleri gösterimi

Her bir genlik gösterimi için genlik sekmelerine tıklanması yeterlidir. Sonuçlar sekmesine sağ tıklanarak rezonans frekanslarını listele sekmesi ile fan için kritik devirler rad/sn olarak elde edilmiş olur.



Şekil 4.21. Kritik devirlerin elde edilmesi

Sekmeye tıklandıktan sonra şekil 4.21' deki sonuçlar elde edilir.



Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(Saniye)
1	938.43	149.36	0.0066954
2	952.17	151.54	0.0065988
3	1990.7	316.83	0.0031562
4	2000.2	318.34	0.0031413

Şekil 4.22. Analiz sonuçları

Elde edilen frekans değerleri rad/s kısımları dikkate alınacaktır. Periyot kısmı fanın elde edilen frekans değerinde izin verilen kalma süresini göstermektedir. Elde edilen rad/sn değerleri Excel ortamına aktarılarak devir/dak birimine çevrilerek kritik devirler anlaşılır hale gelecektir. Rad/sn birimini dev/dk' ya çevirmek için;

= (Rad/sn / ( 2.π)).60 formülü kullanılacaktır.

Tüm analizler yukarıdaki açıklanan yöntemler ile yapılacaktır.

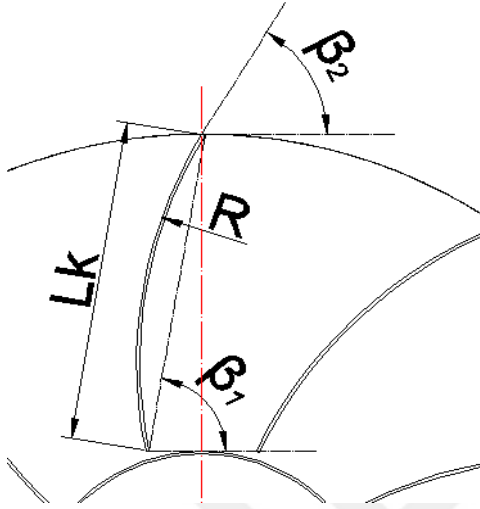
### 4.3. Farklı Parametre Değerlerindeki Fanların Analiz İşleminin Gerçekleştirilmesi

SolidWorks ortamında parametrik olarak modellenen fanlar, SolidWorks modelleme teknolojisi ile farklı ölçüler ile boyutları değiştirilebilir. Böylece belirlenmiş olan parametreler ile sadece fan boyut ölçüleri değiştirilerek analizler yapılacaktır. Titreşim analizi 5 farklı tasarım parametresi için yapılacaktır. Her bir parametre için 5 farklı değer kullanılarak parametre değişiminin kritik hızlar üzerindeki etkileri incelenmeye çalışılacaktır. Sırasıyla bu parametreler şunlardır:

- 1) Kanat giriş açısı (B1)
- 2) Kanat kiriş uzunluğu (Lk)
- 3) Kanat Genişliği (B2)
- 4) Kanat Yarıçapı (R)
- 5) Kanat Sayısı (N)

### 4.3.1. Kanat giriş açısı değişiminin kritik hızlara olan etkisinin incelenmesi

Kanat giriş açısı havanın kanada giriş yaptığı açıdır (Şekil 4.23).



Şekil 4.23 Giriş açısı ( $\beta_1$ )

5 farklı açı değeri kullanılarak titreşim analizi gerçekleştirilmiştir. Açı değerleri belirlenirken kanat giriş açısının debi üzerindeki etkisi teorik olarak Excel ortamında incelenerek makul parametre aralığı belirlenmiştir. Aşağıda belirlenen parametreler verilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Kanat giriş açısı parametreleri

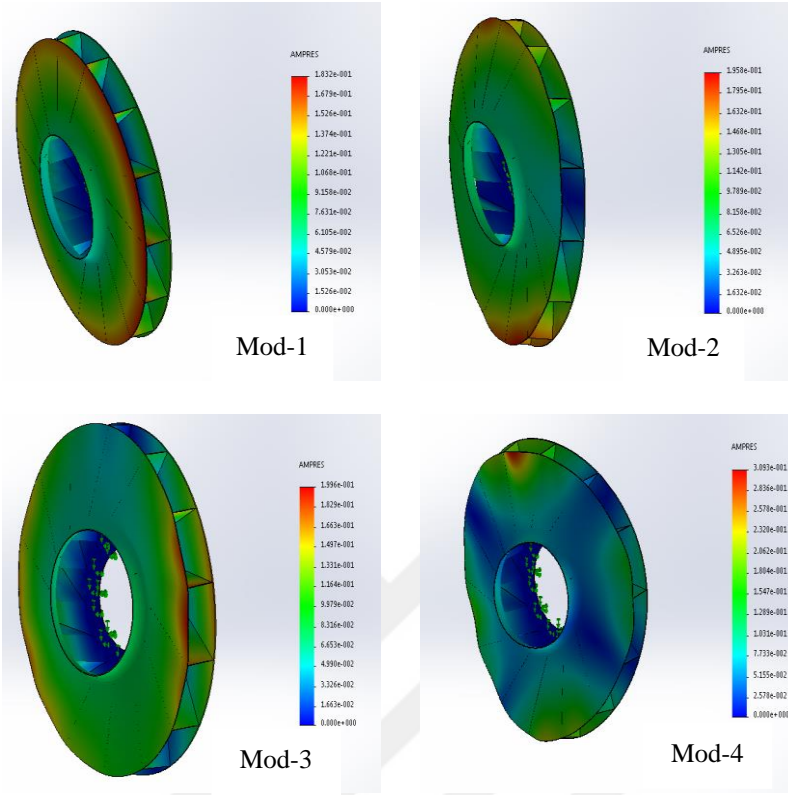
1. Açı Değeri	2. Açı Değeri	3. Açı Değeri	4. Açı Değeri	5. Açı Değeri
54°	56°	58°	60°	62°

SolidWorks ortamında oluşturulan fan modeli ile farklı giriş açılarına sahip 5 farklı model oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller tek tek analiz edilerek kritik hız değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.2. Giriş açısı (54°) analiz sonuçları

Giriş Açısı 54°				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir ( Dev/Dk)
1	1647,9	262.28	0.0038128	15736,3
2	2076,5	330.49	0.0030258	19829,1
3	2171,5	345.61	0.0028934	20736,3
4	3506	558	0.0017921	33479,8

Şekil 4.24’ te  $54^\circ$ ’de titreşim modlarında meydana gelen toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.



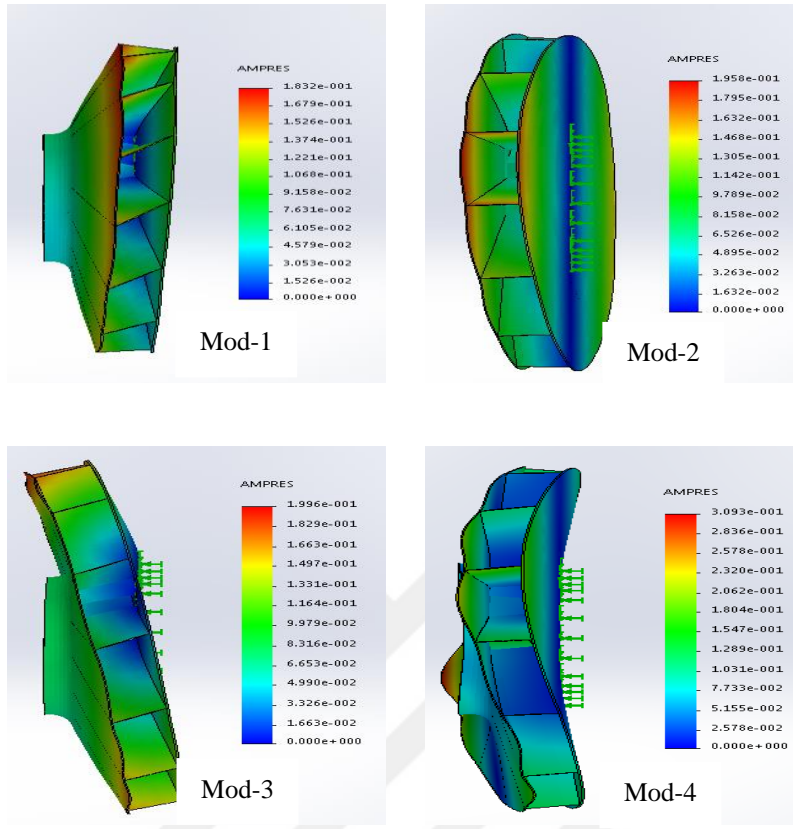
Şekil 4.24.  $54^\circ$  için titreşim analiz mod görünüşleri

Resimlerde mod-1,2,3 ve 4 için ayrı ayrı SolidWorks ortamından görüntü alınmıştır. Sağ taraftaki “Ampres” sütunu fanda titreşim esnasında mesh düğümlerinin referans noktalarına bağlı olarak yer değiştirme miktarları gösterilmektedir. Yer değiştirme miktarı x,y ve z eksenleri için ayrı ayrı elde edilebilmektedir. Çalışmada gösterilen tüm analiz sonuçlarında sadece sonuç yer değiştirmesi gösterilmiştir. Diğer parametrelerde analizlerde bu şekilde sonuç elde edilmiştir.

Çizelge 4.3. Giriş açısı ( $56^\circ$ ) analiz sonuçları

Giriş Açısı $56^\circ$				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	2007,5	319.51	0.0031298	19170,2
2	2089,2	332.51	0.0030074	19950,4
3	2234,8	355.69	0.0028115	21340,8
4	3477,7	553.49	0.0018067	33209,6

Şekil 4.25' te  $56^\circ$  için toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.

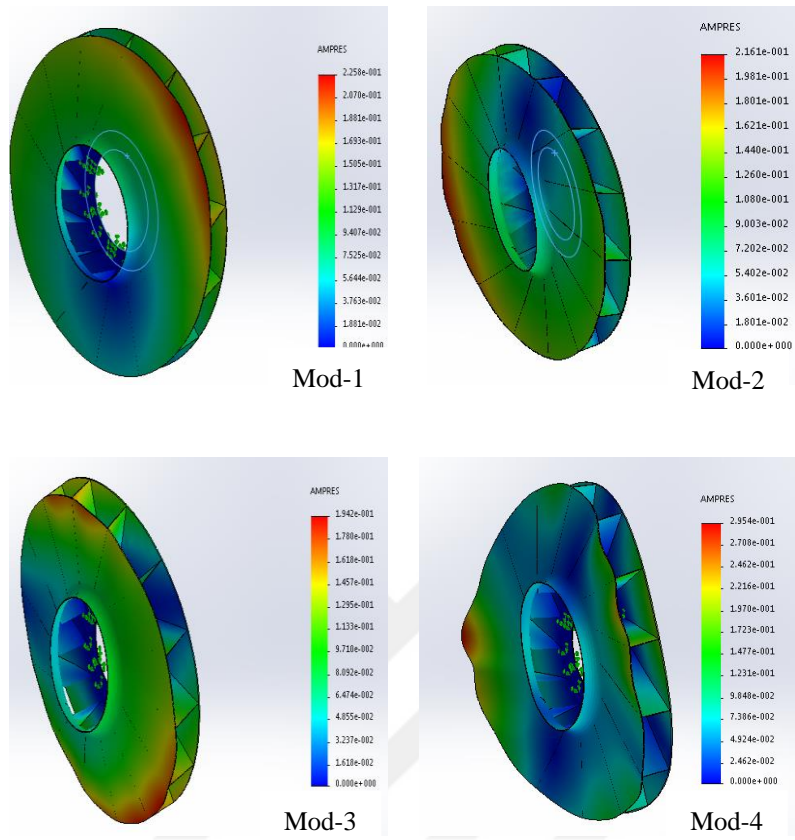


Şekil 4.25.  $56^\circ$  için titreşim analiz mod görüntüleri

Çizelge 4.4. Giriş açısı ( $58^\circ$ ) analiz sonuçları

Giriş Açısı $58^\circ$				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	1895,6	301.69	0.0033147	18101,6
2	2115,2	336.64	0.0029705	20198,7
3	2352,9	374.48	0.0026704	22468,5
4	3438,5	547.25	0.0018273	32835,3

Şekil 4.26' te  $58^\circ$  için toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.

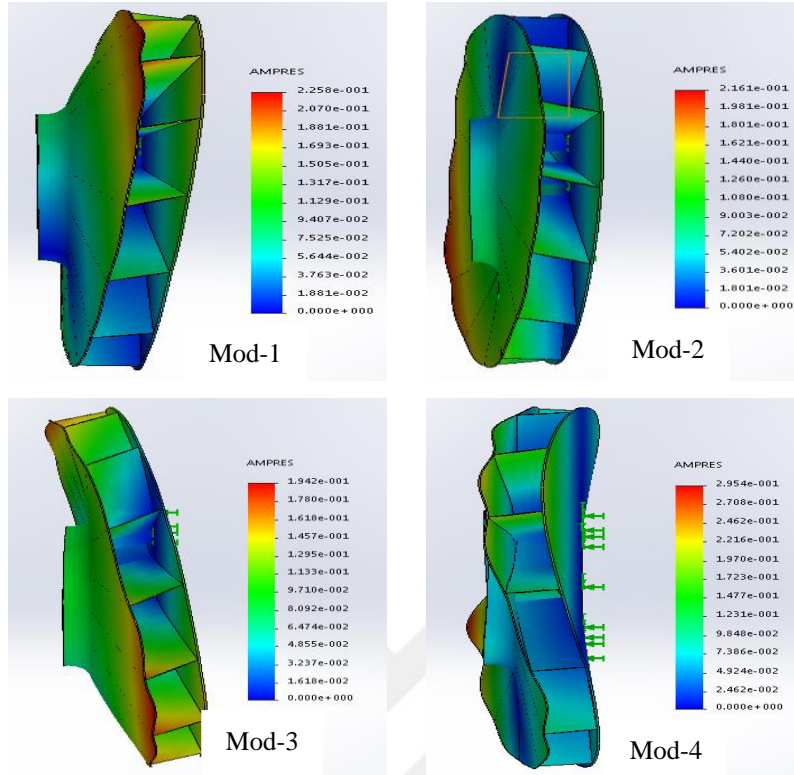


Şekil 4.26.  $58^\circ$  için titreşim analiz mod görünüşleri

Çizelge 4.5. Giriş açısı ( $60^\circ$ ) analiz sonuçları

Giriş Açısı $60^\circ$				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	1927,7	306.8	0.0032595	18408,2
2	2056,3	327.27	0.0030556	19636,2
3	2236,2	355.9	0.0028098	21354,1
4	3444,3	548.17	0.0018242	32890,6

Şekil 4.27' te 60° için toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.

