



EĞİK ŞOK DALGALARINDA EKSERJİ ANALİZİ

Esra Nur TOPAL

**Yüksek lisans tezi
Makine Mühendisliği**

Ana Bilim Dalı

Doç. Dr. Rabi KARAALI

2023

(Her Hakkı Saklıdır)

T.C.
BAYBURT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

EĞİK ŞOK DALGALARINDA EKSERJİ ANALİZİ
(Exergy Analysis in Oblique Shock Waves)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Esra Nur TOPAL

Danışman: Doç. Dr. Rabi KARAALİ

Bayburt
Ekim, 2023

KABUL ONAY TUTANAĐI

Doç. Dr. Rabi KARAALI danışmanlığında, 202201004 Numaralı Esra Nur TOPAL tarafından hazırlanan “EĞİK ŞOK DALGALARINDA EKSERJİ ANALİZİ” konulu bu çalışma tarihinde aşığıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan :

İmza:

Jüri Üyesi :

İmza:

Jüri Üyesi :

İmza:

Bu tezin Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğı'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

...../...../.....

Doç. Dr. Murat KUL

Enstitü Müdürü

ETİK VE BİLDİRİM SAYFASI

Yüksek Lisans Tezim olan “Eğik Şok Dalgalarında Ekserji Analizi” başlıklı çalışmanın tarafımdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını ve yararlandığım eserleri kaynakçada gösterdiğimi beyan ederim.

..... / / 2023

(İmza)

Esra Nur TOPAL

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda ve araştırmalarımnda her türlü desteği sağlayan değerli hocam Doç. Dr. Rabi KARAALİ' ye içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmamı destekleyen hocalarıma, aynı üniversiteden ve farklı üniversitelerden yardımcı olan bütün arkadaşlarıma, ayrıca çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan ailem ve mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.



ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EĞİK ŞOK DALGALARINDA EKSERJİ ANALİZİ

Esra Nur TOPAL

Ekim 2023, 80 sayfa

Akış alanındaki şok dalgalarını analiz ederken, akış yönünden gelişigüzel bir açıyla sapan şok dalgası eğik şok olarak adlandırılır. Bu şoklar, akışın bir bileşen vektör analizini gerektirir. Bunu yapmak, akışın eğik şoka dik bir yönde normal bir şok olarak muamele edilmesine izin verir. Eğik şoklar çoğunlukla süpersonik akımın kendi içine doğru döndüğü yerlerde oluşur. Eğik şok dalgasını geçerken Mach sayısı azalmakla birlikte akım ses altı rejime inmez. Ekserji; iş ya da iş yapabilme kabiliyetidir. Enerji, bir proseste daima korunabilirken, ekserji ise daima tersinir proseslerde korunabilmekte, gerçek proseslerde ise, tersinmezlikler nedeniyle tüketilmektedir. Ekserji analizi, büyük ölçüde kullanılabilir enerji analizinin tespitidir. Ekserji, kullanılabilir enerji ve kullanılabilirliği ciddi derecede benzerdir. Ekserji analizi, bir sistemin enerji analizinden farklıdır. Ekserji analizinin sonuçları genellikle, bir sistemdeki proseslerin daha fazla anlamlı ve duyarlı gösterilmesini sağlamak için göz önüne alınmaktadır. Bu tez, eğik şok dalgalarının ekserji analizi yapılarak, mevcut sistemlerdeki eğik şok dalgalarının ortaya çıkaracağı enerjinin kontrolünün mümkün olup olmayacağını açığa kavuşturacaktır.

Anahtar Kelimeler: Eğik şok, eğik şok dalgaları, ekserji, ekserji analizi

ABSTRACT
MASTER'S THESIS
EXERGY ANALYSIS IN OBLIQUE SHOCK WAVES

Esra Nur TOPAL

October 2023, 80 pages

When analyzing shock waves in the flow field, the shock wave deviating from the flow direction at an arbitrary angle is called an oblique shock. These shocks require a component vector analysis of the flow; Doing so allows the flow to be treated as a normal shock in a direction perpendicular to the oblique shock. Oblique shocks mostly occur where the supersonic current turns inward. While the Mach number decreases while passing the oblique shock wave, the current does not go down to the subsonic regime. Exergy; job or the ability to do work. While energy can always be conserved in a process, exergy can always be conserved in reversible processes, while in real processes it is consumed due to irreversibility. Exergy analysis is largely the determination of usable energy analysis. Exergy, usable energy and availability are remarkably similar. Exergy analysis is different from energy analysis of a system. The results of exergy analysis are generally considered to provide a more meaningful and sensitive representation of processes in a system. In this thesis, it will be clarified whether it is possible to control the energy of oblique shock waves in existing systems by performing exergy analysis of oblique shock waves.

Keywords: Oblique shock, oblique shock waves, exergy, exergy analysis.

İÇİNDEKİLER

ETİK VE BİLDİRİM SAYFASI	I
TEŞEKKÜR.....	II
ÖZ	III
ABSTRACT	IV
İÇİNDEKİLER	V
TABLolar DİZİNİ	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
KISALTMALAR DİZİNİ	XII

BİRİNCİ BÖLÜM

Giriş	1
Şok Dalgası	1
Şok Dalgası Çeşitleri	1
Normal şok dalgaları	1
Eğik şok dalgaları.....	2
Yay şok dalgaları	2
Subsonik şok dalgaları.....	3
Transonik şok dalgaları	3
Süpersonik şok dalgaları.....	3
Hipersonik şok dalgaları.....	3
Mach Sayısı	5
Genişleme Dalgası	5
Şok ve genişleme dalgalarının oluşumu	6
Ekserji	7
Ölü Hal.....	7
Ekserji Çeşitleri	7
Fiziksel Ekserji	7

Kimyasal Ekserji	8
Literatür	9

İKİNCİ BÖLÜM

Materyal ve Metot.....	15
Normal Şok Denklemleri	15
Eğik Şok Denklemleri	17
Ekserji Analizi	21
Şok Dalgalarında Ekserji Analizi	22
Eğik Şok Dalgalarında Ekserji Analizi	24
Hipersonik Şok Denklemleri ve Analizi	27
Hipersonik Dalgaların Grafikselsel İzlenimi	32
Ekserji kayıpları ve Termodinamik Denklik Bağlıntıları	36
Bir Sistem İçin Giren ve Çıkan Ekserjiler	36
Ekserji Verimleri.....	37
Termodinamik Denklik Bağlıntıları	38

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Bulgular ve Tartışma	39
Hipersonik Araç Gövdelerinin Ekserji Optimizasyonu ile Tasarımı	45
Örnek Bir Hipersonik Aracın Gövdesinin Ekserji Optimizasyonu İle Tasarımı	46

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Sonuçlar.....	47
Kaynakça	48
Ekler	52
Öz geçmiş	80

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Şok dalga cinslerine göre Mach ve hız değerleri	5
Tablo 2. Çeşitli maddelerin bazı hallerde ki standart kimyasal ekserjileri	9
Tablo 3. Zayıf şok açısı, Ma_1 , Ma_2 , P_2/P_1 , T_2/T_1 , ρ_2/ρ_1 , ρ_1 , V , $\dot{m}$, $S_{üret}$ ve için hesaplama sonuçları (2000 metre rakım için I_{irr} değerleri ve $Ma_1=5$)	42
Tablo 4. 10 derece dönüş açısı için kademeli sıkıştırma sonuçları	46
Tablo 5. En düşük derece dönüş açısı için gövdenin kademeli sıkıştırma sonuçları	46
Tablo 6. $Ma=2$ 'ye göre zayıf şok	52
Tablo 7. $Ma=2$ 'ye göre güçlü şok	52
Tablo 8. $Ma=3$ 'e göre zayıf şok	53
Tablo 9. $Ma=3$ 'e göre güçlü şok	53
Tablo 10. $Ma=4$ 'e göre zayıf şok	54
Tablo 11. $Ma=4$ 'e göre güçlü şok	55
Tablo 12. $Ma=5$ 'e göre zayıf şok	55
Tablo 13. $Ma=5$ 'e göre güçlü şok	56
Tablo 14. $Ma=6$ 'ya göre zayıf şok	57
Tablo 15. $Ma=6$ 'ya göre güçlü şok	57
Tablo 16. $Ma=7$ 'ye göre zayıf şok	58
Tablo 17. $Ma=7$ 'ye göre güçlü şok	58
Tablo 18. $Ma=8$ 'e göre zayıf şok	59
Tablo 19. $Ma=8$ 'e göre güçlü şok	59
Tablo 20. $Ma=9$ 'a göre zayıf şok	60
Tablo 21. $Ma=9$ 'a göre güçlü şok	60
Tablo 22. $Ma=10$ 'a göre zayıf şok	61
Tablo 23. $Ma=10$ 'a göre güçlü şok	61
Tablo 24. Hyükseklik= 2000 m için zayıf şokun entropisi	62
Tablo 25. Hyükseklik= 2000 m için güçlü şokun entropisi	62

Tablo 26. <i>Hyükseklik= 4000 m için zayıf şokun entropisi</i>	63
Tablo 27. <i>Hyükseklik= 4000 m için güçlü şokun entropisi</i>	63
Tablo 28. <i>Hyükseklik= 6000 m için zayıf şokun entropisi</i>	64
Tablo 29. <i>Hyükseklik= 6000 m için güçlü şokun entropisi</i>	64
Tablo 30. <i>Hyükseklik= 8000 m için zayıf şokun entropisi</i>	65
Tablo 31. <i>Hyükseklik= 8000 m için güçlü şokun entropisi</i>	65
Tablo 32. <i>Hyükseklik= 10000 m için zayıf şokun entropisi</i>	66
Tablo 33. <i>Hyükseklik= 10000 m için güçlü şokun entropisi</i>	66
Tablo 34. <i>Hyükseklik= 12000 m için zayıf şokun entropisi</i>	67
Tablo 35. <i>Hyükseklik= 12000 m için güçlü şokun entropisi</i>	67
Tablo 36. <i>Hyükseklik= 14000 m için zayıf şokun entropisi</i>	68
Tablo 37. <i>Hyükseklik= 14000 m için güçlü şokun entropisi</i>	68
Tablo 38. <i>Hyükseklik= 16000 m için zayıf şokun entropisi</i>	69
Tablo 39. <i>Hyükseklik= 16000 m için güçlü şokun entropisi</i>	69
Tablo 40. <i>Hyükseklik= 18000 m için zayıf şokun entropisi</i>	70
Tablo 41. <i>Hyükseklik= 18000 m için güçlü şokun entropisi</i>	70
Tablo 42. <i>Hyükseklik= 20000 m için zayıf şokun entropisi</i>	71
Tablo 43. <i>Hyükseklik= 20000 m için güçlü şokun entropisi</i>	71
Tablo 44. <i>Hyükseklik= 22000 m için zayıf şokun entropisi</i>	72
Tablo 45. <i>Hyükseklik= 22000 m için güçlü şokun entropisi</i>	72
Tablo 46. <i>Hyükseklik= 24000 m için zayıf şokun entropisi</i>	73
Tablo 47. <i>Hyükseklik= 24000 m için güçlü şokun entropisi</i>	73
Tablo 48. <i>H değerine göre m değerleri</i>	74
Tablo 49. <i>Şok zayıf açılara göre entropi hesabı</i>	74
Tablo 50. <i>Şok güçlü açılara göre entropi hesabı</i>	75
Tablo 51. <i>Zayıf sapma açısı ve yüksekliğe göre entropi üretimi</i>	75
Tablo 52. <i>Zayıf sapma açısı ve yüksekliğe göre entropi üretimi -2</i>	76

Tablo 53. Güçlü sapma açısı ve yüksekliğe göre entropi üretimi	76
Tablo 54. Güçlü sapma açısı ve yüksekliğe göre entropi üretimi -2	77
Tablo 55. Zayıf Açı İçin; I_{irr} (kW) Değerleri-1.....	77
Tablo 56. Zayıf Açı İçin; I_{irr} (kW) Değerleri-2.....	78
Tablo 57. Güçlü Açı İçin; I_{irr} (kW) Değerleri-1	78
Tablo 58. Güçlü Açı İçin; I_{irr} (kW) Değerleri-2	79



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Bulunduğu ortama göre eğik şok dalgaları	2
Şekil 2. Genişleme dalgası	6
Şekil 3. Verilen bir durum ile çevre arasındaki fiziksel ekserji	8
Şekil 4. Verilen iki durum arasındaki fiziksel ekserji	8
Şekil 5. Şok dalgası	15
Şekil 6. Normal şoktan geçen akışın h-s diyagramı	16
Şekil 7. Eğik şok dalgası	17
Şekil 8. Eğik şok diyagramı	20
Şekil 9. Eğik şok dalgalarının θ değerine göre çözümü	21
Şekil 10. h-s diyagramı normal şokta ki akışın	23
Şekil 11. Normal dalgadan geçişte akış özelliklerinin değişimi	23
Şekil 12. Normal şok öncesi ile sonrası entropi değişimi	24
Şekil 13. Kama sırasında oluşan eğik şok	25
Şekil 14. Köşedeki ses üstü sıkıştırmadan dolayı eğik şok	25
Şekil 15. Eğik şok diyagramı	26
Şekil 16. Şok açısına karşı sapma açısı	27
Şekil 17. MHD sistemine sahip kavramsal bir hipersonik araç	29
Şekil 18. Mach sayısına karşı eğik şok açısı	30
Şekil 19. Kaynaktan sabit sıcaklıkta ısı enerjisi değişimi ekserji dengesi	32
Şekil 20. Kaynaktan doğrusal sıcaklık profili termal enerji değişimi ekserji dengesi	33
Şekil 21. Kaynaktan sabit sıcaklıkta termal enerji değişimi ekserji dengesi	33
Şekil 22. Kaynaktan doğrusal sıcaklık profili termal enerji değişimi ekserji dengesi	34
Şekil 23. Isıtmalı ve ısıtmasız yok edilen ekserji	34
Şekil 24. Termal şok uyarlamalı giriş toplam basıncı	35
Şekil 25. Şok girişi uyarlaması ile giriş toplam sıcaklığı	35
Şekil 26. Şok girişi uyarlamalı giriş yoğunluğu	36

Şekil 27. Sistemin giren çıkan ekserjileri	37
Şekil 28. Atmospheric Calculator	40
Şekil 29. Oblique Flow Relations_1.....	40
Şekil 30. Oblique Flow Relations_2.....	41
Şekil 31. Zayıf şok açılarında Mach değerlerine göre entropi	43
Şekil 32. Güçlü şok açılarında Mach değerlerine göre entropi	43
Şekil 33. Zayıf şok açılarında yükseklik değerlerine göre entropi	44
Şekil 34. Güçlü şok açılarında yükseklik değerlerine göre entropi	44
Şekil 35. Zayıf şok açılarında yükseklik değerlerine göre tersinmezlik	45
Şekil 36. Güçlü şok açılarında yükseklik değerlerine göre tersinmezlik	45
Şekil 37. Akışın kademeli olarak sıkıştırılması	46
Şekil 38. Hipersonik aracın gövdesinin ekserji optimizasyonu	46

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

C	: Isı kapasitesi (kJ/kgK)
CP	: Sabit basınçta ısı kapasitesi (kJ/kgK)
CV	: Sabit hacimde ısı kapasitesi (kJ/kgK)
E	: Enerji (kJ)
EX	: Ekserji (kJ)
e	: Birim enerji(kJ/kg)
ε	: Birim ekserji(kJ/kg)
h	: Entalpi
I	: Tersinmezlik
M(Ma)	: Mach sayısı
P	: Basınç (kPa)
β	: Şok açısı
θ	: Sapma açısı
T	: Sıcaklık
D	: Verim
w	: İş
s	: entropi
K	: Kelvin
m	: Metre
°	: Derece
Ep	: Potansiyel Enerji
Ek	: Kinetik Enerji
V	: Hız
U/u	: Hız
γ	: Özgül ısı oranı
NASA	: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi

NASP : Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık Programı

irr : Tersinmezlik



BİRİNCİ BÖLÜM

Giriş

Şok Dalgası

Hava, düşük hızlar ile sıkıştırılamaz. Örnek olarak bir uçak yavaş hareket ettiğinde hareket yönündeki hava kütleleri uçaktan kaçabilecekleri zaman olduğundan, uçak bir sıkışma etkisi yaratamaz. Uçağın hızı arttıkça zamana göre durum değişir. Uçağın hareket ettiği yönden kaçamayan hava tanecikleri ile ses hızında hareket eden uçağın hızı birbirine eşit olur ve bu durumda uçağın önünde kalan bu hava taneleri sıkışarak şok dalgalarını oluşturur. Uçak hızı arttıkça bu hızı engelleyen direncin karşısında daha büyük bir güç gerekmektedir.

Ses hızından yükseklerde ilerleyen uçaklar zamanla önündeki kararsız haldeki hava moleküllerini de etkisine alıp ileri doğru hareket ettirmeye başlar. Bir patlama ile kararsız moleküller şok dalgası oluşturarak küresel şekilde yayılmaya başlar. Ses hızında hareket eden bu şok dalgası kulağa ulaştığında duyulan şey bir patlama sesidir.

Şok dalgası, bir akışkanın yerel ses hızından daha hızlı hareket ettiğinde ortaya çıkardığı dalga türüdür. Şok dalgası diğer dalgalar gibi enerji taşır ve bir ortam yardımıyla yayılır. Bir şok dalgasının hızı ve enerjisi uzaklık ile dağılır. Süpersonik akışlardaki genişleme şekli Prandtl-Meyer genişleme şekli olarak da adlandırılan bir genişleme hali ile sağlanır (Anderson, & John, 1984).

Bir şok dalgasının enerjisi ve hızı tek başına mesafe ile nispeten hızlı bir şekilde dağılır. Bir şok dalgası maddeden geçtiğinde enerji korunur ancak entropi artar. Maddenin özelliklerindeki bu değişiklik, iş olarak elde edilebilecek enerjide bir azalma ve süpersonik cisimler üzerinde bir sürüklenme kuvveti olarak kendini gösterir ki şok dalgaları şiddetle geri döndürülemez süreçlerdir.

Şok Dalgası Çeşitleri

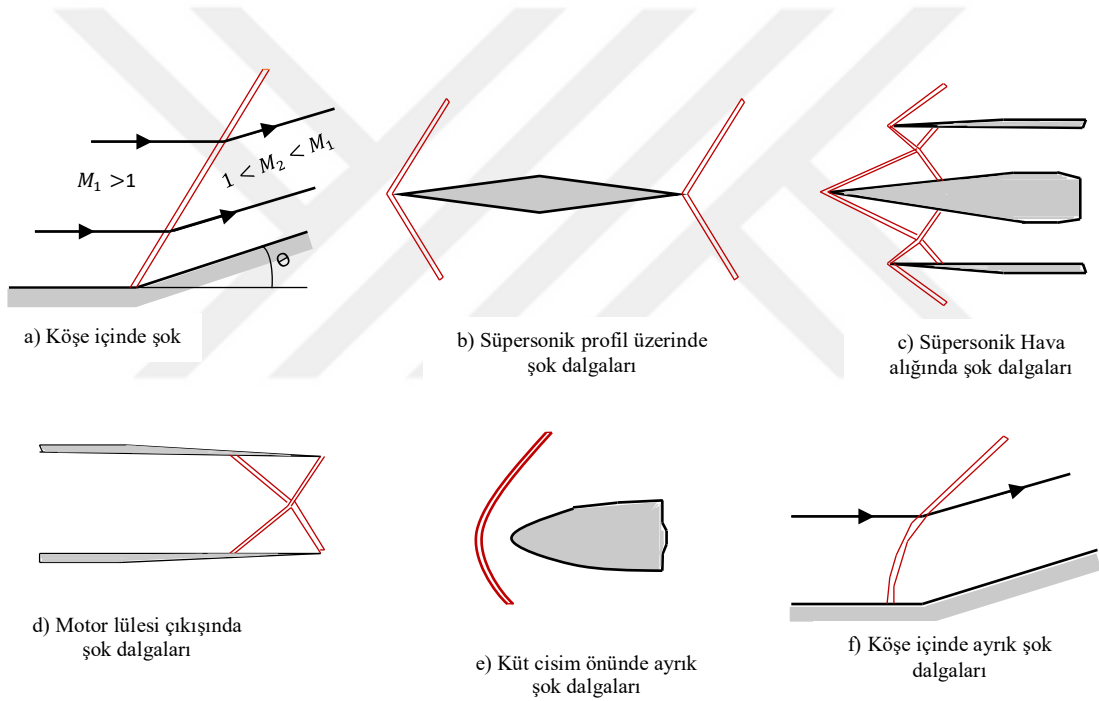
Normal şok dalgaları.

Şok dalgası, akışkanlar mekaniğinde entropinin bir sonsuz küçük bölgede artan süreksizlik durumu olarak da ele alınır. Akışkan akışı sürekli olduğundan, kontrol yüzeyleri veya şok dalgasının çevresinde de bir kontrol hacmi oluşturur. Şok bu iki yüzey arasında

kalacak şekilde küçük bir derinlikle ayrılır. Bu yüzeylerde enerji, kütle akışı ve momentum sabittir. Yanmada patlamalar şok dalgası içine ısı girişi gibi modellenenebilir. Sistemin adyabatik ve bir iş yapmadığı farz edilir. Şok ortamının akış yönüne 90^0 (dik) (Anderson, & John, 1984).

Eğik şok dalgaları.

Şok dalgası, eğer akış yönünden herhangi bir açıyla sapan bir şok dalgası ise buna eğik şok denir. Bunlar akışın vektör yönünden analiz edilmesini gerektirir. Bunun için, akışın eğik bir şok dik yönde normal şok olarak aktığı varsayılır (Markell, 2005). Eğik şoklar çoğu zaman ses üstü akışın kendi içine doğru döndüğünde ortaya çıkar. Eğik şokun özel hallerinden biri de normal şok halidir. Mach sayısı eğik şok dalgasını geçerken azalır ancak akış ses altına inmez. Sıcaklık, basınç, yoğunluk ve bazı özellikler ise bir artış gösterir (Yıldırım, 2006).



Şekil 1. Bulunduğu ortama göre eğik şok dalgaları (Yıldırım, 2006).

Yay şok dalgaları.

Bir akışta yukarı yönde akış hızı Mach=1'i aştığındaki kör bir nesnenin önünün (pruvasının) akışın üzerinde meydana gelir. Yüzeyde olamayacak bir şekilde eğik bir şok oluşması olası olduğundan, şok dalgasının cisim etrafında sürekli bir model oluşturacağı ve doğrusal olmayan bir olgu olduğu ortaya çıkar. Bu türlere yay şoku adı verilir. Burada, yüzeye gelen basıncı bulmak için daha fazla analize ihtiyaç vardır. Yani burada 1d akış modeli geçerli değildir (Markell, 2005).

Subsonik şok dalgaları.

Aerodinamik ortamda ses hızının daha altında bulunan hızları ($0 < \text{Mach} < 1$) belirtmek için kullanılan terimdir.

Transonik şok dalgaları.

Aerodinamik ortamda ses hızının çok az miktar altında veya çok az üzerindeki hızları açıklamak amacıyla kullanılan bir terimdir. Bu ortamda Mach sayısı 0.8 ile 1.2 arasındadır.

Süpersonik şok dalgaları.

Süpersonik kavramı ses hızının $\text{Mach}=1$ ve bu hızın üzeri olan hızları tanımlamak amacıyla kullanılan terimdir. Bazı teorilere göre de 1.2 veya 1.3 Mach sayısından yukarıdır.

Deniz seviyesinde, havadaki sesin hızı yaklaşık 340 m/s ya da 1,225 km/h kabul edilir. Uzun süre sesten hızlı uçuşa dayanabilecek, motor ve gövdesi buna uygun olan uçaklara süpersonik veya ses üstü uçaklar denir. Savaş uçaklarının günümüzdeki büyük bir kısmı süpersonik uçaklardan oluşmaktadır. Bloodhound SSC veya F-16 bunlara örnek verilebilir (Yıldırım, 2006).

Hipersonik şok dalgaları.

Hipersonik akış veya uçuş, Mach sayısının 5 veya 6'dan büyük olduğu akışlarla ilgili geleneksel temel kurallara dayalı olarak tanımlanır. Ses altı akıştan süpersonik akışa ilerlemenin aksine, akışın ses üstü hızlardan hipersonik hızlara hızlanmasıdır. Hipersonik akış Mach sayısı yükseldikçe belirli fiziksel akış fenomenlerinin en iyi değerlere yükseltildiği ve giderek daha önemli hale geldiği rejim olarak tanımlanır.

Hipersonik akışın öne çıkan bir diğer özelliği, eğik şok teorisinin öngördüğü gibi bir vücut üzerinde ince şok katmanlarının oluşturmasıdır.

İnce şok katmanları, şok dalgasının kendisinin sınır katmanıyla birleşmesi gibi bazı fiziksel komplikasyonlar yaratabilir ve bu da sınır katmanının ayrılmasına yol açabilir. Bu durum, düşük Reynolds sayılarında, yani yüksek uçuş irtifalarında, giderek daha önemli hale gelir.

Hipersonik akışın bir diğer özelliği ise bir şok dalgası ayrılma noktasının bölgesinde meydana gelen, daha sonra aşağı yönde akmaya devam eden ve sınır tabakasını etkileyen bir entropi tabakası oluşturmasıdır. Entropi tabakası aynı zamanda yüzeyde standart bir sınır tabaka

hesaplaması yapılırken analitik problemlere neden olma eğiliminde olan güçlü bir girdap bölgesi oluşmasını sağlar (Myles, Huang, David, & José, 2007).

Hipersonik akışta üçüncü bir özellik, gerekli kütle akışını sınır tabakasından azaltılmış yoğunlukta geçirmek için gereken büyük sınır tabakası kalınlıklarından kaynaklanan viskoz etkileşimi yenebilir. Hipersonik sınır tabakaları, daha yavaş hızlarda daha hızlı büyür ve sonuç olarak, sınır tabakasının dışındaki viskoz olmayan akış üzerinde büyük bir yer değiştirme etkisi uygulayarak belirli bir vücut şeklinin gerçekte olduğundan çok daha kalın görünmesine neden olur. Viskoz etkileşimler, hipersonik araçların kaldırma, sürüklenme ve stabilizesini etkileyen yüzey basınç dağılımının önemli etkilerine sahip olabilir.

Hipersonik şok dalga akışında en önemli nokta, hipersonik sınır tabakaları içinde ve araç uç bölgesinde meydana gelebilecek çok yüksek sıcaklıklardır. Bu aşırı sıcaklıklar, gaz moleküllerinin ayrışmasına ve gaz içinde iyonlaşmaya neden olabilir. Bu sebeple, kimyasal olarak reaksiyona girenlerin etkileri kontrollü olarak sistemle etkileştirilmesi, doğru bir şok katmanı sıcaklığının hesaplanması için hayati önem taşır. Bazı durumlarda, hipersonik bir aracın şok katmanında veya burun bölgesinde, özellikle atmosferik ortamda yeniden giriş sırasında 10.000 K veya daha yüksek sıcaklıklar meydana gelir. Hipersonik aerodinamiğin son bir özelliği, aşırı yükseklerde düşük yoğunluk durumunu meydana getiren akışlardır. Bu koşullar altında, sürekli bir ortam (yani süreklilik) varsayımına dayanan aerodinamik kavramlar, denklemler ve sonuçlar bozulmaya başlar ve sonuç olarak aerodinamik davranışı tahmin etmek için, kinetik teorilere dayanan yöntemler kullanılmalıdır (Myles *vd.*, 2007).

Havacılığın ve uçağın gelişimi, sürekli olarak daha hızlı ve daha yüksek irtifalarda uçuş ve daha büyük uçuş menzilleri elde etme dürtüsü tarafından yönlendirildi.

Bu eğilimi sürdürmek için hipersonik araçların geliştirilmesi ve ramjet ve scramjet motorlarının kullanılması her zamankinden daha önemli hale geldi.

Bu araçlar ve motorlar, maliyeti düşürme ve yüklerin Dünya yörüngelerine taşınmasının güvenilirliğini artırma potansiyeli sunar.

Uzay araç konsepti, Savunma Bakanlığı ile NASA arasında ortak bir program olan Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık Programı (NASP) tarafından önerilmiştir. NASP programının amacı, konvansiyonel havaalanlarını kullanan, hipersonik hızlara çıkarılan, yörüngeye tek aşamada ulaşan, uzaya faydalı yükleri ulaştıran, itici güçle Dünya'ya dönen, pilotlu, yatay kalkış ve iniş yapan bir uçağın fizibilitesini geliştirmek ve göstermektir. Uçaklar çalışabilir, esnek, desteklenebilir ve ekonomik olma potansiyeline sahiptir (Myles *vd.*, 2007).

Mach Sayısı

Akışkanlar mekaniğindeki Mach sayısı, mekanikte bir akışkanın hızının o akışkandaki ses hızına oranına denir. M veya Ma sembolü ile belirtilir. Avusturyalı filozof ve fizikçi olan Ernest Mach (1838-1916) tarafından geliştirilmiş ve tanımlanmıştır. Ernest Mach 'tan önce bu konu hakkında Fransız fizikçi Sarrau da incelemede bulunmuştur. Bundan dolayı Mach sayısına Sarrau sayısı da denir. $M=V/a$ olarak formüle edilir. Burada M Mach sayısını, V gerçek hava hızını, a yerel ses hızını ifade eder. Ses hızı yükseklikle değişen bir özelliktir ve yerden yükseldikçe hava sıcaklığı ve ses hızı azalır. Hızın karesi hava sıcaklığı ile arttığından dolayı Mach sayısı daha yükseklerde deniz seviyesine göre daha düşük olur. Bir akışın gaz veya sıvı ortamdaki sıkıştırılamaz bir akış olarak ele alınacağı yaklaşımını belirlemek için Mach sayısı kavramı kullanılır (Yıldırım, 2006).

Sınır tabaka, ortam boyunca akarken sabit olabilir, ortam içinde hareket edebilir ya da ikisinde de farklı hızlarda hareket edebilir. Burada birbirlerine göre göreceli hızları önemlidir. Bu sınır, ortamın içine batmış bir nesnenin ya da ortamı katalize eden rüzgâr tüneli, bir püskürtme memesi ya da bir difüzör gibi bir kanalın sınırı olarak ortaya çıkmış olabilir. Mach sayısı iki hızın oranı olarak tanımlandığından boyutsuz nicelikte bir sayıdır. Mach sayısı 0,2-0,3 değerlerinden küçük ve akış yarı sabit ve izotermal ise, sıkıştırılabilirlik etkileri küçük olacaktır ve basitleştirilmiş sıkıştırılamaz akış denklemleri kullanılabilir. Literatürde, 15 derece hava sıcaklığında ve 1 ATM basınçta, 1 Mach=340 metre/saniye ya da 1226,5 km/saat olarak kabul edilir (Myles vd, 2007).

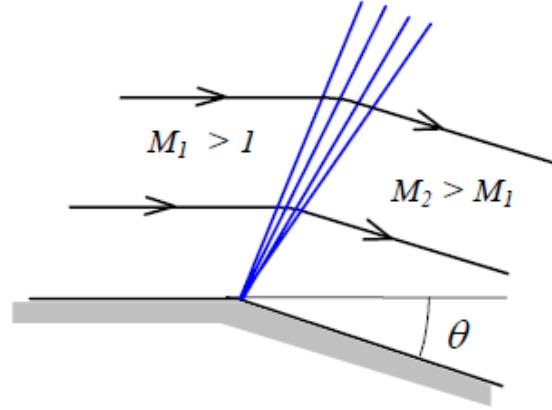
Tablo 1. Şok Dalga Cinslerine Göre Mach ve Hız Değerleri (Yükselen, 2006)

Adlandırma	Uçuş Hızı				
	Mach	Mph	Knots	m/s	Km/h
Ses altı	<0.8	<609	<530	<273	<980
Transonik	0.8- 1.2	609- 914	530- 794	273- 409	980- 1,470
Süpersonik	1.2- 5	915- 3,806	794- 3,308	410-1,702	1,470-6,126
Hipersonik	5- 10	3,806- 7,680	3,308- 6,615	1,702- 3,403	6,126- 12,251
Yüksek Hipersonik	10- 25	7,680- 19,031	6,615- 16,537	3,403- 8,508	12,251- 30,626
Atmosfere Giriş Hızı	> 25	> 19,031	> 16,537	>8,508	>30,626

Genişleme Dalgası

Süpersonik akışın dışı doğru dönmesi ile genişleme dalgaları oluşur. Duvardan ya da cidardan uzaklaştıkça genişleme dalgaları bir yelpaze gibidir. Bu yelpaze içinden geçen sürekli ve düzgün bir şekilde yön değiştirir. Akım çizgileri dalga bölgesini geçtikten sonra duvara ya

da cidara paralel hale gelir. Genişleme dalgalarını geçerken Mach sayısı artar. Yoğunluk, basınç ve sıcaklık azalır (Yükselen, 2006).



Şekil 2. Genişleme dalgası (Yükselen, 2006).

Şok ve genişleme dalgalarının oluşumu.

Süpersonik akım içerisinde bozuntuların nasıl hareket ettiği incelenirse şok ve Mach dalgalarının oluşumu daha iyi anlaşılır. Akışkan içerisinde hareket eden bir cisim belirsiz bir anda küçük şiddetli basınç dalgaları üretir. Akışkan ortamı içinde basınç dalgaları molekülden moleküle iletilir ve ses hızına eşit bir hızla küresel dalgalar şeklinde yayılır. Şekildeki gibi noktasal bir cisim ses hızından küçük bir hızla hareket ediyorsa, basınç dalgaları ses hızıyla yayıldığı için daima bu dalga kürelerinin içerisinde kalır.

Noktasal cisim ses hızından daha büyük bir hızla hareket ediyorsa, kendi yaydığı bozuntulardan daha hızlı hareket ettiği için onlardan daima daha ileride olacaktır.

Cismin tarafından oluşturduğu bütün basınç dalgaları, 2μ tepe açılı olan bir koninin içinde kalacaktır. Cismin varlığı konik bölge dışında ortaya çıkmayacaktır. Akım özellikleri koninin yüzeyi ile aynıdır. Bu konik yüzeye bir Mach dalgası denir.

Mach dalgaları küçük şiddette dalgalar olup, bunları aşan akım özelliklerinde sonsuz küçük değişimler görülür. Burada akış özelliklerinde süreksizlik yoktur. Mach dalgası bir içbükey köşe etrafında üst üste binmesi halinde daha kuvvetli dalgalar ortaya çıkar. Bu türlere de eğik şok dalgası denir. Eğik şokun β eğim açısı gelen akışın Mach dalgasının μ açısından büyüktür. Mach dalgalarına eğik şokların zayıf şiddette özel bir hali olarak da bakmak mümkündür (Yükselen, 2006).

Ekserji

Belirli bir çevredeki bir halde bulunan sistemden ya da kütleden elde edilebilecek maksimum yararlı işe ekserji denir. Yani, bir düzeneğin ya da cismin verebileceği işin üst sınırıdır. Termodinamikte ekserji, enerji ya da maddeyi belirli çevre ile (ölü hal) denge haline ulaştırdığında, bu enerjiden veya maddeden elde edilebilecek maksimum yararlı teorik iştir. Ekserji, enerji kalitesinin bir ölçüsüdür.

