

Metanol Yakıtlı Motorlarda Strok/Çap Oranı Etkilerinin Kullanılabilirlik Analizi

İsmet Sezer*¹

¹ Mechanical Engineering Department/Faculty of Engineering and Natural Sciences, Gümüşhane University, Turkey

*isezer@gumushane.edu.tr

(Received: 12 December 2024, Accepted: 17 December 2024)

(4th International Conference on Frontiers in Academic Research ICFAR 2024, December 13-14, 2024)

ATIF/REFERENCE: Sezer, İ. (2024). Metanol Yakıtlı Motorlarda Strok/Çap Oranı Etkilerinin Kullanılabilirlik Analizi. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 8(11), 438-444.

Özet-Bu çalışmada metanol yakıtlı motorlar için strok/çap (s/ç) oranı etkileri kullanılabilirlik (ekserji) analiziyle kuramsal olarak incelenmiştir. Bunun için çok bölgeli yanma modeline sahip sanki boyutlu bir termodinamik çevrim modelinden yararlanılmıştır. Çevrim modelinde; yanma prosesi türbülanslı alev yayılması varsayımıyla, emme ve egzoz prosesleri ise deneysel verilerden türetilmiş ampirik denklemler ile simüle edilmiştir. Kullanılabilirlik analizinde çevrim modeline termodinamiğin 2. kanunu (TD2K)'na ait bağıntılar ilave edilmiştir. Kullanılabilirlik analizinde; ısı, iş ve egzoz gazları ile taşınan ekserjilerle beraber tersinmezlikler, yakıt kimyasal ekserjisi, termo–mekanik ekserji ve toplam ekserji seçilen s/ç oranları için çevrim modeli ile hesaplanmıştır. Ayrıca; termodinamiğin 1. ve 2. kanunu verimleri ve indike özgül yakıt tüketimi hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sayesinde, metanol yakıtlı motorlarda s/ç oranının ekserji terimleri, 1. ve 2. kanun verimleri ve indike özgül yakıt tüketimine etkisi belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçları; metanol yakıtlı motorlarda s/ç oranının artırılmasının ısı kayıplarını, tersinmezlikleri, egzoz gazları ile taşınan ekserjiyi ve indike özgül yakıt tüketimini düşürdüğünü, yararlı çevrim işi ile 1. ve 2. kanun verimlerini yükselttiğini göstermiştir. Analiz edilen metanol yakıtlı motorlarda; s/ç oranının 0,7'den 1,3'e artması ısı kayıplarının %8,04, tersinmezliklerin %2 ve egzoz gazları ile taşınan ekserjinin %1,1 azalmasını, işe dönüştürülen ekserjinin ise %5,96 artmasını sağlamıştır. Ayrıca, s/ç oranının 0,7'den 1,3'e yükselmesiyle 1. ve 2. kanun verimleri %5,91 artmış, indike özgül yakıt tüketimi ise %5,58 azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: İçten Yanmalı Motorlar, Metanol, Strok/Çap Oranı, Kullanılabilirlik Analizi, Tersinmezlik, Verim.

I. GİRİŞ

Motorlarda sıkıştırma oranı, yanma odası, kam yapısı, supap geometrisi, bujinin yeri, strok/çap (s/ç) oranı gibi parametrelerin yanma, motorun performansı, yakıt tüketimi ve emisyonlar üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Bunun için bu parametrelerin yanma, motor performansı, yakıt tüketimi ve emisyonlara etkilerini incelemek için çok sayıda çalışma yapılmıştır [1–5]. Bu çalışmaların genelinde motor karakteristiklerini belirlemek için çoğunlukla termodinamik çevrim modelleri kullanılarak motorların gelişimine katkı sağlanmaya çalışılmıştır. Kullanılan çevrim modellerinde çoğunlukla termodinamiğin birinci kanunu (TD1K) ile ilgili prensipler kullanılmıştır. Fakat son zamanlarda TD1K'na dayalı yaklaşımların motorların modellenmesinde ve motor karakteristiklerinin belirlenmesinde yeterli olmadığı ve yanıltıcı sonuçlar verebildiği görülmüştür [6, 7]. Bu sebeple son yıllarda yapılan çalışmalarda TD1K ile beraber termodinamiğin ikinci kanununa (TD2K) dayalı prensiplerin de yaygın olarak