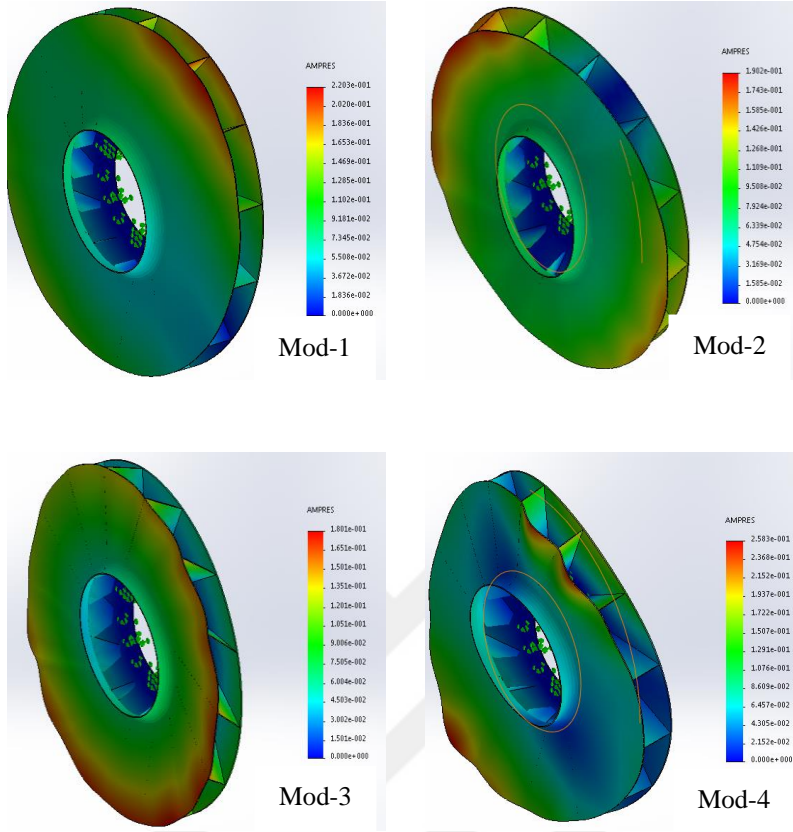


Şekil 4.27. 60° için titreşim analiz mod görüntüleri

Çizelge 4.6. Giriş açısı (62°) analiz sonuçları

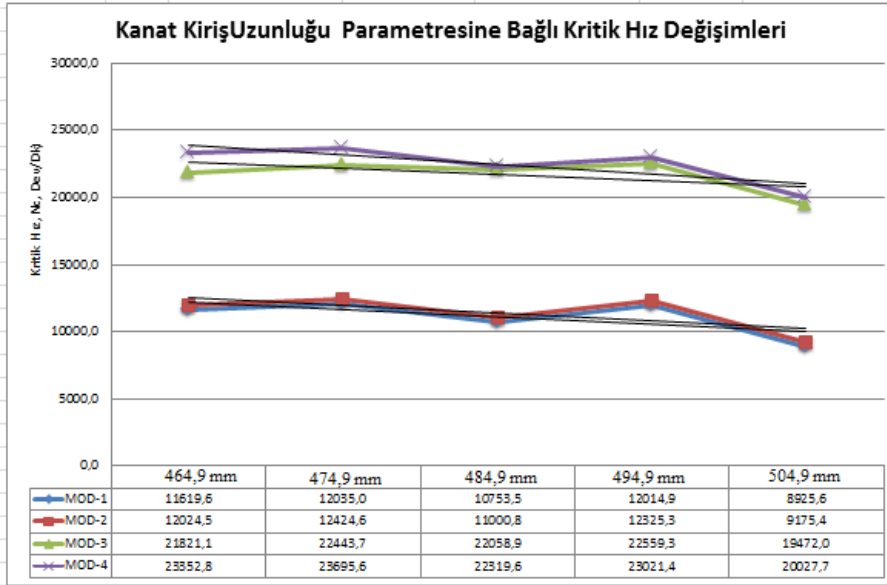
Giriş Açısı 62°				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	1963,2	312.45	0.0032005	18747,2
2	2041,3	324.89	0.003078	19493,0
3	2431,2	386.93	0.0025844	23216,2
4	3415,4	543.58	0.0018397	32614,7

Şekil 4.28' te  $62^\circ$  için toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.



Şekil 4.28.  $62^\circ$  için titreşim analiz mod görünümleri

Kanat giriş açısı için belirlenen parametrelerde titreşim analizi tamamlanmıştır. Fan için kritik devirler ve mod şekilleri yukarıda verilmiştir. Elde edilen kritik devirler ve giriş açısı arasındaki ilişkiyi incelemek için veriler Excel ortamına aktarılarak parametre değişiminin kritik devirler üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır. Grafiklerde tüm giriş açıları titreşim analiz mod sonuçları karşılaştırılmıştır. Parametre değerleri açısından kanat giriş açısı sırasıyla ve  $2^\circ$  aralıklarla  $54^\circ$ ,  $56^\circ$ ,  $58^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $62^\circ$  olarak işleme sokulmuştur.

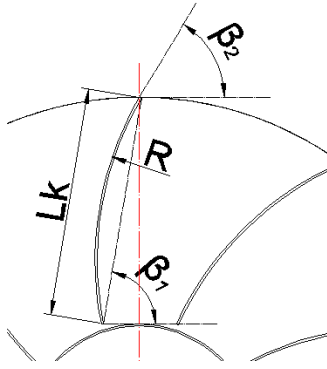


Şekil 4.29. Giriş açısı için kritik devir değişimleri

Şekil 4.29’ da kanat giriş açısı parametrelerine bağlı olarak meydana gelen kritik hız değişimleri gösterilmiştir. Grafikte tüm parametrelerin mod seviyelerini karşılaştırılmaktadır. Mod-1’ de giriş açısı değişimine bağlı olarak sırası ile artma, azalma, artma, artma meydana gelmiştir. Mod-2’ de ise sırası ile artma, artma, azalma ve azalma meydana gelmiştir. Mod- 3’ te ise sırası ile artma, artma, azalma ve artma meydana gelmiştir. Mod-4’ te ise azalma, azalma, artma ve azalma meydana gelmiştir. Kanat giriş açısı parametre değişiminin kritik hız değişimleri üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı ortaya çıkarılmıştır. Grafikte debi ile kanat açısı arasındaki matematiksel değişim ve oranı ifade edilmiştir. Diğer yandan grafiğe bakılarak kanat giriş açısı parametre artışına bağlı olarak kritik hız seviyelerinde artış gözlemlenmiştir. Kritik hız seviyeleri fan çalışma devir aralığında (750-3000 RPM) çıkmamıştır.

#### 4.3.2. Kanat kiriş uzunluğu değişiminin kritik hızlara olan etkisinin incelenmesi

Kanat kiriş uzunluğu kanadın kenardan kenara olan doğrusal uzunluğudur. Makul parametre aralığını belirlemek için Şekil 3.17’ den yararlanılmış, 5 farklı parametre değeri kullanılarak titreşim analizi gerçekleştirilmiştir. Aşağıda belirlenen parametreler ve kanat kiriş uzunluğu (Lk) gösterilmiştir.



Şekil 4.30. Kanat kiriş uzunluğu parametresi gösterimi (Lk)

Çizelge 4.7. Kanat kiriş uzunluğu Parametreleri

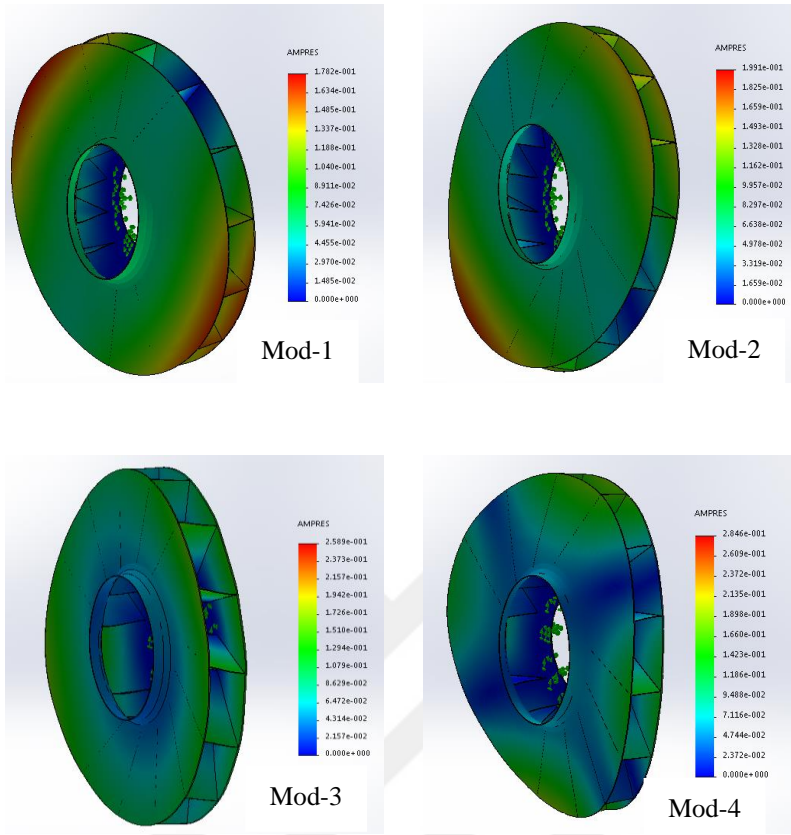
1. Değer	2. Değer	3. Değer	4. Değer	5. Değer
464,992 mm	474,992 mm	484,992 mm	494,992 mm	504,992 mm

SolidWorks ortamında oluşturulan fan modeli ile farklı giriş açlarına sahip 5 farklı model oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller tek tek analiz edilerek kritik hız değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.8. Kanat kiriş uzunluğu (464,992 mm) analiz sonuçları

Kanat kiriş uzunluğu: 464,992				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	1216,8	193.67	0.0051635	11619,6
2	1259,2	200.41	0.0049897	12024,5
3	2285,1	363.69	0.0027496	21821,1
4	2445,5	389.21	0.0025693	23352,8

Şekil 4.31' de 464,992mm için toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.

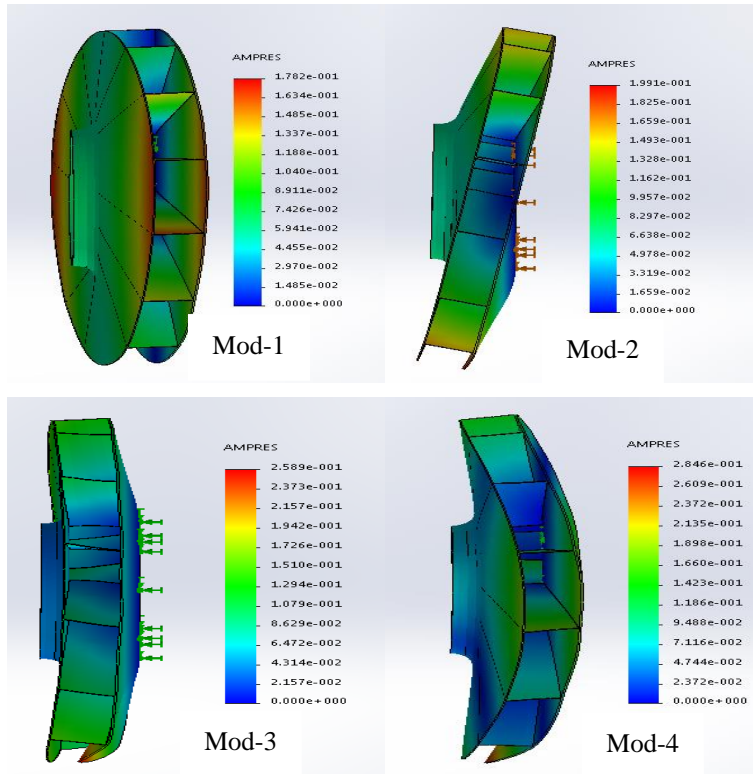


Şekil 4.31. 464,992 mm için analiz mod görünümüleri

Çizelge 4.9. Kanat kiriş uzunluğu (474,992 mm) analiz sonuçları

Kanat kiriş uzunluğu: 474,992				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	1260,3	200.59	0.0049853	12035,0
2	1301,1	207.08	0.004829	12424,6
3	2350,3	374.06	0.0026733	22443,7
4	2481,4	394.92	0.0025322	23695,6

Şekil 4.32' de 474,992mm için toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.