Ölü Hal

Bir sistemin ölü hal durumunda olması, çevresiyle termodinamik dengede olması anlamına gelir. Sistem ölü halde iken çevreyle ısı ve mekanik dengededir. Çevreye göre kinetik ve potansiyel enerji sıfırdır. Sistem çevre ile kimyasal reaksiyona giremez. Enerjinin faydalı kısmına ekserji, kullanılmayan kısmına da anerji adı verilmektedir (Çengel, Hill, & Cimbala, 2014).

$$\text{Enerji} = \text{Ekserji} + \text{Anerji}$$

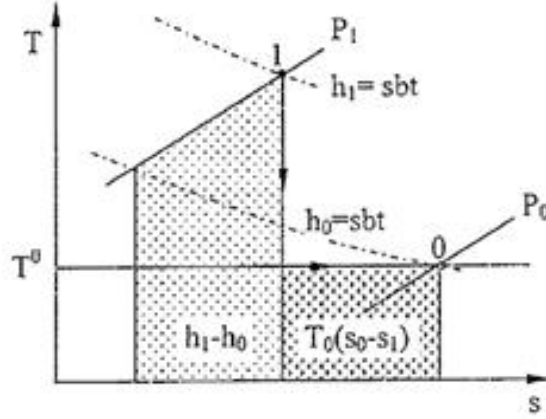
Ekserji Çeşitleri

Bir sistemin ekserjisi termal, potansiyel ve kinetik ekserji şeklinde üç ana kısımdan meydana gelir. Sistemin kinetik ve potansiyel ekserjisi, sistemin potansiyel ve kinetik enerjisine eşittir. Termal ekserji, fiziksel ve kimyasal ekserjilerin toplamıdır (Çengel vd., 2014).

Fiziksel ekserji.

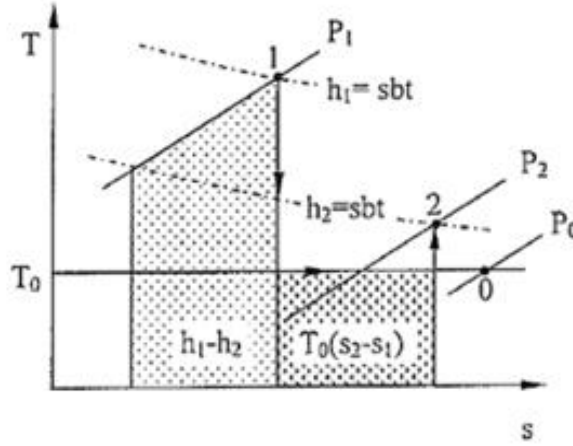
Fiziksel bir olay tersinir süreç yoluyla giriş sıcaklığı T , giriş basıncı P ilk hâlden, T_0 , P_0 halindeki çevre ile termodinamik dengeye getirildiğinde elde edilecek en fazla iş fiziksel ekserji olarak tanımlanır.

$$\varepsilon_{fiz} = h - h_0 - T_0(s - s_0) \quad (1.1)$$



Şekil 3. Verilen bir durum ile çevre arasındaki fiziksel ekserji (Çengel vd., 2014).

$$\varepsilon_{fiz1} - \varepsilon_{fiz2} = (h_1 - h_2) - T_0(s_1 - s_2) \quad (1.2)$$



Şekil 4. Verilen iki durum arasındaki fiziksel ekserji (Çengel vd., 2014).

Kimyasal ekserji.

Kimyasal ekserji ise maddenin çevresiyle kimyasal denge halinde madde alışverişi ve ısı transferinden dolayı, yaptığı maksimum iştir (Çengel vd., 2014).

Tablo 2. Çeşitli Maddelerin Bazı Hallerdeki Standart Kimyasal Ekserjileri (Çengel vd., 2014)

Madde	Faz	Mol ağırlığı (kg/kmol)	Standart kimyasal ekserji (kJ/kmol)
Ag	Katı	107,8	73730
Al2O3	Katı	101,9	204270
CO2	Gaz	44	20140
H2O	Gaz	18	11710
H2O	Sıvı	18	3120
CH4	Gaz	16	836510
C8H18	Sıvı	114	5440030

İş ekserjisi, ekserji maksimum iş potansiyeli olarak tanımlandığından, tüm süreçlerde iş, ekserjiye eşit alınır.

$$\dot{E}_{x,w} = \dot{W} \quad (1.3)$$

Isı Transfer Ekserjisi, ısı transferinden dolayı ortaya çıkan ekserji.

$$\dot{E}_{x,Q} = \int_A \left(\frac{T - T_0}{T} \right) \dot{Q}_i dA \quad (1.4)$$

Tersinmezlik ise ekserji kaybı olarak da adlandırılır.

$$\dot{I} = \sum_{giren} \dot{E}_{x,g} - \sum_{çıkan} \dot{E}_{x,\phi} \quad (1.5)$$

Literatür.

Bir akış alanındaki şok dalgalarını analiz ederken, akış yönünden gelişigüzel bir açıyla sapan şok dalgası eğik şok olarak adlandırılır. Bu şoklar, akışın bir bileşen vektör analizini gerektirir; bunu yapmak, akışın eğik şoka dik bir yönde normal bir şok olarak muamele edilmesine izin verir. Eğik şoklar çoğunlukla süpersonik akımın kendi içine doğru döndüğü yerlerde oluşur. Eğik şok dalgasını geçerken Mach sayısı azalmakla birlikte akım ses altı rejime inmez. Bu çalışmada yapılan literatür taramalarında bulunan makaleler genel olarak eğik şok dalgalarına etki eden; basınç, sıcaklık, yoğunluk, Mach sayısı ve birçok farklı alanlar kullanılarak yapılan deneyler ele alınmıştır.

Gary A. Sod (1991) yaptığı çalışmada sıkıştırılabilir bir akış alanında, yüksek Reynolds sayısı durumunda çözebilen sayısal bir yöntem kullanılarak eğik bir şok dalgasının sınır tabakası ile etkileşimi incelenmiştir. Elde ettikleri sonuçların yapılan deneylerle mükemmel uyum içinde olduğunu göstermişlerdir.

Qiongyao Qin ve Xiaobing Zhang (2018) yaptıkları çalışmada eğik şok dalgalarının uçak motorları üzerine etkisini gözlemlemiş ve motor küçültebilmek için modellemeler yapmıştır. Geliştirilen kama ile sıkıştırma işlemi ile eğik şok dalgasının tetik konumunu kontrol etme olasılığına sahip olduğu görülmüştür. Tetik konumu kontrolü, adım konumu ve arka kama açısının varyasyonları aracılığıyla gerçekleştirilebilir. Tetik konumu, adım kama yüzeyi boyunca hareket ederken her zaman adımdan sabit bir mesafe ile adımını takip edebileceğini gösterir. Yaptıkları başka çalışmada sınırlı konik bir yanma odasındaki eğik şok dalgasının başlamasını dinamik olarak kontrol etmek için yeni bir yapı denemesi yapmışlardır. Yeni yapının patlama başlangıcındaki performansını test etmek için reaktif Euler denklemlerine

dayalı bir parametrik çalışmadan yararlanılmıştır. Yeni yapıya dayalı olası bir dinamik kontrol yöntemi denenmiştir.

Honghui Teng ve arkadaşları (2021) yaptıkları bu çalışmada, düşük uçuş Mach sayılarına ve farklı uçuş irtifalarına sahip hidrojen-hava karışımındaki eğik şok dalgalarını simüle etmek için kimyasal reaksiyon modelleri ile birleştirilmiş Euler denklemleri kullanmıştır. Eğik şok dalgalarının kararlılığına ve hızlı başlatmaya dayalı olarak eğik şok dalgalarının uygulanması için bir akış-yanma kriteri önermişlerdir.

Xinxing Shi ve arkadaşları (2022) yaptıkları çalışmada eğik şok dalgasının fiziksel temeli baz alınarak başlatma tipini tahmin etmek için teorik bir kriter üzerine çalışılmıştır. Eğik şok dalgalarının başlatma tipini tahmin ve kontrol etmek, motordaki eğik şok dalgalarının uygulanması öneme sahiptir. Ancak başlatma tipi üzerinde tam analitik bir kriter bulunamamıştır.

X.K. Kakatsios ve G.E. Houzouris (1998) yaptıkları çalışmada gerçek havadaki şok dalgalarının analitik çözümünü, genel geçerliliği olan ve gerçek havanın mevcut en iyi durum denklemine sahip olan şok dalgasını irdeleyen denklemlerin kullanılmasıyla elde edilebileceğini göstermişlerdir. Tüm prosedür, pratikte önemi olan bir alandaki eğik şok dalgasının genel durumu için uygulanmıştır.

G. Çammi ve arkadaşlarının (2021) yaptıkları çalışmada süpersonik akışların Schlieren görüntülerinden elde edilen akış yapılarını otomatik olarak saptamak için eğik şok dalgalarının kullanıldığı bir teknik ele alınmıştır. Çalışmada yerel akış yönü biliniyor ise Mach sayısı ölçümü yapılabilir olduğu görülmüştür.

Bikalpa Bomjan ve arkadaşları (2018) yaptıkları çalışmada eğik şok dalgasının indüksiyon ve başlatma uzunluklarının, birbiri ardına iki yüksek ve düşük açığa sahip çift açılı bir kama kullanılarak önemli ölçüde azaltılabildiğini göstermişlerdir. Yapılan işlemde çift açılı kama boyunca farklı konumlarda farklı açılara saptırılarak şoktan patlamaya geçiş üzerindeki etkileri gözlemlenmektedir.

Liu Yu ve arkadaşları (2018) yaptıkları çalışmada, eğik şok dalgasının histerezis fenomeni sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada iki boyutlu kararsız reaktif Euler denklemleri, iki adımlı indirgenmiş reaksiyon mekanizması ile temel sayısal denklemler olarak çözülür. Kama açısı değişimi, içeri akış yönü değiştirilerek gerçekleştirilir. Kama açısı belirli bir değerden küçük olduğunda histerezisin ortadan kalkacağını göstermiştir.

Bachman ve Goodwin (2021) yaptıkları bu çalışmada, kama üzerinde bir reaksiyona simülasyonu ile kama yüzeyinde tutuşma ve eğik şok dalgalarının kararlılığındaki etkisini incelemişlerdir. İncelemede biri tek açılı bir kama diğeri ise çift açılı bir kama geometrisi olmak üzere İki hesaplama alanı kullanılmıştır. Bu hesaplamalarla birlikte viskoz ve viskoz olmayan kama yüzeyleri sırasıyla kaymalı ve kaymaz adyabatik sınır koşulları kullanılarak modellenmiştir. Birkaç farklı eğik şok dalgası yapısını özetleyen önceki çalışmalarla karşılaştırma yapılarak sonuçları değerlendirilmiştir.

Li ve arkadaşları (2020) yaptıkları bu çalışmada viskoz sınır tabakasının eğik şok dalga yapısı üzerindeki etkisini, hidrojen/hava elementer reaksiyon modelini kullanarak iki boyutlu Navier-Stokes denklemleri çözülmesi ile simüle ve analiz etmiştir. Yanal şok dalgası ve viskoz sınır tabakasının etkileşimi, başlangıç bölgesinin duvarının yakınında yüksek sıcaklıkta bir devir daim bölgesinin oluşmasıyla sonuçlanır. Bu sonuç viskoz olmayan formülasyonlar da görülmeyen yeni bir yapı olduğu gösterilmiştir.

Qin ve Zhang (2020) yaptıkları çalışmada eğik şok dalga motorunun, uçağı hipersonik hızlara çıkarması olasılığı üzerine çalışılmıştır. Önceki çalışmalar düz bir kama üzerindeki eğik şok dalgasının başlatma özelliğine odaklanmışken burada düz bir kama üzerindeki daha kısa bir başlatma uzunluğuna sahip eğik şok dalgasını başlatmak için birlikte akışlı bir sıcak jet kullanılmıştır.

Qin ve Zhang (2021) yaptıkları çalışmada eğik şok dalgasının yerel ayrılması üzerindeki azot seyreltmelerinin etkileri ele almışlardır. Geçiş örüntüsü, kendine has özelliklerinden dolayı 'yerel ayrılma' olarak tanımlanmaktadır. Yerel ayrılma, dalga cephesinin yukarı doğru yayılması ve başlama konumunda bir sıçrama ile öne çıkar. Yerel ayrılmaya, şok hızının serbest akış hızına oranı hakimdir. Bu çalışma ile eğik şok dalgasının yerel ayrılmasını tahmin etmek için büyük bir öneme sahip olduğu görülmüştür.

Teng ve arkadaşları (2014) yaptıkları çalışmada eğik şok dalgalarının farklı Ma sayılarına sahip indüksiyon bölgesi yapılarını incelemek için simüle etmişlerdir. Endüksiyon bölgesinin sonunda, λ -şekilli şok, X-şekilli şok ve Y-şekilli şok olmak üzere üç çeşit şok konfigürasyonu gözlemlemişlerdir. X-şekilli ve Y-şekilli şoklar, Ma olayı düşük olduğunda ve Y-şekilli şok, karmaşık hareketli süreçle bağlantılı olarak ortaya çıkar. İndüksiyon bölgesi uzunluğu, X şeklindeki şok dalgası, indüksiyon bölgesine karar veren farklı mekanizmaları gösteren Y şeklindeki şok dalgasına dönüştüğünde maksimum değere ulaşır. Ma değeri yüksek olduğunda eğik şok dalgası indüksiyon bölgesine hâkim olur.

Teng ve arkadaşları (2021) yaptıkları çalışma ile basınç kazançlı yanmanın daha iyi termodinamik verimliliği ve yakıt tüketim oranı vermesi nedeniyle hava alan ramjet motor uygulamaları üzerine dikkat çekmişlerdir. Tek bir kama tarafından indüklenen her zamanki şok dalgası aksine, bu çalışma ile hipersonik bir yanıcı akışta çift kamalara bağlı eğik şok dalgası etkileşimlerini dikkate almaktadır. Tek kamalı bir eğik şok dalgası durumuyla karşılaştırıldığında, çift kamalı geometri, eğik şok dalgalarının başlatılmasını kontrol etmek için büyük bir potansiyele sahiptir.

Xiang ve arkadaşları (2021) yaptıkları çalışmada, hidrojen-hava karışımlarında simetrik iki sonlu kama tarafından indüklenen iki eğik şok dalgası arasındaki etkileşimler, reaktif Euler denklemleri ile çözülerek ve ayrıntılı bir kimyasal model dikkate alınarak sayısal olarak incelemişlerdir. Ani geçiş modelleri arasındaki etkileşimler analiz edilerek, akış alanı, şok dalgaları, yanma dalgaları, eğik şok dalgaları ve kayma çizgileri arasındaki etkileşimler gibi karmaşık olayları göstermişlerdir. Sayısal sonuçlar, indüksiyon bölgesinin çift kama konfigürasyonunda tek kama konfigürasyonundan daha kısa olduğunu ve etkileşimler sırasında eğik şokların meydana gelme olasılığının daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Lee ve Glass (1984) yaptıkları çalışma ile durağan akışkan havadaki eğik şok dalgalarının yansımalarını analitik ve sayısal olarak incelemiştir. Böylece üretilen akışların anlaşılmasına yardımcı olacak, gaz dinamikçiler tarafından bilinen bazı özellikleri ortaya çıkarmak için mükemmel gazlarla bazı karşılaştırmalar da yapmışlardır. Yapılan deneylerden, şok dalgalarının arkasındaki gevşeme uzunluklarından gösterildi ki, şok cephelerinin arkasındaki akış durumları, şok dalgası yansıması için dalga sistemleri, titreşimsel uyarma ve ayrışma ile ilgili olarak donmuş veya neredeyse donmuş olarak gözlemlenmiştir.

Ren ve arkadaşları (2021) yaptıkları bu çalışmada süpersonik önceden buharlaştırılmış kerosen-hava akışında bir kama tarafından indüklenen eğik şok dalgasını, iki aşamalı bir reaksiyon modeli ile Navier-Stokes denklemlerine dayanan sayısal simülasyon yoluyla incelemişlerdir. Kararsız içeri akış nedeniyle hem oluşum dalga yapısının hem de geçiş basıncının değiştiği ve bir çift V dalga yapısının ortaya çıktığını gözlemlemişlerdir. Genel sonuçlar, eğik şok dalgası ile stabilizasyon dalga yapısının dinamik bir süreç sırasında yerel kararsız özelliklerle kendini yeniden ayarlamaları beklendiğini ve içeri akış basıncı bozukluklarına karşı dirençli olma eğiliminde olduğunu göstermektedir.

Onaran ve Durna (2020) yaptıkları çalışmada 4 farklı model üreterek konik tasarımlarda oluşan şok yapılarını ve şok-sınır tabaka etkileşimlerini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar ile yazılım yardımı ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak sonuç görüntüleri eşleştirmişlerdir.

Choi ve arkadaşları (2009) yaptıkları çalışmada eski araştırmalarda nadir rastlanan eğik patlama dalgalarını etki etmemesi üzerine eğik şok dalgalarının gerçekleştirdiği kararsız yanma sonuçlarını ele veren bir çalışma yürütmüşlerdir. Uygulamada Kimyasal ve akışkan dinamiği için zaman ölçek oranını hesaplayabilmek adına farklı uzunluk ölçülerindeki kamalara sayısal simülasyon yapılmıştır. Üç farklı yanma rejimini ortaya çıkmıştır. Birinci deneyde belirlenen koşullar sonucu ateşleme veya yanma gözleyememişlerdir. İkinci deneyde belirlenen koşullar sonucu salınımlı yanma gözlemlemişlerdir. Üçüncü deneyde belirlenen koşullar sonucu yanma gözlenmemiştir. Hiç hesaba katılmayan şok ve reaksiyon dalgaları arası etkileşimi hesaplamak ve hesaba katmak için şebeke bağımsızlığını sürekli test etmişlerdir.

Huang ve arkadaşları (2021) yaptıkları çalışmada süpersonik hava akımı ve yakıt karışımını iyileştirmek için eğik şok dalgasının kullanımı üzerinde çalışmışlardır. Eğik şok dalgasını kanal üst duvarındaki rampadan yararlanarak indüklemişlerdir. Elde edilen sonuçlar eğik şok dalgalarının; hidrojenin süpersonik akışta kalma süresini uzattığını, hidrojen dağılımının yukarı yönde hareket ettirdiğini göstermiştir. Araştırma sonucu, bu yakıt karıştırma projesinin iyi bir aday olduğunu ve geleceğe yönelik geliştirmeler yapılacağını göstermiştir.

Zha ve arkadaşları (2021) yaptıkları bu çalışmada scramjetlerin çalışmasında önemli bir nokta olan yakıt hava karışımı kalitesini arttırmak için eğik şok dalgalarından nasıl yararlanıldığını yeni bir yöntemle ortaya koymuşlardır. Denemelerde şok olmadan, sabit şoklu ve kararsız şoklu durumlar kullanılarak 3 durumda da verimlilik izlenmiştir. Sonuç olarak, diğer durumlara göre kararsız şok dalgaları, karıştırma verimliliğini daha etkin bir şekilde artırabileceğini ortaya koymuştur.

Upyrev ve Bulat (2018) yaptıkları bu çalışmada eğik bir şok dalgasının teğetsel süreksizlikte düzenli kırılması sonucu oluşan kırılma modellerini (karakteristik kırılma, yansıyan bir şok ve yansıyan bir seyrelme dalgası) ve içlerinde çeşitli yansıyan süreksizlik türleri ile şok dalgası konfigürasyonlarının etki alanlarını incelemişlerdir. Araştırma sonucunda düzenli ve düzensiz kırılmalar arası sınırı bulup, döner ve sabit patlamalı motorlarda meydana gelen şok dalgaları süreçlerini simülasyona dökülebilir hale getirmişlerdir.

YingkunLi ve arkadaşları (2019) yaptıkları bu çalışmada eğik şok dalgası gönderilerek indüklenen dalgalanan elastik bir panel üzerinde laminar sınır tabakasının titreşimini, kullanılan program kodu ve eski araştırma denklemlerinden yararlanarak incelemişlerdir. Çıkan sonuçları önceki araştırma sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Viskoz olmayan akış geri besleme kazancı olan sınır kontrolünün panel üzerindeki titreşimini bastırabileceğini ortaya koymuşlardır.

Chernyshov ve Tolpegin (2019) yaptıkları çalışmada eğik şok dalgalarının optimal düzenle yansımalarını incelemişlerdir. Mükemmel gaz ortamında dalgaların engele geliş açıları analitik olarak belirlenerek engeldeki mekanik ve termal yüklerin değişimi gözlemlemişlerdir. Yapılan çalışma ile yükleri en aza indirgeyerek uzay gemilerindeki yangın, patlama vb. güvenliği tehdit edici şeylere çözüm bulunabileceği üzerinde durmuşlardır.

Kouremenos ve Antonopoulos (1989) yaptıkları çalışmada hesaplaması zor ve uzun zaman alan gerçek gazların eğik şok dalgası problemini Redlich-Kwong durum denklemine dayanarak 20 kat daha hızlı ve güvenilir bir şekilde çözümleneceğini ortaya koymuşlardır.

Xiang ve arkadaşları (2021) yaptıkları çalışmada hidrojen-hava karışımında simetrik iki kama tarafından indüklenen iki eğik patlama dalgaları arasındaki etkileşimler, reaktif Euler denklemleri yardımı ile çözülerek ve ayrıntılı bir kimyasal modelle de sayısal olarak incelemişlerdir. Şok polar analizi ve sayısal simülasyonlar ile elde ettikleri sonuçlar; etkileşimler sırasında eğik patlamaların meydana geldiğini ve düzenli bir etkileşim olan bir Mach etkileşimi ile sonuçlandığını göstermişlerdir.

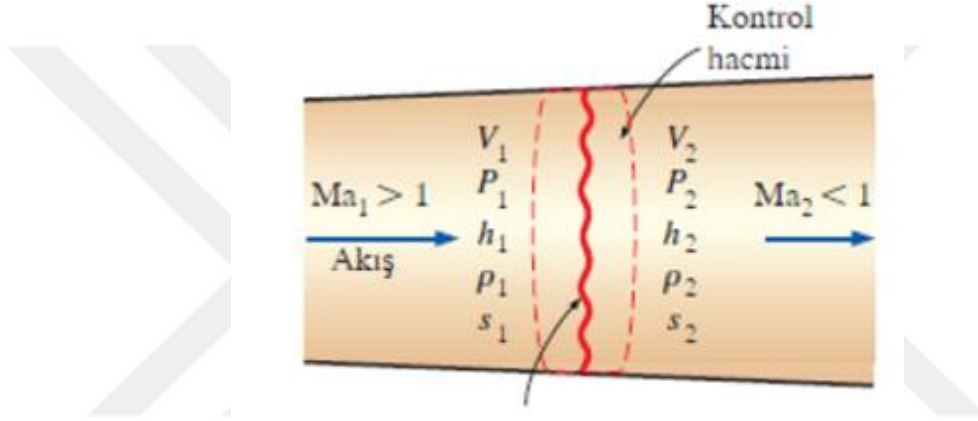
Teh ve Johansen (2016) yaptıkları çalışmada süpersonik ortamda eğik şok dalgasının yansımasına bakarken, şok dalgası/sınır-tabaka etkileşimi içinde katı ve gaz fazlar arası moment transferlerini parçacık boyutu ve kütle yüklemesi değerlerinde oynama yaparak birtakım sonuçlar elde etmişlerdir. Elde edilen sonuçlarda; momentum aktarım hızını parçacık boyutunun kontrol ettiğini, momentum aktarımının büyüklüğünü de parçacık kütle yüklemesinin kontrol ettiğini göstermişlerdir.

İKİNCİ BÖLÜM

Materyal ve Metot

Normal Şok Denklemleri

Süpersonik akışlarda bazı karşı basınç değerleri için, özel lülelerin (yakınsak ıraksak) çok ince bir bölümündeki ani değişiklikler şok dalgası oluşturur. Şok dalgasında akış yüksek oranda tersinmezdir. Sınır tabaka, çevre ağız yakınında normal şokun şeklini bozarak şokun tam altında akış ayrılmasına yol açar. Şimdi şok dalgasında ki denklemleri inceleyelim (Çengel vd., 2014).



Şekil 5. Şok dalgası (Çengel vd., 2014).

Normal şok dalgasından geçen akış için kontrol hacmi;

Kütlenin korunumu;

$$\rho_1 AV_1 = \rho_2 AV_2 \quad (2.1)$$

Enerjinin korunumu için denklem (2.4) kullanıldığında;

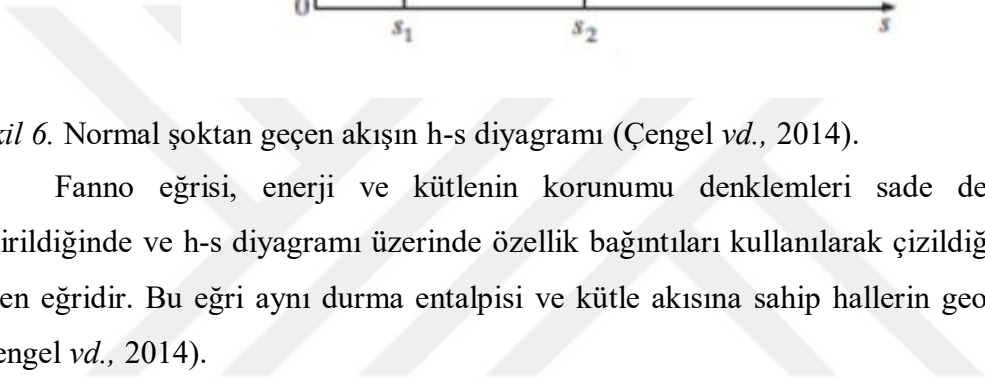
$$h_{01} = h_{02} \quad (2.2)$$

Momentumun korunumu;

$$A(P_1 - P_2) = \dot{m}(V_2 - V_1) \quad (2.3)$$

Entropi artışı;

$$s_2 - s_1 \geq 0 \quad (2.4)$$



Fanno eğrisi, enerji ve kütlenin korunumu denklemleri sade denklem haline getirildiğinde ve h-s diyagramı üzerinde özellik bağıntıları kullanılarak çizildiğinde meydana gelen eğridir. Bu eğri aynı durma entalpisi ve kütle akısına sahip hallerin geometrik yeridir (Çengel *vd.*, 2014).

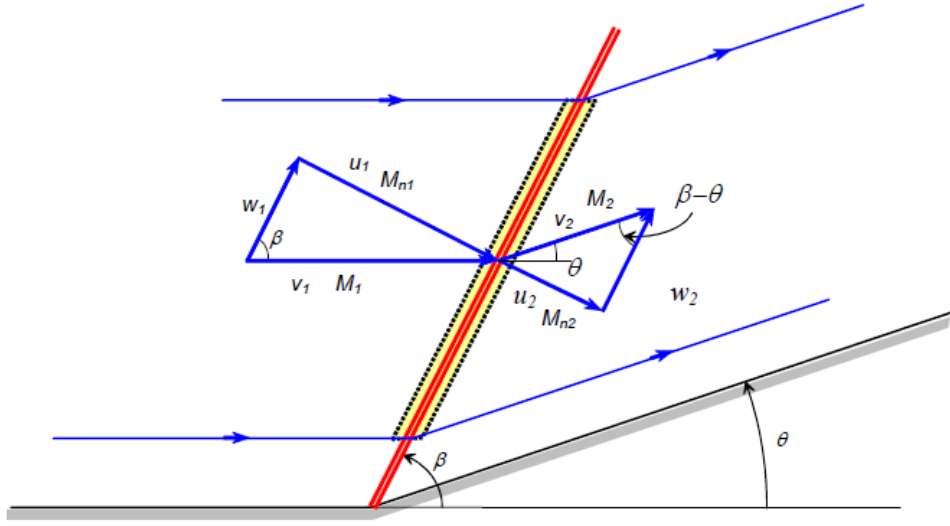
Bir ideal gaz için, sabit özgül ısıli olmak şartıyla şok öncesi ve sonrası değışim özellikleri arasındaki denklemler;

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{\overline{M_{a_1} \sqrt{1 + M_{a_1}^2 (k-1)/2}}}{\overline{M_{a_2} \sqrt{1 + M_{a_2}^2 (k-1)/2}}} \quad (2.6)$$

Bu denklem Fanno ve Rayleigh eğrilerinin kesişmesini temsil eder.

Eğik Şok Denklemleri

Eğik bir şok dalgası, normal bir şoktan farklı olarak, olay yukarı akış yönüne göre eğimli bir şok dalgasıdır. Süpersonik bir akış, akışı etkin bir şekilde kendine çeviren ve sıkıştıran bir köşeyle karşılaştığında ortaya çıkar. Akış yukarı akım çizgileri, şok dalgasından sonra düzgün bir şekilde sapar. Eğik bir şok dalgası üretmenin en yaygın yolu, süpersonik, sıkıştırılabilir akışa bir kama yerleştirmektir. Normal bir şok dalgasına benzer şekilde, eğik şok dalgası, bir gazın termodinamik özelliklerinde neredeyse süreksiz değişikliklerin meydana geldiği çok ince bir bölgeden oluşur. Bu bölgede şok dalgasından geçerken kontrol altındaki hacmin genişliğinin değişmeyeceği kabul edilir (Yükselen, 2006).



Şekil 7. Eğik şok dalgası (Yükselen, 2006).

Süreklilik denklemi:

$$\rho_1 u_1 = \rho_2 u_2 \quad (2.8)$$

Kontrol hacminden geçen bütün akım çizgileri üzerinde akım özelliklerinin aynı olduğu kabul edilir. Şoka paralel doğrultuda momentum denklemi:

$$0 = \rho u (w_1 - w_2) \quad (2.9)$$

Akışın şok dalgasına paralel bileşeni şoku geçerken değişmez.

Şoka dik doğrultuda momentum denklemi:

$$p_1 - p_2 = (\rho_2 u_2)u_2 - (\rho_1 u_1)u_1$$

$$p_1 + (\rho_1 u_1)u_1 = p_2 + (\rho_2 u_2)u_2 \quad (2.10)$$

Şokun ince olmasından dolayı şoku geçmekte olan akışın çevre ile ısı alışverişinde bulunmadığı yani olayın adyabatik geliştiği kabul edilebilir.

Enerji denklemi;

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2} = h_2 + \frac{v_2^2}{2} \quad (2.11)$$

Hız vektörleri için;

$$V_1^2 = u_1^2 + w_1^2 \quad (2.12)$$

$$V_2^2 = u_2^2 + w_2^2 \quad (2.13)$$

Yazılan denklemlerden yararlanarak yazarsak;

$$h_1 + \frac{u_1^2}{2} = h_2 + \frac{u_2^2}{2} \quad (2.14)$$

Denklemler eğik şok için olduğu halde bunların normal şok denklemleri ile farkı yoktur. Yani aslında eğik şoka dik doğrultudaki akış için yazılmış dik-şok denklemleridir (Yükselen, 2006).

Eğik şokun hız bileşenleri dikkate alınarak normal şok bağıntıları bu duruma uyarlanırsa;

$$M_{n2}^2 = \frac{1 + [\frac{\gamma-1}{2}]M_{n1}^2}{\gamma M_{n1}^2 - (\gamma-1)/2} \quad (2.15)$$

$$\frac{p_2}{p_1} = 1 + \frac{2\gamma}{\gamma+1} [M_{n1}^2 - 1] \quad (2.16)$$

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{(\gamma+1)M_{n1}^2}{2 + (\gamma-1)M_{n1}^2} \quad (2.17)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2}{p_1} \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad (2.18)$$

$$M_2 = \frac{M_{n2}}{\sin(\beta-\theta)} \quad (2.19)$$

$$M_{n1} = M_1 \sin \beta \quad (2.20)$$

Yukarıdaki bağıntıları şokun arkasındaki akım özelliklerini şokun önündeki akımın M_1 Mach sayısına, akımdaki θ sapma açısına ve β eğik şok açısına bağlamaktadır (Yükselen, 2006).

Birçok durumda M_1 şok probleminin bilinen büyüklüğüdür. Şoku geçen akım duvara paralel hareket edeceği için akımdaki θ sapma miktarı da bellidir. Ancak şokun β açısı belli değildir. Bunun için ilave bir bağıntı gerekir.

Şok önü ve arkasında hız bileşenlerinden;

$$\tan \beta = \frac{u_1}{w_1} \quad (2.21)$$

$$\tan(\beta - \theta) = \frac{u_2}{w_2} \quad (2.22)$$

Bu bağıntılar karşılıklı oranlanarak;

$$\frac{\tan(\beta - \theta)}{\tan \beta} = \frac{\frac{u_2}{w_2}}{\frac{u_1}{w_1}} = \frac{u_2 w_1}{u_1 w_2} \quad (2.23)$$

Denklem (2.8) ve (2.9) deki bilgileri kullanarak

$$\frac{\tan(\beta - \theta)}{\tan \beta} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad (2.24)$$

Yoğunluk oranı için (2.17) kullanılarak

$$\frac{\tan(\beta - \theta)}{\tan \beta} = \frac{2 + (\gamma - 1)M_{n1}^2}{(\gamma + 1)M_{n1}^2} \quad (2.25)$$

Bu son bağıntı tanjant fonksiyonunun açılımı yapılarak ve ayrıca şokun önündeki akımın Mach sayısı ile dik bileşeni arasındaki (2.20) bağıntısı kullanılarak gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra şekline gelir (Yükselen, 2006).

$$\tan \theta = 2 \cot \beta \frac{M_1^2 \sin^2 \beta - 1}{M_1^2 (\gamma + \cos 2\beta) + 2} \quad (2.26)$$

Denklem (2.26) da β için non-linear olup ancak iteratif yolla çözülebilir. M_1 in çeşitli değerleri için farklı θ sapma açılarında yapılan sayısal çözümler genellikle bir tablo şeklinde veya bir eğik şok diyagramı şeklinde grafiksel olarak düzenlenir.