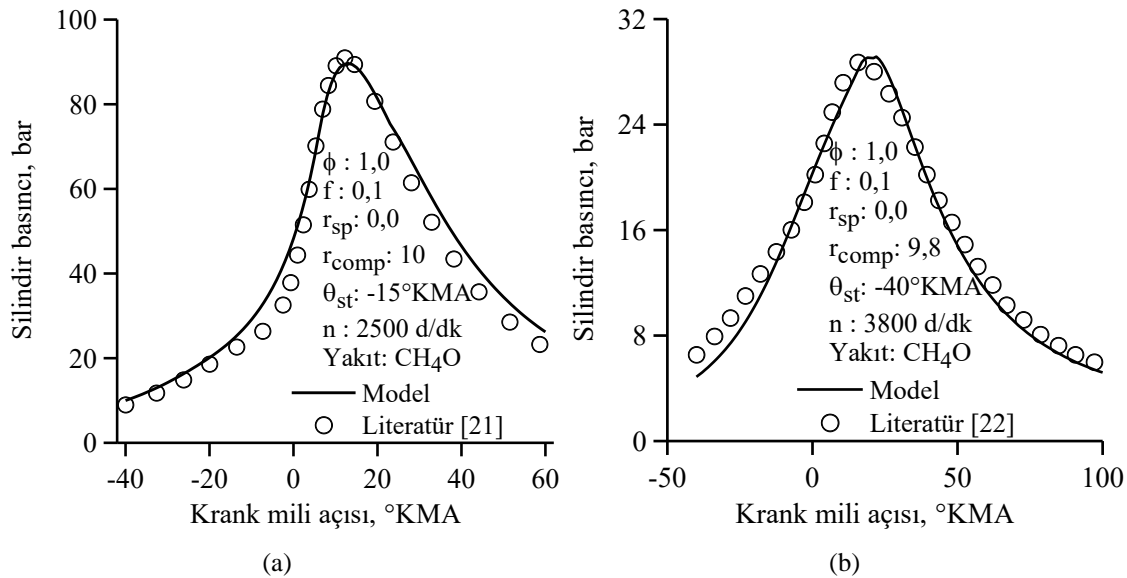
kullanılmaktadır. Bir sürecin veya sistemin TD2K'na dayalı prensiplerle analiz edilmesine kullanılabilirlik (ekserji) analizi denilmektedir. Kullanılabilirlik ya da ekserji analizi incelenen sistem ya da süreç için tersinmezliklerin ve kayıpların belirlenmesine fırsat verdiğinden çok yararlı olabilmektedir. Böylece sistemin verimi doğruya yakın şekilde belirlenebilmekte, sistem veriminin azalmasına sebep olan süreç veya bölgeler belirlenebilmekte ve sonuçta sistem daha verimli hale getirilebilmektedir [8]. Bu sebeplerle, motorlara ekserji analizinin uygulandığı çalışmalar son zamanlarda artış göstermiştir. Motorlara ekserji analizinin uygulandığı çalışmaların sonuçlarının bir arada toplandığı bir çalışma 2000'de Caton [9] tarafından ve daha geniş içerikli başka bir çalışma 2006'da Rakopoulos ve Giakoumis [7] tarafından yayımlanmıştır. Mevcut literatür incelendiğinde son zamanlarda özellikle buji ateşlemeli motorlara kullanılabilirlik ya da ekserji analizinin uygulandığı çok sayıda çalışmanın olduğu görülmektedir [10–15]. Fakat motorlara ekserji analizinin uygulandığı çalışmaların hiçbirinde s/ç oranın etkileri araştırılmamıştır. Bu sebeple, sunulan çalışmada metanol yakıtlı motorlarda s/ç oranının etkileri kullanılabilirlik analiziyle incelenerek literatüre katkı sağlanması hedeflenmektedir.

II. MATERYAL VE METOT

Çalışmada Ferguson [16] tarafından verilen sıfır boyutlu termodinamik çevrim modeline eklemeler yapılarak model sanki boyutlu hale getirilip kullanılmıştır. Modelin temel denklemleri silindir içindeki gazların ideal gaz olduğu varsayımı ile enerjinin korunumu prensibine dayalı olarak türetilmiştir. Çevrim modeli, kullanılabilirlik analizi, çevrim programı ve çözüm yöntemine yönelik detaylı bilgiler literatürde bulunabilir [17–20].