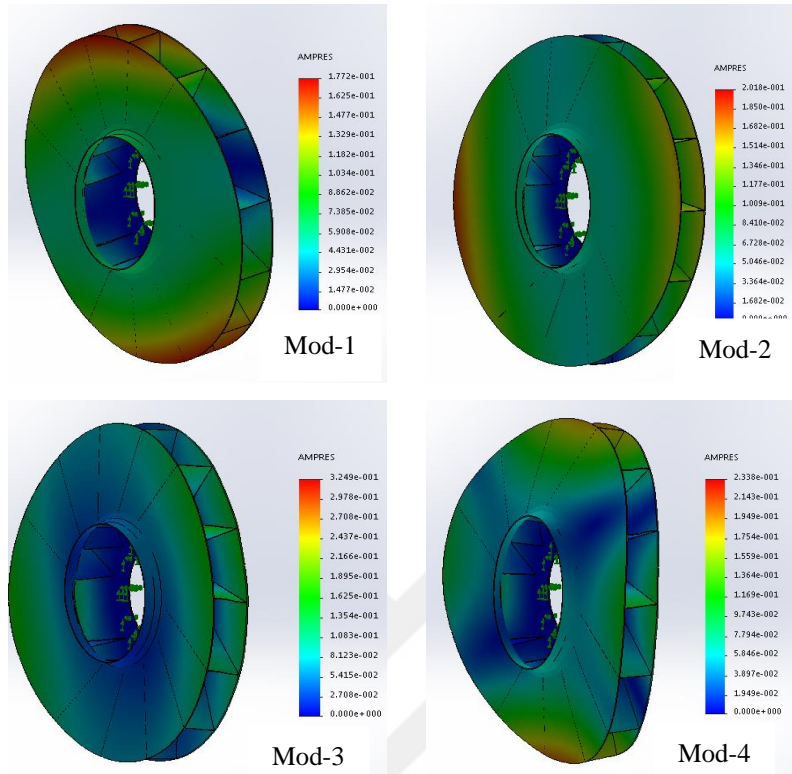


Şekil 4.32. 474,992 mm için Analiz Mod Görünümleri

Çizelge 4.10. Kanat kiriş uzunluğu (484,992 mm) analiz sonuçları

Kanat kiriş uzunluğu: 484,992 mm				
Mod No	Frekans (rad/s)	Frekans (Hertz)	Periyot (s)	Devir/Dakika
1	1126,1	179.22	0.0055798	10753,5
2	1152	183.35	0.005454	11000,8
3	2310	367.65	0.00272	22058,9
4	2337,3	371.99	0.0026882	22319,6

Şekil 4.33' te 484,992mm için toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.

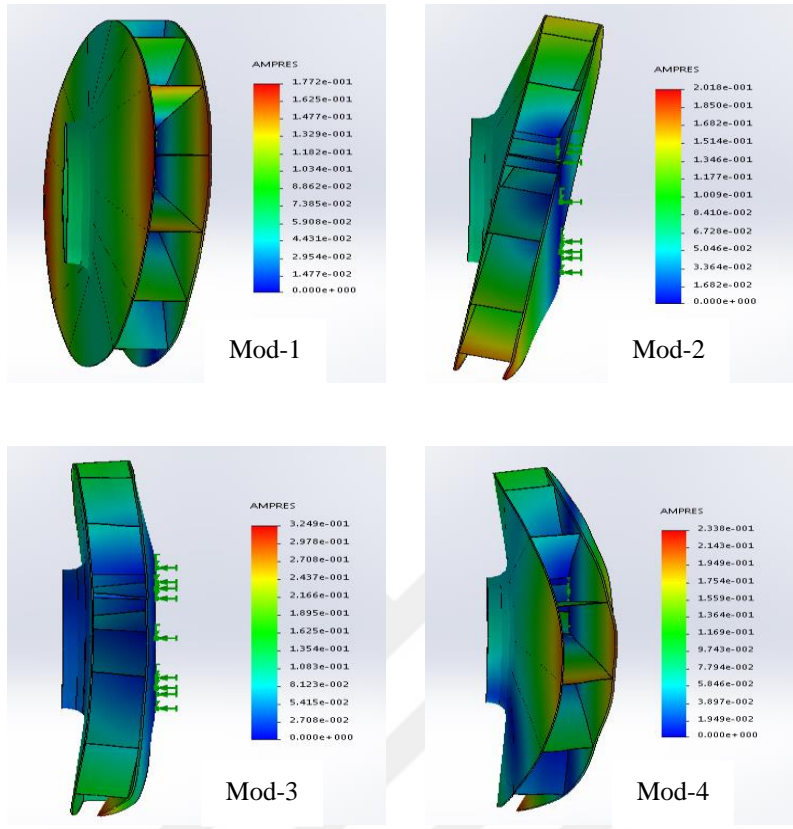


Şekil 4.33. 484,992 mm için Analiz Mod Görünümleri

Çizelge 4.11. Kanat kiriş uzunluğu (494,992 mm) analiz sonuçları

Kanat kiriş uzunluğu: 494,992				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	1258,2	200.25	0.0049937	12014,9
2	1290,7	205.42	0.0048682	12325,3
3	2362,4	375.99	0.0026597	22559,3
4	2410,8	383.69	0.0026063	23021,4

Şekil 4.34' te 494,992mm için toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.

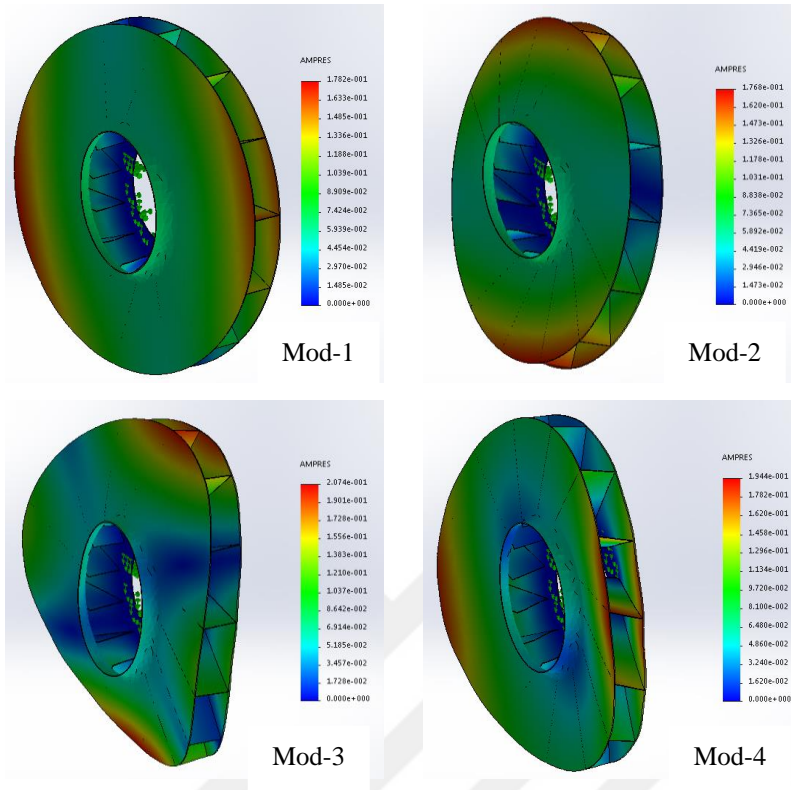


Şekil 4.34. 494,992 mm için Analiz Mod Görünümleri

Çizelge 4.12. Kanat kiriş uzunluğu (504,992 mm) analiz sonuçları

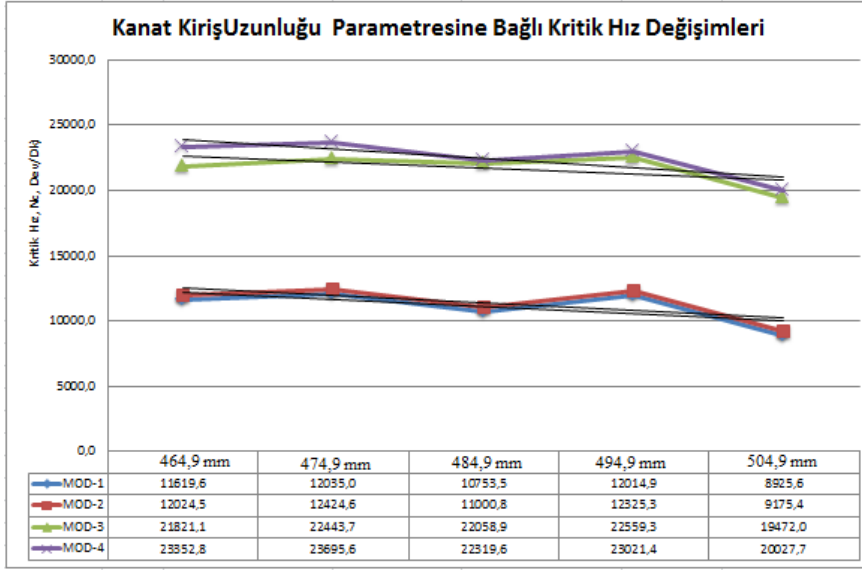
Kanat kiriş uzunluğu: 504,992				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	934,69	148.76	0.0067222	8925,6
2	960,85	152.92	0.0065392	9175,4
3	2039,1	324.53	0.0030814	19472,0
4	2097,3	333.8	0.0029958	20027,7

Şekil 4.35' te 504,992mm için toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.



Şekil 4.35. 504,992 mm için analiz mod görünümleri

Kanat kiriş uzunluğu için belirlenen parametrelerde titreşim analizi tamamlanmıştır. Fan için kritik devirler ve mod şekilleri yukarıda verilmiştir. Elde edilen kritik devirler ve kanat kiriş uzunluğu arasındaki ilişkiyi incelemek için veriler Excel ortamına aktarılarak parametre değişiminin kritik devirler üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğu incelenmiştir. Grafiklerde tüm kanat uzunlukları titreşim analiz mod sonuçları karşılaştırılmıştır. Grafiklerde dikey sütun kritik devir seviyelerini, yatay sütun parametre numaralarını göstermektedir. Parametre numaraları açısından kanat kiriş uzunluğu sırasıyla ve 10mm aralıklarla 464,9 mm, 474,9 mm, 484,9 mm, 494,9 mm, 504,9 mm olarak işleme sokulmuştur.



Şekil 4.36. Kanat kiriş uzunluğu için kritik devir değişimleri

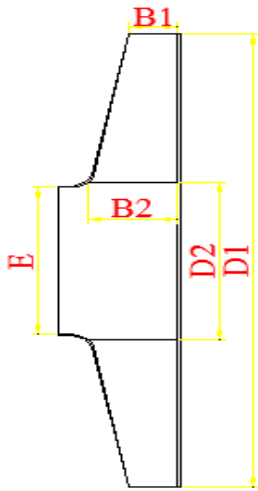
Şekil 4.35' te kanat kiriş uzunluğu parametrelerine bağlı olarak meydana gelen kritik hız değişimleri gösterilmiştir. Grafik tüm parametrelerin mod seviyelerini karşılaştırmaktadır. Mod-1' de kanat kiriş uzunluğu değişimine bağlı olarak sırası ile artma, azalma, artma ve azalma meydana gelmiştir. Mod-2' de ise sırası ile artma, azalma, artma ve azalma meydana gelmiştir. Mod-3' te ise sırası ile artma azalma, artma ve azalma meydana gelmiştir. Mod-4' te ise artma, azalma, artma ve azalma meydana gelmiştir. Kanat kiriş uzunluğu parametre değişiminin kritik hız değişimleri üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı ortaya çıkarılmıştır. Grafikte kanat kiriş uzunluğu ile debi arasındaki matematiksel ifade ve doğruluk oranı verilmiştir. Diğer yandan grafiğe bakılarak kanat giriş açısı parametre artışına bağlı olarak kritik hız seviyelerinde artış gözlemlenmiştir. Kritik hız seviyeleri fan çalışma devir aralığında (750-3000 RPM) çıkmamıştır.

#### 4.3.3. Kanat genişliği değişiminin kritik hızlara olan etkisinin incelenmesi

Kanat genişliği parametresi kanadın alt kısmındaki genişlik olup, havanın fana giriş yaptığı kısımdır. Makul parametre aralığı için Şekil 3.19 dan yararlanılmış, 5 farklı parametre değeri kullanılarak titreşim analizi gerçekleştirilmiştir. Aşağıda belirlenen parametreler ve kanat genişliği (B1) gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Kanat genişliği parametreleri

1. Değer	2. Değer	3. Değer	4. Değer	5. Değer
129,987 mm	139,987 mm	149,987mm	159,987mm	169,987mm



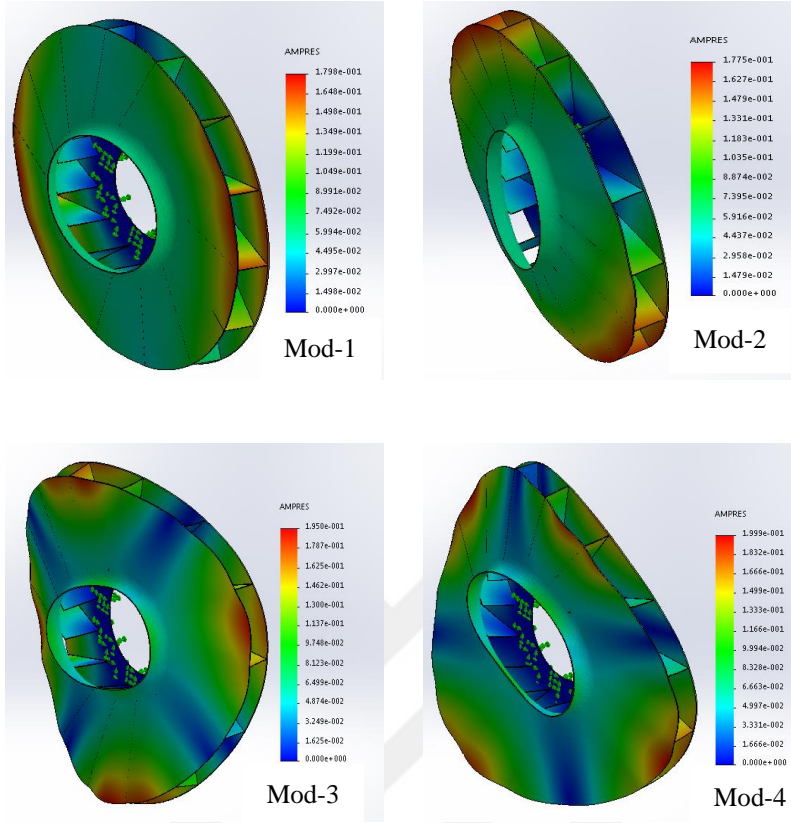
Şekil 4.37. Kanat genişliği (B2)

SolidWorks ortamında oluşturulan fan modeli ile farklı uzunluklara sahip 5 farklı model oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller tek tek analiz edilerek kritik hız değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.14. Kanat genişliği (129,987 mm) analiz sonuçları

Kanat Genişliği: 129,987				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	938,43	149.36	0.0066954	8961,3
2	952,17	151.54	0.0065988	9092,6
3	1990,7	316.83	0.0031562	19009,8
4	2000,2	318.34	0.0031413	19100,5

Şekil 4.38' de 129,987 mm için toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.