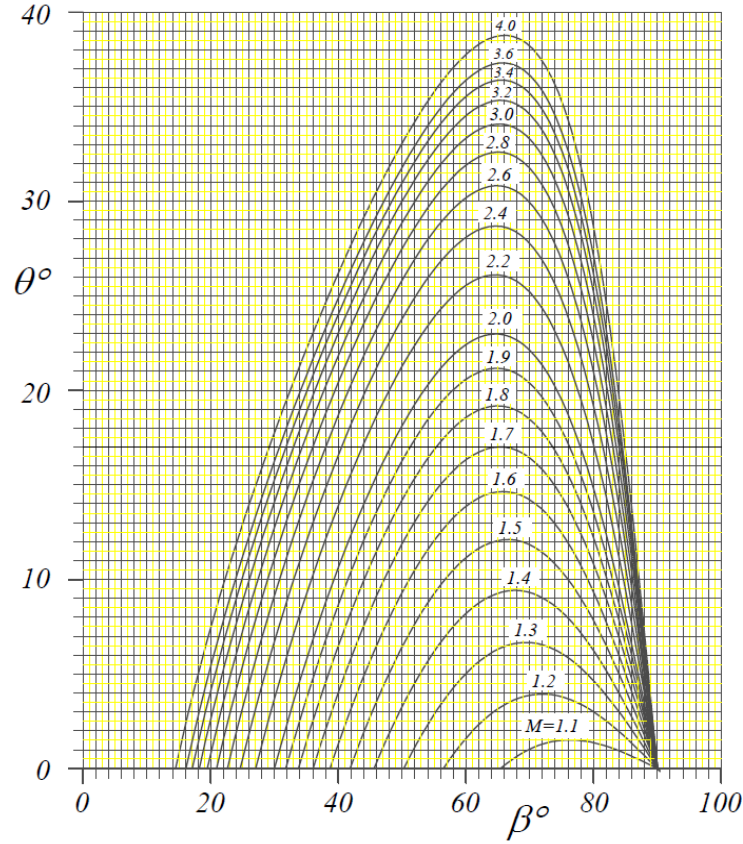
Herhangi bir M_1 Mach sayısında θ sapma açısının verilen herhangi bir değerine karşılık β için farklı iki çözüm mevcuttur. Akımda hiç sapma olmaması ($\theta = 0$) halinde iki çözüm:

Normal şok

$$\cot \beta = 0 \rightarrow \beta = \pi/2 \quad (2.27)$$

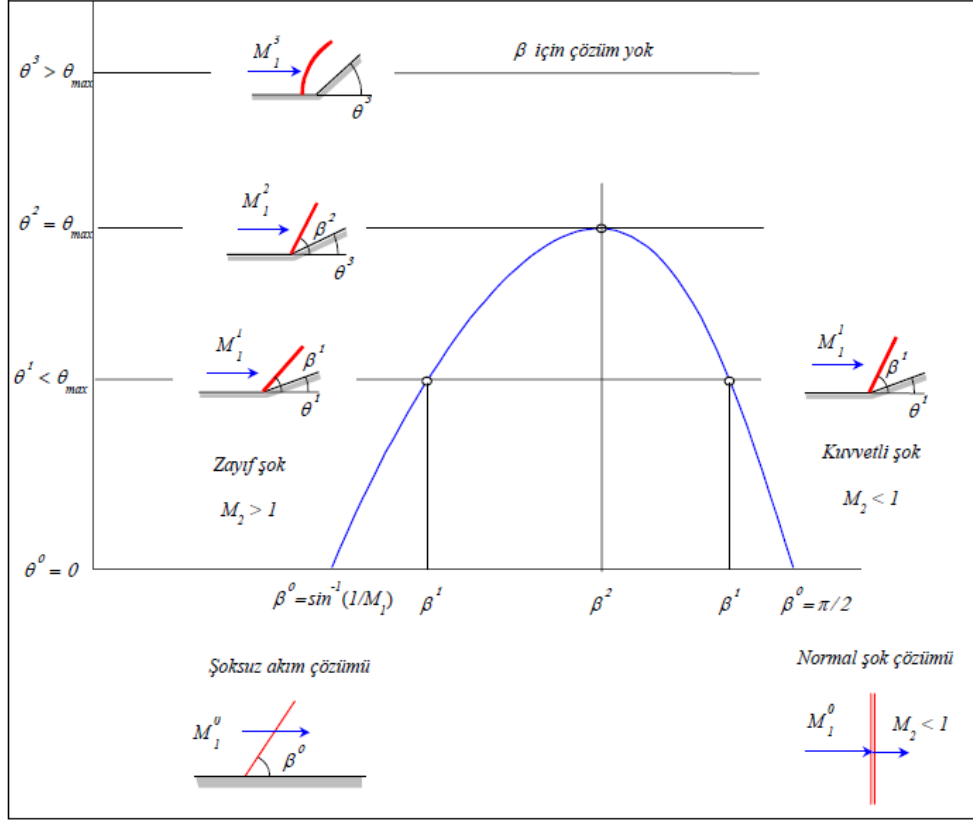
Sonsuz akım (Mach dalgası)

$$M_1^2 \sin \beta - 1 = 0 \rightarrow \beta = \sin^{-1}(1/M_1) \quad (2.28)$$



Şekil 8. Eğik şok diyagramı (Yükselen, 2006).

Kanıtlara göre normal şoku geçen akımda ve hiç şok bulunmayan süpersonik akım doğrultusunda sapma olmaz. Verilen bir $M_1 = S_b$ Mach sayısı için θ sapma açısı arttıkça, oluşan eğik şokun açısı artmaktadır θ 'nın maksimum bir θ_{max} değeri mevcut olup bunun üzerindeki sapma açılarında eğik şok çözümü bulunmamaktadır. Bu halde bağlı eğik şok yerine içbükey köşeden daha önde bükülmüş bir ayırık şok meydana gelmektedir (Yükselen, 2006).



Şekil 9. Eğik şok dalgalarının θ değerine göre çözümü (Yükselen, 2006).

Belirlenen açı durumu $\theta < \theta_{max}$ şeklinde ise β için bulunan iki sonuç β değerinin büyük olduğu hal “kuvvetli şok”, küçük olduğu hal ise “zayıf şok” olarak adlandırılır. Genel pratikte zayıf eğik şok durumu gözükür. Eğik şokun hangi tür olacağını belirleyici unsur arkadan gelen akımın basıncıyla ilgili şartlardır. Nitekim gerideki basınç bağımsız bir mekanizmayla arttırılırsa kuvvetli bir eğik şok oluşabilir. Zayıf eğik şokun gerisindeki akım süpersonik kalırken kuvvetli eğik şok gerisindeki akım ses altı hızlara inmektedir.

Sabit bir sapma açısında ($\theta = S_b$) süpersonik akımın M_1 Mach sayısı azaldıkça β şok açısı artar. Küçük M_1 Mach sayılarında θ_{max} da küçük olduğu göze çarpar. Buna göre içbükey bir köşeye gelen akımın hızı ses altı hızlardan itibaren arttırıldığında önce köşenin ön tarafında bir ayrık şok oluşur. Akım hızı duvar açısının θ_{max} kabul edilebileceği bir değere eriştiğinde bu şok köşeye bağlı bir eğik şok şekline dönüşür, hız daha da arttırıldığında ise eğik şokun açısı küçülür (Yükselen, 2006).

Ekserji Analizi

Ekserji analizi, termodinamiğin ikinci yasasına dayanan termodinamik bir analizdir ve hal değişimlerini, enerji sistemlerini gerçekçi ve anlamlı bir şekilde değerlendirmeye, karşılaştırmaya yarar. Analiz sonucu elde edilen ekserji veya ikinci yasa verimi kullanarak

gerçek sistem ile maksimumun performansları kıyaslanabilir. Bu kıyaslamaya göre sistemde meydana gelen kayıpların nedenleri, miktarları ve yerleri belirlenebilir. Bu durumda, analizden elde edilen sonuçlar, sistem performansının iyileştirilmesinde ve daha yararlı tasarımların yapılmasında kullanılır. Sistemin en iyi halinde çalışması sağlanabilir.

Akış durumundaki bir maddenin, elektrik, manyetik, nükleer ve yüzey gerilimleri ihmal edildiği hallerde ekserji kimyasal, fiziksel, kinetik ve potansiyel ekserji olmak üzere dört bileşene ayrılabilir. Buna göre, toplam özgül ekserji aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$ex^{top} = ex^k + ex^p + ex^{fiz} + ex^{kim} \quad (2.29)$$

Çevreye göre sabit bir sistemde, potansiyel ve kinetik ekserjiler sıfır olarak kabul edilir ve sistemin toplam ekserjisi potansiyel ve kinetik ekserji bileşenlerinden oluşur ve toplam özgül ekserji aşağıdaki şekilde yazılabilir (Çengel vd., 2014).

$$ex^{top} = ex^{fiz} + ex^{kim} \quad (2.30)$$

Şok Dalgalarında Ekserji Analizi

Süpersonik akışlardaki ters basınç değerlerinin bazılarında, yakınsak ıraksak lülelerin küçük bir kısmında akışkan özelliklerinde şok dalgası meydana getiren ani değişiklikler meydana gelir. Şok dalgalarında akış durumu yüksek oranda tersinmez haldedir. Sınır tabaka, cidar yakınında şokun şeklini bozarak şokun tam altında akışın ayrılmasına yol açar. Şok dalgası denklemlerini incelersek (Çengel vd., 2014);

Normal şok dalgasındaki akış kontrol hacmi;

Kütlenin korunumu;

$$\rho_1 AV_1 - \rho_2 AV_2 = 0 \quad \rightarrow \quad \rho_1 AV_1 = \rho_2 AV_2 \quad (2.31)$$

Enerjinin korunumu için denklem (2.14) kullanıldığında;

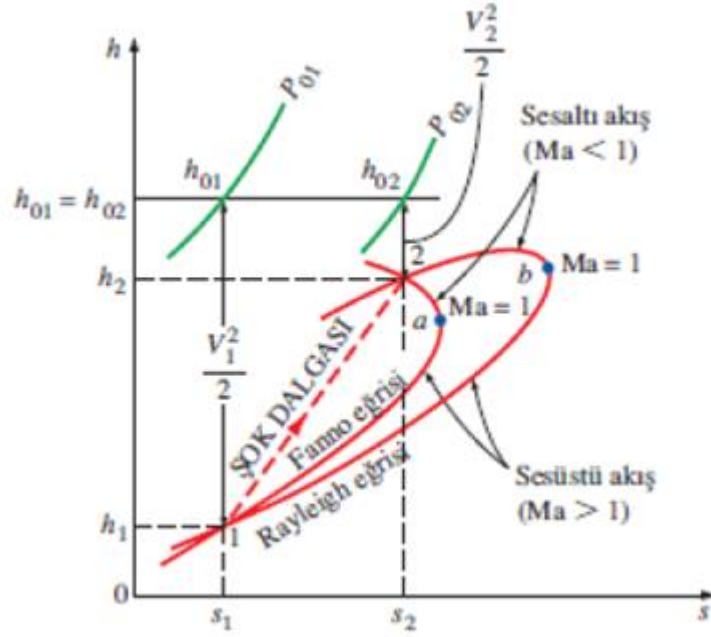
$$h_{01} = h_{02} \quad (2.32)$$

Momentumun korunumu;

$$A(P_1 - P_2) = \dot{m}(V_2 - V_1) \quad (2.33)$$

Entropi artışı;

$$s_2 - s_1 \geq 0 \quad (2.34)$$



Şekil 10. h-s diyagramı normal şoktaki akışın (Çengel vd., 2014).

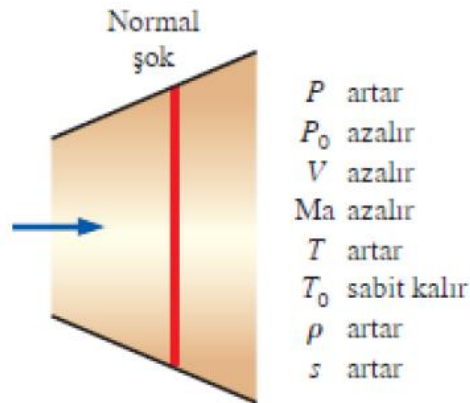
Sabit özgül ısılu bir ideal gaz için, şok sonrası ve öncesi değişik özellikler arasındaki bağıntılar;

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} = \frac{P_2 M_{a2} c_2}{P_1 M_{a1} c_1} = \frac{P_2 M_{a2} \sqrt{T_2}}{P_1 M_{a1} \sqrt{T_1}} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^2 \left(\frac{M_{a2}}{M_{a1}}\right)^2 \quad (2.35)$$

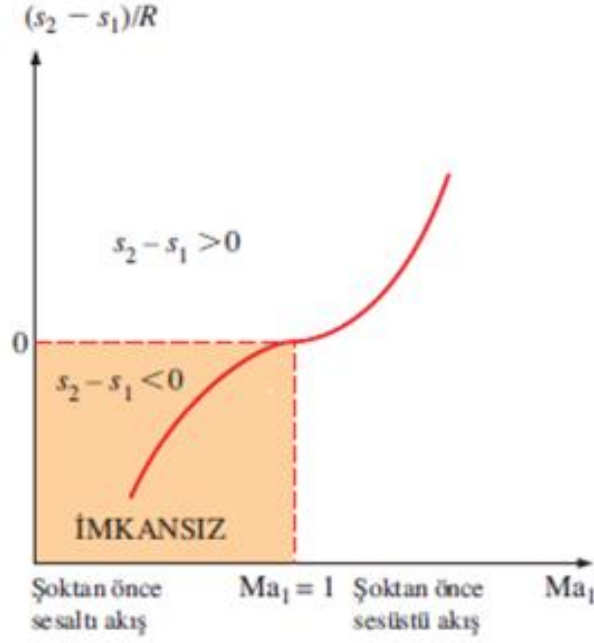
$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{M_{a1} \sqrt{1 + M_{a1}^2 (k-1)/2}}{M_{a2} \sqrt{1 + M_{a2}^2 (k-1)/2}} \quad (2.36)$$

$$M_{a2}^2 = \frac{M_{a1}^2 + 2/(k-1)}{(2M_{a1}^2 k/(k-1)) - 1} \quad (2.37)$$

Verilen denklem Fanno ve Rayleigh eğrilerinin kesişmesini temsil eder (Çengel vd., 2014).



Şekil 11. Normal dalgadan geçişte akış özelliklerinin değişimi (Çengel vd., 2014).



Şekil 12. Normal şok öncesi ile sonrası entropi değişimi (Çengel vd., 2014).

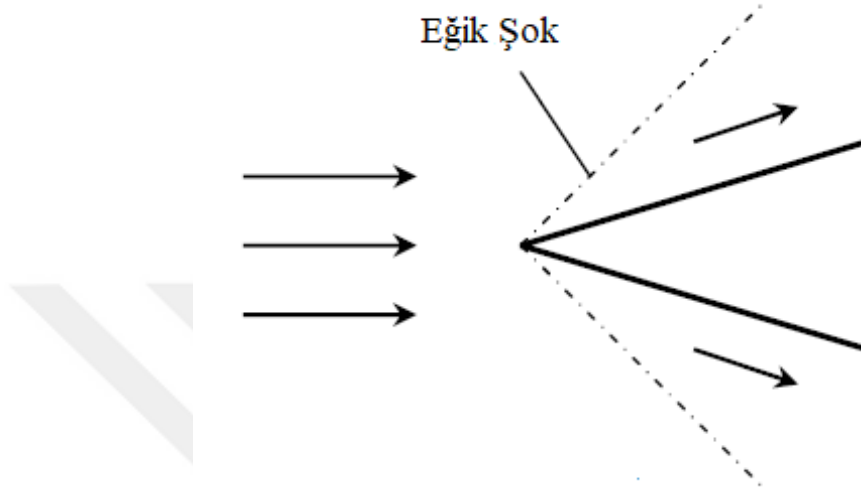
Şoktan geçen akış tersinmez ve adyabatik olduğundan, termodinamik ikinci yasasına göre şok azalınca entropinin artar. Bundan sebeple Ma_1 1'den küçük olduğu durumlarda şok dalgası oluşamaz, olursa entropi değişimi negatif değere düşerdi. Adyabatik akış durumunda şok dalgaları sadece ses üstü akışlarda ($Ma > 1$) oluşabilir. (Çengel vd, 2014)

$$s_2 - s_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (2.38)$$

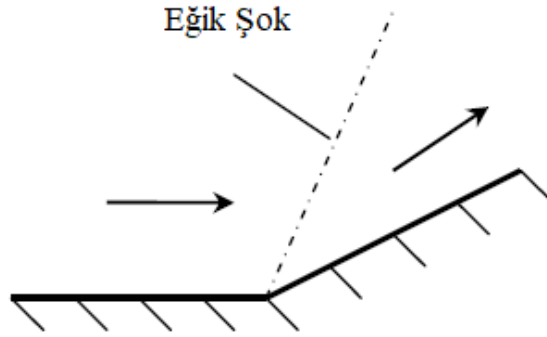
Eğik Şok Dalgalarında Ekserji Analizi

Akış ortamındaki özelliklerde şok dalgalarının etkilerinin eksiksiz bir şekilde anlaşılması için akışın sıkıştırılabilir özelliğinde çalışma yapılmalıdır. Gaz moleküllerinin çevrede serbest halde iken karşılaştırılabilir bir şok dalgası üzerinde yoğunluk, sıcaklık ve basınçta sonlu varyasyonlar ortaya çıkarır. Böyle haller akışkan durumlarında ani bir değişikliğe neden olur. Bu ilerleyiş adyabatik yapıya sahip olduğundan termodinamik olarak geri döndürülemez. Enerji, momentum ve kütle süreç boyunca korunur. Sıkıştırılabilir halde iki çeşit şok dalgası meydana gelir. Birincisi akış yönüne aynı yön olan normal bir şok dalgasıdır. Bu nedenle akış özelliklerindeki değişiklikler sadece akış ile aynı yönde meydana gelir. İkincisiyse, bir sıkıştırma şok dalgası akış yönüne belirli açıyla eğimli olduğunda ortaya çıkan eğik şok dalgasıdır. Eğik şok dalgasında, dalga boyunca akış yönünde bir değişikliğe neden olur. Bu durumdan dolayı, eğik şok denklemlerinin türetilmesi ve analizi için ikinci bir momentum denklemine ihtiyaç vardır.

Eğik bir şokta incelenecek iki ana eğik şok türü vardır. Birinci tür sestten hızlı bir akışta bir kamanın varlığı sırasında meydana gelir (Şekil 11) ve ikincisi bir köşedeki ses üstü sıkıştırmanın bir sonucu oluşur (Şekil 12). Şoktan sonraki akış, her ikisi de θ ifadesi ile tanımlanan kama yarım açısıdır (Markell, 2005).



Şekil 13. Kama sırasında oluşan eğik şok (Markell, 2005).



Şekil 14. Köşedeki ses üstü sıkıştırmadan dolayı eğik şok (Markell, 2005).

Şekil 13 'teki eğik şok dalgasının diyagramından görülebileceği gibi, yukarı akış ve aşağı akış hızları, eğik şoka teğet ve normal olan bileşenlerine ayrılır. Eğik şok dalgasının geometrisinden ve Mach sayısının tanımından;

Denklem (2.20) kullanılarak;

$$M_{1t} = M_1 \cos \beta \quad (2.39)$$

$$M_{2n} = M_2 \sin(\beta - \theta) \quad (2.40)$$

$$M_{2t} = M_2 \cos(\beta - \theta) \quad (2.41)$$

Şekil 15. Eğik şok diyagramı (Markell, 2005).

Bu denklemler uygulandığında iki önemli durum ortaya çıkar, yani dalganın yansıma katsayısı ve hız bileşenleri eşittir,

$$M_{1n} = M_{2n} \quad (15)$$

Bu denklemler uygulandığında iki önemli durum ortaya çıkar, yani dalgaya teğet olan Mach sayısı ve hız bileşenleri eşittir,

Ve süreç boyunca toplam sıcaklık sabit kalır,

Bu sonuç bize bir eğik şok dalgasının, dalgaya dik olan bileşen için normal şok gibi davrandığını gösterir. Sürekliliğin matematiksel hesabı, enerji ve momentum denklemleri ile birlikte mükemmel gaz hal denklemi, şok boyunca sıcaklık ve basınç oranları için ilişkilerini gösterir. Yukarı akış, aşağı akış normal Mach sayısı için bir denkleme yol açar. Bunlar;

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{1 + \gamma M_{1n}^2}{1 + M_{2n}^2} \quad (2.45)$$

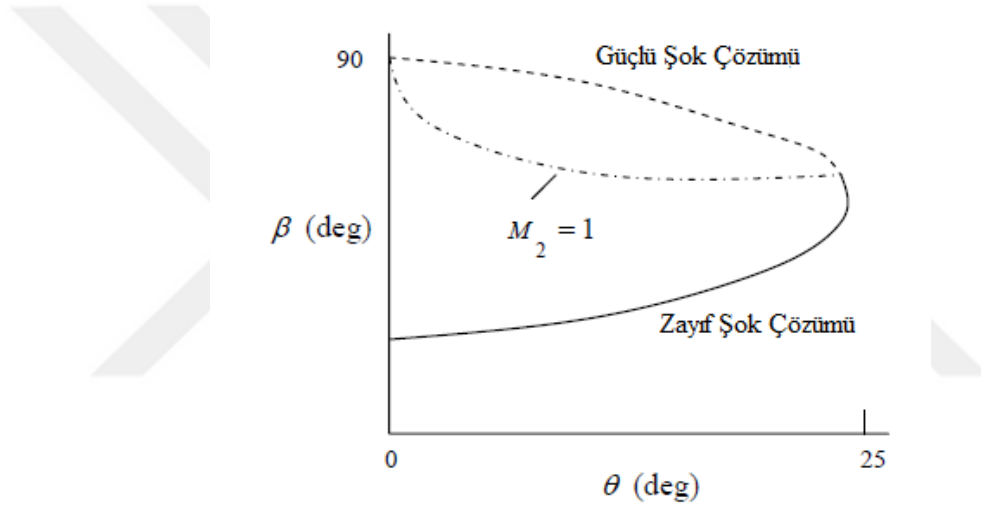
Yukarı yöndeki Mach sayısı (M_1) ve sapma açısı θ ile, Denklemler (2.20), (2.26) ve (2.44) Mach sayısının aşağı yönde normal bileşenini ortaya çıkarır. (M_{2n}). Bu durumda, (2.45)

ve (2.46) denklemleri, dalga boyunca sıcaklık ve basınç oranlarını elde etmek için kullanılabilir. Bu işlem, önceki sapma açısından ölçülen sapma açısı θ ve şok açısı β ile çoklu şok durumları için tekrarlanabilir.

Sistemde, şok dalgası boyunca entropi değişimi için kontrol yüzeyi üzerindeki bir entropi dengesi ve mükemmel gaz ifadesi, şok sürecinin tersinmezliğini ortaya koyar. Bu toplam basınç kayıpları ile ilişkilendirilebilir (Markell, 2005).

$$S_{irr} = s_2 - s_1 = c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \quad (2.47)$$

$$\frac{s_2 - s_1}{R} = -\ln\left(\frac{P_{t2}}{P_{t1}}\right) \quad (2.48)$$



Şekil 16. Şok açısına karşı sapma açısı (Markell, 2005).

Hipersonik Şok Denklemleri ve Analizi

Hipersonik şok dalgalarında ekserji analize geçmeden önce normal durumda oluşan ekserji analizinde bir iki noktayı hatırlayacağız. Mevcut enerji bölümü için, cisim ağırlığı başına potansiyel ve kinetik enerjilerin toplamı olarak tanımlanan ağırlığa $E_w = h + U^2/2g$ denklemi kullanılır. Kullanılan araçta sadece bir yüksekliğe ve hızla yükselmenin en basit durumu için, E_w elde edilir. Daha karmaşık durumlar için denklemler tüm bölümlere entegre edilmelidir (Markell, 2005).

İş yapma oranı, bir miktar ağırlık olan W_p 'nin özgül enerjisini üretmek, artı yüke yüklenebilen engeli (DP) aşmak ve gerekli gücü, P_p sağlamak için gerekli olan denklem;

$$\frac{dw_c}{dt} = W_p \frac{dE_w}{dt} + P_p + D_p U \quad (2.49)$$

Bu denklemin integralinin alınması, sabit bir gereklilik olarak kabul edilecek iş miktarını temsil eder. İş, bu çalışmada aracın ağırlığını ve gerekli yakıtı taşıyarak yapılması gereken iştir. Daha sonra genel iş yapma oranını, w_o olarak ifade edebiliriz.

$$\frac{dw_o}{dt} = W \frac{dE_w}{dt} + DU \quad (2.50)$$

Bu denklemde W , bileşenlerine ayırıp yazıldığında;

$$\frac{dw_o}{dt} = \sum (W_i \frac{dE_w}{dt} + P_i + D_i U) \quad (2.51)$$

Burada W_i , bir aracın veya cihazın ağırlığı olarak kabul edilir. P_i , cihazın ihtiyaç duyduğu güçtür (Markell, 2005).

Denklem (2.49) ve (2.51), belirlenen çalışma için kullanılan yakıtın ekserjisine eşit olması gereken, ihtiyaç duyulan gücü veya yapılması gereken işi temsil eder. Sistem düzeyinde, yakıtın ağırlığına göre maksimum enerji içeriğini, H , genel sistem tahrik verimliliği η ile birlikte kullanması uygundur. dt zaman aralığında enerjinin korunumu şu denklem ile gösterilebilir:

$$-\eta H dW = dW_c + dW_o \quad (2.52)$$

Denklemde dW 'yi negatif olarak kabul ederek, yakıt akış hızı $-dW$ olarak kullanılabilir. Denklem (2.52) (2.49) ve (2.51) ile birlikte, yükteki değişiklikler (artışlar) ile yakıttan elde edilen ekserji ile elde edilen iş ve uçağa özgül enerji ve sürtünmeyi, yani harcanan (yok edilen) ekserji arasındaki dengeyi temsil eder. Yapılan iş bu formülasyonda genel harcananları en aza indirmek ve genel işleri en üst düzeye çıkarmaktır (Markell, 2005).

Bir hipersonik araç düşünerek şekilde ki gibi bir MHD baypas sistemi oluşturalım. Sistemi analiz ederken başlangıç olarak 2.50 numaralı denklemi klasik olarak yazarsak;

$$\frac{dw_o}{dt} = W \left\{ \frac{dE_w}{dt} + \frac{D}{L} U \right\} \quad (2.53)$$

(2.49) ve (2.51) ile denklem (2.52)'e geri dönersek, ağırlık ile genel sistem üzerinde tahrik verimliliğini takas edebiliriz. Eğer bu ağırlık denklem (2.53)'ün toplam itici verimliliğinde, η 'da yeterli iyileşmeye neden oluyorsa, yöntem sistem üzerinde bir fayda olduğunu gösterir (Markell, 2005). Sistemin çalışması için gereken ek ağırlığın ve gücün, güç işlerde bir artışa neden olduğunu düşünebiliriz. Bu durumda denklem;

$$\frac{dw_{oM}}{dt} = W_M \frac{dE_w}{dt} + P_M \quad (2.54)$$

Denklem araca yüklenebilen genel giderlerdeki artıştır. Burada araç normalden daha az ağırlığa sahipse, durum iyiye yorumlanır. Ancak araç değiştirilen hareketli giriş sisteminden daha ağır olduğunu varsayalım.

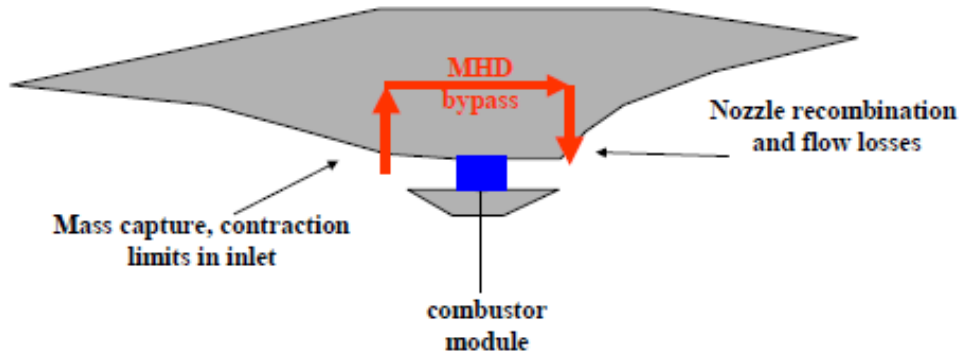
Tek değişiklik bu net ağırlık artışı ve denklem (2.52)'ün sağ tarafında eklenen güç tüketimi olsaydı, aynı uçuş koşullarında gerekli ekserji dengesini elde etmek için daha yüksek bir yakıt akış hızı, dW_M gerekirdi. Bununla birlikte η_M 'de (yeni hal genel verimliliği) bir artış veya itme gücünde (TM'de) pozitif bir artış olduğunu varsaydık. Sonuç olarak denklem aşağıda ki gibi oluşur (Myles vd, 2007).

$$-\eta_M H \frac{dW_M}{dt} = \frac{dW_c}{dt} + \frac{dW_o}{dt} + W_M \frac{dE_w}{dt} + P_M - T_M U \quad (2.55)$$

(2.52) inci denklemden (2.55) inci denklemi çıkarırsak, verim;

$$\eta_M H \frac{dW_M}{dt} = \eta H \frac{dW}{dt} - [W_M \frac{dE_w}{dt} + P_M - T_M U] \quad (2.56)$$

Bu denklemde, sağ taraftaki ilk terim, temel araç için ekserji kullanım oranıdır. Diğer tüm terimler, araç üzerindeki uygulanan etkiler içindir. Sağ taraftaki parantez içindeki terim, yapılan uygulamaların etkileri nedeniyle itme artışına bağlı olarak pozitif (zararlı) veya negatif (faydalı) olabilir. Ekserjinin bir enerji kaynağından (yani yakıttan) elde edilen mevcut iş olarak tanımlanmasıyla, artık bu denklemi, yok edilen ekserjiyle orantılı olarak üretilen entropi açısından herhangi bir bileşenin sistem üzerindeki faydalarını analiz etmek için kullanılabilir. Denklem (2.56) de farklı koşullarındaki etkileri sabit kabul edilmiştir (Moorhouse, & Hoke, 2002).



Şekil 17. MHD sistemine sahip kavramsal bir hipersonik araç (Moorhouse, & Hoke, 2002).

Şekil 15'teki örnek sistem, giriş akışından "fazla enerjiyi" çeken bir sistemi göstermektedir. Bu bölümde ise termal enerjinin eklenmesi veya çıkarılması ile hipersonik bir

aracın giriş ağzındaki şok dalgasını korumak için belirlenen sistem ile ekserji sürecini inceleyeceğiz. (Moorhouse, & Hoke, 2002)

Belirlenen bir giriş tasarımı, bilinen bir rampa açısı, θ , çıkış açısı β ve bu sabit geometri için nominal çalışma Mach sayısı ile geometri ile karakterize edilir ve tümü aşağıdakilerle ilişkilidir:

$$\tan \theta = 2 \cot \beta \left(\frac{M_2^2 \sin^2 \beta - 1}{M_2^2 (\gamma + \cos 2\beta) + 2} \right) \quad (2.57)$$

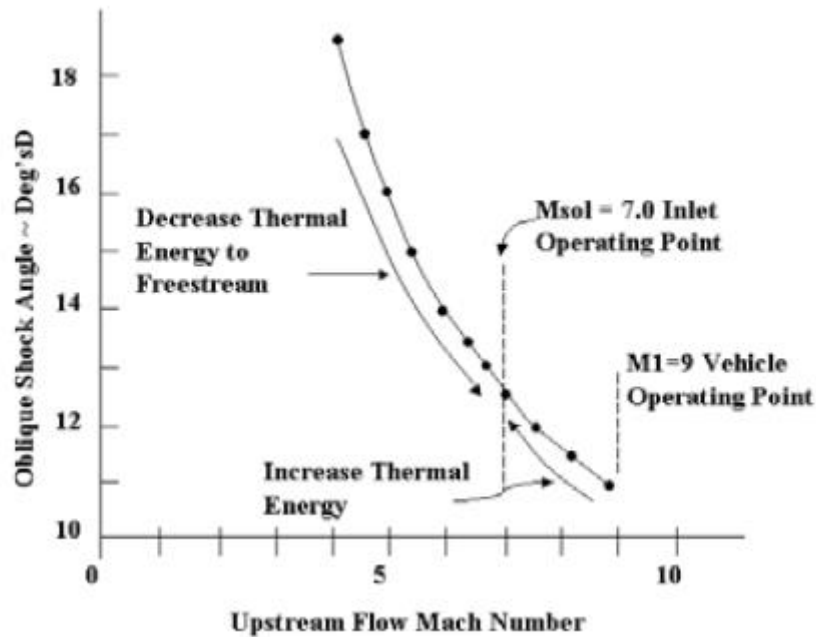
Mach sayısı M_1 'de geliş akışı verildiğinde, nominal Mach sayısına ulaşmak için gereken ısı girdisi q , Rayleigh çizgi analizi kullanılarak bulunur;

$$q = c_p (T_{02} - T_{01}) \quad (2.58)$$

Denklemleri ile elde edilen gerekli sıcaklık kullanılarak;

$$\frac{T_{02}}{T_{01}} = \left(\frac{1 + \gamma M_1^2}{1 + \gamma M_2^2} \right)^2 \left(\frac{M_2}{M_1} \right)^2 \left(\frac{1 + \frac{\gamma-1}{2} M_2^2}{1 + \frac{\gamma-1}{2} M_1^2} \right) \quad (2.59)$$

Bu işlemi yaparak hareketli bir giriş sisteminin karmaşıklığı olmadan bir dizi koşulda yanma sürecini maksimum verimlilikte tuttuğumuz varsayılmaktadır (Moorhouse, & Hoke, 2002).



Şekil 18. Mach sayısına karşı eğik şok açısı (Moorhouse, & Hoke, 2002).

Şekil 18, Mach sayısının bir fonksiyonudur ve giriş rampasından gelen şok dalgasının açısını göstermektedir. Daha önce Moorhouse ve Suchomel (2001) yaptıkları çalışmada, Mach

9 akışını bir Mach 7 girişine uyarlamamanın bir örneği, kavramın kanıtı olarak göstermişti. Burada, daha geniş bir çalışma koşulları aralığındaki etkiyi incelemek için daha ayrıntılı bir termodinamik analiz yapılmaktadır. (Moorhouse, & Hoke, 2002)

İlk olarak, termal enerji değişim sürecindeki termodinamik koşullarını ele alıyoruz. Isıtma işlemi tarafından üretilen entropi üretim hızı şu şekilde ifade edilir:

$$\dot{S}_{gen} = \rho_1 V_1 (\dot{s}_2 - s_1) - \frac{q}{T} \quad (2.60)$$

$$s_2 - s_1 = R \left(\frac{1}{\gamma-1} \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) - \ln \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right) \right) = R \ln \left(\frac{P_{o2}}{P_{o1}} \right) \quad (2.61)$$

Devamında denklem (2.60)'de kullanılmak üzere rezervuarın uygun sıcaklığı oluşturulmalıdır.

Şekil sınırlayıcı koşulları göstermektedir. Sabit rezervuar sıcaklığı olan durumlar için denklem (2.60)'de T_2 kullanılır. Daha sonra, varsayılan lineer profiller için, ısıtmaya bağlı entropi değişimi;

$$\Delta s_q = \Delta q \int_0^1 \frac{1}{T} dx \quad (2.62)$$

Denklemden x boyutsuz mesafedir. Buradan;

$$T = T_1 \left\{ 1 + \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1} \right) x \right\}$$

Denklem (2.62) entegre edilirse;

$$\Delta s_q = \frac{\Delta q}{T_2 - T_1} \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (2.63)$$

Denklem (2.63), doğrusal bir sıcaklık olan durumlar için denklem (2.60)'de kullanılacak rezervuar sıcaklığını verir. Şok dalgaları ($s_3 - s_2$) üzerinden oluşturulan entropi, denklem (2.61) kullanılarak da hesaplanabilir ve hem ısıtma hem de şok için sonuçlar, tüm süreç için ekserji dengesini bulmak için birleştirilir, yani.