III. ÇEVİRİM PROGRAMI VE MODELİN GÜVENİRLİLİĞİ

Program ve modelinin güvenilirliğini göstermek için Tablo 1'deki motorlara ait deneysel verilerle modelden elde edilen sonuçlar Şekil 1(a) ve (b)'de kıyaslanmıştır. Şekil 1(a) ve (b)'de görüldüğü gibi metanol için model ile elde edilen silindir basıncı verileri literatürdeki verilerle uyumlu olup program ve modelin motor karakteristiklerinin belirlenmesi ve sayısal çalışmalar için yeterli güvenilirlikte olduğu ifade edilebilir.



Şekil 1. Çevrim modeli verilerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

Tablo 1. Karşılaştırma için kullanılan motorun özellikleri

Özellikler	r_{comp}	r_{sp}	b [mm]	l_s [mm]	l_{cr} [mm]	d_{intval} [mm]	l_{intval} [mm]
Motor [21]	10	0,0	79	81,4	163	31,6	2,87
Motor [22]	9,8	0,0	74	58	116	29,6	2,69

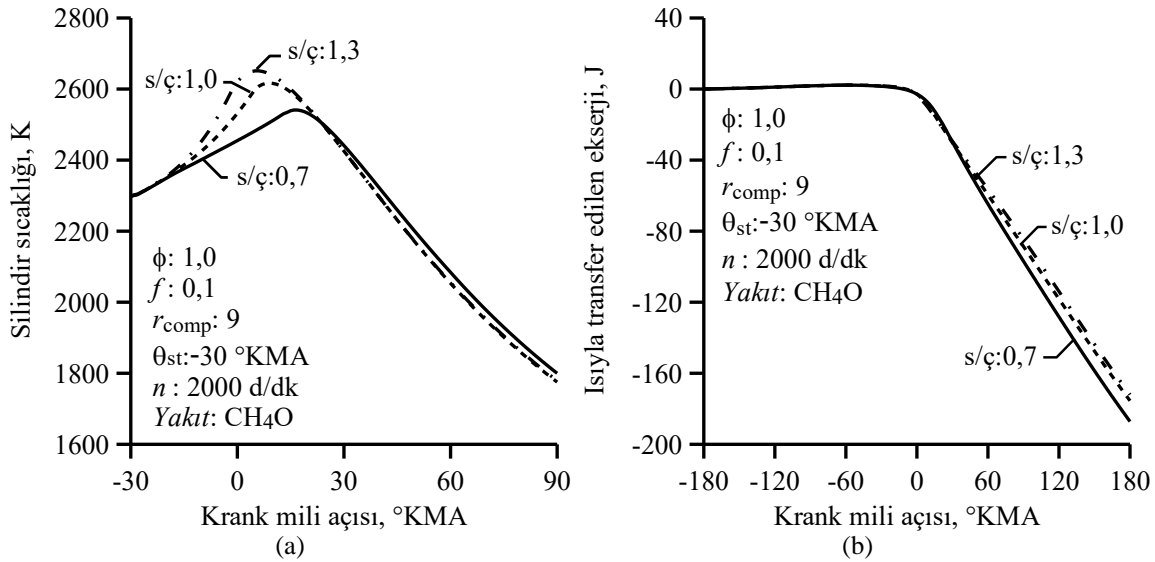
IV. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kullanılabilirlik analizi için Tablo 2’de özellikleri bulunan aynı strok hacmine fakat farklı s/ç oranlarına sahip motorlar kullanılmıştır.