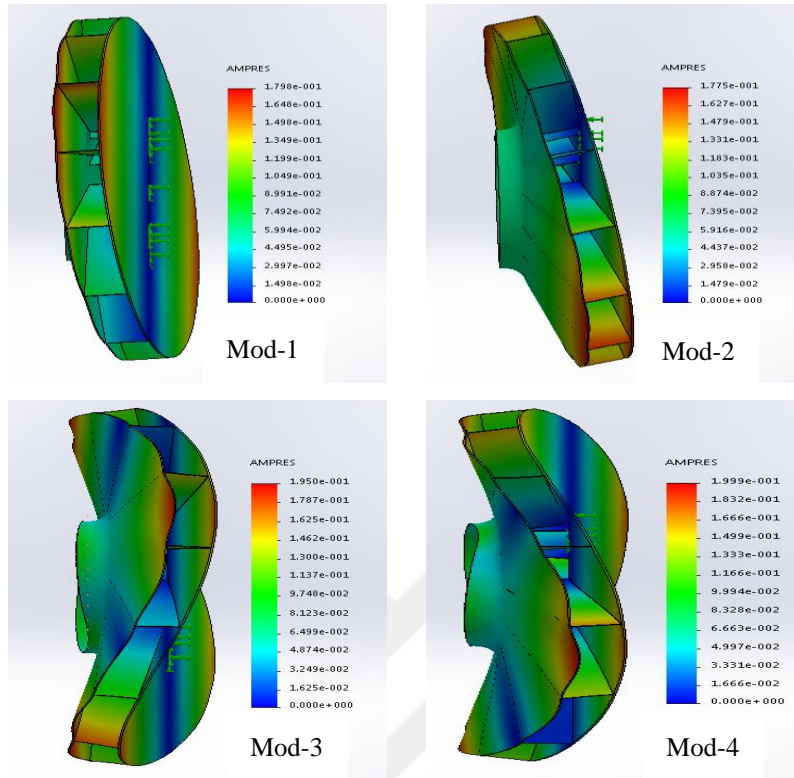


Şekil 4.38. 129,987 mm için analiz mod görünümleri

Çizelge 4.15. Kanat genişliği (139,987 mm) analiz sonuçları

Kanat Genişliği: 139,987				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	956,13	152.17	0.0065715	9130,4
2	970,9	154.52	0.0064715	9271,4
3	2023,9	322.11	0.0031045	19326,8
4	2028,7	322.88	0.0030971	19372,7

Şekil 4.39' da 139,987 mm için toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.

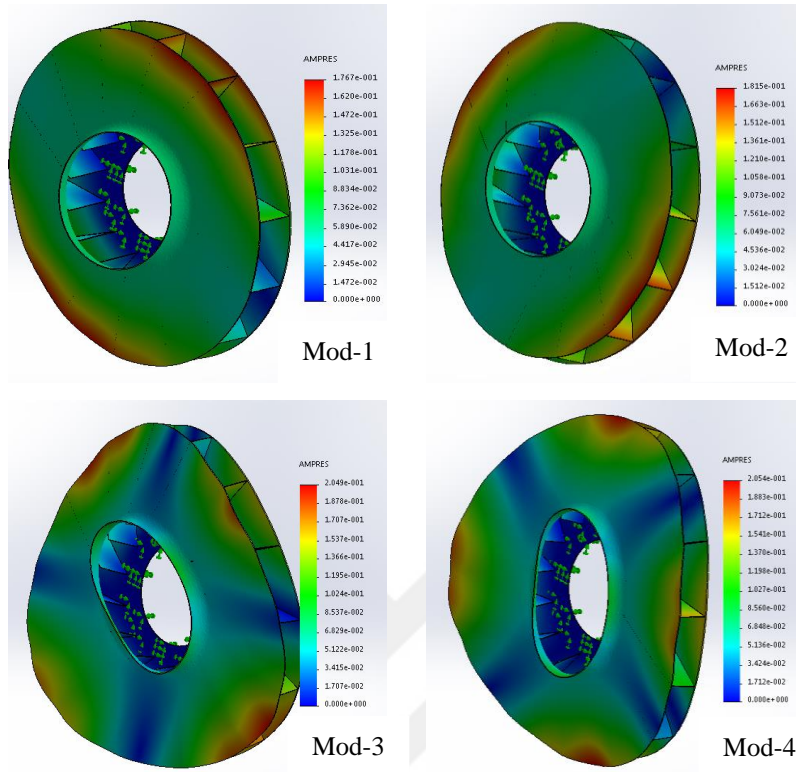


Şekil 4.39. 139,987 mm için analiz mod görüntüleri

Çizelge 4.16. Kanat genişliği (149,987 mm) analiz sonuçları

Kanat Genişliği: 149,987				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	1927,7	306.8	0.0032595	18408,2
2	2056,3	327.27	0.0030556	19636,2
3	2236,2	355.9	0.0028098	21354,1
4	3444,3	548.17	0.0018242	32890,6

Şekil 4.40' ta 149,987 mm için toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.

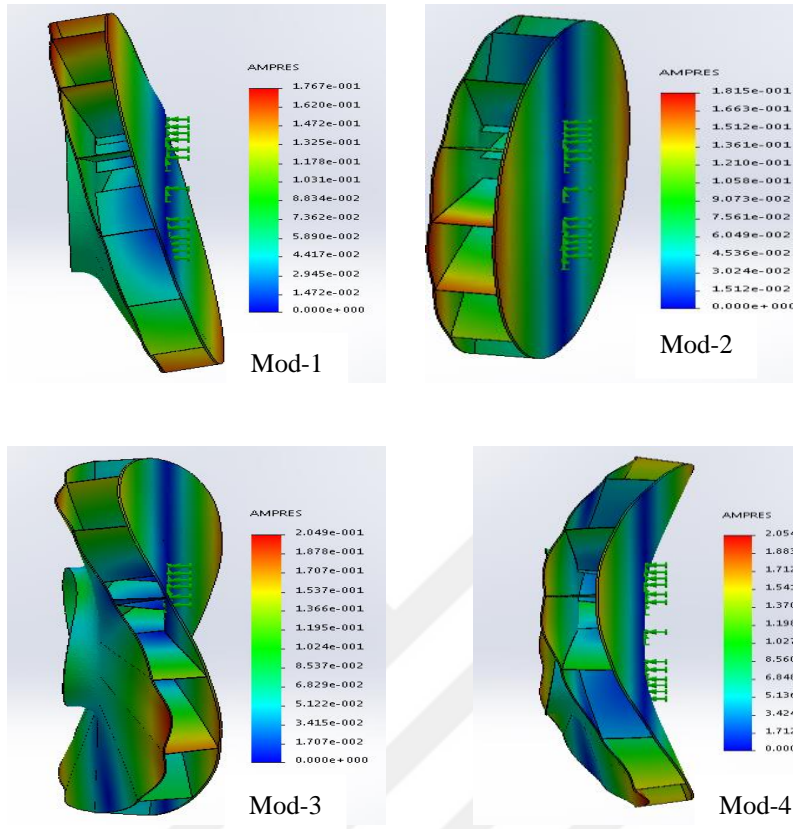


Şekil 4.40. 149,987 mm için analiz mod görünümleri

Çizelge 4.17. Kanat genişliği (159,987 mm) analiz sonuçları

Kanat Genişliği: 159,987				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	864,51	137.59	0.0072679	8255,5
2	887,64	141.27	0.0070785	8476,3
3	1819,6	289.6	0.0034531	17375,9
4	1990,5	316.8	0.0031566	19007,9

Şekil 4.41' de 159,987 mm için toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.

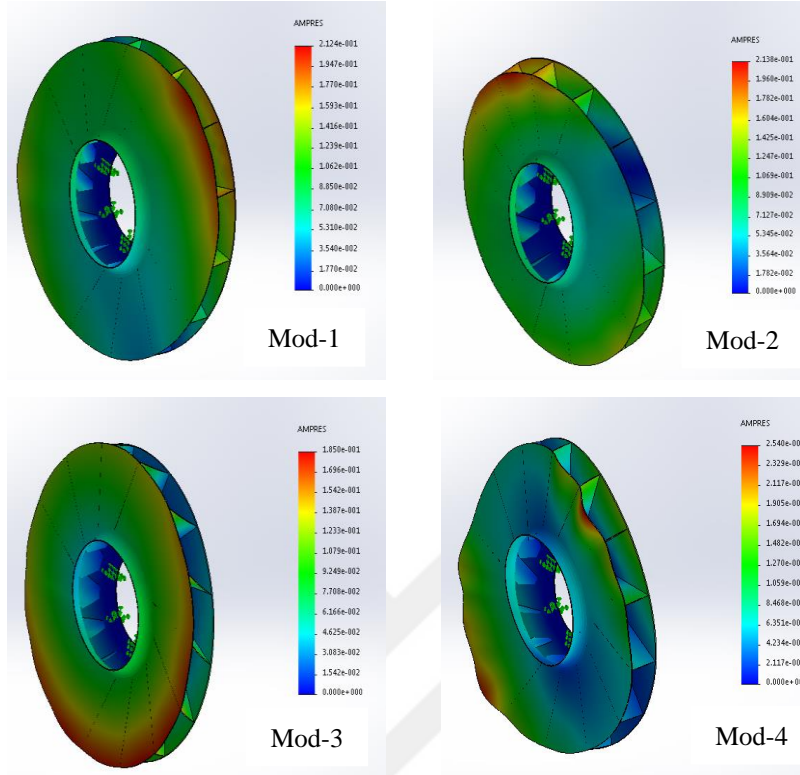


Şekil 4.41.159,987 mm için analiz mod görünümleri

Çizelge 4.18. Kanat genişliği (169,987 mm) analiz sonuçları

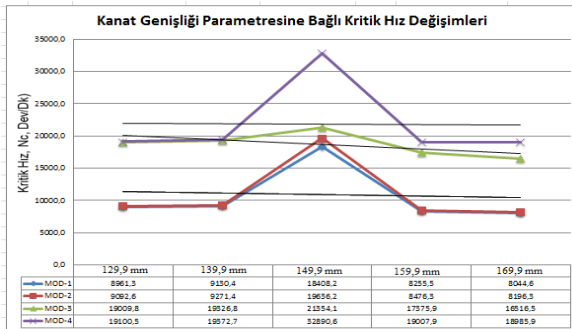
Kanat Genişliği: 169,987				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	842,43	134.08	0.0074584	8044,6
2	858,31	136.6	0.0073204	8196,3
3	1729,6	275.28	0.0036327	16516,5
4	1988,2	316.43	0.0031603	18985,9

Şekil 4.42' de 169,987 mm için toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.



Şekil 4.42. 169,987 mm için analiz mod görünümleri

Kanat genişliği için belirlenen parametrelerde titreşim analizi tamamlanmıştır. Fan için kritik devirler ve mod şekilleri yukarıda verilmiştir. Elde edilen kritik devirler ve kanat genişliği arasındaki ilişkiyi incelemek için veriler Excel ortamına aktarılarak parametre değişiminin kritik devirler üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğu incelenmiştir. Grafiklerde tüm kanat genişlikleri titreşim analiz mod sonuçları karşılaştırılmıştır. Grafiklerde dikey sütun kritik devir seviyelerini, yatay sütun parametre numaralarını göstermektedir. Parametre numaraları açısından kanat genişliği sırasıyla ve 10 mm aralıklarla 129,9 mm, 139,9 mm, 149,9 mm, 159,9 mm, 169,9 mm olarak işleme sokulmuştur.



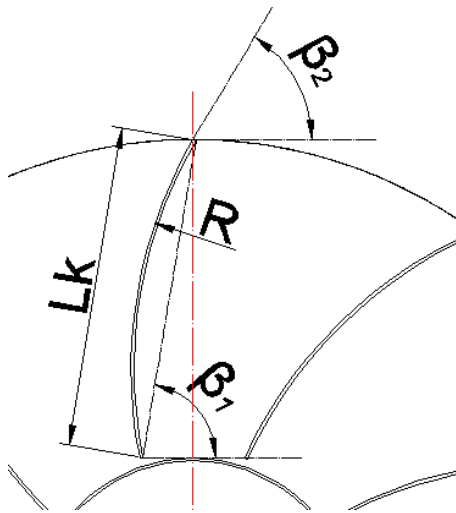
Şekil 4.43. Kanat genişliği için kritik hız değişimi

Şekil 4.42' de kanat genişliği parametrelerine bağlı olarak meydana gelen kritik hız değişimleri gösterilmiştir. Grafik tüm parametrelerin mod seviyelerini karşılaştırmaktadır. Mod-1' de kanat genişliği değişimine bağlı olarak sırası ile artma, artma, azalma ve azalma meydana gelmiştir. Mod-2' de ise mod-1 ile aynı tür değişimler meydana gelmiştir. Mod-3' te ise sırası ile artma, artma, azalma ve azalma meydana gelmiştir. Mod-4' te ise sırası ile artma, artma, azalma ve azalma meydana gelmiştir. Grafikte debi ile kanat genişliği matematiksel ilişkisi ve doğrulama oranı bulunmaktadır. Diğer yandan grafiğe bakılarak kanat genişliği parametre artışına bağlı olarak kritik hız seviyelerinde artış gözlemlenmiştir. Kritik hız seviyeleri fan çalışma devir aralığında (750-3000 RPM) çıkmamıştır.