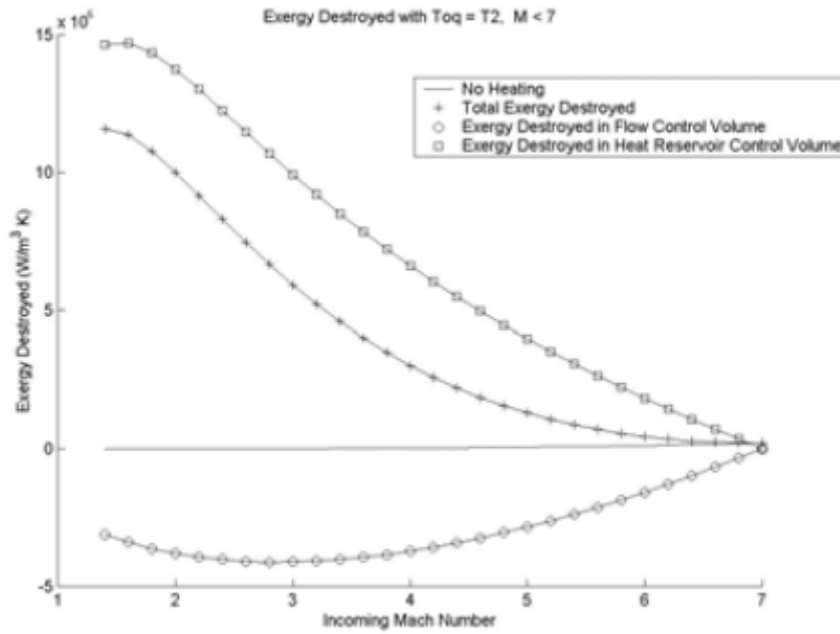
$$\dot{X}_{sbt} = T_1 \dot{S}_{gen} + T_1 \rho_1 V_1 (s_3 - s_2) \quad (2.64)$$

Bu yöntemi kullanarak, bir dizi gerçek çalışma noktası üzerinden Mach sayısı 7 olan bir tasarım girişi ile ilişkili ekserji dengesi hesaplandı. Örnekleme amacıyla, işlemin entropiyi bir hacimde azalacak ve diğerinde artacak şekilde hareket ettiğini kabul edilir. İlk önce Mach sayıları giriş belirlenen değerinden daha az düşünülür. Şekil 19 ve 20, hem akış kontrol

hacmindeki hem de akıştan daha soğuk olması gereken rezervuardaki ekserji (entropi) dengelerini göstermektedir (Moorhouse, & Hoke, 2002).

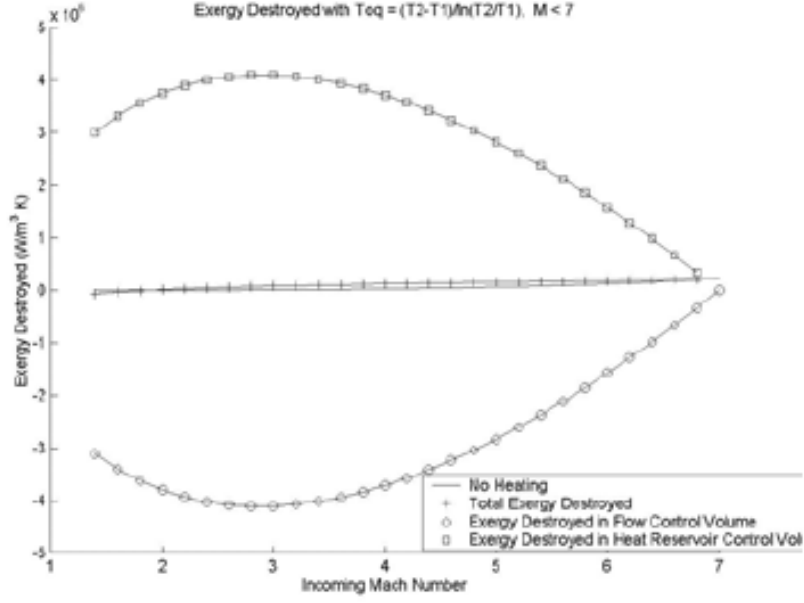
Hipersonik Dalgaların Grafiksel İzlenimi

Şekil 17'de, limit olarak T2 ile kaynaktan sabit sıcaklıkta bir ısıl enerji değişimi olması durumunda, kaynağa taşınarak akış kontrol hacminde “kazanılan ekserji/entropinin azaldığını” gözüküyor. Aynı şekilde iki hacmin toplamı artı Mach 7 değerinin şok dalgası boyunca entropi sıçramasının, kaybedilen ekserji miktarını gösterdiği de görülmektedir (Moorhouse, & Hoke, 2002).



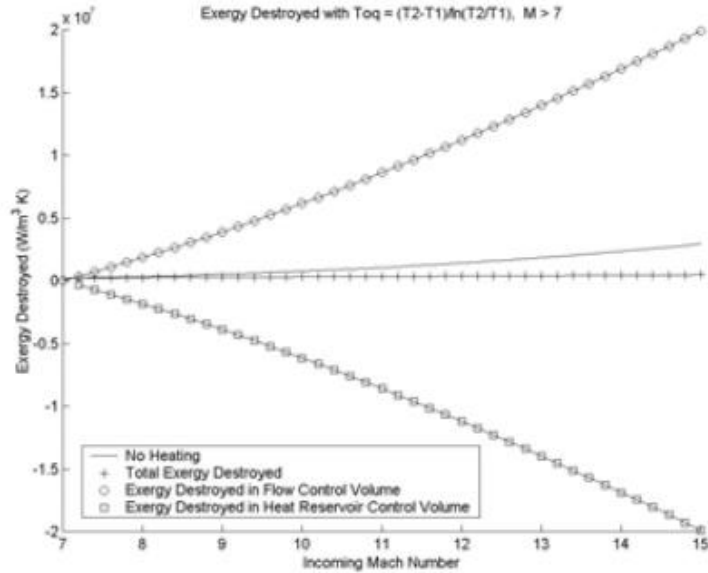
Şekil 19. Kaynaktan sabit sıcaklıkta ısıl enerji değişimi durumu için ekserji dengesi, $M < 7$ (Moorhouse, & Hoke, 2002).

Şekil 20, doğrusal sıcaklık akışına sahip bir kavramsal kaynak, yani mükemmel bir ısı eşanjörü için sonucu göstermektedir. Bu halde yok edilen toplam ekserji çok küçüktür.

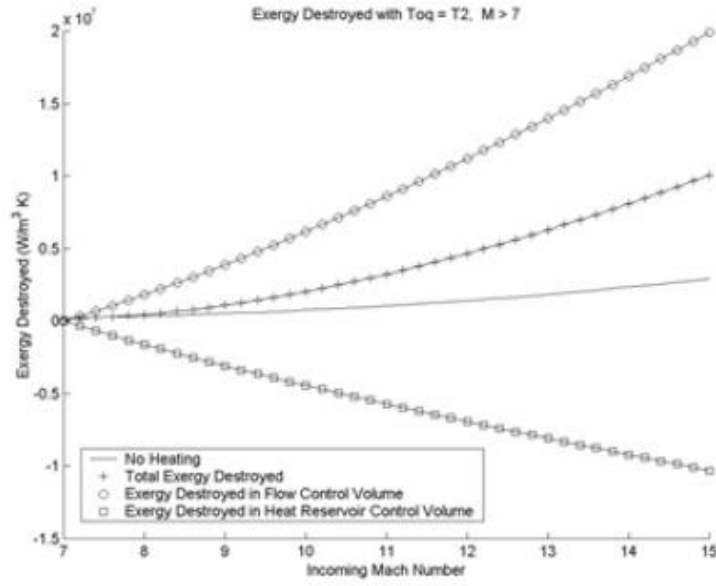


Şekil 20. Kaynaktan doğrusal sıcaklık profili termal enerji değişimi durumu için ekserji dengesi, $M < 7$ (Moorhouse, & Hoke, 2002).

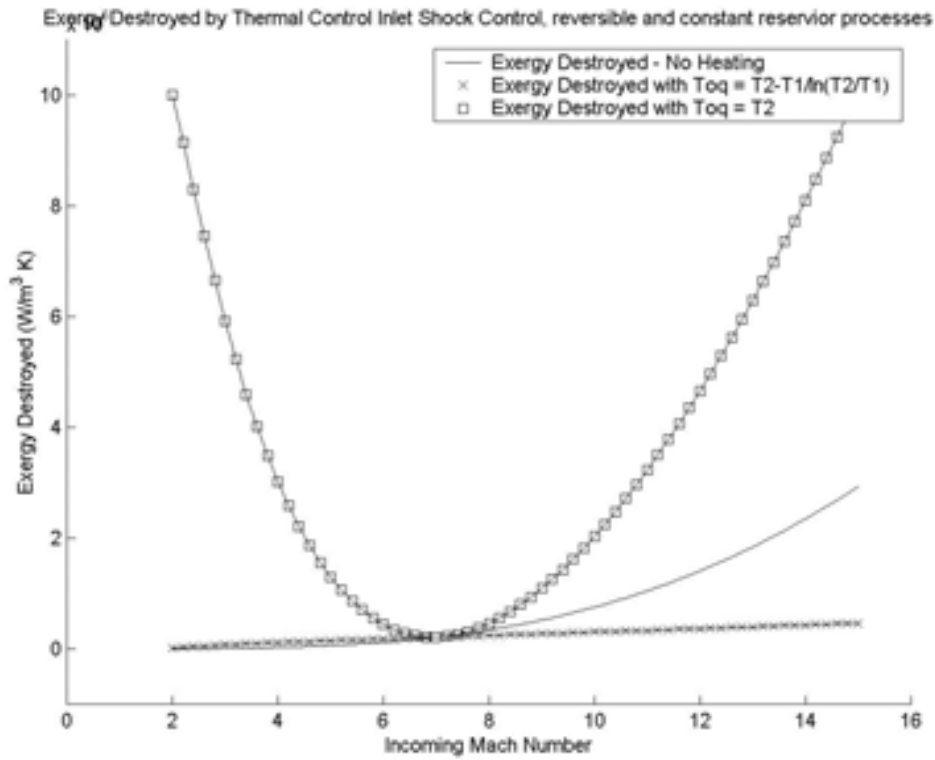
Şekil 21 ve 22, daha yüksek Mach sayıları için, yani akışa ısıl enerji ekleyen sıcak bir kaynak için sonuçları göstermektedir. Sabit sıcaklıkta ısıl enerji alışverişi olan bir kaynak, termal ısıtma olmadan şok dalgasından daha çok kaybedilen toplam ekserjiyi gösterir (Şekil 21).



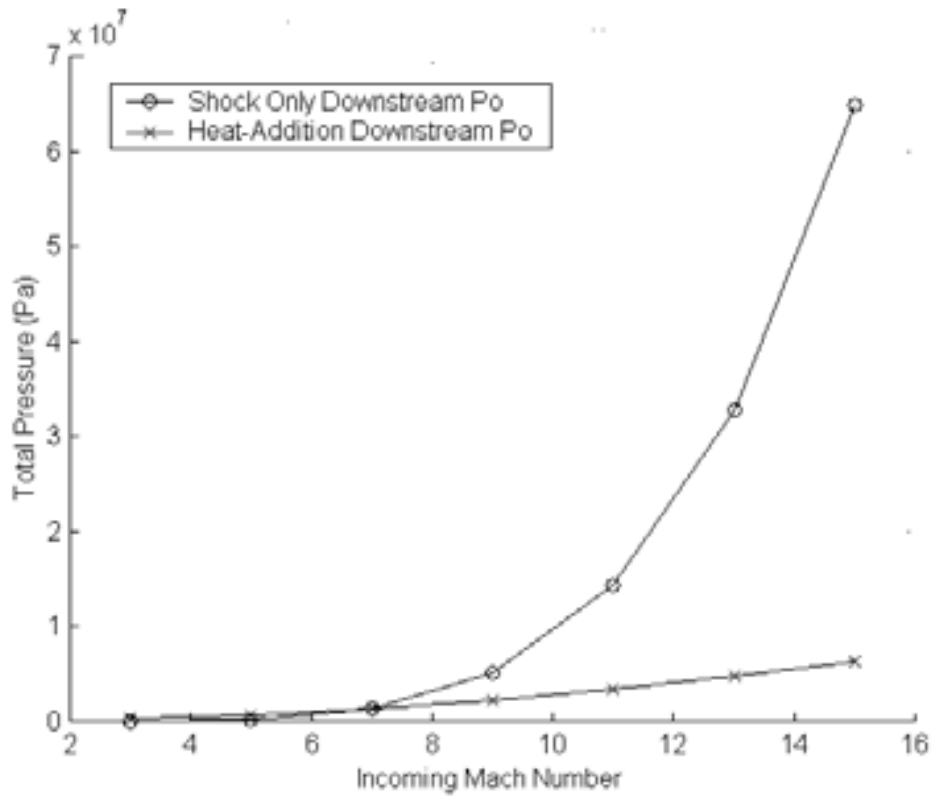
Şekil 21. Kaynaktan sabit sıcaklıkta termal enerji değişimi durumu için ekserji dengesi, $M > 7$ (Moorhouse, & Hoke, 2002).



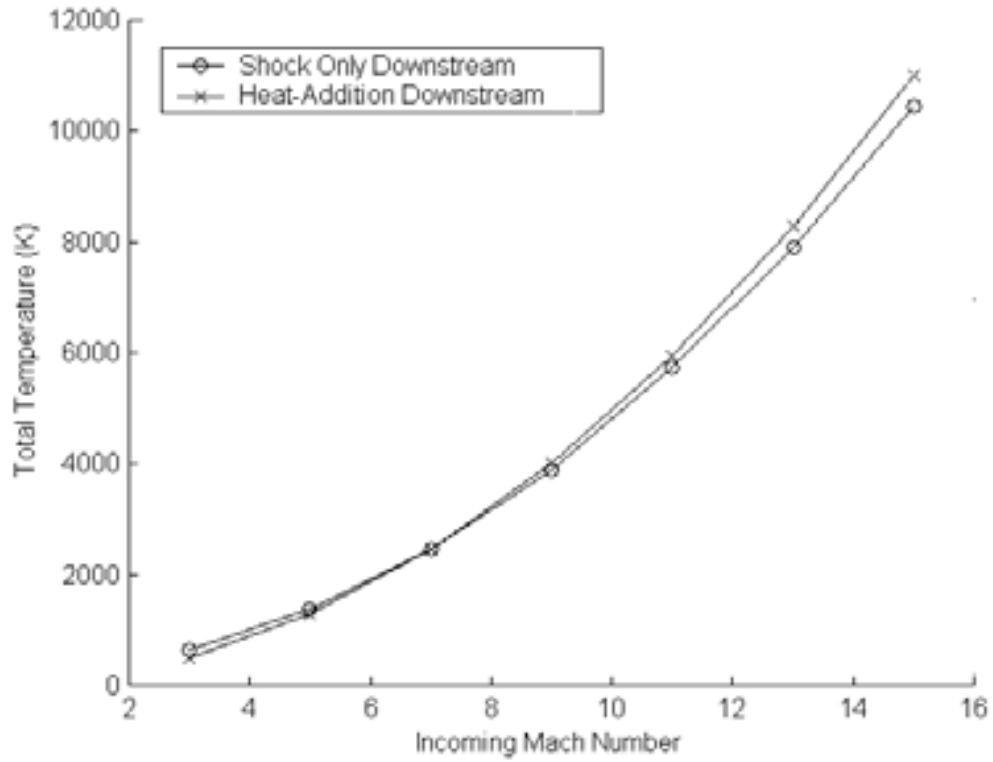
Şekil 22. Kaynaktan doğrusal sıcaklık profili termal enerji değişimi durumu için ekserji dengesi, $M > 7$ (Moorhouse, & Hoke, 2002).



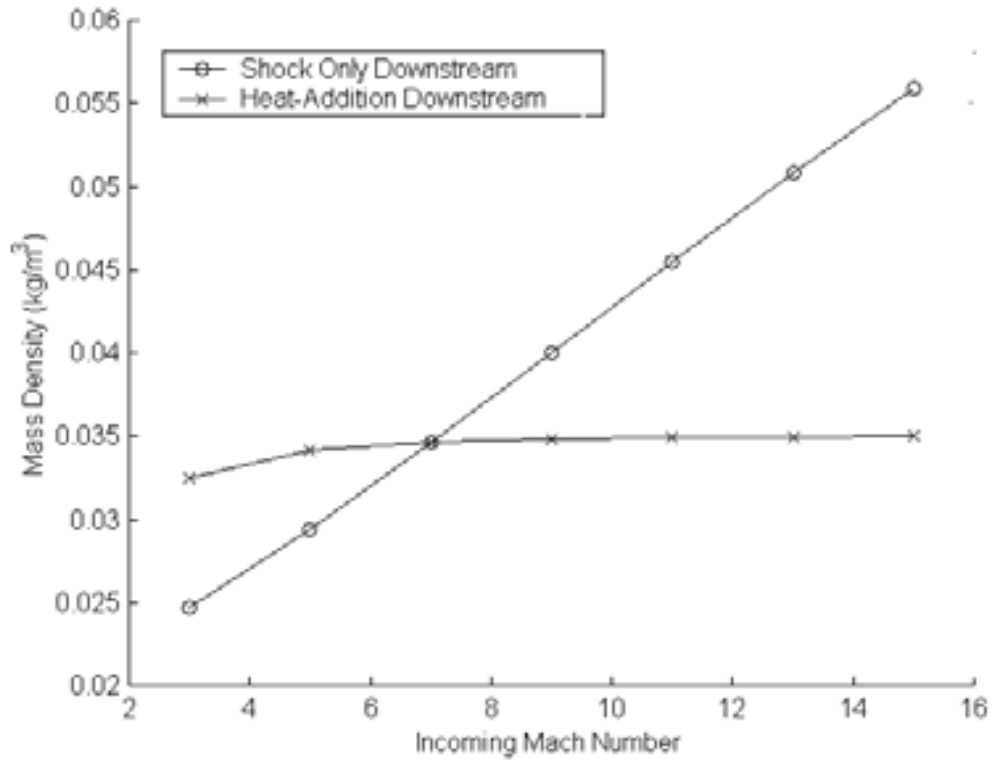
Şekil 23. Isıtmalı ve ısıtmasız yok edilen ekserji (Moorhouse, & Hoke, 2002).



Şekil 24. Termal şok uyarlamalı giriş toplam basıncı (Moorhouse, & Hoke, 2002).



Şekil 25. Şok giriş uyarlaması ile giriş toplam sıcaklığı (Moorhouse, & Hoke, 2002).



Şekil 26. Şok girişi uyarlamalı giriş yoğunluğu (Moorhouse, & Hoke, 2002).

Önceki sonuçlar, ısı enerjisi uyarlaması için eğrilerin ideal sınır koşulları olduğu kabul edilerek Şekil 8'de özetlenmiştir. Buna rağmen, kaynaktan sabit sıcaklıkta ısı enerjisi değişimine sahip basit bir ısı eşanjörü, termal uyarlama yapılmayan şok dalgasından önemli ölçüde daha fazla ekserji yok edildiğini gösterir.

Giriş tasarım değerinden daha yüksek Mach sayıları için, ideale yakın ısı alışverişi ile doğrusal sıcaklık profilini oluşturmak için bir ısı eşanjörü tasarlayabilirsek bir ekserji faydası vardır. Şok dalgasının giriş açısında tutulmasının amacı motor verimliliğini en üst düzeye çıkarmaktır, ancak analiz sonucu, şok dalgasının giriş açısında yerleştirilmesinin tahrik yararlarından bağımsız olarak ısıtma yoluyla gelen Mach sayısının azaltılmasıyla ilişkili faydaların olduğunu göstermektedir (Moorhouse, & Hoke, 2002).

Ekserji Kayıpları ve Termodinamik Denklikli Bağlantıları

Bir sistem için giren ve çıkan ekserjiler.

Gerçek prosesler için çıkan ekserji (Ex_c), giren ekserjiden (Ex_g) daima azdır. Bu eşitsizlik, ekserji yok oluşu olarak bilinen tersinmezlikler nedeniyle. Şekil 26' da gösterildiği gibi, çıkan ekserji, atığın (Ex_a) ve ürünün (Ex_u) ekserjisi olmak üzere, iki kısımdan oluşur. Ekserji kaybının ve atık ekserjinin her ikisi, ekserji kayıplarını gösterir. Ancak tersinmezliklerin

hiçbir ekserjisi yoktur ve bu yüzden, doğrudan hiçbir çevresel etkisi olmaz. Bununla beraber, büyük miktarda bir ekserji yok oluşu, çevresel zarara yol açabilen giren ekserjinin fazla miktarda kullanımı anlamına gelebilir (Özgener, & Hepbaşlı, 2003).

Ekserji verimleri.

Ekserji verimi, kullanılan ekserji değeri olarak tüm ekserji girişini ve yararlanılan olarak da tüm çıkan ekserjiyi tanımlar. Yani,

$$\eta_{ex,1} = \frac{E_{xç}}{E_{xg}} \quad (2.64)$$

Bununla beraber, çoğu proseslerde çıkanın bir kısmı atık olup,

$$E_{ç} = E_{ü} + E_a \quad (2.65)$$

Bağıntısı yazılabilir. Böylece, ekserji verimi,

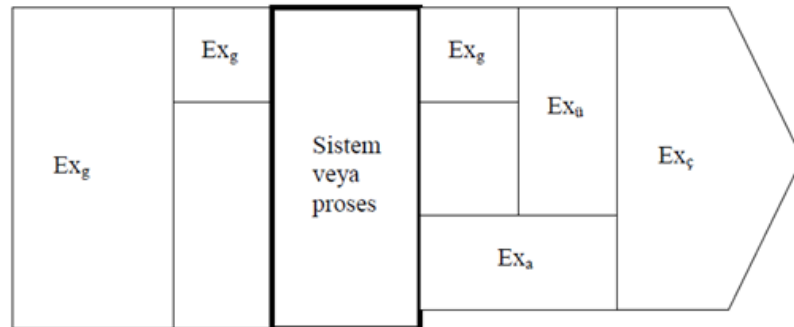
$$\eta_{ex,2} = \frac{E_{xç} - E_{xa}}{E_{xg}} = \frac{E_{ü}}{E_g} = \eta_{ex,1} - \frac{E_{xa}}{E_{xg}} \quad (2.66)$$

Şeklinde elde edilebilir.

Bazen ekserjinin bir kısmı sistemden etkilenmeden geçer, yani geçen ekserji (E_{xge}) söz konusu olur. Bu durumda,

$$\eta_{ex,3} = \frac{E_{xç} - E_{xa} - E_{xge}}{E_{xg} - E_{xge}} = \frac{E_{ü} - E_{xge}}{E_g - E_{xge}} \quad (2.67)$$

Denklemleri elde edilir.



Şekil 27. Sistemin giren çıkan ekserjileri (Özgener, & Hepbaşlı, 2003).

Termodinamik Denklikli Bağntıları

Termodinamik denklikli bağntıları öncesinde, bir sistemdeki bir miktar için genel denkliği aşağıdaki gibi yazmak daha doğru olacaktır.

$$\text{Giren} + \text{Üretilen} - \text{Çıkan} - \text{Tüketilen} = \text{Depolanan} \quad (2.68)$$

Burada; çıkan ve giren, sistem sınırlarından çıkan ve sınırlarına giren miktarları, tüketilen ve üretilen, sistem dahilinde tüketilen ve üretilen miktarları, depolanan ise, sistem içindeki miktarın gelişimini (negatif ya da pozitif) gösterir. (2.68) Bağntısı, miktarlar olarak, integral şeklinde ve akımsal olarak (birim zamanda) diferansiyel şeklinde ifade edilebilir. Diferansiyel denkliklik, belirli bir zaman aralığında bir sistemde ne olduğunu açıklar ve integral balans, iki zaman arasında bir sistemde ne olduğunu belirtir. Diferansiyel denkliklikler genellikle sürekli proseslere uygulanırken, integral denkliklikler yığın (batch) proseslere uygulanır. Sürekli akışlı-sürekli açık sistemler için depolanan akım terimi diferansiyel denkliklikler sıfırdır.

Daha önce de belirtildiği gibi, korunum yasasına (nükleer reaksiyonları ihmal ederek) uğrayan enerji ne üretilebilir ne de tüketilebilir. Ekserji ise, tersinmezlikler nedeniyle bir proses boyunca tüketilir ve bu yüzden korunamayan bir yasayla karşı karşıya kalır. Sonuç olarak, genel denkliklik bağntısı (2.68) bu miktarlar için aşağıdaki gibi yazılabilir (Özgener, & Hepbaşlı, 2003).

$$\text{GirenEnerji} - \text{ÇıkanEnerji} = \text{DepolananEnerji} \quad (2.69)$$

$$\text{GirenEkserji} - \text{ÇıkanEkserji} - \text{TüketilenEkserji} = \text{DepolananEkserji} \quad (2.70)$$

(2.69) ve (2.70) no'lu çıkan bağntıları, Eşitlik (2.65) de gösterildiği gibi, iki bileşene de ayrılabilir. Yani,

$$\text{Çıkan Ekserji} = \text{Çıkan Ürün Ekserjisi} + \text{Çıkan Atık Ekserji} \quad (2.71)$$

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Bulgular ve Tartışma

Yapılan araştırmalar ve elde edilen bulgular ışığında ilerletilen çalışmalar sonucu aşağıdaki tablolarda ve grafiklerde verilmiştir.

$$Ma = \frac{V}{c} = \frac{V}{\sqrt{kRT}} \quad (3.1)$$

$$Ma_{1n} = Ma_1 \cdot \sin\beta \quad (3.2)$$

$$Ma_{1t} = Ma_1 \cdot \cos\beta \quad (3.3)$$

$$Ma_{2n} = Ma_2 \cdot \sin(\beta - \alpha) \quad (3.4)$$

$$Ma_{2t} = Ma_2 \cdot \cos(\beta - \alpha) \quad (3.5)$$

$$\tan\alpha = 2\cot\beta \cdot \frac{Ma_1^2 \cdot \sin^2\beta - 1}{Ma_1^2 \cdot (k + \cos^2 2\beta) + 2} \quad (3.6)$$

Burada α açısı ve Ma_1 bilindiğinden iterasyonla β zayıf şok açısı ve β güçlü şok açıları hesaplanır. Daha sonra diğer bilinmeyenler bulunur. Burada k özgül ısılar oranı olup $k=1.4$ alınmıştır.

$$Ma_{2n} = \frac{Ma_{1n}^2 + 2/(k-1)}{Ma_{1n}^2 \cdot \frac{2k}{k-1} - 1} \quad (3.7)$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{k \cdot Ma_{1n}^2 + 1}{k \cdot Ma_{2n}^2 + 1} \quad (3.8)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{(\frac{k-1}{2})Ma_{1n}^2 + 1}{(\frac{k-1}{2})Ma_{2n}^2 + 1} \quad (3.9)$$

$$S_{irr} = s_2 - s_1 = c_p \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \quad (3.10)$$

Zayıf şok açısı için Ma_1 , ve dönüş açısı verilerek;

<https://www.engineering.com/calculators/oblique-flow-relations/> ve

<https://www.engineering.com/calculators/atmospheric-calculator/>

Programlarında Ma_2 , P_2/P_1 , T_2/T_1 , ρ_2/ρ_1 , ρ_1 , V , hesaplanmış $\dot{m}$, ve sürat hesabı ise tarafımızca yapılmıştır.

Atmospheric Calculator

This calculator helps you compute key properties of earth's atmosphere and aerodynamic quantities on a reference body in metric and English unit systems.

Select unit system: ☐ English ☒ Metric

Input		Results	
Altitude	10000 m	Temperature:	223.150 deg K
Speed	1497.99 m/sec	Density:	0.41230 kg/m ³
Reference Length	0 m	Pressure:	26437.2 N/m ²
Calculate Reset		Speed of Sound:	299.4671 m/sec
		Viscosity:	0.00001457 N sec/m ²
		Mach Number:	5.0022
		Dynamic Pressure:	463061. N/m ²
		Critical Cp:	15.941
		Vacuum Cp:	-0.057
		Reynolds Number:	0
		Laminar Cf:	Infinite
		Turbulent Cf:	0

Şekil 28. Atmospheric Calculator.

Oblique Flow Relations

The calculator computes ratios to free stream values across an oblique shock wave, turn angle, wave angle and associated Mach numbers (normal components, M_n , of the upstream).

Input M_1 value and select an input variable by using the choice button and then type in the value of the selected variable.

For perfect gas, $\gamma =$, angles in degrees

INPUT: $M_1 =$ Turn angle (weak shock) =

$M_2 =$	Turn ang. =	Wave ang. =
$p_2/p_1 =$	$\rho_2/\rho_1 =$	$T_2/T_1 =$
$p_{02}/p_{01} =$	$M_{1n} =$	$M_{2n} =$

Şekil 29. Oblique Flow Relations_1

THE PLAN

GET ISSUE 127
FOR FREE NOW



Oblique Flow Relations

The calculator computes ratios to free stream values across an oblique shock wave, turn angle, wave angle and associated Mach numbers (normal components, M_n , of the upstream).

Input M_1 value and select an input variable by using the choice button and then type in the value of the selected variable.

For perfect gas, $\gamma = 1.4$, angles in degrees

INPUT: $M_1 = 5.0$ Turn angle (weak shock) ▾ = 20.0 Calculate

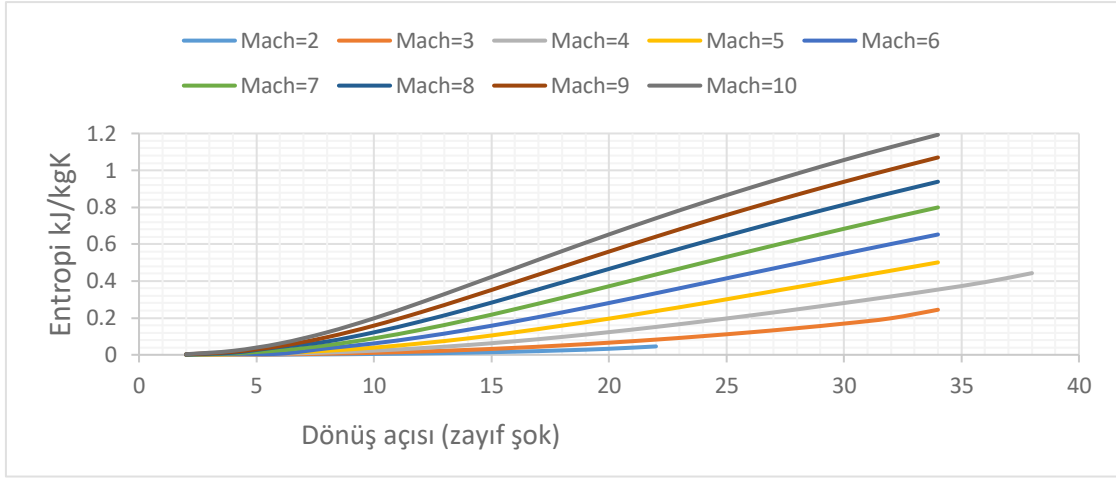
$M_2 = 3.02215162$	Turn ang. = 20	Wave ang. = 29.8009155
$p_2/p_1 = 7.03740958$	$\rho_2/\rho_1 = 3.31541762$	$T_2/T_1 = 2.12263141$
$p_{02}/p_{01} = 0.50507023$	$M_{1n} = 2.48493913$	$M_{2n} = 0.51444650$

Şekil 30. Oblique Flow Relations_2

Burada $c_p = 1.005$ kJ/kgK, $R = 0.287$ kJ/kgK, $T_\infty = 250$ K alınmıştır.