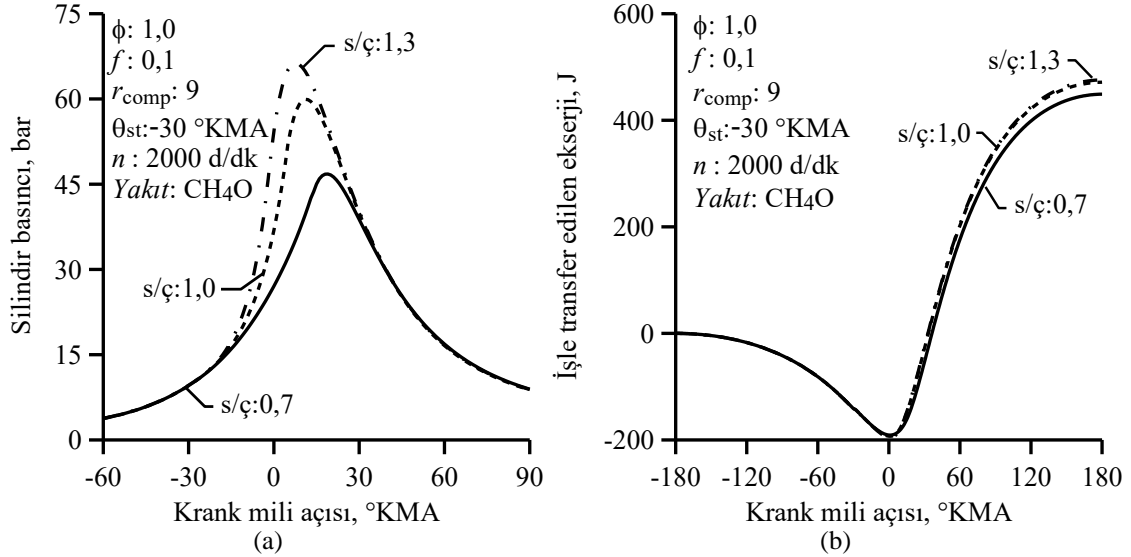
Tablo 2. Kullanılabilirlik analizi için kullanılan motorun özellikleri [3]

s/ç oranı	0,7	1,0	1,3
Strok uzunluğu (l_s), mm	62,8	79,5	95,5
Çap (b), mm	90	80	73
Biyel boyu (l_{cr}), mm	126	159	191
Sıkıştırma oranı (r_{comp})	9	9	9
Emme supabı çapı (d_{intval}), mm	39,4	35	32
Emme supabı maksimum açılma miktarı (l_{intval}), mm	7,7	8,95	8,17
Strok hacmi (V_s), cm ³	400	400	400

Şekil 2(a)’da silindir içindeki gazların sıcaklığının ve Şekil 2(b)’de ısıyla aktarılan ekserjinin (X_Q) s/ç oranıyla değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi X_Q artan s/ç oranıyla azalmış ve s/ç=1,3 için minimum değere ulaşmıştır. X_Q ’deki bu değişimin Şekil 2(a)’da gösterilen silindirdeki gazların sıcaklığının ve yanma süresinin değişiminden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Şekil 2(a)’da görüldüğü gibi s/ç oranı arttıkça başlangıçta silindirde daha yüksek sıcaklıklar ortaya çıkmasına karşın yüksek sıcaklık süresi kısalmıştır. Öte yandan, yanma süreleri 0,7, 1,0 ve 1,3 s/ç için 90, 67 ve 60°KMA olarak belirlenmiştir. Yanma süresinin uzamasıyla silindirde daha uzun süre yüksek sıcaklıkta gazların bulunması sonucunda ısı kaybının ve X_Q ’nin artışına neden olmuştur. İncelenen metanol yakıtlı motorlar için s/ç=0,7 ile karşılaştırıldığında ısıyla taşınan ekserji s/ç=1,0 ve 1,3 için %6,54 ve %8,04 azalmıştır.



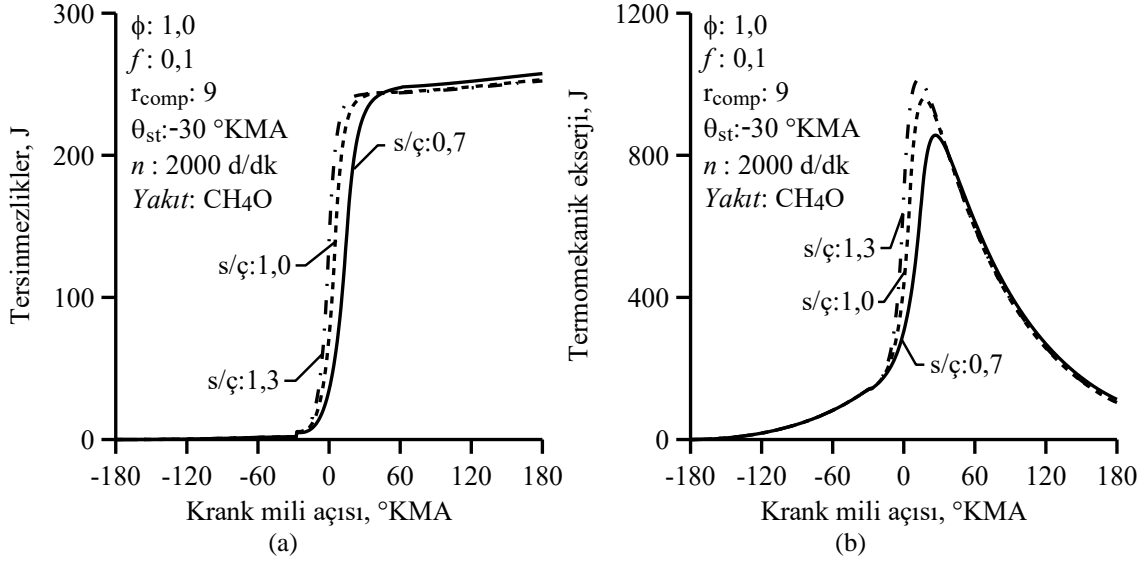
Şekil 2. a) Silindir sıcaklığının ve b) ısıyla transfer edilen ekserjinin strok/çap oranı ile değişimi