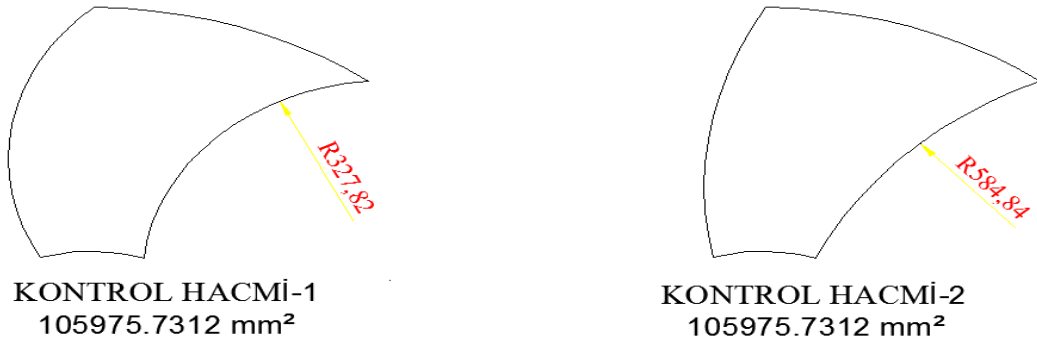
#### 4.3.4. Kanat yarıçapı değişiminin kritik hızlara olan etkisinin incelenmesi

Kanat yarıçapı kanadın yay ölçüsüdür (Şekil 4.43) ve  $R$  ile gösterilir. Kanat yarıçapı parametreleri belirlenirken izlenen yol şu şekildedir:

Kanat yarıçapı değişimi teorik olarak debi değişimine etkisi olan bir parametre değildir. Sebebi ise kanat radüsünün değişimine rağmen 2 kanat arasında kalan kısmın (kontrol hacmi) kapasitesinin değişmemesidir (Şekil 4.44).



Şekil 4.44. Kanat yarıçapı (R)



Şekil 4.45. Kontrol hacmi

Çizelge 4.19. Kanat yarıçapı parametreleri

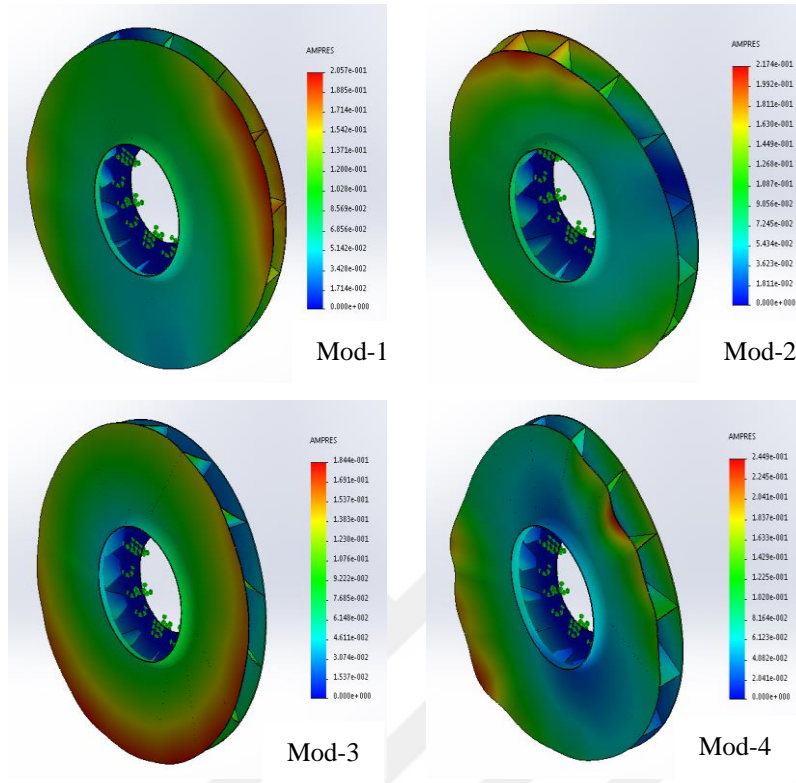
1. Değer	2. Değer	3. Değer	4. Değer	5. Değer
47299,164 mm	47399,164 mm	47499,164 mm	47599,164 mm	47699,164 mm

SolidWorks ortamında oluşturulan fan modeli ile farklı giriş açlarına sahip 5 farklı model oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller tek tek analiz edilerek kritik hız değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.20. Kanat yarıçapı (47299,164 mm) analiz sonuçları

Kanat Yarıçapı: 47299,164				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	1948,7	310.15	0.0032243	18608,7
2	2062,1	328.19	0.003047	19691,6
3	2240,5	356.58	0.0028044	21395,2
4	3458	550.36	0.001817	33021,5

Şekil 4.46' da 47299,164 mm için toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.

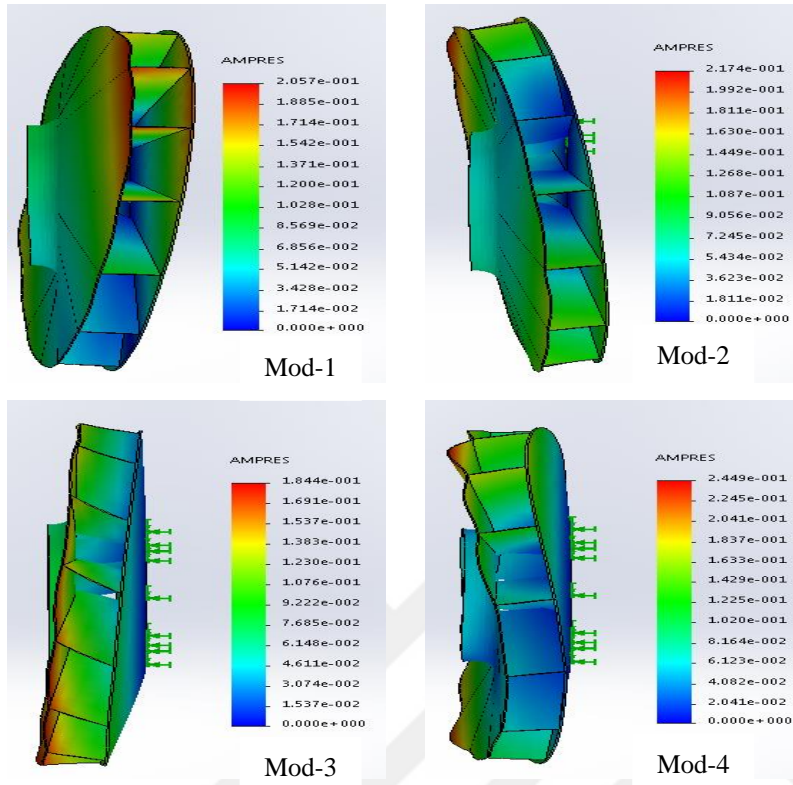


Şekil 4.46. 47299,164 mm için analiz mod görünümleri

Çizelge 4.21. Kanat yarıçapı (47399,164 mm) analiz sonuçları

Kanat Yarıçapı: 47399,164				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	1927,4	306.76	0.0032599	18405,3
2	2057,6	327.47	0.0030537	19648,6
3	2237,5	356.11	0.0028081	21366,6
4	3446,1	548.46	0.0018233	32907,8

Şekil 4.47' de 47399,164 mm için toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.

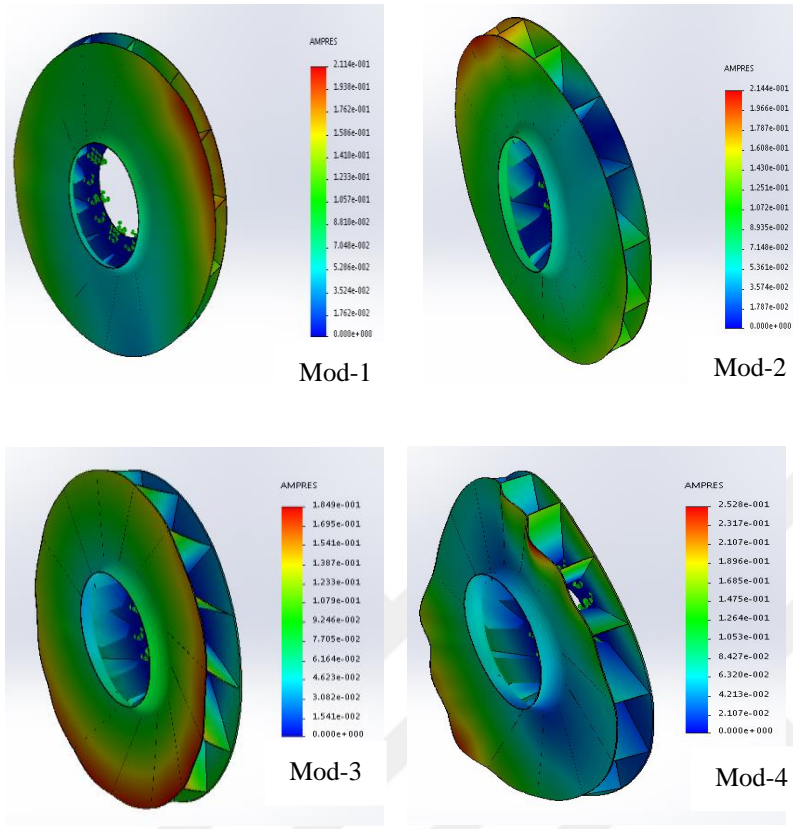


Şekil 4.47. 47399,164 mm için analiz mod görüntüleri

Çizelge 4.22. Kanat yarıçapı (47499,164 mm) analiz sonuçları

Kanat Yarıçapı: 47499,164				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	1927,7	306.8	0.0032595	18408,2
2	2056,3	327.27	0.0030556	19636,2
3	2236,2	355.9	0.0028098	21354,1
4	3444,3	548.17	0.0018242	32890,6

Şekil 4.48' te 47499,164 mm için toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.

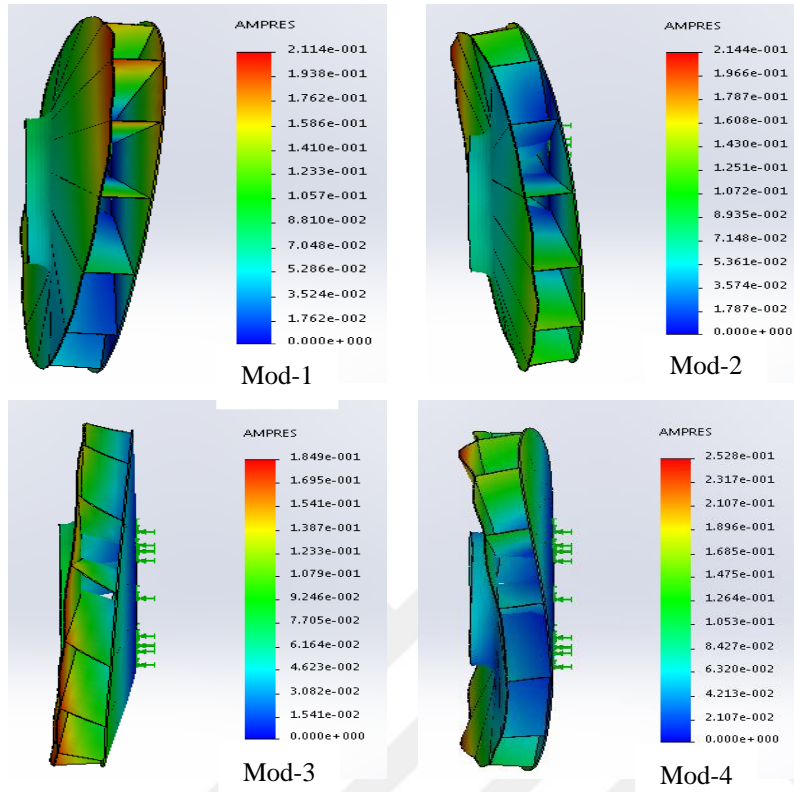


Şekil 4.48. 47499,164 mm için analiz mod görünümleri

Çizelge 4.23. Kanat yarıçapı (47599,164 mm) analiz sonuçları

Kanat Yarıçapı: 47599,164				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	1930,5	307.25	0.0032547	18434,9
2	2057	327.38	0.0030545	19642,9
3	2235,8	355.84	0.0028103	21350,3
4	3446,9	548.58	0.0018229	32915,5

Şekil 4.49' da 47599,164 mm için toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.