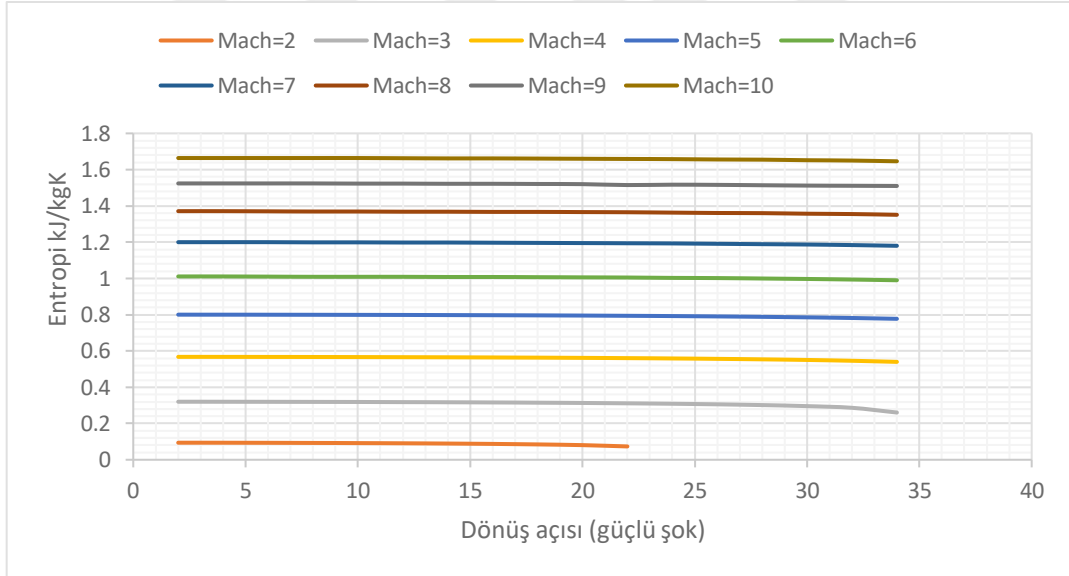
Tablo 3. Zayıf Şok Açısı, Ma_1 , Ma_2 , P_2/P_1 , T_2/T_1 , ρ_2/ρ_1 , ρ_1 , V , $\dot{m}$, $S_{\text{ür}}$ ve İçin Hesaplama Sonuçları (2000 Metre Rakım için I_{irr} Değerleri ve $Ma_1=5$)

Sapma Açısı θ°	Zayıf şok açısı β°	Ma_1	Ma_2	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	$\dot{m}=\rho_1 V A$, $A=1\text{m}^2$ (kgs^{-1})	$S_{\text{ür}}=s_2-s_1$ (Jkg^{-1} K^{-1})	$I_{\text{irr}}=\dot{m}T_c$ (s_2-s_1) (kW)
1	12.18	5	4.9	1.131	1.036	1.09	1.005	1662.7	1671	0.0214	8.9
2	12.85	5	4.79	1.277	1.073	1.190	1.005	1662.7	1671	0.354	148
3	13.56	5	4.69	1.437	1.111	1.294	1.005	1662.7	1671	1.73	722
4	14.30	5	4.59	1.613	1.15	1.403	1.005	1662.7	1671	3.25	1356
5	15.07	5	4.49	1.806	1.191	1.516	1.005	1662.7	1671	6.02	2514
6	15.87	5	4.39	2.016	1.234	1.634	1.005	1662.7	1671	10.1	4215
7	16.71	5	4.3	2.244	1.279	1.75	1.005	1662.7	1671	15.34	6408
8	17.57	5	4.20	2.491	1.326	1.878	1.005	1662.7	1671	21.9	9165
10	19.38	5	3.99	3.044	1.429	2.13	1.005	1662.7	1671	39.3	16408
12	21.28	5	3.80	3.676	1.543	2.383	1.005	1662.7	1671	62.3	26014
14	23.29	5	3.60	4.392	1.67	2.632	1.005	1662.7	1671	90.7	37884
16	25.38	5	3.40	5.191	1.807	2.872	1.005	1662.7	1671	121.9	50947
18	27.55	5	3.21	6.073	1.958	3.101	1.005	1662.7	1671	157.6	65826
20	29.80	5	3.02	7.037	2.123	3.315	1.005	1662.7	1671	196.6	82130
22	32.13	5	2.84	8.084	2.299	3.515	1.005	1662.7	1671	237.2	99102
24	34.54	5	2.65	9.210	2.490	3.699	1.005	1662.7	1671	279.6	116 809
26	37.04	5	2.48	10.41	2.693	3.868	1.005	1662.7	1671	323.1	134 959
28	39.63	5	2.30	11.70	2.909	4.023	1.005	1662.7	1671	367.2	153 404
30	42.34	5	2.13	13.07	3.138	4.164	1.005	1662.7	1671	400.1	167 124
32	45.19	5	1.97	14.52	3.38	4.294	1.005	1662.7	1671	456.2	190 559
34	48.24	5	1.80	16.06	3.639	4.413	1.005	1662.7	1671	501.3	209 430



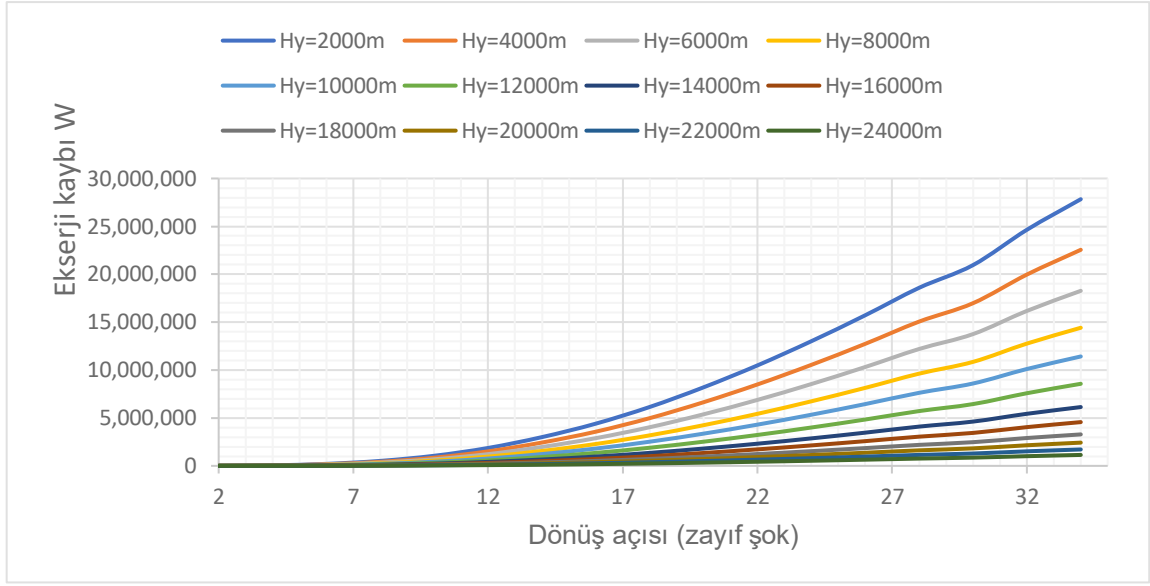
Şekil 31. Zayıf şok için çeşitli dönme açıları (derece cinsinden) Mach hızına göre üretilen entropi (2000 metre yükseklik için).

Mach sayısının artması süpersonik ve hipersonik araçların veya sistemlerin entropi üretimini arttırmaktadır. Düşük Mach sayıları için bu artışlar düşüktür. Ancak yüksek Mach sayıları için bu artışlar oldukça fazladır. Ayrıca derece cinsinden artan dönüş açıları (zayıf şok) entropi oluşumunu artırır. Derece cinsinden düşük dönüş açıları için bu artışlar düşüktür. Ancak, derece cinsinden yüksek açılar için entropi üretimi artışları çok yüksektir.



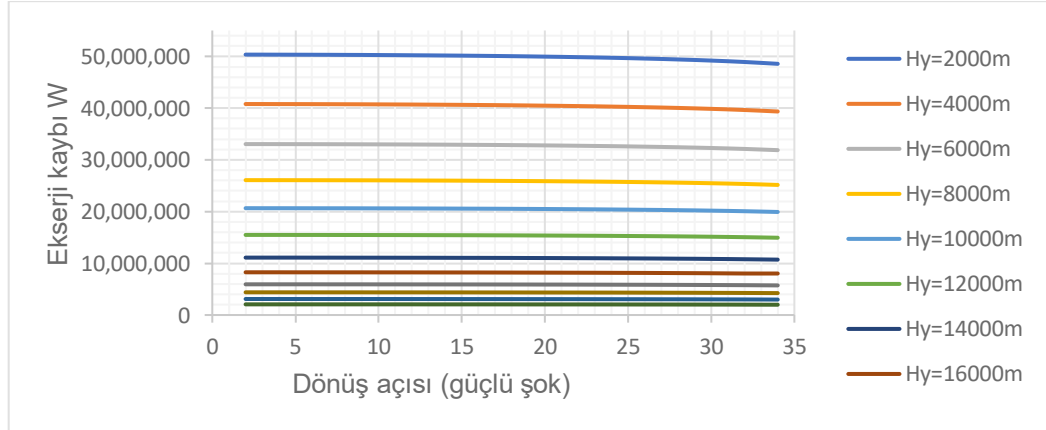
Şekil 32. 2000 metre irtifa için farklı Mach sayıları için derece (güçlü şok) cinsinden dönüş açılarıyla entropi üretiminin değişimi.

Mach sayısının artması süpersonik ve hipersonik araçların veya sistemlerin entropi üretimini arttırmaktadır. Düşük Mach sayıları için bu artışlar düşüktür. Ancak yüksek rakamlar için bu artışlar oldukça fazladır. Görüldüğü gibi derece olarak artan dönüş açıları (güçlü şok) neredeyse sabit kalan entropi oluşumuna herhangi bir etki yapmamaktadır.



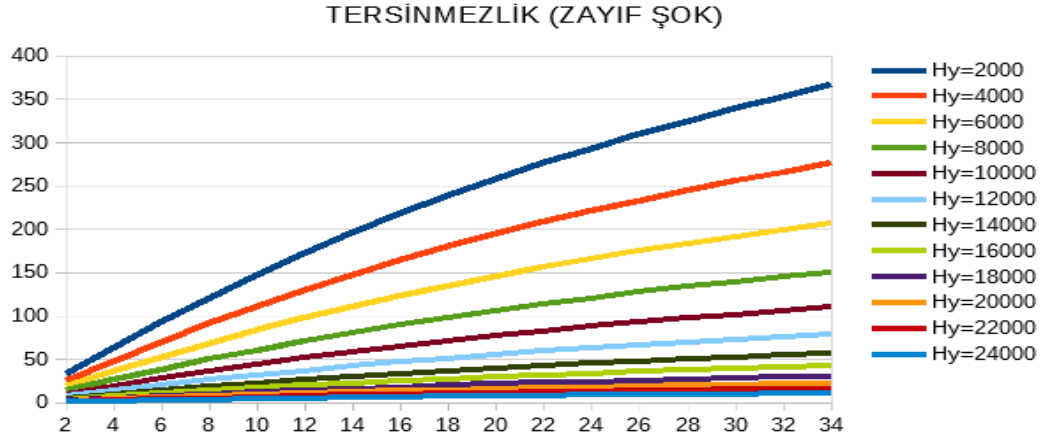
Şekil 33. $Ma=5$ ve farklı yükseklikler için ekserji yıkımının dönüş açılarıyla derece (zayıf şok) cinsinden değişimi.

Artan yükseklikler, süpersonik ve hipersonik araçların veya sistemlerin ekserji yıkımını azaltmaktadır. Düşük rakımlar için bu artışlar çok yüksektir. Ancak yüksek rakımlar için bu artışlar çok düşüktür. Ayrıca derece cinsinden artan dönüş açıları (zayıf şok) ekserji yıkımını artırır. Derece cinsinden düşük dönüş açıları için bu artışlar düşüktür. Ancak, derece cinsinden yüksek açılar için ekserji yıkımı artışları alçak irtifalar için çok yüksektir. Havanın yoğunluğu entropi üretimi ve ekserji yıkımı üzerinde çok etkilidir.

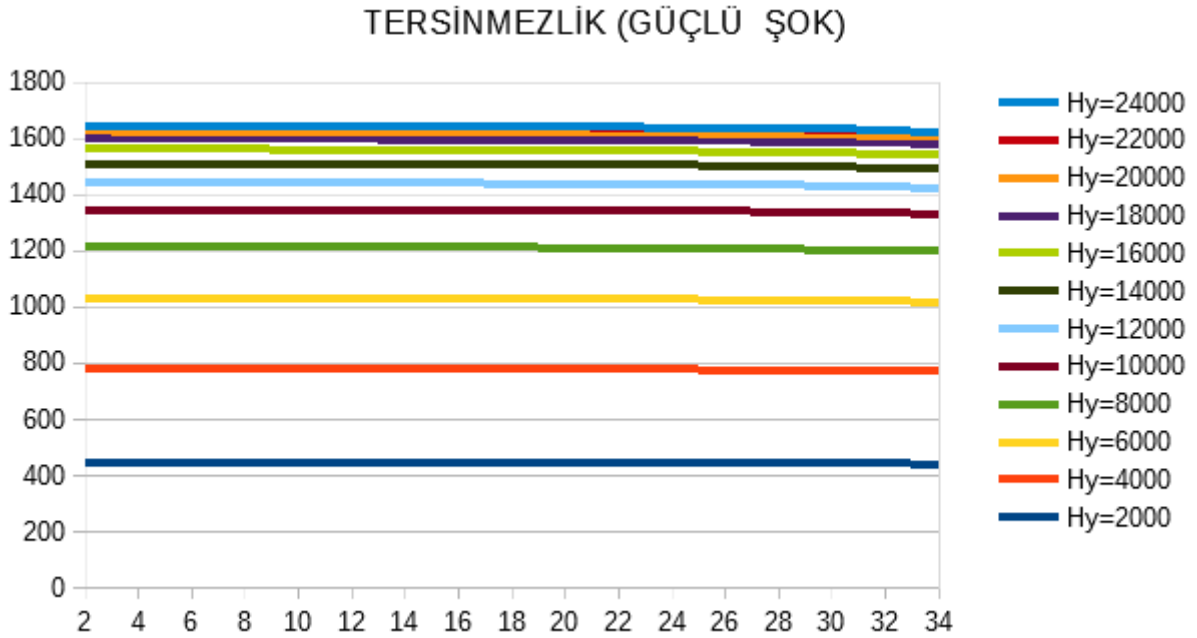


Şekil 34. $Ma=5$ ve farklı irtifalar için ekserji yıkımının dönüş açılarıyla derece (güçlü şok) cinsinden değişimi.

Artan irtifalar, süpersonik ve hipersonik araçların veya sistemlerin ekserji yıkımını azaltmaktadır. Düşük rakımlar için bu artışlar çok yüksektir. Ancak yüksek rakımlar için bu artışlar çok düşüktür. Görüldüğü gibi derece cinsinden artan dönüş açıları (güçlü şok) entropi oluşumuna ve neredeyse sabit kalan ekserji yıkımına herhangi bir etki yapmamaktadır.



Şekil 35. Zayıf şok açılarında yükseklik değerlerine göre tersinmezlik.

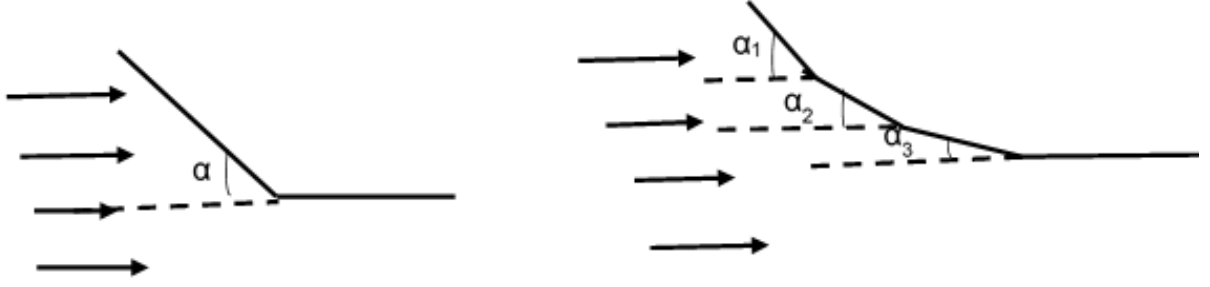


Şekil 36. Güçlü şok açılarında yükseklik değerlerine göre tersinmezlik.

Hipersonik Araç Gövdelerinin Ekserji Optimizasyonu ile Tasarımı

Görüldüğü gibi; daha yüksek Mach, daha yüksek ekserji yıkımı anlamına gelir ve daha yüksek rakımlar, zayıf şok ve güçlü şok için daha düşük ekserji yıkımı anlamına gelir. Güçlü şok için derece cinsinden artan dönüş açıları, entropi oluşumuna ve neredeyse sabit kalan ekserji yıkımına herhangi bir etki yapmamaktadır. Zayıf şok için derece cinsinden artan dönüş açıları, entropi oluşumunda ve ekserji yıkımında hızlı artışlar sağlar. Süpersonik ve hipersonik araçların veya sistemlerin entropi oluşumlarını azaltmak için akış için kademeli sıkıştırma yöntemi çok etkilidir.

Aşağıdaki şekilde akışın kademeli olarak sıkıştırılması şematik olarak verilmiştir.

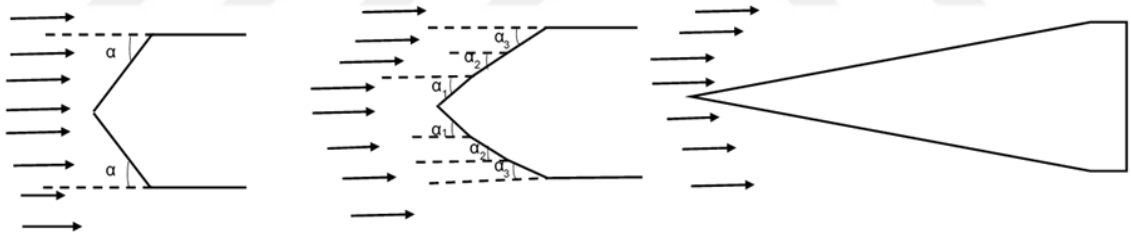


Şekil 37. Akışın kademeli olarak sıkıştırılması.

Örnek bir hipersonik aracın gövdesinin ekserji optimizasyonu ile tasarımı.

Tablo 4.10 Derece Dönüş Açısı İçin Kademeli Sıkıştırma Sonuçları

Durum	a1	a2	a3	Sür(kJkg-1K-1)
1	10	0	0	39.2793
2	3	3	4	6.8489
3	2	4	4	6.8489
4	5	5	0	13.3394
5	4	6	0	13.3394
6	3	7	0	17.8171



Şekil 38. Hipersonik aracın gövdesinin ekserji optimizasyonu.

Tablo 5. En Düşük Derece Dönüş Açısı İçin Gövdenin Kademeli Sıkıştırma Sonuçları

Durum	10	3+3+4	2+4+4	5+5	4+6	3+7	1+3+3+3	2+2+2+2+2	1+1+1+1+1+1+1+1+1+1
Sür	39.3	6.9	6.9	13.3	13.3	17.8	5.21	1.77	0.214
(kJkg ⁻¹ K ⁻¹)									

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Sonuçlar

Hipersonik akışlar ve hipersonik cihazlar ve araçlar hızla yaygınlaşan ve teknolojik rekabete dönüşen en önemli ileri teknoloji konularıdır.

Hipersonik akış ve cihazlarda ortaya çıkan şok dalgaları ve bunların yarattığı enerji ve ekserji yıkımları, bu ileri teknolojiye ortaya çıkan en önemli engel ve zorluklardır.

Bu çalışmada enerji ve ekserji analizi ile aerodinamik analiz yöntemleri uygulanmış ve tasarımda faydalı olacak veriler ve sonuçlar elde edilmiştir.

Hipersonik cihazların ve enstrümanların optimum tasarım yolları tartışılıp, daha yüksek Mach sayılarının daha yüksek ekserji yıkımı anlamına geldiği ve daha yüksek irtifaların zayıf şok ve güçlü şok için daha düşük ekserji yıkımı anlamına geldiği bulundu.

Güçlü şok için derece cinsinden artan dönüş açıları, entropi oluşumuna ve neredeyse sabit kalan ekserji yıkımına herhangi bir etki yapmamaktadır.

Zayıf şok için derece cinsinden artan dönüş açıları, entropi oluşumunda ve ekserji yıkımında hızlı artışlar sağlar.

Süpersonik ve hipersonik araçların veya sistemlerin entropi oluşumlarını azaltmak için akışın kademeli sıkıştırılması yöntemi çok etkilidir.

Süpersonik ve hipersonik araçların tasarımcıları ampirik olarak kademeli sıkıştırma veya kontur yüzeylerini tercih ederler.

Bununla birlikte, kademeli sıkıştırma veya kontur yüzeyleri ne kadar mükemmel olursa olsun, eğik şoktan kaçınılamaz.

Ancak enerjisinin ve ekserjisinin büyük bir kısmını korumak, süpersonik ve hipersonik araçların veya sistemlerin entropi üretimini azaltmayı sağlamakla mümkündür.

KAYNAKÇA

- Anderson, & John D. Jr. [1984], *Fundamentals of Aerodynamics* (3rd ed.), McGraw-Hill Science/Engineering/Math, ISBN 978-0-07-237335-6, pp.465-511 ,(January 2001)
- Bachman, C. L. & Goodwin, G. B. (2021). *Ignition criteria and the effect of boundary layers on wedge-stabilized oblique detonation waves*. *Combustion and Flame*, 10.1016/j.combustflame.2020.10.007.
- Bomjan, B., Bhattra, S. & Tang, H. (2018). *Characterization of induction and transition methods of oblique detonation waves over dual-angle wedge*. *Aerospace Science and Technology*, 10.1016/j.ast.2018.07.038.
- Cammi, G., Spinelli, A., Cozzi, F. & Guardone, A. (2021). *Automatic detection of oblique shocks and simple waves in schlieren images of two-dimensional supersonic steady flows*. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 10.1016/j.measurement.2020.108260.
- Chernyshov, M. V., & Tolpegin, O.A., (2019). Optimal regular reflection of oblique shocks, *Acta Astronautica* Volume 163, Part A, October 2019, Pages 225-231.
- Choi, J., Edward, J., Shin, R., & Jeung, S., (2009). *Unstable combustion induced by oblique shock waves at the non-attaching condition of the oblique detonation wave*, *Proceedings of the Combustion Institute* Volume 32, Issue 2, 2009, Pages 2387-2396.
- Çengel, Y. A., Hill, M., & Cimbala J. M. (2014). *Akışkanlar mekaniği; Temelleri ve Uygulamaları* (3.bs.) (Bölüm 12).
- Çengel. Y. A., & Cimbala J. M. (2017) *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*. 4th ed.. McGraw-Hill Education. 2017.
- Huang, W., Wu, H., Du, Z., LiYan & Choubey, G., (2021). *Design exploration on the mixing augmentation induced by the oblique shock wave and a novel step in a supersonic flow*, *Acta Astronautica* Volume 180, March 2021, Pages 622-629.
- Kakatsios, X. K. & Houzouris, G. E. (1998). *Analytical study and empirical relations for the oblique and normal shock-waves in real air*. *Energy Conversion and Management*, 10.1016/s0196-8904(97)00022-8.

- Kouremenos, D.A., & Antonopoulos, K. A., (1989). *Generalized and exact solutions for oblique shock waves of real gases with application to real air*, International Journal of Heat and Fluid Flow Volume 10, Issue 4, December 1989, Pages 328-333.
- Lee, J. H. & Glass, I. I. (1984). *Pseudo-stationary oblique-shock-wave reflections in frozen and equilibrium air*. Progress in Aerospace Sciences, 10.1016/0376-0421(84)90003-4.
- Li, G., Zhang, G., Zhang, Y., Ji, L. & Gao, S. (2020). *Influence of viscous boundary layer on initiation zone structure of two-dimensional oblique detonation wave*. Aerospace Science and Technology, 10.1016/j.ast.2020.106019.
- Li, Y., Luo, H., Xiong, C., & Xu, J., (2019). *Laminar boundary layer separation over a fluttering panel induced by an oblique shock wave*, Journal of Fluids and Structures Volume 90, October 2019, Pages 90-109.
- Liu, Y., Wang, L., Xiao, B., Yan, Z. & Wang, C. (2018). *Hysteresis phenomenon of the oblique detonation wave*. Combustion and Flame, 10.1016/j.combustflame.2018.02.010
- Markell, K. C. (2005). *Exergy Methods for the Generic Analysis and Optimization of Hypersonic Vehicle Concepts*. Erişim adresi: [https://www.researchgate.net/publication/36190015_Exergy_Methods_for_the_Generi c_Analysis_and_Optimization_of_Hypersonic_Vehicle_Concepts](https://www.researchgate.net/publication/36190015_Exergy_Methods_for_the_Generi_c_Analysis_and_Optimization_of_Hypersonic_Vehicle_Concepts)
- Moorhouse David J., & Hoke Charles M., (2002). *Thermal Analysis of Hypersonic Inlet Flow with Exergy-Based Design Methods*, Int.J. Applied Thermodynamics, Vol.5 (No.4), pp.161-168, December.
- Myles, L., B., Huang, J., David, W., R. & José, A., C. (2007). *Second-law methods for the analysis & design of hypersonic vehicles*. Collection of Technical Papers- 39th AIAA Thermophysics Conference, 10.2514/6.2007-4055.
- Onaran, C., F., & Durna, A., S., (2020). *Ses  st  akışlarda 4 farklı geometri üzerindeki akışın deneysel ve sayısal yöntemlerle incelenmesi*, huhuk-2020-041 8. ulusal havacılık ve uzay konferansı 9-11 Eylül 2020, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Ankara.
- Özgener 1., Hepbaşlı, A. (2003). *Hvac Sistemlerinde Ekserji Analizinin Gereklilięi ve Uygulamaları*, VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi.
- Erişim adresi: <http://mmoteskon.org/teskon2003/2003-4>

- Qin, Q. & Zhang, X. (2018). *A novel method for trigger location control of the oblique detonation wave by a modified wedge*. Combustion and Flame, 10.1016/j.combustflame.2018.07.011.
- Qin, Q. & Zhang, X. (2020). *Study on the initiation characteristics of the oblique detonation wave by a co-flow hot jet*. Acta Astronautica, 10.1016/j.actaastro.2020.07.015.
- Qin, Q. & Zhang, X. (2021). *Nitrogen dilution effects on the local detachment of the oblique detonation wave in the 2H₂–O₂ mixture*. International Journal of Hydrogen Energy, 10.1016/j.ijhydene.2020.11.157.
- Ren, Z., Wang, B. & Zheng, L. (2021). *Wedge-induced oblique detonation waves in supersonic kerosene-air premixing flows with oscillating pressure*. Aerospace Science and Technology, 10.1016/j.ast.2020.106472
- Shi, X., Xie, H., Zhou, L. & Zhang, Y. (2022). *A theoretical criterion on the initiation type of oblique detonation waves*. Acta Astronautica, 10.1016/j.actaastro.2021.10.005.
- Sod, G.A. (1991). *A compressible vortex method with application to the interaction of an oblique shock wave with a boundary layer*. Applied Numerical Mathematics, 10.1016/0168-9274(91)90056-6
- Teh, E.-J., & Johansen, C.,T., (2016). *Effect of particle momentum transfer on an oblique-shock-wave/laminar-boundary-layer interaction*, Acta Astronautica Volume 128, November–December 2016, Pages 431-439.
- Teng, H., Bian, J., Zhou, L. & Zhang, Y. (2021). *A numerical investigation of oblique detonation waves in hydrogen-air mixtures at low Mach numbers*.
- Teng, H., Zhang, Y. & Jiang, Z. (2014). *Numerical investigation on the induction zone structure of the oblique detonation waves*. Computers and Fluids, 10.1016/j.compfluid.2014.03.001.
- Teng, H., Zhang, Y., Yang, P. & Jiang, Z. (2021). *Oblique detonation wave triggered by a double wedge in hypersonic flow*. Chinese Journal of Aeronautics, 10.1016/j.cja.2021.07.040.
- Upyrev, V., V., & Bulat, V., P., (2018). *Regular refraction of an oblique shock wave at the tangential discontinuity*, European Journal of Mechanics - B/Fluids Volume 72, November–December 2018, Pages

- Xiang, G., Zhang, Y., Xiang, G., Li, H., & Huang, X., (2021). *Oblique detonation waves induced by two symmetrical wedges in hydrogen-air mixtures*, Fuel Volume 295, 1 July 2021, 120615.
- Xiang, G., Zhang, Y., Gao, X., Li, H. & Huang, X. (2021). *Oblique detonation waves induced by two symmetrical wedges in hydrogen-air mixtures*. Fuel, 10.1016/j.fuel.2021.120615.
- YILDIRIM, M. (2006), *Süpersonik, Sübsonik, Transonik, Hipersonik Nedir?* 01temmuz 2022 tarihinde Bilgiustam, <https://www.bilgiustam.com/supersonik-subsonik-transonik-hipersonik-nedir-sok-dalgaları-ve-sonik-patlama-nasil-gerçekleştirdi/> adresinden alındı.
- Yükselen, M.A. (2006). *Sıkıştırılabilir Aerodinamik* (2006-2007) (Ders notları) Erişim adresi: https://web.itu.edu.tr/yukselen/UZB362/UZB362_Index.htm International Journal of Hydrogen Energy, 10.1016/j.ijhydene.2020.12.180.
- Zha, Z., Ye, Z., Hong, Z., & Ye, K., (2021). Effects of unsteady oblique shock wave on mixing efficiency of two-dimensional supersonic mixing layer, Acta Astronautica Volume 178, January 2021, Pages 60-71. 531-537.

EKLER

Tablo 6. $Ma=2$ 'ye Göre Zayıf Şok

Sapma	Zayıf									$S_{irr}=S_2-S_1$
Açısı θ^0	Şok	Ma_1	Ma_{1n}	Ma_2	Ma_{2n}	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	T_2 (K)	(J/kgK)
	Açısı β^0									
2	31.646	2	1.04934	1.92805	0.9537	1.1179	1.0324	1.08287	258.1	0.0902
4	33.39	2	1.1007	1.8568	0.91124	1.2467	1.0655	1.2467	266.375	0.348
6	35.24	2	1.15403	1.7856	0.8722	1.3871	1.0991	1.262	274.775	1.102
8	37.21	2	1.2095	1.7137	0.8363	1.54	1.1339	1.3581	283.475	2.838
10	39.31	2	1.2671	1.6405	0.8032	1.7066	1.1702	1.4584	292.55	4.5037
12	41.58	2	1.3272	1.5651	0.7725	1.8884	1.2081	1.5631	302.025	7.58328
14	44.02	2	1.39	1.4866	0.7439	2.0876	1.2483	1.6723	312.075	10.6885
16	46.73	2	1.4563	1.4034	0.7172	2.3075	1.2913	1.787	322.825	17.1068
18	49.79	2	1.5273	1.3131	0.6917	2.5546	1.3384	1.9086	334.6	22.4268
20	53.42	2	1.6061	1.2102	0.6666	2.8429	1.3922	2.042	348.05	32.8665
22	58.46	2	1.7045	1.076	0.6394	3.2228	1.4616	2.2051	365.4	44.3638

Tablo 7. $Ma=2$ 'ye Göre Güçlü Şok

Sapma	Güçlü									
Açısı θ^0	Şok	Ma_1	Ma_{1n}	Ma_2	Ma_{2n}	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	T_2	$S_{irr}=S_2-S_1$
	Açısı β^0								(K)	(KJ/kgK)
2	88.8	2	1.9996	0.5783	0.5774	4.498	1.6871	2.666		0.094
4	87.58	2	1.9982	0.5813	0.5777	4.4917	1.6861	2.664		0.09378
6	86.34	2	1.9959	0.5864	0.5781	4.481	1.6842	2.6606		0.0934
8	85.05	2	1.9925	0.5937	0.5786	4.4653	1.6814	2.6556		0.0928
10	83.7	2	1.9879	0.6037	0.5794	4.4438	1.6777	2.6487		0.09188
12	82.26	2	1.9817	0.6168	0.5805	4.4153	1.6727	2.6395		0.09077
14	80.68	2	1.9736	0.6337	0.5819	4.3777	1.6662	2.6273		0.08934
16	78.92	2	1.9627	0.6558	0.5839	4.3277	1.6575	2.6111		0.0872
18	76.86	2	1.9476	0.6854	0.5866	4.2589	1.6454	2.5883		0.08468
20	74.27	2	1.9251	0.7278	0.5908	4.157	1.6276	2.5541		0.08016
22	70.33	2	1.8833	0.8017	0.5989	3.9714	1.595	3.9713		0.07311
24										

Tablo 8. $Ma=3$ 'e Göre Zayıf Şok

Sapma	Zayıf Şok Açısı β^0								$S_{irr}=S_2-S_1$
Açısı θ^0		Ma_1	Ma_{1n}	Ma_2	Ma_{2n}	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	(J/kgK)
2	20.87	3	1.0685	2.8981	0.9371	1.1655	1.0448	1.1155	0.0001
4	22.35	3	1.141	2.7988	0.8813	1.3522	1.0909	1.2395	0.0008
6	23.93	3	1.2171	2.7008	0.8317	1.5616	1.1387	1.3713	0.0026
8	25.61	3	1.2967	2.6031	0.7875	1.7953	1.1888	1.5101	0.0059
10	27.38	3	1.3797	2.505	0.7483	2.0545	1.2416	1.6546	0.0108
12	29.25	3	1.4659	2.4059	0.7135	2.3404	1.2977	1.8035	0.0179
14	31.22	3	1.5549	2.3056	0.6825	2.654	1.3571	1.9556	0.0267
16	33.29	3	1.6465	2.2037	0.6549	2.9964	1.4204	2.1095	0.0377
18	35.47	3	1.7407	2.0999	0.6303	3.3684	1.4878	2.2640	0.0507
20	37.76	3	1.8372	1.9941	0.6083	3.7713	1.5596	2.418	0.0657
22	40.19	3	1.936	1.8858	0.5887	4.2063	1.6362	2.5707	0.0825
24	42.77	3	2.0373	1.7744	0.5711	4.676	1.7181	2.7216	0.1012
26	45.55	3	2.1416	1.6589	0.5551	5.1843	1.806	2.8706	0.1218
28	48.58	3	2.2498	1.5388	0.5405	5.7388	1.9013	3.0184	0.1443
30	52.01	3	2.3644	1.4059	0.5269	6.3559	2.0067	3.1673	0.1692
32	56.18	3	2.4924	1.2541	0.5137	7.0809	2.13	3.3243	0.1981
34	63.67	3	2.6888	1.0029	0.4965	8.2683	2.331	3.5469	0.2443

Tablo 9. $Ma=3$ 'ye Göre Güçlü Şok

Sapma	Güçlü Şok								$S_{irr}=S_2-S_1$
Açısı θ^0	Açısı β^0	Ma_1	Ma_{1n}	Ma_2	Ma_{2n}	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	(KJ/kgK)
2	89.3	3	2.9998	0.4757	0.475	10.3317	2.6787	3.857	0.3201
4	88.59	3	2.9991	0.4773	0.4752	10.327	2.6779	3.8563	0.3199
6	87.88	3	2.998	0.4801	0.4753	10.3189	2.6766	3.8552	0.3196
8	87.15	3	2.9963	0.4841	0.4754	10.3074	2.6746	3.8537	0.3192
10	86.4	3	2.9941	0.4892	0.4755	10.2921	2.6721	3.8517	0.3187
12	85.63	3	2.9913	0.4957	0.4757	10.2726001	2.66880037	3.8491	0.3180
14	84.83	3	2.9878	0.50383337	0.4759	10.2482964	2.66471352	3.8459	0.3171
16	84	3	2.9835	0.51358412	0.4761	10.2184318	2.65969135	3.8419	0.3161
18	83.1	3	2.9783	0.52530439	0.4765	10.1819331	2.65355320	3.8371	0.3148
20	82.2	3	2.9719	0.53936285	0.4769	10.1372998	2.6460465	3.8311	0.3132
22	81.1	3	2.9639	0.55628226	0.4774	10.0823743	2.63680797	3.8237	0.3112
24	79.95	3	2.954	0.57683483	0.478	10.0139213	2.62529283	3.8144	0.3088
26	78.65	3	2.9414	0.60223070	0.479	9.92679320	2.61063409	3.8024	0.3057
28	77.12	3	2.9246	0.63454144	0.4798	9.81204243	2.59132435	3.7864	0.3015
30	75.23	3	2.901	0.67785606	0.4813	9.65174278	2.56434262	3.7638	0.2957
32	72.64	3	2.8634	0.74276914	0.4838	9.39878975	2.52174736	3.7271	0.2865
34	66.74	3	2.7564	0.90826015	0.4913	8.69710951	2.40345966	3.6186	0.2605