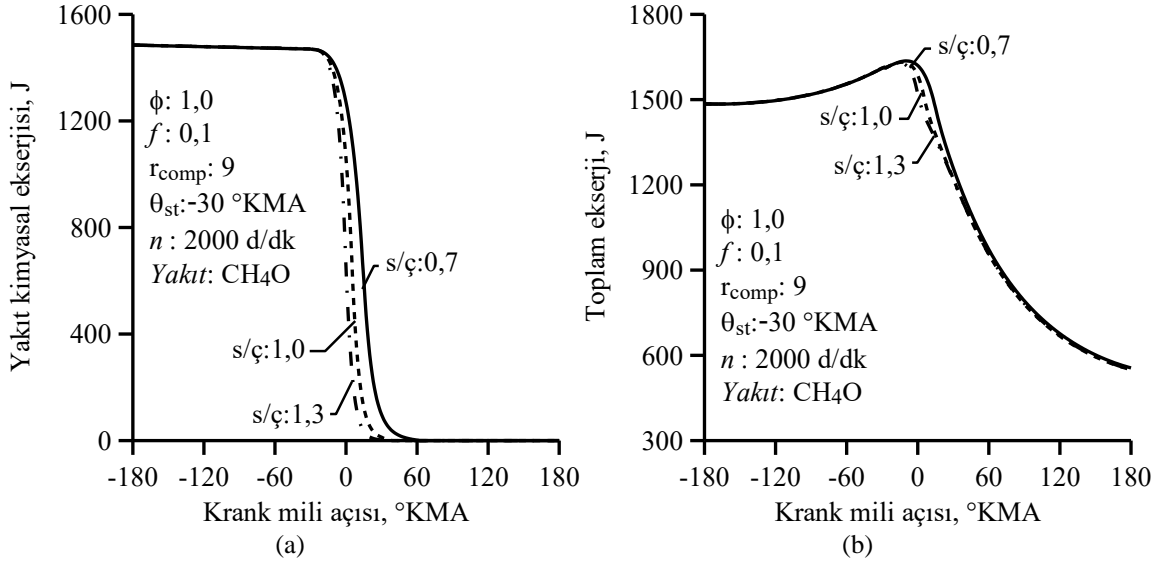
Şekil 3. a) Silindir basıncının ve b) işle transfer edilen ekserjinin strok/çap oranı ile değişimi

Şekil 3(a)'da silindirdeki basıncın ve Şekil 3(b)'de işle aktarılan ekserjinin (X_w) s/ç oranıyla değişimi verilmiş olup şekilde görüldüğü gibi X_w artan s/ç oranıyla artmış ve s/ç=1,3 için maksimum değere ulaşmıştır. X_w 'deki bu artışın s/ç oranı artınca strok uzunluğunun artmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Strok uzunluğunun artması genişleme sırasında elde edilen yararlı işin ve X_w 'nin artmasını sağlamıştır. Öte yandan, Şekil 3(a) görüldüğü gibi s/ç oranı artınca basıncın daha yüksek değerler almasının çevrim işinin dolayısıyla X_w 'nin artmasına katkı sağladığı tahmin edilmektedir. İncelenen metanol yakıtlı motorlar için s/ç=0,7 ile karşılaştırıldığında işle transfer edilen ekserji s/ç=1,0 ve s/ç=1,3 için %5 ve %5,96 oranlarında artmıştır.