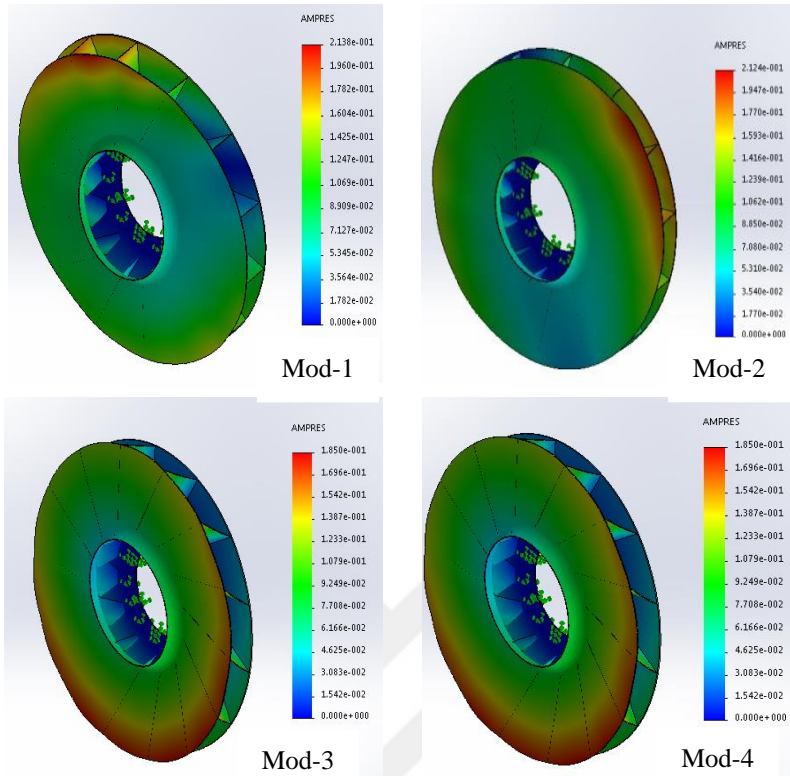


Şekil 4.49. 47599,164 mm için analiz mod görünümleri

Çizelge 4.24. Kanat yarıçapı (47699,164 mm) analiz sonuçları

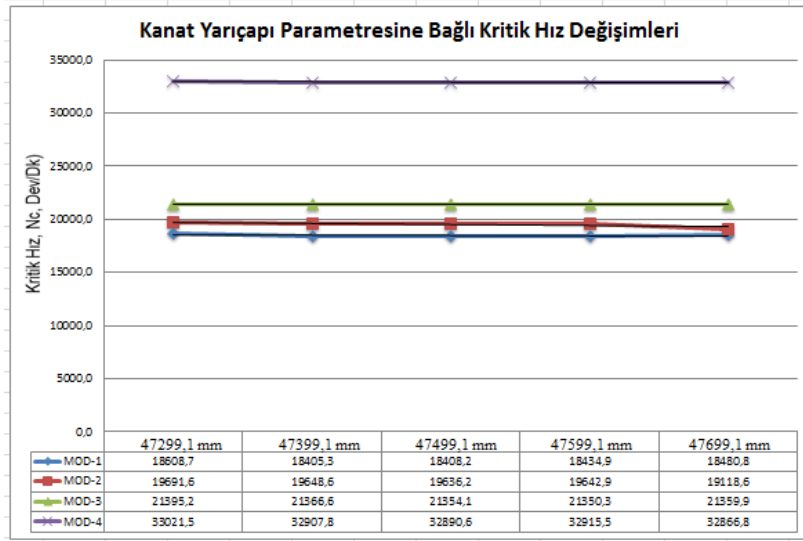
Kanat Yarıçapı: 47699,164				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	1935,3	308.01	0.0032467	18480,8
2	2002,1	318.64	0.0031383	19118,6
3	2236,8	355.99	0.0028091	21359,9
4	3441,8	547.78	0.0018255	32866,8

Şekil 4.50' de 47699,164 mm için toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.



Şekil 4.50. 47699,164 mm için analiz mod görünüşleri

Kanat yarıçapı için belirlenen parametrelerde titreşim analizi tamamlanmıştır. Fan için kritik devirler ve mod şekilleri yukarıda verilmiştir. Elde edilen kritik devirler ve kanat yarıçapı arasındaki ilişkiyi incelemek için veriler Excel ortamına aktarılarak parametre değişiminin kritik devirler üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğu incelenmiştir. Grafiklerde tüm kanat yarıçapı titreşim analiz mod sonuçları karşılaştırılmıştır. Grafiklerde dikey sütun kritik devir seviyelerini, yatay sütun parametre numaralarını göstermektedir. Parametre numaraları açısından kanat yarıçapları sırasıyla ve 100 mm aralıklarla 47299 mm, 47399 mm, 47499 mm, 47599 mm, 47699 mm olarak işleme sokulmuştur.

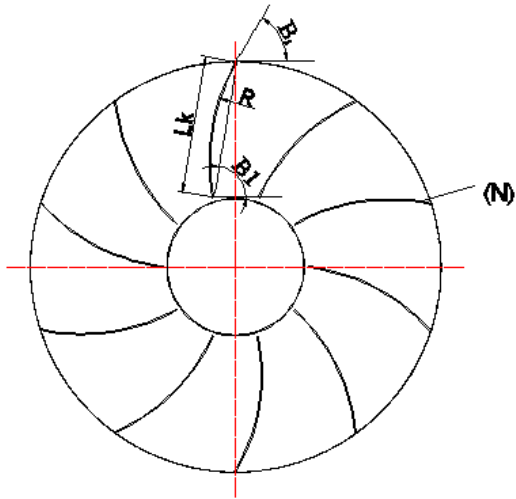


Şekil 4.51. Kanat yarıçapı için kritik hız değişimi

Şekil 4.51 de kanat yarıçapı parametrelerine bağlı olarak meydana gelen kritik hız değişimleri gösterilmiştir. Grafik tüm parametrelerin mod seviyelerini karşılaştırmaktadır. Mod-1’ de kanat yarıçapı değişimlerine bağlı olarak azalma, artma, artma ve artma meydana gelmiştir. Mod-2’ de ise sırası ile azalma, azalma, artma ve azalma meydana gelmiştir. Mod-3’ te ise sırası ile azalma, azalma, azalma ve artma meydana gelmiştir. Mod-4’ te ise sırası ile artma, azalma, artma ve azalma meydana gelmiştir. Diğer yandan grafiğe bakılarak kanat yarıçapı parametre artışına bağlı olarak kritik hız seviyelerinde artış gözlemlenmiştir. Grafikte kanat yarıçapı ile debi arasındaki matematiksel ilişki ve doğruluk oranı gösterilmiştir. Kritik hız seviyeleri fan çalışma devir aralığında (750-3000 RPM) çıkmamıştır.

#### 4.3.5. Kanat sayısı değişiminin kritik hızlara olan etkisinin incelenmesi

Kanat sayısı fan tasarımında formül ile hesaplanarak çevreye eşit sayıda yerleştirilir ve N ile gösterilir (Şekil 4.52). Kanat sayısı parametreleri belirlenirken herhangi bir yöntem belirlenmemiştir. Sabit artı ve azalış temel alınarak kanat sayısı belirlenmiştir. Sebep olarak kanat sayısı formülünden debinin elde edilememesidir.



Şekil 4.52. Kanat sayısı (N)

Çizelge 4.25. Kanat sayısı parametreleri

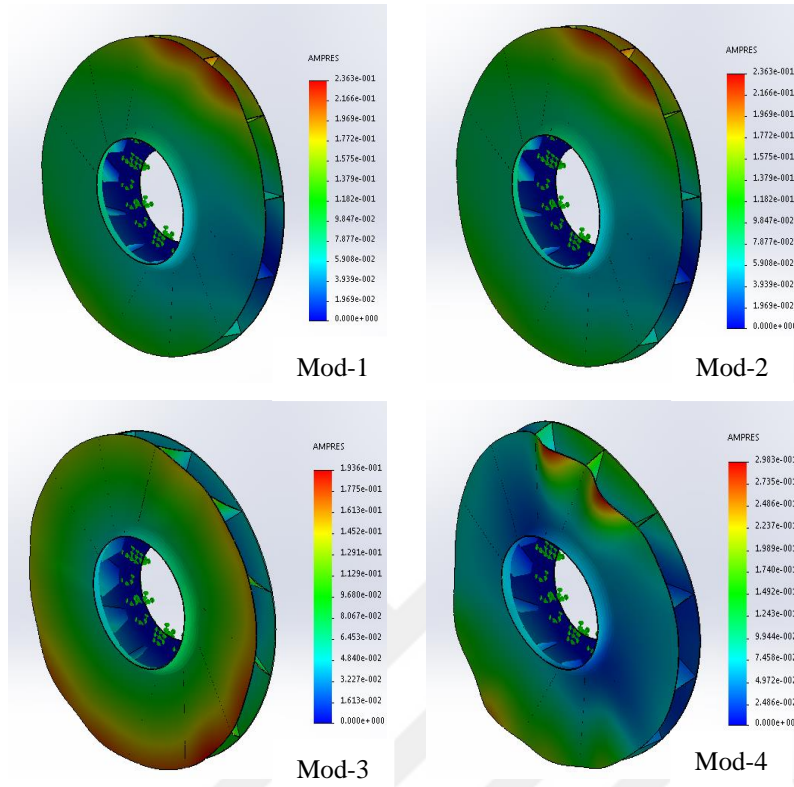
1. Değer	2. Değer	3. Değer	4. Değer	5. Değer
12	13	14	15	16

SolidWorks ortamında oluşturulan fan modeli ile farklı kanat sayılarına sahip 5 farklı model oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller tek tek analiz edilerek kritik hız değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.26. Kanat sayısı (12) analiz sonuçları

Kanat Sayısı: 12				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	1807,5	287.67	0.0034762	17260,4
2	1963,7	312.54	0.0031996	18752,0
3	2112,4	336.2	0.0029744	20171,9
4	3213,2	511.39	0.0019554	30683,8

Şekil 4.53' te 12 adet için toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.

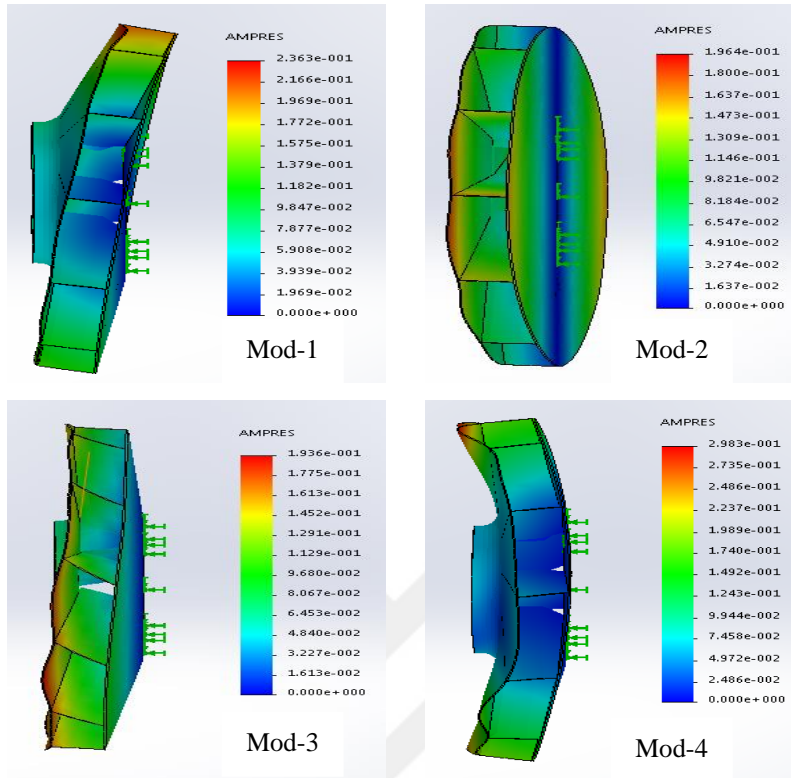


Şekil 4.53. 12 Adet Kanat için analiz mod görüntüleri

Çizelge 4.27. Kanat sayısı (13) analiz sonuçları

Kanat Sayısı: 13				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(se)	Devir/Dakika
1	1945,1	309.57	0.0032303	18574,3
2	2051,8	326.55	0.0030623	19593,2
3	2203,6	350.71	0.0028514	21042,8
4	3430,1	545.91	0.0018318	32755,0

Şekil 4.54' te 13 adet için toplam yer değıştirmeler gösterilmiştir.

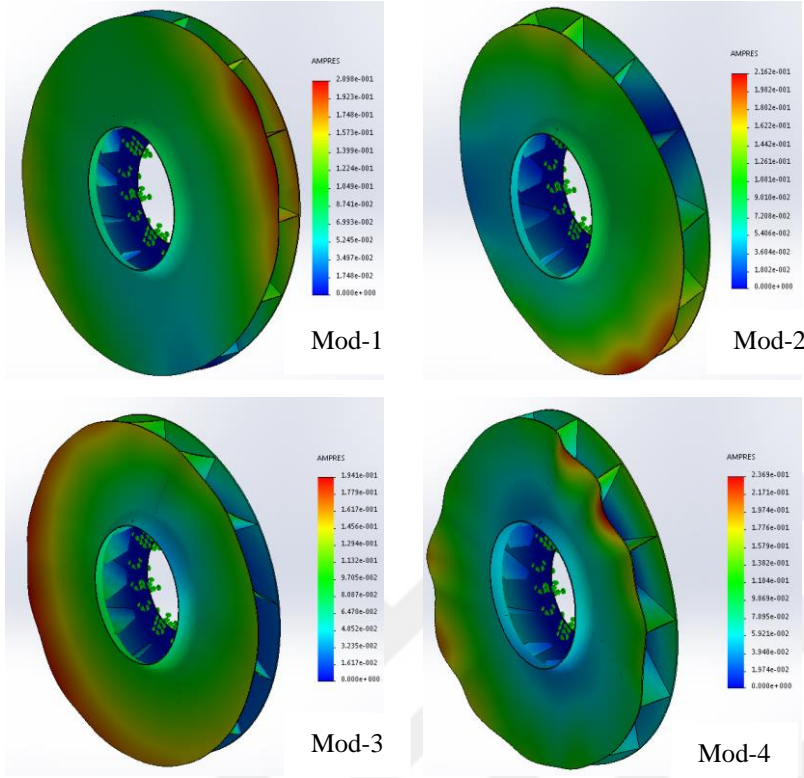


Şekil 4.54. 13 Adet Kanat için analiz mod görünümleri

Çizelge 4.28. Kanat sayısı (14) analiz sonuçları

Kanat Sayısı: 14				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(se)	Devir/Dakika
1	1927,7	306.8	0.0032595	18408,2
2	2056,3	327.27	0.0030556	19636,2
3	2236,2	355.9	0.0028098	21354,1
4	3444,3	548.17	0.0018242	32890,6

Şekil 4.55' te 14 adet için toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.