Tablo 10. $Ma=4$ 'e Göre Zayıf Şok

Sapma Açısı θ^0	Zayıf Şok Açısı β^0	Ma_1	Ma_{1n}	Ma_2	Ma_{2n}	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	$S_{ir}=S_2-S_1$ (KJ/kgK)
2	15.81	4	1.08996597	3.852	0.91967386	1.21936	1.0585	1.1519	0.0002
4	17.26	4	1.18668376	3.7089	0.85057452	1.47626	1.1196	1.3185	0.0017
6	18.81	4	1.28983797	3.5678	0.79116763	1.7743	1.1845	1.498	0.0056
8	20.47	4	1.39898140	3.4272	0.74013860	2.1167	1.254	1.6879	0.0123
10	22.23	4	1.51356998	3.2861	0.69633864	2.506	1.3293	1.8852	0.0224
12	24.1	4	1.63300173	3.1439	0.65875567	2.9445	1.4109	2.087	0.0360
14	26.05	4	1.75665450	3.0008	0.62649833	3.4335	1.4995	2.2898	0.0531
16	28.1	4	1.88391908	2.857	0.59878569	3.974	1.5954	2.4909	0.0735
18	30.24	4	2.01422673	2.7128	0.57493848	4.5666	1.6991	2.6877	0.0969
20	32.46	4	2.14707225	2.5686	0.55437016	5.2116	1.8107	2.8782	0.1229
22	34.79	4	2.28203553	2.4246	0.53657723	5.909	1.9304	3.061	0.1512
24	37.21	4	2.41880619	2.2809	0.52112899	6.6591	2.0583	3.2352	0.1813
26	39.74	4	2.55721939	2.1374	0.50765699	7.4626	2.1947	3.4002	0.2131
28	42.4	4	2.69731706	1.9935	0.49584403	8.3214	2.34	3.5561	0.2463
30	45.22	4	2.83946707	1.8485	0.48541203	9.2397	2.4949	3.7033	0.2807
32	48.26	4	2.98462367	1.7006	0.47610639	10.226	2.661	3.843	0.3163
34	51.61	4	3.13499827	1.5462	0.46766792	11.3	2.8414	3.9768	0.3536
36	55.5	4	3.29633289	1.3776	0.45975335	12.51	3.0445	4.1091	0.3938
38	60.83	4	3.49261227	1.1636	0.45144197	14.065	3.305	4.2556	0.4427

Tablo 11. $Ma=4$ 'e Göre Güçlü Şok

Sapma	Güçlü Şok	$S_{irr}=S_2-S_1$							
Açısı θ^0	Açısı β^0	Ma_1	Ma_{1n}	Ma_2	Ma_{2n}	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	(KJ/kgK)
2	89.44	4	3.9998	0.4354	0.44	18.4982	4.0466	4.5713	0.5675
4	88.87	4	3.999	0.4367	0.435	18.4928	4.0457	4.571	0.5674
6	88.31	4	3.998	0.4389	0.435	18.4837	4.0441	4.5705	0.5671
8	87.73	4	3.997	0.4421	0.435	18.4706	4.0419	4.5697	0.5668
10	87.14	4	3.995	0.4463	0.4351	18.4535	4.0391	4.5687	0.5663
12	86.53	4	3.993	0.4515	0.4352	18.4317	4.0355	4.5674	0.5658
14	85.91	4	3.99	0.4579	0.4352	18.4049	4.031	4.5658	0.5651
16	85.26	4	3.986	0.4655	0.4353	18.3723	4.0255	4.5639	0.5642
18	84.57	4	3.982	0.4745	0.4354	18.3331	4.01898	4.5616	0.5632
20	83.85	4	3.977	0.4852	0.4356	18.286	4.0111	4.5588	0.5619
22	83.08	4	3.971	0.4977	0.4358	18.2295	4.0016	4.5554	0.5605
24	82.26	4	3.964	0.51261	0.436	18.1614	3.9902	4.5514	0.5587
26	81.35	4	3.955	0.5301	0.4362	18.0786	3.9764	4.5464	0.5565
28	80.35	4	3.944	0.5512	0.4365	17.9764	3.9593	4.5402	0.5538
30	79.22	4	3.93	0.5769	0.4369	17.8478	3.9378	4.5323	0.5504
32	77.91	4	3.911	0.609	0.437	17.6807	3.9099	4.522	0.5459
34	76.29	4	3.886	0.6511	0.438	17.4524	3.8717	4.5076	0.5398
36	74.16	4	3.848	0.7109	0.44	17.1094	3.8144	4.4854	0.5305
38	70.6	4	3.773	0.8195	0.442	16.4407	3.7025	4.4403	0.5120

Tablo 12. $Ma=5$ 'e Göre Zayıf Şok

Sapma	Zayıf Şok Açısı β^0	$S_{irr}=S_2-S_1$							
Açısı θ^0		Ma_1	Ma_{1n}	Ma_2	Ma_{2n}	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	(KJ/kgK)
2	12.85	5	1.112	4.792	0.902	1.277	1.0727	1.1901	0.0004
4	14.30	5	1.235	4.592	0.821	1.613	1.15	1.4026	0.0032
6	15.87	5	1.368	4.394	0.754	2.016	1.234	1.6336	0.0101
8	17.57	5	1.509	4.1972	0.698	2.491	1.3264	1.878	0.0219
10	19.376	5	1.66	3.999	0.651	3.044	1.429	2.13	0.0393
12	21.28	5	1.815	3.800	0.613	3.676	1.543	2.383	0.0623
14	23.287	5	1.9767	3.602	0.581	4.392	1.67	2.632	0.0907
16	25.377	5	2.14	3.406	0.555	5.191	1.807	2.872	0.1220
18	27.55	5	2.313	3.2123	0.533	6.073	1.958	3.101	0.1576
20	29.80	5	2.485	3.022	0.515	7.037	2.123	3.315	0.1966
22	32.13	5	2.659	2.84	0.499	8.084	2.2999	3.515	0.2372
24	34.54	5	2.835	2.65	0.486	9.210	2.490	3.699	0.2796
26	37.04	5	2.478	2.48	0.474	10.416	2.693	3.868	0.3231
28	39.63	5	3.189	2.305	0.465	11.701	2.909	4.023	0.3672
30	42.34	5	3.368	2.135	0.456	13.067	3.138	4.164	0.4001
32	45.19	5	3.547	1.97	0.449	14.516	3.38	4.294	0.4562
34	48.24	5	3.73	1.80	0.443	16.061	3.639	4.413	0.5013

Tablo 13. $Ma=5$ 'e Göre Güçlü Şok

Sapma Açısı θ^0	Güçlü Şok Açısı β^0	Ma_1	Ma_{1n}	Ma_2	Ma_{2n}	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	$S_{irr}=S_2-S_1$ (J/kgK)
2	89.5	5	4.9998	0.4156	0.41523	28.9978	5.7996	4.99994	0.8002
4	88.997	5	4.9992	0.4168	0.41524	28.9911	5.7985	4.99975	0.8001
6	88.489	5	4.9983	0.4189	0.4153	28.9797	5.7966	4.99942	0.7998
8	87.975	5	4.9969	0.4217	0.41527	28.964	5.794	4.99896	0.7995
10	87.45	5	4.9951	0.4255	0.415298	28.942	5.7904	4.99835	0.7991
12	86.91	5	4.9927	0.4302	0.41533	28.9154	5.7859	4.99758	0.7986
14	86.36	5	4.9899	0.4359	0.41537	28.8823	5.7804	4.99663	0.7980
16	85.78	5	4.9865	0.4427	0.4154	28.8424	5.774	4.99548	0.7973
18	85.19	5	4.9824	0.4507	0.4155	28.7945	5.766	4.9941	0.7964
20	84.556	5	4.9775	0.4602	0.41555	28.7375	5.7562	4.9924	0.7952
22	83.89	5	4.9716	0.4712	0.41564	28.6696	5.7449	4.9905	0.7939
24	83.18	5	4.9646	0.4841	0.4157	28.5886	5.7314	4.98811	0.7924
26	82.41	5	4.9562	0.4992	0.4159	28.4915	5.7151	4.98526	0.7905
28	81.57	5	4.9460	0.517	0.416	28.3737	5.6955	4.9818	0.7882
30	80.64	5	4.9335	0.5383	0.4162	28.2291	5.6714	4.97748	0.7854
32	79.59	5	4.9177	0.564	0.4164	28.0477	5.6411	4.972	0.7819
34	78.36	5	4.8972	0.596	0.4167	27.8133	5.60198	4.9649	0.7773

Tablo 14. $Ma=6$ 'ya Göre Zayıf Şok

Sapma	Zayıf Şok								$S_{irr}=S_2-S_1$
Açısı θ^0	Açısı β^0	Ma_1	Ma_{1n}	Ma_2	Ma_{2n}	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	(KJ/kgK)
2	10.9063	6	1.1352	5.7192	0.8854	1.3369	1.0873	1.2296	0.0008
4	12.3719	6	1.2855	5.4493	0.7934	1.7614	1.1817	1.4905	0.0053
6	13.9824	6	1.4497	5.1823	0.7197	2.2854	1.2870	1.7757	0.0164
8	15.7254	6	1.6262	4.9151	0.6607	2.9185	1.4061	2.0756	0.0351
10	17.5869	6	1.8129	4.6478	0.6136	3.6677	1.5413	2.3797	0.0618
12	19.5529	6	2.0081	4.3820	0.5760	4.5377	1.6941	2.6786	0.0957
14	21.6112	6	2.2098	4.1204	0.5457	5.5306	1.8656	2.9646	0.1358
16	23.7521	6	2.4167	3.8651	0.5214	6.6471	2.0563	3.2326	0.1809
18	25.9683	6	2.6272	3.6180	0.5015	7.8861	2.2665	3.4795	0.2296
20	28.2551	6	2.8404	3.3803	0.4853	9.2458	2.4960	3.7043	0.2809
22	30.6108	6	3.0552	3.1525	0.4720	10.7235	2.7446	3.9071	0.3338
24	33.0363	6	3.2710	2.9347	0.4609	12.3162	3.0119	4.0891	0.3875
26	35.5356	6	3.4873	2.7264	0.4517	14.0211	3.2976	4.2518	0.4413
28	38.1167	6	3.7036	2.5267	0.4438	15.8360	3.6014	4.3971	0.4950
30	40.7925	6	3.9199	2.3347	0.4372	17.7602	3.9232	4.5269	0.5481
32	43.5839	6	4.1365	2.1487	0.4315	19.7957	4.2634	4.6432	0.6005
34	46.5244	6	4.3540	1.9668	0.4265	21.9503	4.6233	4.7478	0.6523

Tablo 15. $Ma=6$ 'ya Göre Güçlü Şok

Sapma	Güçlü Şok								$S_{irr}=S_2-S_1$
Açısı θ^0	Açısı β^0	Ma	Ma_{1n}	Ma_2	Ma_{2n}	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	(KJ/kgK)
2	89.53	6	5.9998	0.40454	0.40416	41.831	7.94012	5.2683	1.0107
4	89.06	6	5.9992	0.4057	0.40417	41.822	7.9387	5.2681	1.0106
6	88.59	6	5.9982	0.4076	0.40418	41.8077	7.9363	5.2679	1.0104
8	88.10	6	5.9967	0.4103	0.4042	41.7873	7.9329	5.2676	1.0101
10	87.612	6	5.9948	0.4138	0.40421	41.7605	7.928	5.2672	1.0097
12	87.11	6	5.9924	0.4183	0.40423	41.727	7.9228	5.267	1.0093
14	86.593	6	5.9894	0.4237	0.4043	41.685	7.91585	5.266	1.0087
16	86.058	6	5.9858	0.43007	0.40428	41.635	7.9075	5.265	1.0079
18	85.501	6	5.982	0.438	0.40432	41.575	7.8975	5.264	1.0071
20	84.918	6	5.976	0.447	0.40436	41.504	7.8856	5.263	1.0061
22	84.303	6	5.970	0.457	0.4044	41.419	7.872	5.262	1.0049
24	83.65	6	5.963	0.469	0.405	41.319	7.855	5.260	1.0034
26	82.95	6	5.955	0.483	0.40455	41.1997	7.835	5.259	1.0017
28	82.182	6	5.944	0.499	0.4046	41.056	7.811	5.256	0.9996
30	81.34	6	5.932	0.518	0.4048	40.88	7.782	5.25	0.9971
32	80.40	6	5.916	0.541	0.4049	40.67	7.746	5.25	0.9939
34	79.33	6	5.8962	0.5696	0.4051	40.393	7.7	5.25	0.9899

Tablo 16. $Ma=7$ 'ye Göre Zayıf Şok

Sapma Açısı θ^0	Zayıf Şok Açısı β^0	Ma_1	Ma_{1n}	Ma_2	Ma_{2n}	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	$S_{irr}=S_2-S_1$ (KJ/kgK)
2	9.5281	7	1.1587	6.6332	0.8690	1.3997	1.1021	1.2701	0.0012
4	11.0182	7	1.3378	6.2809	0.7674	1.9215	1.2149	1.5816	0.0082
6	12.6700	7	1.5353	5.9314	0.6889	2.5835	1.3439	1.9224	0.0246
8	14.4645	7	1.7485	5.5819	0.6285	3.4000	1.4935	2.2766	0.0519
10	16.3818	7	1.9743	5.2344	0.5818	4.3806	1.6667	2.6283	0.0894
12	18.4033	7	2.2099	4.8933	0.5457	5.5311	1.8656	2.9647	0.1358
14	20.5136	7	2.4530	4.5629	0.5176	6.8535	2.0914	3.2770	0.1891
16	22.7010	7	2.7015	4.2466	0.4955	8.3475	2.3444	3.5605	0.2473
18	24.9570	7	2.9536	3.9463	0.4780	10.0108	2.6248	3.8140	0.3087
20	27.2767	7	3.2080	3.6629	0.4640	11.8399	2.9320	4.0381	0.3717
22	29.6577	7	3.4637	3.3964	0.4526	13.8302	3.2657	4.2350	0.4355
24	32.1006	7	3.7198	3.1459	0.4433	15.9768	3.6250	4.4074	0.4990
26	34.6089	7	3.9758	2.9101	0.4356	18.2748	4.0092	4.5582	0.5616
28	37.1895	7	4.2312	2.6876	0.4292	20.7200	4.4178	4.6901	0.6231
30	39.8538	7	4.4858	2.4766	0.4238	23.3096	4.8503	4.8059	0.6832
32	42.6192	7	4.7399	2.2750	0.4192	26.0440	5.3067	4.9078	0.7418
34	45.5137	7	4.9939	2.0807	0.4153	28.9292	5.7882	4.9980	0.7989

Tablo 17. $Ma=7$ 'ye Göre Güçlü Şok

Sapma Açısı θ^0	Güçlü Şok Açısı β^0	Ma_1	Ma_{1n}	Ma_2	Ma_{2n}	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	$S_{irr}=S_2-S_1$ (KJ/kgK)
2	89.5497	7	6.9998	0.3977	0.3974	56.9965	10.4688	5.4444	1.1998
4	89.0974	7	6.9991	0.3988	0.3974	56.9858	10.4670	5.4443	1.1997
6	88.6411	7	6.9980	0.4007	0.3974	56.9678	10.4640	5.4442	1.1995
8	88.1786	7	6.9965	0.4033	0.3974	56.9423	10.4598	5.4439	1.1992
10	87.7079	7	6.9944	0.4067	0.3974	56.9086	10.4541	5.4436	1.1988
12	87.2262	7	6.9918	0.4110	0.3974	56.8661	10.4471	5.4433	1.1984
14	86.7310	7	6.9886	0.4162	0.3974	56.8141	10.4384	5.4428	1.1978
16	86.2192	7	6.9848	0.4224	0.3974	56.7514	10.4279	5.4422	1.1971
18	85.6870	7	6.9802	0.4296	0.3975	56.6767	10.4155	5.4416	1.1963
20	85.1303	7	6.9747	0.4381	0.3975	56.5880	10.4007	5.4408	1.1953
22	84.5439	7	6.9683	0.4480	0.3975	56.4832	10.3832	5.4398	1.1941
24	83.9214	7	6.9606	0.4594	0.3976	56.3590	10.3625	5.4387	1.1928
26	83.2547	7	6.9515	0.4728	0.3976	56.2113	10.3379	5.4374	1.1911
28	82.5334	7	6.9406	0.4883	0.3977	56.0346	10.3084	5.4358	1.1892
30	81.7432	7	6.9274	0.5065	0.3978	55.8210	10.2728	5.4338	1.1868
32	80.8642	7	6.9112	0.5282	0.3979	55.5589	10.2291	5.4314	1.1839
34	79.8668	7	6.8908	0.5545	0.3980	55.2305	10.1744	5.4284	1.1802

Tablo 18. $Ma=8$ 'e Göre Zayıf Şok

Sapma Açısı θ^0	Zayıf Şok Açısı β^0	$S_{irr}=S_2-S_1$							
		Ma_1	Ma_{1n}	Ma_2	Ma_{2n}	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	(KJ/kgK)
2	8.5017	8	1.1827	7.5342	0.8531	1.4653	1.1171	1.3116	0.0016
4	10.0193	8	1.3918	7.0870	0.7432	2.0934	1.2494	1.6755	0.0117
6	11.7138	8	1.6242	6.6423	0.6613	2.9110	1.4047	2.0722	0.0349
8	13.5588	8	1.8756	6.1988	0.6005	3.9373	1.5890	2.4779	0.0721
10	15.5284	8	2.1417	5.7623	0.5551	5.1848	1.8061	2.8708	0.1218
12	17.5998	8	2.4189	5.3405	0.5211	6.6598	2.0584	3.2353	0.1814
14	19.7553	8	2.7040	4.9393	0.4953	8.3638	2.3472	3.5633	0.2479
16	21.9822	8	2.9945	4.5626	0.4755	10.2952	2.6726	3.8521	0.3188
18	24.2717	8	3.2885	4.2118	0.4601	12.4500	3.0344	4.1030	0.3918
20	26.6187	8	3.5844	3.8866	0.4480	14.8227	3.4319	4.3191	0.4655
22	29.0211	8	3.8811	3.5856	0.4383	17.4064	3.8641	4.5047	0.5386
24	31.4796	8	4.1776	3.3069	0.4305	20.1940	4.3299	4.6638	0.6103
26	33.9974	8	4.4732	3.0481	0.4241	23.1782	4.8283	4.8005	0.6803
28	36.5812	8	4.7677	2.8067	0.4188	26.3528	5.3582	4.9182	0.7481
30	39.2415	8	5.0607	2.5802	0.4144	29.7127	5.9189	5.0200	0.8137
32	41.9942	8	5.3524	2.3662	0.4106	33.2567	6.5102	5.1084	0.8770
34	44.8641	8	5.6434	2.1619	0.4075	36.9896	7.1328	5.1858	0.9383

Tablo 19. $Ma=8$ 'e Göre Güçlü Şok

Sapma Açısı θ^0	Güçlü Şok Açısı β^0	$S_{irr}=S_2-S_1$							
		Ma_1	Ma_{1n}	Ma_2	Ma_{2n}	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	(KJ/kgK)
2	89.5616	8	7.9998	0.3932	0.3929	74.4956	13.3860	5.5652	1.3700
4	89.1213	8	7.9991	0.3943	0.3929	74.4824	13.3838	5.5651	1.3699
6	88.6771	8	7.9979	0.3961	0.3929	74.4602	13.3801	5.5650	1.3697
8	88.2272	8	7.9962	0.3987	0.3929	74.4285	13.3748	5.5648	1.3694
10	87.7691	8	7.9939	0.4020	0.3929	74.3869	13.3679	5.5646	1.3691
12	87.3008	8	7.9911	0.4062	0.3929	74.3344	13.3591	5.5643	1.3686
14	86.8194	8	7.9877	0.4113	0.3929	74.2702	13.3484	5.5640	1.3680
16	86.3222	8	7.9835	0.4173	0.3930	74.1928	13.3355	5.5636	1.3674
18	85.8056	8	7.9786	0.4244	0.3930	74.1006	13.3201	5.5630	1.3666
20	85.2656	8	7.9727	0.4327	0.3930	73.9914	13.3019	5.5625	1.3656
22	84.6975	8	7.9658	0.4423	0.3930	73.8623	13.2804	5.5617	1.3645
24	84.0952	8	7.9576	0.4534	0.3930	73.7098	13.2550	5.5609	1.3632
26	83.4512	8	7.9478	0.4663	0.3931	73.5288	13.2248	5.5599	1.3616
28	82.7559	8	7.9361	0.4814	0.3931	73.3128	13.1888	5.5587	1.3597
30	81.9963	8	7.9221	0.4990	0.3932	73.0524	13.1454	5.5573	1.3574
32	81.1543	8	7.9048	0.5198	0.3932	72.7344	13.0924	5.5555	1.3546
34	80.2037	8	7.8833	0.5449	0.3933	72.3384	13.0264	5.5532	1.3511

Tablo 20. $Ma=9$ 'a Göre Zayıf Şok

Sapma Açısı θ^0	Zayıf Şok Açısı β^0	Ma_1	Ma_{1n}	Ma_2	Ma_{2n}	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	$S_{irr}=S_2-S_1$ (KJ/kgK)
2	7.7083	9	1.2072	8.4225	0.8377	1.5335	1.1325	1.3541	0.0023
4	9.2548	9	1.4474	7.8676	0.7206	2.2776	1.2855	1.7717	0.0162
6	10.9915	9	1.7160	7.3151	0.6365	3.2686	1.4698	2.2238	0.0471
8	12.8843	9	2.0068	6.7672	0.5762	4.5320	1.6931	2.6768	0.0955
10	14.9011	9	2.3144	6.2352	0.5327	6.0823	1.9600	3.1032	0.1582
12	17.0161	9	2.6338	5.7299	0.5010	7.9262	2.2732	3.4867	0.2312
14	19.2100	9	2.9613	5.2586	0.4775	10.0641	2.6337	3.8212	0.3106
16	21.4697	9	3.2941	4.8244	0.4599	12.4928	3.0415	4.1074	0.3932
18	23.7865	9	3.6300	4.4271	0.4463	15.2061	3.4960	4.3495	0.4768
20	26.1556	9	3.9673	4.0646	0.4358	18.1960	3.9961	4.5535	0.5596
22	28.5754	9	4.3048	3.7338	0.4276	21.4536	4.5403	4.7251	0.6406
24	31.0467	9	4.6416	3.4312	0.4209	24.9689	5.1273	4.8698	0.7193
26	33.5730	9	4.9770	3.1532	0.4156	28.7322	5.7553	4.9923	0.7951
28	36.1607	9	5.3105	2.8964	0.4111	32.7346	6.4231	5.0964	0.8680
30	38.8198	9	5.6419	2.6576	0.4075	36.9691	7.1294	5.1855	0.9380
32	41.5656	9	5.9713	2.4336	0.4044	41.4324	7.8737	5.2621	1.0050
34	44.4209	9	6.2993	2.2214	0.4018	46.1283	8.6568	5.3286	1.0695

Tablo 21. $Ma=9$ 'a Göre Güçlü Şok

Sapma Açısı θ^0	Güçlü Şok Açısı β^0	Ma_1	Ma_{1n}	Ma_2	Ma_{2n}	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	$S_{irr}=S_2-S_1$ (KJ/kgK)
2	89.5697	9	8.9997	0.3902	0.3898	94.3280	16.6918	5.6511	1.5241
4	89.1375	9	8.9990	0.3912	0.3898	94.3119	16.6892	5.6511	1.5240
6	88.7017	9	8.9977	0.3930	0.3898	94.2848	16.6846	5.6510	1.5238
8	88.2601	9	8.9959	0.3955	0.3898	94.2462	16.6782	5.6509	1.5235
10	87.8108	9	8.9934	0.3988	0.3898	94.1954	16.6697	5.6507	1.5231
12	87.3514	9	8.9904	0.4029	0.3898	94.1315	16.6591	5.6505	1.5227
14	86.8795	9	8.9867	0.4079	0.3898	94.0533	16.6461	5.6502	1.5221
16	86.3921	9	8.9822	0.4138	0.3898	93.9591	16.6304	5.6499	1.5215
18	85.8860	9	8.9768	0.4208	0.3899	93.8470	16.6117	5.6495	1.5207
20	85.3574	9	8.9705	0.4289	0.3899	93.7142	16.5895	5.6490	1.5198
22	84.8015	9	8.9630	0.4384	0.3899	93.5575	16.5634	5.6484	1.5187
24	84.2128	9	8.9541	0.4493	0.3899	93.3725	16.5326	5.6478	1.5174
26	83.5840	9	8.9436	0.4619	0.3899	93.1533	16.4960	5.6470	1.5158
28	82.9060	9	8.9311	0.4766	0.3900	92.8921	16.4525	5.6461	1.5140
30	82.1666	9	8.9160	0.4938	0.3900	92.5779	16.4001	5.6450	1.5117
32	81.3490	9	8.8976	0.5141	0.3901	92.1953	16.3363	5.6436	1.5090
34	80.4288	9	8.8747	0.5385	0.3901	91.7207	16.2572	5.6418	1.5056

Tablo 22. $Ma=10$ 'a Göre Zayıf Şok.

Sapma Açısı θ^0	Zayıf Şok Açısı β^0	Ma_1	Ma_{1n}	Ma_2	Ma_{2n}	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	$S_{irr}=S_2-S_1$ (KJ/kgK)
2	7.0773	10	1.2321	9.2980	0.8229	1.6044	1.1481	1.3974	0.0031
4	8.6531	10	1.5045	8.6227	0.6995	2.4742	1.3232	1.8698	0.0215
6	10.4306	10	1.8105	7.9504	0.6142	3.6574	1.5394	2.3758	0.0614
8	12.3676	10	2.1418	7.2893	0.5551	5.1853	1.8062	2.8709	0.1218
10	14.4266	10	2.4914	6.6573	0.5138	7.0749	2.1290	3.3231	0.1979
12	16.5791	10	2.8534	6.0683	0.4845	9.3321	2.5105	3.7172	0.2841
14	18.8052	10	3.2235	5.5294	0.4632	11.9563	2.9516	4.0508	0.3756
16	21.0918	10	3.5986	5.0417	0.4475	14.9419	3.4518	4.3287	0.4690
18	23.4308	10	3.9764	4.6025	0.4356	18.2805	4.0102	4.5585	0.5618
20	25.8178	10	4.3551	4.2074	0.4265	21.9614	4.6251	4.7483	0.6525
22	28.2515	10	4.7334	3.8511	0.4194	25.9730	5.2949	4.9053	0.7403
24	30.7332	10	5.1104	3.5284	0.4137	30.3024	6.0173	5.0359	0.8246
26	33.2666	10	5.4853	3.2346	0.4091	34.9372	6.7905	5.1450	0.9052
28	35.8579	10	5.8578	2.9653	0.4054	39.8658	7.6125	5.2369	0.9822
30	38.5171	10	6.2275	2.7165	0.4023	45.0785	8.4817	5.3148	1.0556
32	41.2588	10	6.5946	2.4846	0.3998	50.5704	9.3974	5.3813	1.1256
34	44.1048	10	6.9597	2.2661	0.3976	56.3441	10.3600	5.4386	1.1926

Tablo 23. $Ma=10$ 'a Göre Güçlü Şok

Sapma Açısı θ^0	Güçlü Şok Açısı β^0	Ma_1	Ma_{1n}	Ma_2	Ma_{2n}	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	$S_{irr}=S_2-S_1$ (KJ/kgK)
2	89.58	10	9.9997	0.3879	0.3876	116.4936	20.3864	5.7143	1.6644
4	89.15	10	9.9989	0.3890	0.3876	116.4743	20.3832	5.7142	1.6643
6	88.72	10	9.9975	0.3907	0.3876	116.4417	20.3778	5.7141	1.6641
8	88.28	10	9.9955	0.3932	0.3876	116.3953	20.3701	5.7140	1.6639
10	87.84	10	9.9929	0.3965	0.3876	116.3343	20.3599	5.7139	1.6635
12	87.39	10	9.9896	0.4006	0.3876	116.2576	20.3471	5.7137	1.6631
14	86.92	10	9.9856	0.4055	0.3876	116.1637	20.3314	5.7135	1.6625
16	86.44	10	9.9807	0.4113	0.3876	116.0506	20.3126	5.7132	1.6619
18	85.94	10	9.9749	0.4182	0.3876	115.9161	20.2902	5.7129	1.6611
20	85.42	10	9.9681	0.4263	0.3876	115.7569	20.2636	5.7125	1.6602
22	84.88	10	9.96	0.4356	0.3877	115.5692	20.2323	5.7121	1.6591
24	84.296	10	9.9505	0.4463	0.3877	115.3476	20.1954	5.7116	1.6578
26	83.678	10	9.9392	0.4588	0.3877	115.0854	20.1517	5.7109	1.6563
28	83.01	10	9.9257	0.4732	0.3877	114.7733	20.0997	5.7102	1.6545
30	82.287	10	9.9095	0.4901	0.3877	114.3985	20.0372	5.7093	1.6523
32	81.486	10	9.8898	0.5101	0.3878	113.9429	19.9613	5.7082	1.6496
34	80.587	10	9.8654	0.5339	0.3878	113.3794	19.8674	5.7068	1.6463

Tablo 24. Hyükseklik= 2000 m İçin Zayıf Şokun Entropisi

Sapma	Zayıf Şok								$\dot{m} = \rho_1 V A$	$s_{irr} = s_2 - s_1$	$I_{irr} = \dot{m} T_c$
Açısı θ^0	Açısı β^0	Ma_1	Ma_2	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	$A = 1 \text{ m}^2 (\text{kg/s})$	(kJ/kgK)	$(s_2 - s_1) (\text{kW})$
2	12.85	5	4.792	1.277	1.0727	1.1901	1.00499	1662.66	1670.96	0.0772	32.2417
4	14.30	5	4.592	1.613	1.15	1.4026	1.00499	1662.66	1670.96	0.1509	63.0409
6	15.87	5	4.394	2.016	1.234	1.6336	1.00499	1662.66	1670.96	0.2213	92.4456
8	17.57	5	4.1972	2.491	1.3264	1.878	1.00499	1662.66	1670.96	0.2881	120.3384
10	19.376	5	3.999	3.044	1.429	2.13	1.00499	1662.66	1670.96	0.3513	146.7678
12	21.28	5	3.800	3.676	1.543	2.383	1.00499	1662.66	1670.96	0.4109	171.6342
14	23.287	5	3.602	4.392	1.67	2.632	1.00499	1662.66	1670.96	0.4670	195.0883
16	25.377	5	3.406	5.191	1.807	2.872	1.00499	1662.66	1670.96	0.5197	217.1147
18	27.55	5	3.2123	6.073	1.958	3.101	1.00499	1662.66	1670.96	0.5692	237.7923
20	29.80	5	3.022	7.037	2.123	3.315	1.00499	1662.66	1670.96	0.6157	257.2031
22	32.13	5	2.84	8.084	2.2999	3.515	1.00499	1662.66	1670.96	0.6594	275.4759
24	34.54	5	2.65	9.210	2.490	3.699	1.00499	1662.66	1670.96	0.7006	292.6533
26	37.04	5	2.48	10.416	2.693	3.868	1.00499	1662.66	1670.96	0.7394	308.8612
28	39.63	5	2.305	11.701	2.909	4.023	1.00499	1662.66	1670.96	0.7760	324.1823
30	42.34	5	2.135	13.067	3.138	4.164	1.00499	1662.66	1670.96	0.8108	338.7233
32	45.19	5	1.97	14.516	3.38	4.294	1.00499	1662.66	1670.96	0.8440	352.5715
34	48.24	5	1.80	16.061	3.639	4.413	1.00499	1662.66	1670.96	0.8759	365.8894

Tablo 25. Hyükseklik= 2000 m İçin Güçlü Şokun Entropisi

Sapma	Güçlü Şok								$\dot{m} = \rho_1 V A$	$s_{irr} = s_2 - s_1$	$I_{irr} = \dot{m} T_c$
Açısı θ^0	Açısı β^0	Ma_1	Ma_2	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	$A = 1 \text{ m}^2$ (kg/s)	(J/kgK)	$(s_2 - s_1)$ (kW)
2	89.5	5	0.4156	28.9978	5.7996	4.99994	1.00499	1662.66	1670.96	1.0621	443.6718
4	88.997	5	0.4168	28.9911	5.7985	4.99975	1.00499	1662.66	1670.96	1.0620	443.6414
6	88.489	5	0.4189	28.9797	5.7966	4.99942	1.00499	1662.66	1670.96	1.0619	443.5896
8	87.975	5	0.4217	28.964	5.794	4.99896	1.00499	1662.66	1670.96	1.0617	443.5183
10	87.45	5	0.4255	28.942	5.7904	4.99835	1.00499	1662.66	1670.96	1.0615	443.4183
12	86.91	5	0.4302	28.9154	5.7859	4.99758	1.00499	1662.66	1670.96	1.0612	443.2972
14	86.36	5	0.4359	28.8823	5.7804	4.99663	1.00499	1662.66	1670.96	1.0608	443.1465
16	85.78	5	0.4427	28.8424	5.774	4.99548	1.00499	1662.66	1670.96	1.0604	442.9645
18	85.19	5	0.4507	28.7945	5.766	4.9941	1.00499	1662.66	1670.96	1.0599	442.7457
20	84.556	5	0.4602	28.7375	5.7562	4.9924	1.00499	1662.66	1670.96	1.0592	442.4849
22	83.89	5	0.4712	28.6696	5.7449	4.9905	1.00499	1662.66	1670.96	1.0585	442.1735
24	83.18	5	0.4841	28.5886	5.7314	4.98811	1.00499	1662.66	1670.96	1.0576	441.8011
26	82.41	5	0.4992	28.4915	5.7151	4.98526	1.00499	1662.66	1670.96	1.0565	441.3532
28	81.57	5	0.517	28.3737	5.6955	4.9818	1.00499	1662.66	1670.96	1.0552	440.8078
30	80.64	5	0.5383	28.2291	5.6714	4.97748	1.00499	1662.66	1670.96	1.0536	440.1353
32	79.59	5	0.564	28.0477	5.6411	4.972	1.00499	1662.66	1670.96	1.0516	439.2867
34	78.36	5	0.596	27.8133	5.60198	4.9649	1.00499	1662.66	1670.96	1.0489	438.1820

Tablo 26. *Hyükseklik= 4000 m İçin Zayıf Şokun Entropisi*

Sapma	Zayıf Şok								$\dot{m} = \rho_1 V A$	$s_{irr} = s_2 - s_1$	$I_{irr} = \dot{m} T_c$
Açısı θ^0	Açısı β^0	Ma_1	Ma_2	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	$A=1m^2$	(J/kgK)	(s_2-s_1)
									(kg/s)		(kW)
2	12.85	5	4.792	1.277	1.0727	1.1901	0.81430	1622.91	1321.54	0.0735	24.2935
4	14.30	5	4.592	1.613	1.15	1.4026	0.81430	1622.91	1321.54	0.1438	47.5000
6	15.87	5	4.394	2.016	1.234	1.6336	0.81430	1622.91	1321.54	0.2108	69.6558
8	17.57	5	4.1972	2.491	1.3264	1.878	0.81430	1622.91	1321.54	0.2744	90.6723
10	19.376	5	3.999	3.044	1.429	2.13	0.81430	1622.91	1321.54	0.3347	110.5860
12	21.28	5	3.800	3.676	1.543	2.383	0.81430	1622.91	1321.54	0.3914	129.3220
14	23.287	5	3.602	4.392	1.67	2.632	0.81430	1622.91	1321.54	0.4449	146.9938
16	25.377	5	3.406	5.191	1.807	2.872	0.81430	1622.91	1321.54	0.4951	163.5898
18	27.55	5	3.2123	6.073	1.958	3.101	0.81430	1622.91	1321.54	0.5423	179.1694
20	29.80	5	3.022	7.037	2.123	3.315	0.81430	1622.91	1321.54	0.5866	193.7944
22	32.13	5	2.84	8.084	2.2999	3.515	0.81430	1622.91	1321.54	0.6282	207.5620
24	34.54	5	2.65	9.210	2.490	3.699	0.814 30	1622.91	1321.54	0.6674	220.5042
26	37.04	5	2.48	10.416	2.693	3.868	0.81430	1622.91	1321.54	0.7044	232.7158
28	39.63	5	2.305	11.701	2.909	4.023	0.81430	1622.91	1321.54	0.7393	244.2593
30	42.34	5	2.135	13.067	3.138	4.164	0.81430	1622.91	1321.54	0.7725	255.2150
32	45.19	5	1.97	14.516	3.38	4.294	0.81430	1622.91	1321.54	0.8041	265.6486
34	48.24	5	1.80	16.061	3.639	4.413	0.81430	1622.91	1321.54	0.8344	275.6827

Tablo 27. *Hyükseklik= 4000 m İçin Güçlü Şokun Entropisi*

Sapma	Güçlü								$\dot{m} = \rho_1 V A$	$s_{irr} = s_2 - s_1$	$I_{irr} = \dot{m} T_c$
Açısı θ^0	Şok	Ma_1	Ma_2	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	$A=1m^2$	(J/kgK)	(s_2-s_1)
	Açısı β^0								(kg/s)		(kW)
2	89.5	5	0.4156	28.9978	5.7996	4.99994	0.81430	1622.91	1321.54	1.0118	334.2855
4	88.997	5	0.4168	28.9911	5.7985	4.99975	0.81430	1622.91	1321.54	1.0117	334.2626
6	88.489	5	0.4189	28.9797	5.7966	4.99942	0.81430	1622.91	1321.54	1.0116	334.2236
8	87.975	5	0.4217	28.964	5.794	4.99896	0.81430	1622.91	1321.54	1.0115	334.1699
10	87.45	5	0.4255	28.942	5.7904	4.99835	0.81430	1622.91	1321.54	1.0112	334.0945
12	86.91	5	0.4302	28.9154	5.7859	4.99758	0.81430	1622.91	1321.54	1.0110	334.0033
14	86.36	5	0.4359	28.8823	5.7804	4.99663	0.81430	1622.91	1321.54	1.0106	333.8897
16	85.78	5	0.4427	28.8424	5.774	4.99548	0.81430	1622.91	1321.54	1.0102	333.7526
18	85.19	5	0.4507	28.7945	5.766	4.9941	0.81430	1622.91	1321.54	1.0097	333.5878
20	84.556	5	0.4602	28.7375	5.7562	4.9924	0.81430	1622.91	1321.54	1.0091	333.3913
22	83.89	5	0.4712	28.6696	5.7449	4.9905	0.81430	1622.91	1321.54	1.0084	333.1567
24	83.18	5	0.4841	28.5886	5.7314	4.98811	0.81430	1622.91	1321.54	1.0075	332.8761
26	82.41	5	0.4992	28.4915	5.7151	4.98526	0.81430	1622.91	1321.54	1.0065	332.5387
28	81.57	5	0.517	28.3737	5.6955	4.9818	0.81430	1622.91	1321.54	1.0053	332.1278
30	80.64	5	0.5383	28.2291	5.6714	4.97748	0.81430	1622.91	1321.54	1.0037	331.6211
32	79.59	5	0.564	28.0477	5.6411	4.972	0.81430	1622.91	1321.54	1.0018	330.9817
34	78.36	5	0.596	27.8133	5.60198	4.9649	0.81430	1622.91	1321.54	0.9993	330.1494

Tablo 28. *Hyükseklik= 6000 m İçin Zayıf Şokun Entropisi*

Sapma	Zayıf Şok								$\dot{m} = \rho_1 V A$	$s_{irr} = s_2 - s_1$	$I_{irr} = \dot{m} T_c$
Açısı θ^0	Açısı β^0	Ma ₁	Ma ₂	P ₂ /P ₁	T ₂ /T ₁	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	A=1m ² (kg/s)	(J/kgK)	(s ₂ -s ₁) (kW)
2	12.85	5	4.792	1.277	1.0727	1.1901	0.65968	1582.16	1043.72	0.0699	18.23
4	14.30	5	4.592	1.613	1.15	1.4026	0.65968	1582.16	1043.72	0.1366	35.65
6	15.87	5	4.394	2.016	1.234	1.6336	0.65968	1582.16	1043.72	0.2004	52.28
8	17.57	5	4.1972	2.491	1.3264	1.878	0.65968	1582.16	1043.72	0.2608	68.06
10	19.376	5	3.999	3.044	1.429	2.13	0.65968	1582.16	1043.72	0.3181	83.00
12	21.28	5	3.800	3.676	1.543	2.383	0.65968	1582.16	1043.72	0.3720	97.06
14	23.287	5	3.602	4.392	1.67	2.632	0.65968	1582.16	1043.72	0.4228	110.33
16	25.377	5	3.406	5.191	1.807	2.872	0.65968	1582.16	1043.72	0.4706	122.78
18	27.55	5	3.2123	6.073	1.958	3.101	0.65968	1582.16	1043.72	0.5154	134.48
20	29.80	5	3.022	7.037	2.123	3.315	0.65968	1582.16	1043.72	0.5574	145.45
22	32.13	5	2.84	8.084	2.2999	3.515	0.65968	1582.16	1043.72	0.5970	155.79
24	34.54	5	2.65	9.210	2.490	3.699	0.65968	1582.16	1043.72	0.6343	165.50
26	37.04	5	2.48	10.416	2.693	3.868	0.65968	1582.16	1043.72	0.6694	174.67
28	39.63	5	2.305	11.701	2.909	4.023	0.65968	1582.16	1043.72	0.7026	183.33
30	42.34	5	2.135	13.067	3.138	4.164	0.65968	1582.16	1043.72	0.7341	191.55
32	45.19	5	1.97	14.516	3.38	4.294	0.65968	1582.16	1043.72	0.7641	199.38
34	48.24	5	1.80	16.061	3.639	4.413	0.65968	1582.16	1043.72	0.7930	206.91

Tablo 29. *Hyükseklik= 6000 m İçin Güçlü Şokun Entropisi*

Sapma	Güçlü Şok								$\dot{m} = \rho_1 V A$	$s_{irr} = s_2 - s_1$	$I_{irr} = \dot{m} T_c$
Açısı θ^0	Açısı β^0	Ma ₁	Ma ₂	P ₂ /P ₁	T ₂ /T ₁	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	A=1m ² (kg/s)	(J/kgK)	(s ₂ -s ₁) (kW)
2	89.5	5	0.4156	28.9978	5.7996	4.99994	0.65968	1582.16	1043.72	0.9615	250.90
4	88.997	5	0.4168	28.9911	5.7985	4.99975	0.65968	1582.16	1043.72	0.9615	250.88
6	88.489	5	0.4189	28.9797	5.7966	4.99942	0.65968	1582.16	1043.72	0.9614	250.85
8	87.975	5	0.4217	28.964	5.794	4.99896	0.65968	1582.16	1043.72	0.9612	250.81
10	87.45	5	0.4255	28.942	5.7904	4.99835	0.65968	1582.16	1043.72	0.9610	250.75
12	86.91	5	0.4302	28.9154	5.7859	4.99758	0.65968	1582.16	1043.72	0.9607	250.68
14	86.36	5	0.4359	28.8823	5.7804	4.99663	0.65968	1582.16	1043.72	0.9604	250.60
16	85.78	5	0.4427	28.8424	5.774	4.99548	0.65968	1582.16	1043.72	0.9600	250.50
18	85.19	5	0.4507	28.7945	5.766	4.9941	0.65968	1582.16	1043.72	0.9595	250.37
20	84.556	5	0.4602	28.7375	5.7562	4.9924	0.65968	1582.16	1043.72	0.9590	250.22
22	83.89	5	0.4712	28.6696	5.7449	4.9905	0.65968	1582.16	1043.72	0.9583	250.05
24	83.18	5	0.4841	28.5886	5.7314	4.98811	0.65968	1582.16	1043.72	0.9575	249.84
26	82.41	5	0.4992	28.4915	5.7151	4.98526	0.65968	1582.16	1043.72	0.9565	249.58
28	81.57	5	0.517	28.3737	5.6955	4.9818	0.65968	1582.16	1043.72	0.9553	249.28
30	80.64	5	0.5383	28.2291	5.6714	4.97748	0.65968	1582.16	1043.72	0.9539	248.90
32	79.59	5	0.564	28.0477	5.6411	4.972	0.65968	1582.16	1043.72	0.9520	248.42
34	78.36	5	0.596	27.8133	5.60198	4.9649	0.65968	1582.16	1043.72	0.9496	247.79

Tablo 30. *Hyükseklik= 8000 m İçin Zayıf Şokun Entropisi*

Sapma	Zayıf Şok								$\dot{m} = \rho_1 V A$	$s_{irr} = s_2 - s_1$	$I_{irr} = \dot{m} T_c (s_2 - s_1)$
Açısı	Açısı β^0	Ma_1	Ma_2	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	$A = 1m^2$	(J/kgK)	(kW)
θ^0									(kg/s)		
2	12.85	5	4.792	1.277	1.0727	1.1901	0.52053	1540.33	801.79	0.0662	13.28
4	14.30	5	4.592	1.613	1.15	1.4026	0.52053	1540.33	801.79	0.1295	25.96
6	15.87	5	4.394	2.016	1.234	1.6336	0.52053	1540.33	801.79	0.1899	38.07
8	17.57	5	4.1972	2.491	1.3264	1.878	0.52053	1540.33	801.79	0.2472	49.55
10	19.376	5	3.999	3.044	1.429	2.13	0.52053	1540.33	801.79	0.3015	60.43
12	21.28	5	3.800	3.676	1.543	2.383	0.52053	1540.33	801.79	0.3526	70.67
14	23.287	5	3.602	4.392	1.67	2.632	0.52053	1540.33	801.79	0.4007	80.33
16	25.377	5	3.406	5.191	1.807	2.872	0.52053	1540.33	801.79	0.4460	89.40
18	27.55	5	3.2123	6.073	1.958	3.101	0.52053	1540.33	801.79	0.4885	97.91
20	29.80	5	3.022	7.037	2.123	3.315	0.52053	1540.33	801.79	0.5283	105.90
22	32.13	5	2.84	8.084	2.2999	3.515	0.52053	1540.33	801.79	0.5659	113.42
24	34.54	5	2.65	9.210	2.490	3.699	0.52053	1540.33	801.79	0.6011	120.50
26	37.04	5	2.48	10.416	2.693	3.868	0.52053	1540.33	801.79	0.6344	127.17
28	39.63	5	2.305	11.701	2.909	4.023	0.52053	1540.33	801.79	0.6659	133.48
30	42.34	5	2.135	13.067	3.138	4.164	0.52053	1540.33	801.79	0.6958	139.46
32	45.19	5	1.97	14.516	3.38	4.294	0.52053	1540.33	801.79	0.7242	145.16
34	48.24	5	1.80	16.061	3.639	4.413	0.52053	1540.33	801.79	0.7515	150.64

Tablo 31. *Hyükseklik= 8000 m İçin Güçlü Şokun Entropisi*

Sapma	Güçlü								$\dot{m} = \rho_1 V A$	$s_{irr} = s_2 - s_1$	$I_{irr} = \dot{m} T_c (s_2 - s_1)$
Açısı	Şok	Ma_1	Ma_2	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	$A = 1m^2$	(J/kgK)	(kW)
θ^0	Açısı β^0								(kg/s)		
2	89.5	5	0.4156	28.9978	5.7996	4.99994	0.52053	1540.33	801.79	0.9113	182.66
4	88.997	5	0.4168	28.9911	5.7985	4.99975	0.52053	1540.33	801.79	0.9112	182.65
6	88.489	5	0.4189	28.9797	5.7966	4.99942	0.52053	1540.33	801.79	0.9111	182.63
8	87.975	5	0.4217	28.964	5.794	4.99896	0.52053	1540.33	801.79	0.9110	182.60
10	87.45	5	0.4255	28.942	5.7904	4.99835	0.52053	1540.33	801.79	0.9108	182.56
12	86.91	5	0.4302	28.9154	5.7859	4.99758	0.52053	1540.33	801.79	0.9105	182.51
14	86.36	5	0.4359	28.8823	5.7804	4.99663	0.52053	1540.33	801.79	0.9102	182.45
16	85.78	5	0.4427	28.8424	5.774	4.99548	0.52053	1540.33	801.79	0.9098	182.37
18	85.19	5	0.4507	28.7945	5.766	4.9941	0.52053	1540.33	801.79	0.9094	182.28
20	84.556	5	0.4602	28.7375	5.7562	4.9924	0.52053	1540.33	801.79	0.9088	182.18
22	83.89	5	0.4712	28.6696	5.7449	4.9905	0.52053	1540.33	801.79	0.9082	182.05
24	83.18	5	0.4841	28.5886	5.7314	4.98811	0.52053	1540.33	801.79	0.9074	181.89
26	82.41	5	0.4992	28.4915	5.7151	4.98526	0.52053	1540.33	801.79	0.9065	181.71
28	81.57	5	0.517	28.3737	5.6955	4.9818	0.52053	1540.33	801.79	0.9054	181.49
30	80.64	5	0.5383	28.2291	5.6714	4.97748	0.52053	1540.33	801.79	0.9040	181.21
32	79.59	5	0.564	28.0477	5.6411	4.972	0.52053	1540.33	801.79	0.9023	180.86
34	78.36	5	0.596	27.8133	5.60198	4.9649	0.52053	1540.33	801.79	0.9000	180.40

Tablo 32. *Hyükseklik= 10000 m İçin Zayıf Şokun Entropisi*

Sapma	Zayıf								$\dot{m} = \rho_1 V A$	$S_{irr} = S_2 - S_1$	$I_{irr} = \dot{m} T_c (S_2 - S_1)$
Açısı θ^0	Şok	Ma_1	Ma_2	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	$A = 1m^2$	(J/kgK)	(kW)
	Açısı β^0								(kg/s)		
2	12.85	5	4.792	1.277	1.0727	1.1901	0.41230	1497.34	617.35	0.0626	9.66
4	14.30	5	4.592	1.613	1.15	1.4026	0.41230	1497.34	617.35	0.1224	18.89
6	15.87	5	4.394	2.016	1.234	1.6336	0.41230	1497.34	617.35	0.1794	27.69
8	17.57	5	4.1972	2.491	1.3264	1.878	0.41230	1497.34	617.35	0.2336	36.05
10	19.376	5	3.999	3.044	1.429	2.13	0.41230	1497.34	617.35	0.2849	43.97
12	21.28	5	3.800	3.676	1.543	2.383	0.41230	1497.34	617.35	0.3331	51.41
14	23.287	5	3.602	4.392	1.67	2.632	0.41230	1497.34	617.35	0.3787	58.44
16	25.377	5	3.406	5.191	1.807	2.872	0.41230	1497.34	617.35	0.4214	65.04
18	27.55	5	3.2123	6.073	1.958	3.101	0.41230	1497.34	617.35	0.4615	71.23
20	29.80	5	3.022	7.037	2.123	3.315	0.41230	1497.34	617.35	0.4992	77.04
22	32.13	5	2.84	8.084	2.2999	3.515	0.41230	1497.34	617.35	0.5347	82.52
24	34.54	5	2.65	9.210	2.490	3.699	0.41230	1497.34	617.35	0.5680	87.66
26	37.04	5	2.48	10.416	2.693	3.868	0.41230	1497.34	617.35	0.5994	92.52
28	39.63	5	2.305	11.701	2.909	4.023	0.41230	1497.34	617.35	0.6292	97.10
30	42.34	5	2.135	13.067	3.138	4.164	0.41230	1497.34	617.35	0.6574	101.46
32	45.19	5	1.97	14.516	3.38	4.294	0.41230	1497.34	617.35	0.6843	105.61
34	48.24	5	1.80	16.061	3.639	4.413	0.41230	1497.34	617.35	0.7101	109.60

Tablo 33. *Hyükseklik= 10000 m İçin Güçlü Şokun Entropisi*

Sapma	Güçlü								$\dot{m} = \rho_1 V A$	$S_{irr} = S_2 - S_1$	$I_{irr} = \dot{m} T_c (S_2 - S_1)$
Açısı θ^0	Şok	Ma_1	Ma_2	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	$A = 1m^2$	(J/kgK)	(kW)
	Açısı β^0								(kg/s)		
2	89.5	5	0.4156	28.9978	5.7996	4.99994	0.41230	1497.34	617.35	0.8610	132.89
4	88.997	5	0.4168	28.9911	5.7985	4.99975	0.41230	1497.34	617.35	0.8610	132.88
6	88.489	5	0.4189	28.9797	5.7966	4.99942	0.41230	1497.34	617.35	0.8609	132.86
8	87.975	5	0.4217	28.964	5.794	4.99896	0.41230	1497.34	617.35	0.8607	132.84
10	87.45	5	0.4255	28.942	5.7904	4.99835	0.41230	1497.34	617.35	0.8605	132.81
12	86.91	5	0.4302	28.9154	5.7859	4.99758	0.41230	1497.34	617.35	0.8603	132.78
14	86.36	5	0.4359	28.8823	5.7804	4.99663	0.41230	1497.34	617.35	0.8600	132.73
16	85.78	5	0.4427	28.8424	5.774	4.99548	0.41230	1497.34	617.35	0.8596	132.68
18	85.19	5	0.4507	28.7945	5.766	4.9941	0.41230	1497.34	617.35	0.8592	132.61
20	84.556	5	0.4602	28.7375	5.7562	4.9924	0.41230	1497.34	617.35	0.8587	132.53
22	83.89	5	0.4712	28.6696	5.7449	4.9905	0.41230	1497.34	617.35	0.8581	132.44
24	83.18	5	0.4841	28.5886	5.7314	4.98811	0.41230	1497.34	617.35	0.8574	132.33
26	82.41	5	0.4992	28.4915	5.7151	4.98526	0.41230	1497.34	617.35	0.8565	132.19
28	81.57	5	0.517	28.3737	5.6955	4.9818	0.41230	1497.34	617.35	0.8555	132.03
30	80.64	5	0.5383	28.2291	5.6714	4.97748	0.41230	1497.34	617.35	0.8542	131.83
32	79.59	5	0.564	28.0477	5.6411	4.972	0.41230	1497.34	617.35	0.8525	131.57
34	78.36	5	0.596	27.8133	5.60198	4.9649	0.41230	1497.34	617.35	0.8504	131.24

Tablo 34. *Hyükseklik= 12000 m İçin Zayıf Şokun Entropisi*

Sapma Açısı θ^0	Zayıf Şok Açısı β^0	Ma ₁	Ma ₂	P ₂ /P ₁	T ₂ /T ₁	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	$\dot{m} = \rho_1 V A$ A=1m ² (kg/s)	S _{irr} =S ₂ -S ₁ (J/kgK)	I _{irr} = $\dot{m} T_\infty (S_2 - S_1)$ (kW)
2	12.85	5	4.792	1.277	1.0727	1.1901	0.30922	1475.36	456.21	0.0608	6.93
4	14.30	5	4.592	1.613	1.15	1.4026	0.30922	1475.36	456.21	0.1188	13.55
6	15.87	5	4.394	2.016	1.234	1.6336	0.30922	1475.36	456.21	0.1742	19.87
8	17.57	5	4.1972	2.491	1.3264	1.878	0.30922	1475.36	456.21	0.2268	25.86
10	19.376	5	3.999	3.044	1.429	2.13	0.30922	1475.36	456.21	0.2766	31.54
12	21.28	5	3.800	3.676	1.543	2.383	0.30922	1475.36	456.21	0.3234	36.89
14	23.287	5	3.602	4.392	1.67	2.632	0.30922	1475.36	456.21	0.3676	41.93
16	25.377	5	3.406	5.191	1.807	2.872	0.30922	1475.36	456.21	0.4091	46.66
18	27.55	5	3.2123	6.073	1.958	3.101	0.30922	1475.36	456.21	0.4481	51.10
20	29.80	5	3.022	7.037	2.123	3.315	0.30922	1475.36	456.21	0.4846	55.27
22	32.13	5	2.84	8.084	2.2999	3.515	0.30922	1475.36	456.21	0.5191	59.20
24	34.54	5	2.65	9.210	2.490	3.699	0.30922	1475.36	456.21	0.5514	62.89
26	37.04	5	2.48	10.416	2.693	3.868	0.30922	1475.36	456.21	0.5819	66.37
28	39.63	5	2.305	11.701	2.909	4.023	0.30922	1475.36	456.21	0.6108	69.66
30	42.34	5	2.135	13.067	3.138	4.164	0.30922	1475.36	456.21	0.6382	72.79
32	45.19	5	1.97	14.516	3.38	4.294	0.30922	1475.36	456.21	0.6643	75.76
34	48.24	5	1.80	16.061	3.639	4.413	0.30922	1475.36	456.21	0.6894	78.63

Tablo 35. *Hyükseklik= 12000 m İçin Zayıf Şokun Entropisi*

Sapma Açısı θ^0	Güçlü Şok Açısı β^0	M a ₁	Ma ₂	P ₂ /P ₁	T ₂ /T ₁	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	$\dot{m} = \rho_1 V A$ A=1m ² (kg/s)	S _{irr} =S ₂ -S ₁ (J/kgK)	I _{irr} = $\dot{m} T_\infty (S_2 - S_1)$ (kW)
2	89.5	5	0.4156	28.9978	5.7996	4.99994	0.30922	1475.36	456.21	0.8359	95.33
4	88.997	5	0.4168	28.9911	5.7985	4.99975	0.30922	1475.36	456.21	0.8358	95.33
6	88.489	5	0.4189	28.9797	5.7966	4.99942	0.30922	1475.36	456.21	0.8357	95.32
8	87.975	5	0.4217	28.964	5.794	4.99896	0.30922	1475.36	456.21	0.8356	95.30
10	87.45	5	0.4255	28.942	5.7904	4.99835	0.30922	1475.36	456.21	0.8354	95.28
12	86.91	5	0.4302	28.9154	5.7859	4.99758	0.30922	1475.36	456.21	0.8352	95.25
14	86.36	5	0.4359	28.8823	5.7804	4.99663	0.30922	1475.36	456.21	0.8349	95.22
16	85.78	5	0.4427	28.8424	5.774	4.99548	0.30922	1475.36	456.21	0.8346	95.18
18	85.19	5	0.4507	28.7945	5.766	4.9941	0.30922	1475.36	456.21	0.8341	95.14
20	84.556	5	0.4602	28.7375	5.7562	4.9924	0.30922	1475.36	456.21	0.8336	95.08
22	83.89	5	0.4712	28.6696	5.7449	4.9905	0.30922	1475.36	456.21	0.8331	95.01
24	83.18	5	0.4841	28.5886	5.7314	4.98811	0.30922	1475.36	456.21	0.8324	94.93
26	82.41	5	0.4992	28.4915	5.7151	4.98526	0.30922	1475.36	456.21	0.8315	94.84
28	81.57	5	0.517	28.3737	5.6955	4.9818	0.30922	1475.36	456.21	0.8305	94.72
30	80.64	5	0.5383	28.2291	5.6714	4.97748	0.30922	1475.36	456.21	0.8292	94.58
32	79.59	5	0.564	28.0477	5.6411	4.972	0.30922	1475.36	456.21	0.8276	94.39
34	78.36	5	0.596	27.8133	5.60198	4.9649	0.30922	1475.36	456.21	0.8255	94.16

Tablo 36. *Hyükseklik= 14000 m İçin Zayıf Şokun Entropisi*

Sapma Açısı θ^0	Zayıf Şok Açısı β^0	Ma ₁	Ma ₂	P ₂ /P ₁	T ₂ /T ₁	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	$\dot{m} = \rho_1 VA$ A=1m ² (kg/s)	$S_{irr}=S_2-S_1$ (J/kgK)	$I_{irr}=\dot{m}T_\infty (S_2-S_1)$ (kW)
2	12.85	5	4.792	1.277	1.0727	1.1901	0.22161	1475.36	326.96	0.0608	4.97
4	14.30	5	4.592	1.613	1.15	1.4026	0.22161	1475.36	326.96	0.1188	9.71
6	15.87	5	4.394	2.016	1.234	1.6336	0.22161	1475.36	326.96	0.1742	14.24
8	17.57	5	4.1972	2.491	1.3264	1.878	0.22161	1475.36	326.96	0.2268	18.54
10	19.376	5	3.999	3.044	1.429	2.13	0.22161	1475.36	326.96	0.2766	22.61
12	21.28	5	3.800	3.676	1.543	2.383	0.22161	1475.36	326.96	0.3234	26.44
14	23.287	5	3.602	4.392	1.67	2.632	0.22161	1475.36	326.96	0.3676	30.05
16	25.377	5	3.406	5.191	1.807	2.872	0.22161	1475.36	326.96	0.4091	33.44
18	27.55	5	3.2123	6.073	1.958	3.101	0.22161	1475.36	326.96	0.4481	36.62
20	29.80	5	3.022	7.037	2.123	3.315	0.22161	1475.36	326.96	0.4846	39.61
22	32.13	5	2.84	8.084	2.2999	3.515	0.22161	1475.36	326.96	0.5191	42.43
24	34.54	5	2.65	9.210	2.490	3.699	0.22161	1475.36	326.96	0.5514	45.07
26	37.04	5	2.48	10.416	2.693	3.868	0.22161	1475.36	326.96	0.5819	47.57
28	39.63	5	2.305	11.701	2.909	4.023	0.22161	1475.36	326.96	0.6108	49.93
30	42.34	5	2.135	13.067	3.138	4.164	0.22161	1475.36	326.96	0.6382	52.17
32	45.19	5	1.97	14.516	3.38	4.294	0.22161	1475.36	326.96	0.6643	54.30
34	48.24	5	1.80	16.061	3.639	4.413	0.22161	1475.36	326.96	0.6894	56.35

Tablo 37. *Hyükseklik= 14000 m İçin Güçlü Şokun Entropisi*

Sapma Açısı θ^0	Güçlü Şok Açısı β^0	M a ₁	Ma ₂	P ₂ /P ₁	T ₂ /T ₁	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	$\dot{m} = \rho_1 VA$ A=1m ² (kg/s)	$S_{irr}=S_2-S_1$ (J/kgK)	$I_{irr}=\dot{m}T_\infty (S_2-S_1)$ (kW)
2	89.5	5	0.4156	28.9978	5.7996	4.99994	0.22161	1475.36	326.96	0.8359	68.33
4	88.997	5	0.4168	28.9911	5.7985	4.99975	0.22161	1475.36	326.96	0.8358	68.32
6	88.489	5	0.4189	28.9797	5.7966	4.99942	0.22161	1475.36	326.96	0.8357	68.31
8	87.975	5	0.4217	28.964	5.794	4.99896	0.22161	1475.36	326.96	0.8356	68.30
10	87.45	5	0.4255	28.942	5.7904	4.99835	0.22161	1475.36	326.96	0.8354	68.29
12	86.91	5	0.4302	28.9154	5.7859	4.99758	0.22161	1475.36	326.96	0.8352	68.27
14	86.36	5	0.4359	28.8823	5.7804	4.99663	0.22161	1475.36	326.96	0.8349	68.24
16	85.78	5	0.4427	28.8424	5.774	4.99548	0.22161	1475.36	326.96	0.8346	68.22
18	85.19	5	0.4507	28.7945	5.766	4.9941	0.22161	1475.36	326.96	0.8341	68.18
20	84.556	5	0.4602	28.7375	5.7562	4.9924	0.22161	1475.36	326.96	0.8336	68.14
22	83.89	5	0.4712	28.6696	5.7449	4.9905	0.22161	1475.36	326.96	0.8331	68.09
24	83.18	5	0.4841	28.5886	5.7314	4.98811	0.22161	1475.36	326.96	0.8324	68.04
26	82.41	5	0.4992	28.4915	5.7151	4.98526	0.22161	1475.36	326.96	0.8315	67.97
28	81.57	5	0.517	28.3737	5.6955	4.9818	0.22161	1475.36	326.96	0.8305	67.88
30	80.64	5	0.5383	28.2291	5.6714	4.97748	0.22161	1475.36	326.96	0.8292	67.78
32	79.59	5	0.564	28.0477	5.6411	4.972	0.22161	1475.36	326.96	0.8276	67.65
34	78.36	5	0.596	27.8133	5.60198	4.9649	0.22161	1475.36	326.96	0.8255	67.48

Tablo 38. *Hyükseklik= 16000 m İçin Zayıf Şokun Entropisi*

Sapma Açısı θ^0	Zayıf Şok Açısı β^0	Ma_1	Ma_2	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	$\dot{m} = \rho_1 VA$ A=1m ² (kg/s)	$s_{irr}=s_2-s_1$ (J/kgK)	$I_{irr}=\dot{m}T_c (s_2-s_1)$ (kW)
2	12.85	5	4.792	1.277	1.0727	1.1901	0.16492	1475.36	243.32	0.0608	3.70
4	14.30	5	4.592	1.613	1.15	1.4026	0.16492	1475.36	243.32	0.1188	7.23
6	15.87	5	4.394	2.016	1.234	1.6336	0.16492	1475.36	243.32	0.1742	10.60
8	17.57	5	4.1972	2.491	1.3264	1.878	0.16492	1475.36	243.32	0.2268	13.79
10	19.376	5	3.999	3.044	1.429	2.13	0.16492	1475.36	243.32	0.2766	16.82
12	21.28	5	3.800	3.676	1.543	2.383	0.16492	1475.36	243.32	0.3234	19.67
14	23.287	5	3.602	4.392	1.67	2.632	0.16492	1475.36	243.32	0.3676	22.36
16	25.377	5	3.406	5.191	1.807	2.872	0.16492	1475.36	243.32	0.4091	24.89
18	27.55	5	3.2123	6.073	1.958	3.101	0.16492	1475.36	243.32	0.4481	27.26
20	29.80	5	3.022	7.037	2.123	3.315	0.16492	1475.36	243.32	0.4846	29.48
22	32.13	5	2.84	8.084	2.2999	3.515	0.16492	1475.36	243.32	0.5191	31.57
24	34.54	5	2.65	9.210	2.490	3.699	0.16492	1475.36	243.32	0.5514	33.54
26	37.04	5	2.48	10.416	2.693	3.868	0.16492	1475.36	243.32	0.5819	35.40
28	39.63	5	2.305	11.701	2.909	4.023	0.16492	1475.36	243.32	0.6108	37.16
30	42.34	5	2.135	13.067	3.138	4.164	0.16492	1475.36	243.32	0.6382	38.82
32	45.19	5	1.97	14.516	3.38	4.294	0.16492	1475.36	243.32	0.6643	40.41
34	48.24	5	1.80	16.061	3.639	4.413	0.16492	1475.36	243.32	0.6894	41.93

Tablo 39. *Hyükseklik= 16000 m İçin Güçlü Şokun Entropisi*

Sapma Açısı θ^0	Güçlü Şok Açısı β^0	M a_1	Ma_2	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	$\dot{m} = \rho_1 VA$ A=1m ² (kg/s)	$s_{irr}=s_2-s_1$ (J/kgK)	$I_{irr}=\dot{m}T_c (s_2-s_1)$ (kW)
2	89.5	5	0.4156	28.9978	5.7996	4.99994	0.16492	1475.36	243.32	0.8359	50.85
4	88.997	5	0.4168	28.9911	5.7985	4.99975	0.16492	1475.36	243.32	0.8358	50.84
6	88.489	5	0.4189	28.9797	5.7966	4.99942	0.16492	1475.36	243.32	0.8357	50.84
8	87.975	5	0.4217	28.964	5.794	4.99896	0.16492	1475.36	243.32	0.8356	50.83
10	87.45	5	0.4255	28.942	5.7904	4.99835	0.16492	1475.36	243.32	0.8354	50.82
12	86.91	5	0.4302	28.9154	5.7859	4.99758	0.16492	1475.36	243.32	0.8352	50.80
14	86.36	5	0.4359	28.8823	5.7804	4.99663	0.16492	1475.36	243.32	0.8349	50.79
16	85.78	5	0.4427	28.8424	5.774	4.99548	0.16492	1475.36	243.32	0.8346	50.77
18	85.19	5	0.4507	28.7945	5.766	4.9941	0.16492	1475.36	243.32	0.8341	50.74
20	84.556	5	0.4602	28.7375	5.7562	4.9924	0.16492	1475.36	243.32	0.8336	50.71
22	83.89	5	0.4712	28.6696	5.7449	4.9905	0.16492	1475.36	243.32	0.8331	50.68
24	83.18	5	0.4841	28.5886	5.7314	4.98811	0.16492	1475.36	243.32	0.8324	50.63
26	82.41	5	0.4992	28.4915	5.7151	4.98526	0.16492	1475.36	243.32	0.8315	50.58
28	81.57	5	0.517	28.3737	5.6955	4.9818	0.16492	1475.36	243.32	0.8305	50.52
30	80.64	5	0.5383	28.2291	5.6714	4.97748	0.16492	1475.36	243.32	0.8292	50.44
32	79.59	5	0.564	28.0477	5.6411	4.972	0.16492	1475.36	243.32	0.8276	50.34
34	78.36	5	0.596	27.8133	5.60198	4.9649	0.16492	1475.36	243.32	0.8255	50.22

Tablo 40. *Hyükseklik= 18000 m İçin Zayıf Şokun Entropisi*

Sapma	Zayıf								$\dot{m} = \rho_1 V A$	$s_{irr} = s_2 -$	$I_{irr} = \dot{m} T_c (s_2 -$
Açısı θ^0	Şok	Ma_1	Ma_2	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	$A=1m^2$	s_1	$s_1)$
	Açısı β^0								(kg/s)	(J/kgK)	(kW)
2	12.85	5	4.792	1.277	1.0727	1.1901	0.11853	1475.36	174.87	0.0608	2.66
4	14.30	5	4.592	1.613	1.15	1.4026	0.11853	1475.36	174.87	0.1188	5.19
6	15.87	5	4.394	2.016	1.234	1.6336	0.11853	1475.36	174.87	0.1742	7.62
8	17.57	5	4.1972	2.491	1.3264	1.878	0.11853	1475.36	174.87	0.2268	9.91
10	19.376	5	3.999	3.044	1.429	2.13	0.11853	1475.36	174.87	0.2766	12.09
12	21.28	5	3.800	3.676	1.543	2.383	0.11853	1475.36	174.87	0.3234	14.14
14	23.287	5	3.602	4.392	1.67	2.632	0.11853	1475.36	174.87	0.3676	16.07
16	25.377	5	3.406	5.191	1.807	2.872	0.11853	1475.36	174.87	0.4091	17.89
18	27.55	5	3.2123	6.073	1.958	3.101	0.11853	1475.36	174.87	0.4481	19.59
20	29.80	5	3.022	7.037	2.123	3.315	0.11853	1475.36	174.87	0.4846	21.19
22	32.13	5	2.84	8.084	2.2999	3.515	0.11853	1475.36	174.87	0.5191	22.69
24	34.54	5	2.65	9.210	2.490	3.699	0.11853	1475.36	174.87	0.5514	24.11
26	37.04	5	2.48	10.416	2.693	3.868	0.11853	1475.36	174.87	0.5819	25.44
28	39.63	5	2.305	11.701	2.909	4.023	0.11853	1475.36	174.87	0.6108	26.70
30	42.34	5	2.135	13.067	3.138	4.164	0.11853	1475.36	174.87	0.6382	27.90
32	45.19	5	1.97	14.516	3.38	4.294	0.11853	1475.36	174.87	0.6643	29.04
34	48.24	5	1.80	16.061	3.639	4.413	0.11853	1475.36	174.87	0.6894	30.14