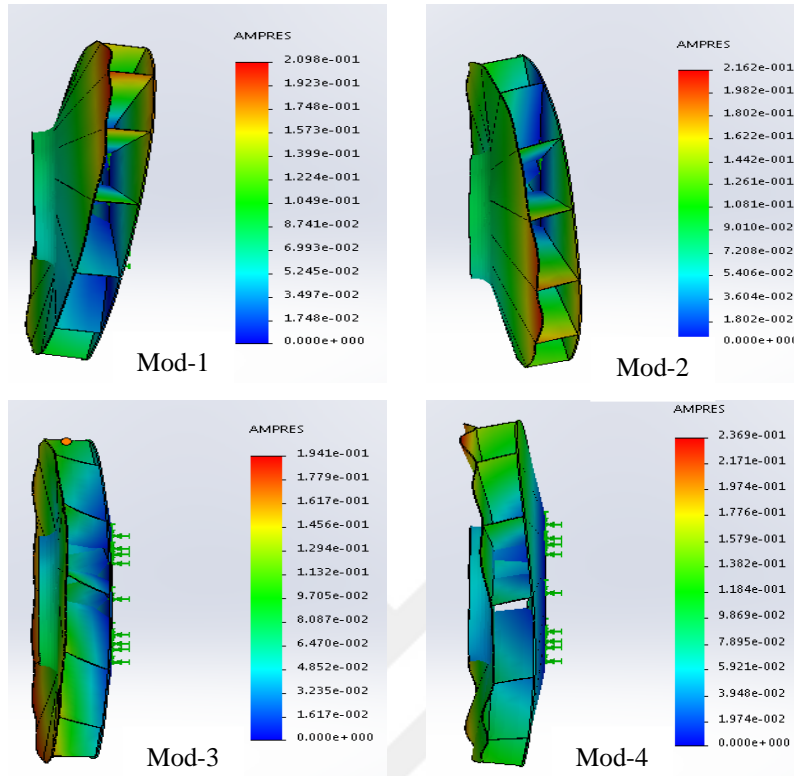


Şekil 4.55. 14 Adet kanat için analiz mod görünüşleri

Çizelge 4.29. Kanat sayısı (15) analiz sonuçları

Kanat Sayısı: 15				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	2088,8	332.45	0.003008	19946,6
2	2098,9	334.06	0.0029935	20043,0
3	2502,3	398.26	0.0025109	23895,2
4	3568,3	567.91	0.0017608	34074,8

Şekil 4.56' da 15 adet için toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.

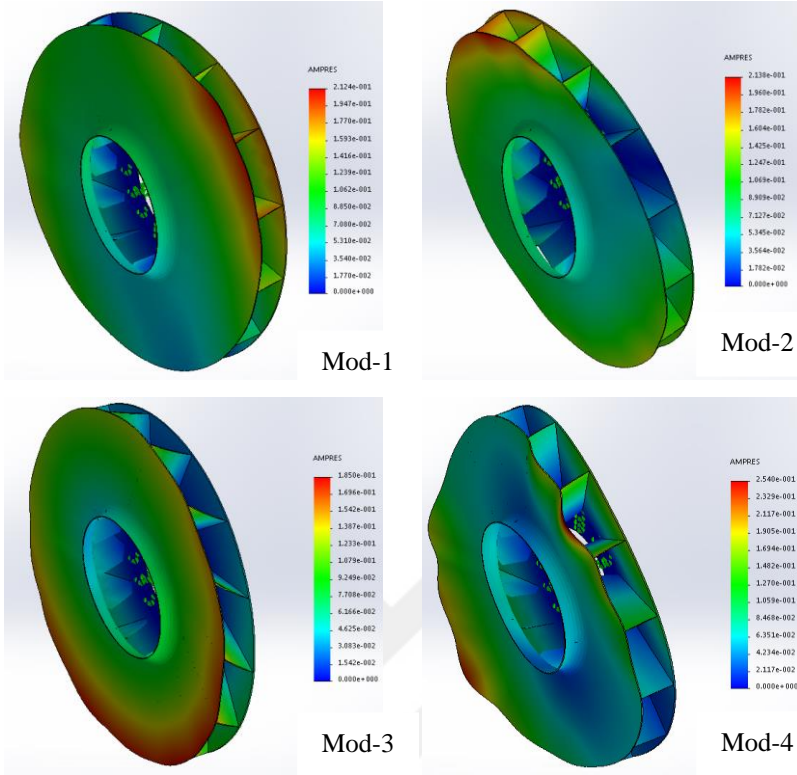


Şekil 4.56. 15 Adet kanat için analiz mod görünümüleri

Çizelge 4.30. Kanat sayısı (16) analiz sonuçları

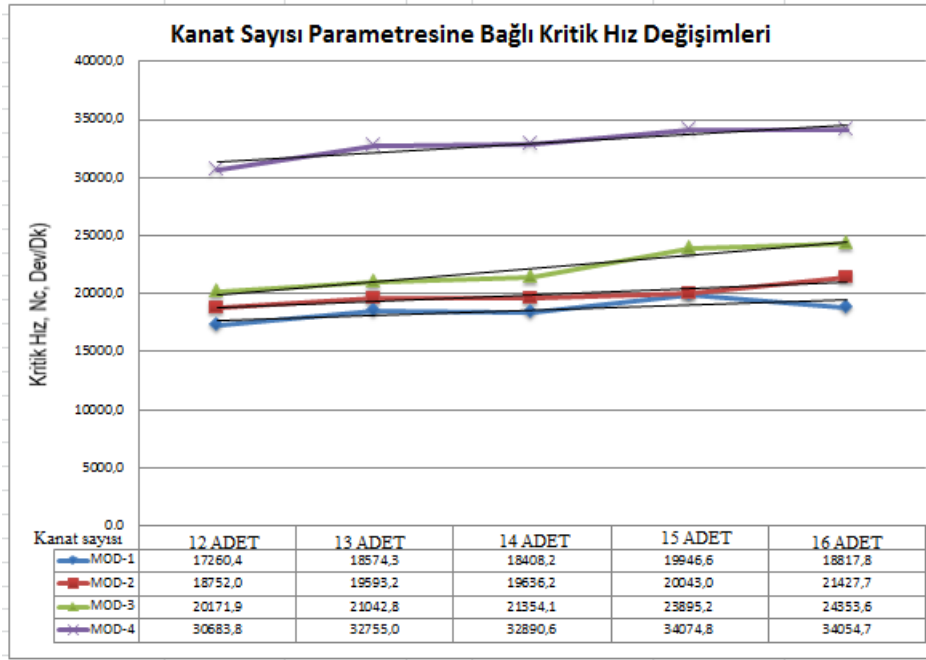
Kanat Sayısı: 16				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	1970,6	313.63	0.0031885	18817,8
2	2243,9	357.13	0.0028001	21427,7
3	2550,3	405.9	0.0024637	24353,6
4	3566,2	567.57	0.0017619	34054,7

Şekil 4.57' de 16 adet için toplam yer değiştirmeler gösterilmiştir.



Şekil 4.57. 16 adet kanat için analiz mod görünüşleri

Kanat sayısı için belirlenen parametrelerde titreşim analizi tamamlanmıştır. Fan için kritik devirler ve mod şekilleri yukarıda verilmiştir. Elde edilen kritik devirler ve kanat sayısı arasındaki ilişkiyi incelemek için veriler Excel ortamına aktarılarak parametre değişiminin kritik devirler üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğu incelenmiştir. Grafiklerde tüm kanat sayıları titreşim analiz mod sonuçları karşılaştırılmıştır. Grafiklerde dikey sütun kritik devir seviyelerini, yatay sütun parametre numaralarını göstermektedir. Parametre numaraları açısından kanat sayıları sırasıyla ve 1 adet aralıklarla 12 adet, 13 adet, 14 adet, 15 adet, 16 adet olarak işleme sokulmuştur.

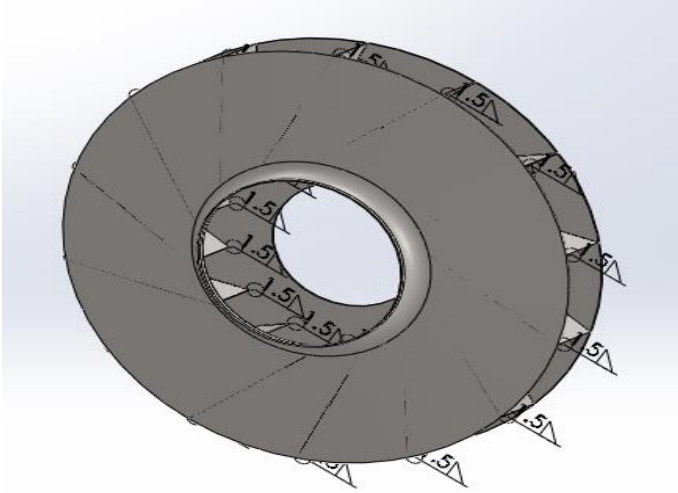


Şekil 4.58. Kanat sayısı için kritik hız değişimleri

Şekil 4.57’ de kanat sayısı parametrelerine bağlı olarak meydana gelen kritik hız değişimleri gösterilmiştir. Grafik tüm parametrelerin mod seviyelerini karşılaştırmaktadır. Mod-1’ de kanat sayısı değişimlerine bağlı olarak sırası ile artma, azalma, artma ve azalma meydana gelmiştir. Mod-2’ de sırası ile artma, artma, artma ve artma meydana gelmiştir. Mod-3’ te ise sırası ile artma, artma, artma ve artma meydana gelmiştir. Mod-4’ te ise sırası ile artma, artma, artma ve azalma meydana gelmiştir. Kanat sayısı parametre değişimlerine bağlı olarak kritik hız seviyelerinde artış meydana gelmiştir. Diğer yandan grafiğe bakılarak kanat sayısı parametre artışına bağlı olarak kritik hız seviyelerinde artış gözlemlenmiştir. Grafikte kanat sayısı ile debi arasındaki matematiksel bağlam ile doğruluk oranı gösterilmiştir. Kritik hız seviyeleri fan çalışma devir aralığında (750-3000 RPM) çıkmamıştır.

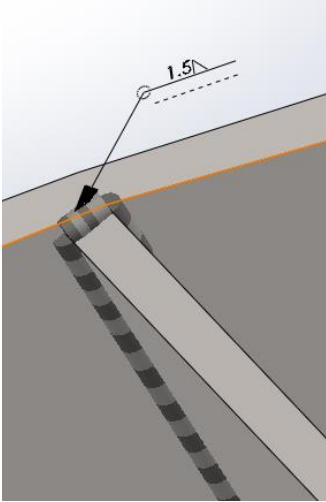
#### 4.3.6. Kanatların kaynaklı birleştirilmesinin kritik hızlara olan etkisi

Önceki bölümlerde modellenen fanlar tek parça (yekpare) olarak oluşturulmuştur. Bu bölümde fanın üç kısmı (ayna, ronde, kanat) ayrı ayrı oluşturulmuş ve tüm kanatlar ronde ve ayna üzerine kaynatılmıştır. Model SolidWorks ortamında parça tasarım ortamında oluşturulmuştur.



Şekil 4.59. Kaynaklı birleşim modeli

Kaynaklar kanat kalınlığının her iki tarafını kaplayacak şekilde sürekli olarak atılmıştır (Şekil4.60).



Şekil 4.60. Kaynaklı şekli

Kaynaklı birleştirmeler 5 farklı kanat tasarım unsuruna ait parametrelerden 3. parametrelere uygulanmıştır. Kaynaklı birleştirme işlemi tamamlandıktan sonra SolidWorks' te kritik hızları belirlemek için vibrasyon analizi yapılmıştır. Analiz girdi değerleri yekpare model için yapılan değerler ile aynı alınmıştır.

#### Kanat giriş açısı (58°) kaynaklı birleştirme analiz sonuçları

Kanat giriş açısı parametre değeri 58° için yekpare ve kaynaklı model analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.31. Kanat giriş açısı (58°) yekpare model kritik hız sonuçları

Giriş Açısı 58°				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	1895,6	301.69	0.0033147	18101,6
2	2115,2	336.64	0.0029705	20198,7
3	2352,9	374.48	0.0026704	22468,5
4	3438,5	547.25	0.0018273	32835,3

Çizelge 4.32. Kanat giriş açısı (58°) kaynaklı model kritik hız sonuçları

Giriş Açısı 58°				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	0,26248	0.041774	23.938	2,5
2	0,2772	0.044117	22.667	2,6
3	0,43469	0.069184	14.454	4,2
4	0,44754	0.071229	14.039	4,3

Çizelge 4.29 ve 4.30' da kaynaklı ve yekpare model analiz sonuçları gösterilmiştir. Yekpare modelde kritik hız seviyeleri çalışma devirleri seviyelerinde görülmektedir. Kaynaklı modelde kritik hız seviyeleri çalışma devirlerinde görülmemektedir.

#### Kanat kiriş uzunluğu (484,992 mm) kaynaklı birleştirme analiz sonuçları

Kanat kiriş uzunluğu parametre değeri 484,992 mm için yekpare ve kaynaklı analiz model sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.33. Kanat kiriş uzunluğu (484,992 mm) yekpare model kritik hız sonuçları

Kanat kiriş uzunluğu: 484,992				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	1126,1	179.22	0.0055798	10753,5
2	1152	183.35	0.005454	11000,8
3	2310	367.65	0.00272	22058,9
4	2337,3	371.99	0.0026882	22319,6

Çizelge 4.34. Kanat kiriş uzunluğu (484,992 mm) kaynaklı model kritik hız sonuçları

Kanat kiriş uzunluğu: 484,992				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	0,26248	0.041774	23.938	2,5
2	0,2772	0.044117	22.667	2,6
3	0,43469	0.069184	14.454	4,2
4	0,44754	0.071229	14.039	4,3

Çizelge 4.31 ve 4.32’ de kaynaklı ve yekpare model analiz sonuçları gösterilmiştir. Yekpare modelde kritik hız seviyeleri çalışma devirleri seviyelerinde görülmektedir. Kaynaklı modelde kritik hız seviyeleri çalışma devirlerinde görülmemektedir.