Tablo 41. *Hyükseklik= 18000 m İçin Güçlü Şokun Entropisi*

Sapma	Güçlü								$\dot{m} = \rho_1 V A$	$s_{irr} = s_2 -$	$I_{irr} = \dot{m} T_c (s_2 -$
Açısı θ^0	Şok	Ma_1	Ma_2	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	$A=1m^2$	s_1	$s_1)$
	Açısı β^0								(kg/s)	(J/kgK)	(kW)
2	89.5	5	0.4156	28.9978	5.7996	4.99994	0.11853	1475.36	174.87	0.8359	36.54
4	88.997	5	0.4168	28.9911	5.7985	4.99975	0.11853	1475.36	174.87	0.8358	36.54
6	88.489	5	0.4189	28.9797	5.7966	4.99942	0.11853	1475.36	174.87	0.8357	36.54
8	87.975	5	0.4217	28.964	5.794	4.99896	0.11853	1475.36	174.87	0.8356	36.53
10	87.45	5	0.4255	28.942	5.7904	4.99835	0.11853	1475.36	174.87	0.8354	36.52
12	86.91	5	0.4302	28.9154	5.7859	4.99758	0.11853	1475.36	174.87	0.8352	36.51
14	86.36	5	0.4359	28.8823	5.7804	4.99663	0.11853	1475.36	174.87	0.8349	36.50
16	85.78	5	0.4427	28.8424	5.774	4.99548	0.11853	1475.36	174.87	0.8346	36.48
18	85.19	5	0.4507	28.7945	5.766	4.9941	0.11853	1475.36	174.87	0.8341	36.47
20	84.556	5	0.4602	28.7375	5.7562	4.9924	0.11853	1475.36	174.87	0.8336	36.45
22	83.89	5	0.4712	28.6696	5.7449	4.9905	0.11853	1475.36	174.87	0.8331	36.42
24	83.18	5	0.4841	28.5886	5.7314	4.98811	0.11853	1475.36	174.87	0.8324	36.39
26	82.41	5	0.4992	28.4915	5.7151	4.98526	0.11853	1475.36	174.87	0.8315	36.35
28	81.57	5	0.517	28.3737	5.6955	4.9818	0.11853	1475.36	174.87	0.8305	36.31
30	80.64	5	0.5383	28.2291	5.6714	4.97748	0.11853	1475.36	174.87	0.8292	36.25
32	79.59	5	0.564	28.0477	5.6411	4.972	0.11853	1475.36	174.87	0.8276	36.18
34	78.36	5	0.596	27.8133	5.60198	4.9649	0.11853	1475.36	174.87	0.8255	36.09

Tablo 42. *Hyükseklik= 20000 m İçin Zayıf Şokun Entropisi*

Sapma Açısı θ^0	Zayıf Şok Açısı β^0	Ma ₁	Ma ₂	P ₂ /P ₁	T ₂ /T ₁	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	$\dot{m} = \rho_1 V A$ A=1m ² (kg/s)	s _{irr} =s ₂ - s ₁ (J/kgK)	I _{irr} = $\dot{m} T_c$ (s ₂ - s ₁) (kW)
2	12.85	5	4.792	1.277	1.0727	1.1901	0.08761	1475.36	129.26	0.0608	1.96
4	14.30	5	4.592	1.613	1.15	1.4026	0.08761	1475.36	129.26	0.1188	3.84
6	15.87	5	4.394	2.016	1.234	1.6336	0.08761	1475.36	129.26	0.1742	5.63
8	17.57	5	4.1972	2.491	1.3264	1.878	0.08761	1475.36	129.26	0.2268	7.33
10	19.376	5	3.999	3.044	1.429	2.13	0.08761	1475.36	129.26	0.2766	8.94
12	21.28	5	3.800	3.676	1.543	2.383	0.08761	1475.36	129.26	0.3234	10.45
14	23.287	5	3.602	4.392	1.67	2.632	0.08761	1475.36	129.26	0.3676	11.88
16	25.377	5	3.406	5.191	1.807	2.872	0.08761	1475.36	129.26	0.4091	13.22
18	27.55	5	3.2123	6.073	1.958	3.101	0.08761	1475.36	129.26	0.4481	14.48
20	29.80	5	3.022	7.037	2.123	3.315	0.08761	1475.36	129.26	0.4846	15.66
22	32.13	5	2.84	8.084	2.2999	3.515	0.08761	1475.36	129.26	0.5191	16.77
24	34.54	5	2.65	9.210	2.490	3.699	0.08761	1475.36	129.26	0.5514	17.82
26	37.04	5	2.48	10.416	2.693	3.868	0.08761	1475.36	129.26	0.5819	18.81
28	39.63	5	2.305	11.701	2.909	4.023	0.08761	1475.36	129.26	0.6108	19.74
30	42.34	5	2.135	13.067	3.138	4.164	0.08761	1475.36	129.26	0.6382	20.62
32	45.19	5	1.97	14.516	3.38	4.294	0.08761	1475.36	129.26	0.6643	21.47
34	48.24	5	1.80	16.061	3.639	4.413	0.08761	1475.36	129.26	0.6894	22.28

Tablo 43. *Hyükseklik= 20000 m İçin Güçlü Şokun Entropisi*

Sapma Açısı θ^0	Güçlü Şok Açısı β^0	M a ₁	Ma ₂	P ₂ /P ₁	T ₂ /T ₁	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	$\dot{m} = \rho_1 V A$ A=1m ² (kg/s)	s _{irr} =s ₂ - s ₁ (J/kgK)	I _{irr} = $\dot{m} T_c$ (s ₂ - s ₁) (kW)
2	89.5	5	0.4156	28.9978	5.7996	4.99994	0.08761	1475.36	129.26	0.8359	27.01
4	88.997	5	0.4168	28.9911	5.7985	4.99975	0.08761	1475.36	129.26	0.8358	27.01
6	88.489	5	0.4189	28.9797	5.7966	4.99942	0.08761	1475.36	129.26	0.8357	27.01
8	87.975	5	0.4217	28.964	5.794	4.99896	0.08761	1475.36	129.26	0.8356	27.00
10	87.45	5	0.4255	28.942	5.7904	4.99835	0.08761	1475.36	129.26	0.8354	27.00
12	86.91	5	0.4302	28.9154	5.7859	4.99758	0.08761	1475.36	129.26	0.8352	26.99
14	86.36	5	0.4359	28.8823	5.7804	4.99663	0.08761	1475.36	129.26	0.8349	26.98
16	85.78	5	0.4427	28.8424	5.774	4.99548	0.08761	1475.36	129.26	0.8346	26.97
18	85.19	5	0.4507	28.7945	5.766	4.9941	0.08761	1475.36	129.26	0.8341	26.96
20	84.556	5	0.4602	28.7375	5.7562	4.9924	0.08761	1475.36	129.26	0.8336	26.94
22	83.89	5	0.4712	28.6696	5.7449	4.9905	0.08761	1475.36	129.26	0.8331	26.92
24	83.18	5	0.4841	28.5886	5.7314	4.98811	0.08761	1475.36	129.26	0.8324	26.90
26	82.41	5	0.4992	28.4915	5.7151	4.98526	0.08761	1475.36	129.26	0.8315	26.87
28	81.57	5	0.517	28.3737	5.6955	4.9818	0.08761	1475.36	129.26	0.8305	26.84
30	80.64	5	0.5383	28.2291	5.6714	4.97748	0.08761	1475.36	129.26	0.8292	26.80
32	79.59	5	0.564	28.0477	5.6411	4.972	0.08761	1475.36	129.26	0.8276	26.74
34	78.36	5	0.596	27.8133	5.60198	4.9649	0.08761	1475.36	129.26	0.8255	26.68

Tablo 44. *Hyükseklik= 22000 m İçin Zayıf Şokun Entropisi*

Sapma Açısı θ^0	Zayıf Şok Açısı β^0	Ma ₁	Ma ₂	P ₂ /P ₁	T ₂ /T ₁	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	$\dot{m} = \rho_1 VA$ A=1m ² (kg/s)	s _{irr} =s ₂ - s ₁ (J/kgK)	I _{irr} = $\dot{m}T_c$ (s ₂ - s ₁) (kW)
2	12.85	5	4.792	1.277	1.0727	1.1901	0.06184	1482.16	91.66	0.0613	1.41
4	14.30	5	4.592	1.613	1.15	1.4026	0.06184	1482.16	91.66	0.1199	2.75
6	15.87	5	4.394	2.016	1.234	1.6336	0.06184	1482.16	91.66	0.1758	4.03
8	17.57	5	4.1972	2.491	1.3264	1.878	0.06184	1482.16	91.66	0.2289	5.24
10	19.376	5	3.999	3.044	1.429	2.13	0.06184	1482.16	91.66	0.2791	6.40
12	21.28	5	3.800	3.676	1.543	2.383	0.06184	1482.16	91.66	0.3264	7.48
14	23.287	5	3.602	4.392	1.67	2.632	0.06184	1482.16	91.66	0.3710	8.50
16	25.377	5	3.406	5.191	1.807	2.872	0.06184	1482.16	91.66	0.4129	9.46
18	27.55	5	3.2123	6.073	1.958	3.101	0.06184	1482.16	91.66	0.4522	10.36
20	29.80	5	3.022	7.037	2.123	3.315	0.06184	1482.16	91.66	0.4891	11.21
22	32.13	5	2.84	8.084	2.2999	3.515	0.06184	1482.16	91.66	0.5239	12.00
24	34.54	5	2.65	9.210	2.490	3.699	0.06184	1482.16	91.66	0.5565	12.75
26	37.04	5	2.48	10.416	2.693	3.868	0.06184	1482.16	91.66	0.5873	13.46
28	39.63	5	2.305	11.701	2.909	4.023	0.06184	1482.16	91.66	0.6165	14.13
30	42.34	5	2.135	13.067	3.138	4.164	0.06184	1482.16	91.66	0.6441	14.76
32	45.19	5	1.97	14.516	3.38	4.294	0.06184	1482.16	91.66	0.6704	15.36
34	48.24	5	1.80	16.061	3.639	4.413	0.06184	1482.16	91.66	0.6958	15.94

Tablo 45. *Hyükseklik= 22000 m İçin Güçlü Şokun Entropisi*

Sapma Açısı θ^0	Güçlü Şok Açısı β^0	Ma ₁	Ma ₂	P ₂ /P ₁	T ₂ /T ₁	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	$\dot{m} = \rho_1 VA$ A=1m ² (kg/s)	s _{irr} =s ₂ - s ₁ (J/kgK)	I _{irr} = $\dot{m}T_c$ (s ₂ - s ₁) (kW)
2	89.5	5	0.4156	28.9978	5.7996	4.99994	0.06184	1482.16	91.66	0.8436	19.33
4	88.997	5	0.4168	28.9911	5.7985	4.99975	0.06184	1482.16	91.66	0.8436	19.33
6	88.489	5	0.4189	28.9797	5.7966	4.99942	0.06184	1482.16	91.66	0.8435	19.33
8	87.975	5	0.4217	28.964	5.794	4.99896	0.06184	1482.16	91.66	0.8433	19.32
10	87.45	5	0.4255	28.942	5.7904	4.99835	0.06184	1482.16	91.66	0.8431	19.32
12	86.91	5	0.4302	28.9154	5.7859	4.99758	0.06184	1482.16	91.66	0.8429	19.32
14	86.36	5	0.4359	28.8823	5.7804	4.99663	0.06184	1482.16	91.66	0.8426	19.31
16	85.78	5	0.4427	28.8424	5.774	4.99548	0.06184	1482.16	91.66	0.8423	19.30
18	85.19	5	0.4507	28.7945	5.766	4.9941	0.06184	1482.16	91.66	0.8419	19.29
20	84.556	5	0.4602	28.7375	5.7562	4.9924	0.06184	1482.16	91.66	0.8414	19.28
22	83.89	5	0.4712	28.6696	5.7449	4.9905	0.06184	1482.16	91.66	0.8408	19.27
24	83.18	5	0.4841	28.5886	5.7314	4.98811	0.06184	1482.16	91.66	0.8401	19.25
26	82.41	5	0.4992	28.4915	5.7151	4.98526	0.06184	1482.16	91.66	0.8392	19.23
28	81.57	5	0.517	28.3737	5.6955	4.9818	0.06184	1482.16	91.66	0.8382	19.21
30	80.64	5	0.5383	28.2291	5.6714	4.97748	0.06184	1482.16	91.66	0.8369	19.18
32	79.59	5	0.564	28.0477	5.6411	4.972	0.06184	1482.16	91.66	0.8353	19.14
34	78.36	5	0.596	27.8133	5.60198	4.9649	0.06184	1482.16	91.66	0.8332	19.09

Tablo 46. *Hyükseklik= 24000 m İçin Zayıf Şokun Entropisi*

Sapma	Zayıf								$\dot{m} = \rho_1 V A$	$s_{irr} = s_2 - s_1$	$I_{irr} = \dot{m} T_c (s_2 - s_1)$
Açısı θ^0	Şok	Ma_1	Ma_2	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	$A = 1 \text{ m}^2$	s_1	$(s_2 - s_1)$
	Açısı β^0								(kg/s)	(J/kgK)	(kW)
2	12.85	5	4.792	1.277	1.0727	1.1901	0.04123	1488.92	61.39	0.0619	0.95
4	14.30	5	4.592	1.613	1.15	1.4026	0.04123	1488.92	61.39	0.1210	1.86
6	15.87	5	4.394	2.016	1.234	1.6336	0.04123	1488.92	61.39	0.1774	2.72
8	17.57	5	4.1972	2.491	1.3264	1.878	0.04123	1488.92	61.39	0.2310	3.54
10	19.376	5	3.999	3.044	1.429	2.13	0.04123	1488.92	61.39	0.2817	4.32
12	21.28	5	3.800	3.676	1.543	2.383	0.04123	1488.92	61.39	0.3294	5.06
14	23.287	5	3.602	4.392	1.67	2.632	0.04123	1488.92	61.39	0.3744	5.75
16	25.377	5	3.406	5.191	1.807	2.872	0.04123	1488.92	61.39	0.4167	6.39
18	27.55	5	3.2123	6.073	1.958	3.101	0.04123	1488.92	61.39	0.4563	7.00
20	29.80	5	3.022	7.037	2.123	3.315	0.04123	1488.92	61.39	0.4936	7.58
22	32.13	5	2.84	8.084	2.2999	3.515	0.04123	1488.92	61.39	0.5287	8.11
24	34.54	5	2.65	9.210	2.490	3.699	0.04123	1488.92	61.39	0.5616	8.62
26	37.04	5	2.48	10.416	2.693	3.868	0.04123	1488.92	61.39	0.5927	9.10
28	39.63	5	2.305	11.701	2.909	4.023	0.04123	1488.92	61.39	0.6221	9.55
30	42.34	5	2.135	13.067	3.138	4.164	0.04123	1488.92	61.39	0.6500	9.98
32	45.19	5	1.97	14.516	3.38	4.294	0.04123	1488.92	61.39	0.6766	10.38
34	48.24	5	1.80	16.061	3.639	4.413	0.04123	1488.92	61.39	0.7021	10.78

Tablo 47. *Hyükseklik= 24000 m İçin Güçlü Şokun Entropisi*

Sapma	Güçlü								$\dot{m} = \rho_1 V A$	$s_{irr} = s_2 - s_1$	$I_{irr} = \dot{m} T_c (s_2 - s_1)$
Açısı θ^0	Şok	Ma_1	Ma_2	P_2/P_1	T_2/T_1	ρ_2/ρ_1	ρ_1	V	$A = 1 \text{ m}^2$	s_1	(kW)
	Açısı β^0								(kg/s)	(J/kgK)	
2	89.5	5	0.4156	28.9978	5.7996	4.99994	0.04123	1488.92	61.39	0.8513	13.07
4	88.997	5	0.4168	28.9911	5.7985	4.99975	0.04123	1488.92	61.39	0.8513	13.07
6	88.489	5	0.4189	28.9797	5.7966	4.99942	0.04123	1488.92	61.39	0.8512	13.06
8	87.975	5	0.4217	28.964	5.794	4.99896	0.04123	1488.92	61.39	0.8511	13.06
10	87.45	5	0.4255	28.942	5.7904	4.99835	0.04123	1488.92	61.39	0.8509	13.06
12	86.91	5	0.4302	28.9154	5.7859	4.99758	0.04123	1488.92	61.39	0.8506	13.06
14	86.36	5	0.4359	28.8823	5.7804	4.99663	0.04123	1488.92	61.39	0.8503	13.05
16	85.78	5	0.4427	28.8424	5.774	4.99548	0.04123	1488.92	61.39	0.8500	13.05
18	85.19	5	0.4507	28.7945	5.766	4.9941	0.04123	1488.92	61.39	0.8496	13.04
20	84.556	5	0.4602	28.7375	5.7562	4.9924	0.04123	1488.92	61.39	0.8491	13.03
22	83.89	5	0.4712	28.6696	5.7449	4.9905	0.04123	1488.92	61.39	0.8485	13.02
24	83.18	5	0.4841	28.5886	5.7314	4.98811	0.04123	1488.92	61.39	0.8478	13.01
26	82.41	5	0.4992	28.4915	5.7151	4.98526	0.04123	1488.92	61.39	0.8469	13.00
28	81.57	5	0.517	28.3737	5.6955	4.9818	0.04123	1488.92	61.39	0.8459	12.98
30	80.64	5	0.5383	28.2291	5.6714	4.97748	0.04123	1488.92	61.39	0.8446	12.96
32	79.59	5	0.564	28.0477	5.6411	4.972	0.04123	1488.92	61.39	0.8429	12.94
34	78.36	5	0.596	27.8133	5.60198	4.9649	0.04123	1488.92	61.39	0.8408	12.90

Tablo 48. *H Değerine Göre m Değerleri*

H	Ma	C	V	m	R
2000	5	332.5329	1662.66	1670.96	315.94
4000	5	324.5824	1622.91	1321.54	301.01
6000	5	316.4322	1582.16	1043.72	286.08
8000	5	308.0663	1540.33	801.79	271.16
10000	5	299.4671	1497.34	617.35	256.23
12000	5	295.0728	1475.36	456.21	248.77
14000	5	295.0728	1475.36	326.96	248.77
16000	5	295.0728	1475.36	243.32	248.77
18000	5	295.0728	1475.36	174.87	248.77
20000	5	295.0728	1475.36	129.26	248.77
22000	5	296.4315	1482.16	91.66	251.06
24000	5	297.7841	1488.92	61.39	253.36

Tablo 49. *Şok Zayıf Açılarına Göre Entropi Hesabı*

ZAYIF AÇI	ENTROPİLER								
Sapma Açısı	Mach=2	Mach=3	Mach=4	Mach=5	Mach=6	Mach=7	Mach=8	Mach=9	Mach=10
2	0.0001	0.0001	0.0002	0.0004	0.0008	0.0012	0.0016	0.0023	0.0031
4	0.0003	0.0008	0.0017	0.0032	0.0053	0.0082	0.0117	0.0162	0.0215
6	0.0011	0.0026	0.0056	0.0101	0.0164	0.0246	0.0349	0.0471	0.0614
8	0.0028	0.0059	0.0123	0.0219	0.0351	0.0519	0.0721	0.0955	0.1218
10	0.0045	0.0108	0.0224	0.0393	0.0618	0.0894	0.1218	0.1582	0.1979
12	0.0076	0.0179	0.0360	0.0623	0.0957	0.1358	0.1814	0.2312	0.2841
14	0.0107	0.0267	0.0531	0.0907	0.1358	0.1891	0.2479	0.3106	0.3756
16	0.0171	0.0377	0.0735	0.1220	0.1809	0.2473	0.3188	0.3932	0.4690
18	0.0224	0.0507	0.0969	0.1576	0.2296	0.3087	0.3918	0.4768	0.5618
20	0.0329	0.0657	0.1229	0.1966	0.2809	0.3717	0.4655	0.5596	0.6525
22	0.0444	0.0825	0.1512	0.2372	0.3338	0.4355	0.5386	0.6406	0.7403
24		0.1012	0.1813	0.2796	0.3875	0.4990	0.6103	0.7193	0.8246
26		0.1218	0.2131	0.3231	0.4413	0.5616	0.6803	0.7951	0.9052
28		0.1443	0.2463	0.3672	0.4950	0.6231	0.7481	0.8680	0.9822
30		0.1692	0.2807	0.4001	0.5481	0.6832	0.8137	0.9380	1.0556
32		0.1981	0.3163	0.4562	0.6005	0.7418	0.8770	1.0050	1.1256
34		0.2443	0.3536	0.5013	0.6523	0.7989	0.9383	1.0695	1.1926
36			0.3938						
38			0.4427						

Tablo 50. Şok Güçlü Açılara Göre Entropi Hesabı

GÜÇLÜ AÇI	ENTROPİLER								
Sapma Açısı	Mach=2	Mach=3	Mach=4	Mach=5	Mach=6	Mach=7	Mach=8	Mach=9	Mach=10
2	0.094	0.3201	0.5675	0.8002	1.0107	1.1998	1.3700	1.5241	1.6644
4	0.09378	0.3199	0.5674	0.8001	1.0106	1.1997	1.3699	1.5240	1.6643
6	0.0934	0.3196	0.5671	0.7998	1.0104	1.1995	1.3697	1.5238	1.6641
8	0.0928	0.3192	0.5668	0.7995	1.0101	1.1992	1.3694	1.5235	1.6639
10	0.09188	0.3187	0.5663	0.7991	1.0097	1.1988	1.3691	1.5231	1.6635
12	0.09077	0.3180	0.5658	0.7986	1.0093	1.1984	1.3686	1.5227	1.6631
14	0.08934	0.3171	0.5651	0.7980	1.0087	1.1978	1.3680	1.5221	1.6625
16	0.0872	0.3161	0.5642	0.7973	1.0079	1.1971	1.3674	1.5215	1.6619
18	0.08468	0.3148	0.5632	0.7964	1.0071	1.1963	1.3666	1.5207	1.6611
20	0.08016	0.3132	0.5619	0.7952	1.0061	1.1953	1.3656	1.5198	1.6602
22	0.07311	0.3112	0.5605	0.7939	1.0049	1.1941	1.3645	1.5187	1.6591
24		0.3088	0.5587	0.7924	1.0034	1.1928	1.3632	1.5174	1.6578
26		0.3057	0.5565	0.7905	1.0017	1.1911	1.3616	1.5158	1.6563
28		0.3015	0.5538	0.7882	0.9996	1.1892	1.3597	1.5140	1.6545
30		0.2957	0.5504	0.7854	0.9971	1.1868	1.3574	1.5117	1.6523
32		0.2865	0.5459	0.7819	0.9939	1.1839	1.3546	1.5090	1.6496
34		0.2605	0.5398	0.7773	0.9899	1.1802	1.3511	1.5056	1.6463
36			0.5305						
38			0.5120						

Tablo 51. Zayıf Sapma Açısı ve Yüksekliğe Göre Entropi Üretimi

Sapma Açısı	Hy=2000	S _{irr}	Hy=4000	S _{irr}	Hy=6000	Hy=8000	Hy=10000	Hy=12000
2	0.0772		0.0735		0.0699	0.0662	0.0626	0.0608
4	0.1509		0.1438		0.1366	0.1295	0.1224	0.1188
6	0.2213		0.2108		0.2004	0.1899	0.1794	0.1742
8	0.2881		0.2744		0.2608	0.2472	0.2336	0.2268
10	0.3513		0.3347		0.3181	0.3015	0.2849	0.2766
12	0.4109		0.3914		0.3720	0.3526	0.3331	0.3234
14	0.4670		0.4449		0.4228	0.4007	0.3787	0.3676
16	0.5197		0.4951		0.4706	0.4460	0.4214	0.4091
18	0.5692		0.5423		0.5154	0.4885	0.4615	0.4481
20	0.6157		0.5866		0.5574	0.5283	0.4992	0.4846
22	0.6594		0.6282		0.5970	0.5659	0.5347	0.5191
24	0.7006		0.6674		0.6343	0.6011	0.5680	0.5514
26	0.7394		0.7044		0.6694	0.6344	0.5994	0.5819
28	0.7760		0.7393		0.7026	0.6659	0.6292	0.6108
30	0.8108		0.7725		0.7341	0.6958	0.6574	0.6382
32	0.8440		0.8041		0.7641	0.7242	0.6843	0.6643
34	0.8759		0.8344		0.7930	0.7515	0.7101	0.6894

Tablo 52. Zayıf Sapma Açısı ve Yüksekliğe Göre Entropi Üretimi -2

Sapma Açısı	Hy=14000	Hy=16000	Hy=18000	Hy=20000	Hy=22000	Hy=24000
2	0.0608	0.0608	0.0608	0.0608	0.0613	0.0619
4	0.1188	0.1188	0.1188	0.1188	0.1199	0.1210
6	0.1742	0.1742	0.1742	0.1742	0.1758	0.1774
8	0.2268	0.2268	0.2268	0.2268	0.2289	0.2310
10	0.2766	0.2766	0.2766	0.2766	0.2791	0.2817
12	0.3234	0.3234	0.3234	0.3234	0.3264	0.3294
14	0.3676	0.3676	0.3676	0.3676	0.3710	0.3744
16	0.4091	0.4091	0.4091	0.4091	0.4129	0.4167
18	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4522	0.4563
20	0.4846	0.4846	0.4846	0.4846	0.4891	0.4936
22	0.5191	0.5191	0.5191	0.5191	0.5239	0.5287
24	0.5514	0.5514	0.5514	0.5514	0.5565	0.5616
26	0.5819	0.5819	0.5819	0.5819	0.5873	0.5927
28	0.6108	0.6108	0.6108	0.6108	0.6165	0.6221
30	0.6382	0.6382	0.6382	0.6382	0.6441	0.6500
32	0.6643	0.6643	0.6643	0.6643	0.6704	0.6766
34	0.6894	0.6894	0.6894	0.6894	0.6958	0.7021

Tablo 53. Güçlü Sapma Açısı ve Yüksekliğe Göre Entropi Üretimi

Sapma Açısı	Hy=2000	Hy=4000	Hy=6000	Hy=8000	Hy=10000	Hy=12000
2	1.0621	1.0118	0.9615	0.9113	0.8610	0.8359
4	1.0620	1.0117	0.9615	0.9112	0.8610	0.8358
6	1.0619	1.0116	0.9614	0.9111	0.8609	0.8357
8	1.0617	1.0115	0.9612	0.9110	0.8607	0.8356
10	1.0615	1.0112	0.9610	0.9108	0.8605	0.8354
12	1.0612	1.0110	0.9607	0.9105	0.8603	0.8352
14	1.0608	1.0106	0.9604	0.9102	0.8600	0.8349
16	1.0604	1.0102	0.9600	0.9098	0.8596	0.8346
18	1.0599	1.0097	0.9595	0.9094	0.8592	0.8341
20	1.0592	1.0091	0.9590	0.9088	0.8587	0.8336
22	1.0585	1.0084	0.9583	0.9082	0.8581	0.8331
24	1.0576	1.0075	0.9575	0.9074	0.8574	0.8324
26	1.0565	1.0065	0.9565	0.9065	0.8565	0.8315
28	1.0552	1.0053	0.9553	0.9054	0.8555	0.8305
30	1.0536	1.0037	0.9539	0.9040	0.8542	0.8292
32	1.0516	1.0018	0.9520	0.9023	0.8525	0.8276
34	1.0489	0.9993	0.9496	0.9000	0.8504	0.8255

Tablo 54. Güçlü Sapma Açısı ve Yüksekliğe Göre Entropi Üretimi-2

Sapma Açısı	Hy=14000	Hy=16000	Hy=18000	Hy=20000	Hy=22000	Hy=24000
2	0.8359	0.8359	0.8359	0.8359	0.8436	0.8513
4	0.8358	0.8358	0.8358	0.8358	0.8436	0.8513
6	0.8357	0.8357	0.8357	0.8357	0.8435	0.8512
8	0.8356	0.8356	0.8356	0.8356	0.8433	0.8511
10	0.8354	0.8354	0.8354	0.8354	0.8431	0.8509
12	0.8352	0.8352	0.8352	0.8352	0.8429	0.8506
14	0.8349	0.8349	0.8349	0.8349	0.8426	0.8503
16	0.8346	0.8346	0.8346	0.8346	0.8423	0.8500
18	0.8341	0.8341	0.8341	0.8341	0.8419	0.8496
20	0.8336	0.8336	0.8336	0.8336	0.8414	0.8491
22	0.8331	0.8331	0.8331	0.8331	0.8408	0.8485
24	0.8324	0.8324	0.8324	0.8324	0.8401	0.8478
26	0.8315	0.8315	0.8315	0.8315	0.8392	0.8469
28	0.8305	0.8305	0.8305	0.8305	0.8382	0.8459
30	0.8292	0.8292	0.8292	0.8292	0.8369	0.8446
32	0.8276	0.8276	0.8276	0.8276	0.8353	0.8429
34	0.8255	0.8255	0.8255	0.8255	0.8332	0.8408

Tablo 55. Zayıf Açılı İçin; I_{irr} (kW) Değerleri-1

Sapma Açısı	Hy=2000	Hy=4000	Hy=6000	Hy=8000	Hy=10000	Hy=12000
2	32.2417	24.2935	18.23	13.28	9.66	6.93
4	63.0409	47.5000	35.65	25.96	18.89	13.55
6	92.4456	69.6558	52.28	38.07	27.69	19.87
8	120.3384	90.6723	68.06	49.55	36.05	25.86
10	146.7678	110.5860	83.00	60.43	43.97	31.54
12	171.6342	129.3220	97.06	70.67	51.41	36.89
14	195.0883	146.9938	110.33	80.33	58.44	41.93
16	217.1147	163.5898	122.78	89.40	65.04	46.66
18	237.7923	179.1694	134.48	97.91	71.23	51.10
20	257.2031	193.7944	145.45	105.90	77.04	55.27
22	275.4759	207.5620	155.79	113.42	82.52	59.20
24	292.6533	220.5042	165.50	120.50	87.66	62.89
26	308.8612	232.7158	174.67	127.17	92.52	66.37
28	324.1823	244.2593	183.33	133.48	97.10	69.66
30	338.7233	255.2150	191.55	139.46	101.46	72.79
32	352.5715	265.6486	199.38	145.16	105.61	75.76
34	365.8894	275.6827	206.91	150.64	109.60	78.63

Tablo 56. Zayıf Açı İçin; I_{irr} (kW) Değerleri-2

Sapma Açısı	Hy=14000	Hy=16000	Hy=18000	Hy=20000	Hy=22000	Hy=24000
2	4.97	3.70	2.66	1.96	1.41	0.95
4	9.71	7.23	5.19	3.84	2.75	1.86
6	14.24	10.60	7.62	5.63	4.03	2.72
8	18.54	13.79	9.91	7.33	5.24	3.54
10	22.61	16.82	12.09	8.94	6.40	4.32
12	26.44	19.67	14.14	10.45	7.48	5.06
14	30.05	22.36	16.07	11.88	8.50	5.75
16	33.44	24.89	17.89	13.22	9.46	6.39
18	36.62	27.26	19.59	14.48	10.36	7.00
20	39.61	29.48	21.19	15.66	11.21	7.58
22	42.43	31.57	22.69	16.77	12.00	8.11
24	45.07	33.54	24.11	17.82	12.75	8.62
26	47.57	35.40	25.44	18.81	13.46	9.10
28	49.93	37.16	26.70	19.74	14.13	9.55
30	52.17	38.82	27.90	20.62	14.76	9.98
32	54.30	40.41	29.04	21.47	15.36	10.38
34	56.35	41.93	30.14	22.28	15.94	10.78

Tablo 57. Güçlü Açı İçin; I_{irr} (kW) Değerleri-1

Sapma Açısı	Hy=2000	Hy=4000	Hy=6000	Hy=8000	Hy=10000	Hy=12000
2	443.6718	334.2855	250.90	182.66	132.89	95.33
4	443.6414	334.2626	250.88	182.65	132.88	95.33
6	443.5896	334.2236	250.85	182.63	132.86	95.32
8	443.5183	334.1699	250.81	182.60	132.84	95.30
10	443.4183	334.0945	250.75	182.56	132.81	95.28
12	443.2972	334.0033	250.68	182.51	132.78	95.25
14	443.1465	333.8897	250.60	182.45	132.73	95.22
16	442.9645	333.7526	250.50	182.37	132.68	95.18
18	442.7457	333.5878	250.37	182.28	132.61	95.14
20	442.4849	333.3913	250.22	182.18	132.53	95.08
22	442.1735	333.1567	250.05	182.05	132.44	95.01
24	441.8011	332.8761	249.84	181.89	132.33	94.93
26	441.3532	332.5387	249.58	181.71	132.19	94.84
28	440.8078	332.1278	249.28	181.49	132.03	94.72
30	440.1353	331.6211	248.90	181.21	131.83	94.58
32	439.2867	330.9817	248.42	180.86	131.57	94.39
34	438.1820	330.1494	247.79	180.40	131.24	94.16

Tablo 58. Güçlü Açı İçin; I_{irr} (kW) Değerleri-2

Sapma Açısı	Hy=14000	Hy=16000	Hy=18000	Hy=20000	Hy=22000	Hy=24000
2	68.33	50.85	36.54	27.01	19.33	13.07
4	68.32	50.84	36.54	27.01	19.33	13.07
6	68.31	50.84	36.54	27.01	19.33	13.06
8	68.30	50.83	36.53	27.00	19.32	13.06
10	68.29	50.82	36.52	27.00	19.32	13.06
12	68.27	50.80	36.51	26.99	19.32	13.06
14	68.24	50.79	36.50	26.98	19.31	13.05
16	68.22	50.77	36.48	26.97	19.30	13.05
18	68.18	50.74	36.47	26.96	19.29	13.04
20	68.14	50.71	36.45	26.94	19.28	13.03
22	68.09	50.68	36.42	26.92	19.27	13.02
24	68.04	50.63	36.39	26.90	19.25	13.01
26	67.97	50.58	36.35	26.87	19.23	13.00
28	67.88	50.52	36.31	26.84	19.21	12.98
30	67.78	50.44	36.25	26.80	19.18	12.96
32	67.65	50.34	36.18	26.74	19.14	12.94
34	67.48	50.22	36.09	26.68	19.09	12.90

ÖZ GEÇMİŞ

..... yılında doğdu. Lise eğitimini Yavuz Sultan Selim Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Lisans eğitimini 2013-2019 yılları arasında Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. 2018 yılında Anadolu Üniversitesi Adalet ön lisans programını okumaktadır. Lisansüstü eğitimini Bayburt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda tamamladı.