Kanat genişliği (149,987 mm) kaynaklı birleştirme analiz sonuçları

Kanat genişliği parametre değeri 149,987 mm için yekpare ve kaynaklı analiz model sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.35. Kanat genişliği (149,987mm) yekpare model kritik hız sonuçları

Kanat Genişliği: 149,987				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	1927,7	306.8	0.0032595	18408,2
2	2056,3	327.27	0.0030556	19636,2
3	2236,2	355.9	0.0028098	21354,1
4	3444,3	548.17	0.0018242	32890,6

Çizelge 4.36. Kanat genişliği (149,987mm) kaynaklı model kritik hız sonuçları

Kanat Genişliği: 149,987				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	0,26248	0.041774	23.938	2,5
2	0,2772	0.044117	22.667	2,6
3	0,43469	0.069184	14.454	4,2
4	0,44754	0.071229	14.039	4,3

Çizelge 4.33 ve 4.34’ de kaynaklı ve yekpare model analiz sonuçları gösterilmiştir. Yekpare modelde kritik hız seviyeleri çalışma devirleri seviyelerinde görülmektedir. Kaynaklı modelde kritik hız seviyeleri çalışma devirlerinde görülmemektedir.

Kanat yarıçapı (47499,164 mm) kaynaklı birleştirme analiz sonuçları

Kanat yarıçapı parametre değeri 47499,164 mm için yekpare ve kaynaklı analiz model sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.37. Kanat radüsü (47499,164 mm) yekpare model kritik hız sonuçları

Kanat Radüsü: 47499,164				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	1927,7	306.8	0.0032595	18408,2
2	2056,3	327.27	0.0030556	19636,2
3	2236,2	355.9	0.0028098	21354,1
4	3444,3	548.17	0.0018242	32890,6

Çizelge 4.38. Kanat radüsü (47499,164 mm) kaynaklı model kritik hız sonuçları

Kanat Radüsü: 47499,164				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	0,26248	0.041774	23.938	2,5
2	0,2772	0.044117	22.667	2,6
3	0,43469	0.069184	14.454	4,2
4	0,44754	0.071229	14.039	4,3

Çizelge 4.35 ve 4.36' da kaynaklı ve yekpare model analiz sonuçları gösterilmiştir. Yekpare modelde kritik hız seviyeleri çalışma devirleri seviyelerinde görülmektedir. Kaynaklı modelde kritik hız seviyeleri çalışma devirlerinde görülmemektedir.

#### Kanat sayısı (14 adet) kaynaklı birleştirme analiz sonuçları

Kanat sayısı parametre değeri 14 adet için yekpare ve kaynaklı analiz model sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.39. Kanat sayısı (14 adet) yekpare model kritik hız sonuçları

Kanat Sayısı: 14				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	1927,7	306.8	0.0032595	18408,2
2	2056,3	327.27	0.0030556	19636,2
3	2236,2	355.9	0.0028098	21354,1
4	3444,3	548.17	0.0018242	32890,6

Çizelge 4.40. Kanat sayısı (14 adet) kaynaklı model kritik hız sonuçları

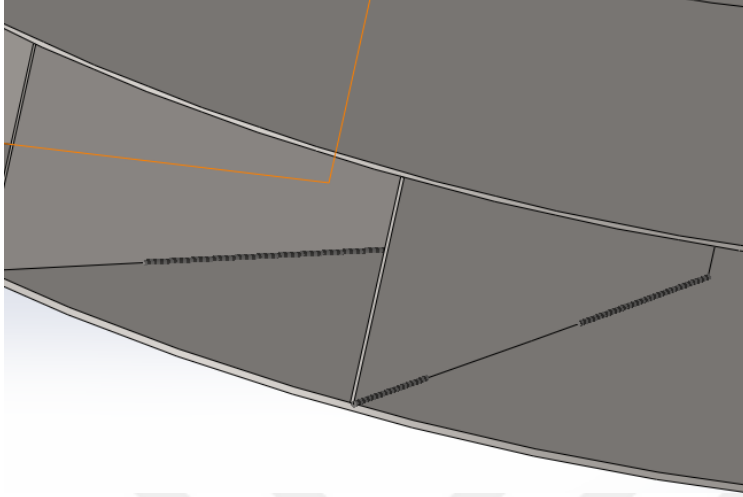
Kanat Sayısı: 14				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	0,26248	0.041774	23.938	2,5
2	0,2772	0.044117	22.667	2,6
3	0,43469	0.069184	14.454	4,2
4	0,44754	0.071229	14.039	4,3

Çizelge 4.37 ve 4.38' de kaynaklı ve yekpare model analiz sonuçları gösterilmiştir. Yekpare modelde kritik hız seviyeleri çalışma devirleri seviyelerinde görülmektedir. Kaynaklı modelde kritik hız seviyeleri çalışma devirlerinde görülmemektedir.

#### Düzensiz kaynak yönteminin kanat sayısı parametresine uygulanması ve kaynak işleminin kritik hızlara olan etkisinin incelenmesi

Kanat sayısı 12,13,14,15 ve 16 için SolidWorks ortamında çark tasarımı yapılmış kanat bağlantı noktalarına rastgele kaynak işlemi uygulanmıştır. Bu parametrenin düzensiz

kaynak yöntemi ile incelenmesinin sebebi; kanat sayısı değişiminin doğrudan kritik hız değerlerine etki etmesidir.



Şekil 4.61. Kanat düzensiz kaynak şekli

Fan modelleri SolidWorks ortamında oluşturulduktan sonra frekans analizi yapılmış, kritik hız değerleri tespit edilmiştir. Çizelge 4.38,4.39,4.40 ve 4.41’ de kritik hız değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.41. Kanat sayısı (12 adet) düzensiz kaynaklı model kritik hız sonuçları

Kanat Sayısı 12 adet				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	177,54	28.257	0.035389	1695,4
2	178,16	28.355	0.035267	1701,3
3	199,42	31.738	0.031508	1904,3
4	214,14	34.082	0.029341	2044,9

Çizelge 4.42. Kanat sayısı (13 adet) düzensiz kaynaklı model kritik hız sonuçları

Kanat Sayısı 13 adet				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	152,21	24.225	0.04128	1453,5
2	180,74	28.765	0.034764	1725,9
3	191,13	30.419	0.032874	1825,2
4	201,49	32.067	0.031184	1924,1

Çizelge 4.43. Kanat sayısı (14 adet) düzensiz kaynaklı model kritik hız sonuçları

Kanat Sayısı 14 adet				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	164,98	26.257	0.038085	1575,4
2	179,19	28.519	0.035065	1711,1
3	195,42	31.102	0.032152	1866,1
4	201,47	32.065	0.031186	1923,9

Çizelge 4.44. Kanat sayısı (15 adet) düzensiz kaynaklı model kritik hız sonuçları

Kanat Sayısı 15 adet				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	129,66	20.636	0.04846	1238,2
2	160,01	25.467	0.039267	1528,0
3	170,5	27.135	0.036852	1628,2
4	186,47	29.677	0.033696	1780,7

Çizelge 4.45. Kanat sayısı (16 adet) düzensiz kaynaklı model kritik hız sonuçları

Kanat Sayısı 16 adet				
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(s)	Devir/Dakika
1	154,03	24.514	0.040792	1470,9
2	176,22	28.046	0.035656	1682,8
3	197,55	31.441	0.031805	1886,5
4	209,09	33.277	0.03005	1996,7

Çizelge 4.38,4.39,4.40 ve 4.41' de ortak özellik kritik hız seviyelerinin fan çalışma devri (750-3000 RPM) aralığında olması ve sürekli bir artış göstermesidir. Kanatçıkların düzensiz olarak kaynatılması kritik devir değerlerinin fan motor devri çalışma aralığında çıkmasına neden olmuştur. Bu da fanın verimli çalışmasını doğrudan olumsuz etkilemektedir.



## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada fan kanat tasarım parametrelerinin fan vibrasyonu üzerindeki etkileri incelenerek vibrasyonun ve modlarının parametrelerden nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Fan imalatı tamamlandıktan sonra test aşamasında tespit edilen vibrasyon probleminin ek önlemler alınmaksızın tasarım aşamasında çözümü gerçekleştirilerek zaman, maliyet gibi üretim faktörlerinden tasarruf öngörülmüştür.

Çalışmada fan kanatçık tasarım parametrelerinden olan kanat giriş açısı, kanat kiriş uzunluğu, kanat genişliği, kanat yarıçapı ve kanat sayısı parametreleri için 5 farklı parametre değeri ile modelleme yapılmıştır. SolidWorks ortamında yapılan yekpare modelleme ile analizler yapılmış sonuçları tek tek karşılaştırılmıştır. Fan diskinde meydana gelen vibrasyonu doğrudan etkileyen en iyi parametre kanat sayısı olarak tespit edilmiştir. Diğer parametrelere ait vibrasyon sonuçlarında düzgün bir değişim elde edilememiştir. Tüm parametrelerde bir fan tasarım parametreleri grubu için SolidWorks ortamında disk tasarımı için kaynaklı birleştirme uygulanarak vibrasyon analizi yapılmıştır. Her bir parametre için yekpare ve kaynaklı model vibrasyon sonuçları karşılaştırıldığında düzgün kaynaklı modellere ait kritik devir seviyelerinde azalma görülmüştür. Düzgün kaynak işlemi burada disk kütlesi için dengeleyici unsur olarak görev yaptığından, 4 mod için fanın kritik hızlarının (2,5 ila 10 devir/dakika) fan rutin çalışma hızlarına (750 ila 3000 devir/dakika) nazaran oldukça düşük oranda (~ % 3) kaldığı tespit edilmiştir. Düzensiz kaynak işlemi varsayımı ile yapılan incelemede ise fanın kritik hızlarının (1238 ila 2044devir/dakika) fan rutin çalışma hızları aralığında kaldığı tespit edilmiştir. Son olarak kanat sayısı parametresine ait 5 farklı parametreye düzensiz kaynak işlemi uygulanarak frekans analizi yapılmıştır. Fan çalışma devirleri ile kritik devirlerin oldukça yakın olduğu, düzensiz kaynak işleminin vibrasyonu doğrudan etkilediği görülmüştür. Düzensiz kaynak işleminin fan kritik hızlarını fanın rutin çalışma hızlarına yükseltmesinin endüstriyel uygulamadaki karşılaşılan en önemli problemlerden olan fan bağlantı civatalarının kopmasının da kaynağı olduğu düşünülmektedir.

Çerçi (2010), V Basic ile hazırlanmış olduğu arayüz ile vantilatör tasarım sürecini kısaltmıştır. Saatlerce sürecek olan hesaplamalar program sayesinde saniyeler içerisinde elde edilebilmektedir. Bu çalışmada Excel programı ile oluşturulan arayüz ile hesaplama

süreci kısaltılarak programa girilen veriler ile saniyeler içerisinde çark tasarım ölçüleri elde edilebilmektedir.

Çalışmanın olumlu yönü; fanda meydana gelen ve test aşamasında tespit edilen vibrasyonun ek işlem yapılmaksızın tasarım aşamasında çözümünün sağlanmasıdır. Böylece vibrasyon kontrolü için gerekli olan maliyet, zaman, iş gücü gibi unsurlardan tasarruf edilecektir.

Çalışmanın yetersiz yönü; fanda minimum vibrasyon değeri için değiştirilen parametre değerlerinin debi ve basınç değişimlerine olan etkisi incelenmemiştir. Fanda minimum vibrasyon için en uygun parametrenin debi ve basınç üzerindeki etkisi incelenmemiştir.

Çalışmanın devamında yapılabilecek öneri; fan vibrasyon değerleri için kanatçık tasarım parametreleri ile analiz sonuçlarına bağlı olarak, debi ve basınç değişimlerinin incelenerek disk için en uygun parametre değerlerinin tespit edilmesidir.

## KAYNAKLAR

1. Mohaiden, M.M. (2012). Optimizations of Backward Curved Aero foil Radial Fan Impeller Using Finite Element Modeling, *Procedia Engineering*, 1592-1598.
2. Trebuna, F. , Simcak, F. , Bocko, J. , Hunady, R. and Pastor, M.(2014). Complex Approach to the Vibrodiagnostic Analysis of Excessive Vibration of the Exhaust Fan, *Engineering Failure Analysis*, 86-95.
3. Han, H.S., Mo J. Y. , Kim. C. H. and Lee, J.K. (2006). Electrical and Structural Design of Air-conditioning Fan Motor For Noise Reduction, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 1653-1661.
4. Esen, O. (2011). *Radyal ve Geriye Eğik Kanatlı Santrifuj Vantilatörlerin Bilgisayar Destekli Frekans Analizi ile Gürültülerinin Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
5. Çerçil, C.(2010). *Bilgisayar Destekli Merkezkaç Vantilatör Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
6. Gökelim, A. T.(1983). *Endüstriyel Fan ve Kompresör Tesisleri*, İstanbul: Birsen Yayınları.
7. İnternet:Grabcad,Fanmodels.URL:[http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fgrabcad.com%2Flibrary%3Fpage%3D1%26time%3Dall\\_time%26sort%3Drecent%26query%3Dfan&date=2016-07-14](http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fgrabcad.com%2Flibrary%3Fpage%3D1%26time%3Dall_time%26sort%3Drecent%26query%3Dfan&date=2016-07-14), Son Erişim Tarihi: 14.07.2016
8. Çakmanus, İ.(2012). *Endüstriyel Fanlar, Tasarım, İmalat ve Enerji Verimliliği*, (İkinci Basım),Ankara: DOĞA Yayıncılık.
9. İnternet: DEMİR, Cihan. Titreşim ile İlgili Temel Kavramlar. URL:[http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.yildiz.edu.tr%2F%7Ecdemir%2FTitresim%2520Bilgileri\\_1.pdf&date=2016-07-14](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.yildiz.edu.tr%2F%7Ecdemir%2FTitresim%2520Bilgileri_1.pdf&date=2016-07-14), Son Erişim Tarihi: 14.07.2016



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DİNÇ, Mustafa  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 04.08.1988, Afyonkarahisar  
 Medeni hali : Bekâr  
 Telefon : 0 (554) 934 27 79  
 e-mail : mustafadinc1988@gmail.com



### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi / Mak. Eğt.	2011
Lise	Atatürk Anadolu Denizcilik Mes. Lis.	2006

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-Halen	Alfer Mühendislik A.Ş.	Teknik Ressam
2010-2011	Mersan Metal Ltd. Şti.	Teknik Ressam

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

Bisiklet sürmek, Ney üflemek



*GAZİ GELECEKTİR...*