Şekil 4(a)'da tersinmezliklerin (I) s/ç oranıyla değişimi verilmiş olup şekilde görüldüğü gibi tersinmezlikler artan s/ç oranıyla azalmış ve s/ç=1,3 için minimum değere ulaşmıştır. Çalışmada yanma ve ısı geçişiyle oluşan tersinmezlikler hesaplanmış olup yanmayla oluşan tersinmezliklerin yanma süresinin uzamasıyla arttığı literatürde belirtilmektedir [9]. Benzer biçimde ısı geçişiyle oluşan tersinmezlikler de yanma süresinin uzamasıyla aktarılan ısı miktarının artması sonucunda artmaktadır [10]. Bu etkiler sonucunda, s/ç oranının artması tersinmezlikleri azalmasını sağlamış ve incelenen metanol yakıtlı motorlar için s/ç=0,7 ile karşılaştırıldığında tersinmezlikler s/ç=1,0 ve s/ç=1,3 için %1,64 ve %2 oranlarında azalmıştır. Şekil 4(b)'de termomekanik ekserjinin (X_{tm}) s/ç oranıyla değişimi verilmiş olup şekilde görüldüğü gibi X_{tm} artan s/ç oranıyla yanma sırasında artmış genişleme işleminin sonunda ise azalmıştır. Bunun sonucunda, s/ç=1,3 için yanma işlemi sonunda maksimum X_{tm} değerine ve genişleme işlemi sonunda minimum X_{tm} değerlerine ulaşılmıştır. X_{tm} 'deki bu değişimin direkt ısı ve işle transfer edilen ekserjilere ve dolaylı olarak da silindir basıncı ve sıcaklığına bağlı olduğu tahmin edilmektedir. Yurkarda belirtildiği üzere s/ç oranının artışıyla yanma süresinin kısalması sonucunda yanma sırasında daha yüksek basınç ve sıcaklığın ortaya çıkmasını genişleme sonunda ise daha düşük basınç ve sıcaklığın oluşmasını sağlar. Bu etkiler sonucunda, s/ç oranı arttıkça X_{tm} yanma sırasında artarken genişleme işlemi sonunda azalmaktadır.



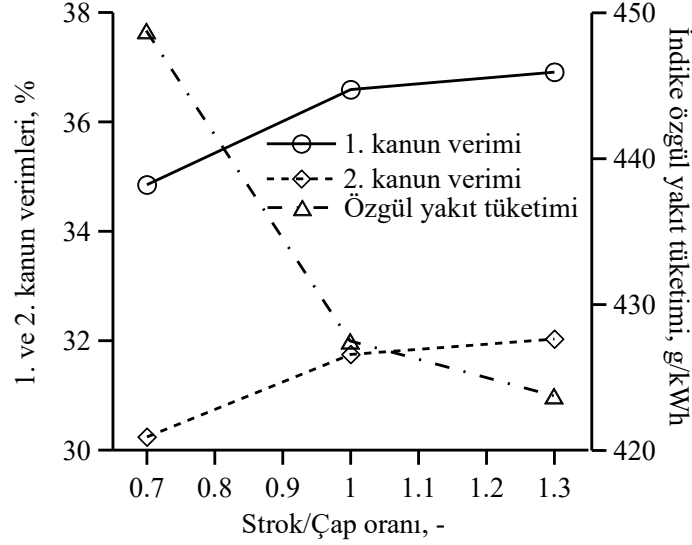
Şekil 4. Tersinmezliklerin ve termomekanik ekserjinin strok/çap oranı ile değişimi



Şekil 5. Yakıt kimyasal ekserjisi ve toplam ekserjinin strok/çap oranı ile değişimi

Şekil 5(a)'da yakıt kimyasal ekserjisinin ($X_{f, ch}$) s/ç oranıyla değişimi verilmiş olup şekilde görüldüğü gibi silindire giren yakıt miktarı yaklaşık aynı olduğu için $X_{f, ch}$ sıkıştırma işlemi sırasında s/ç oranıyla değişmemiştir. Yanma sürecinde ise s/ç oranının değişimiyle yanma süreleri farklı değerler aldığından $X_{f, ch}$ 'nin değişimi de farklılık göstermiştir. Çalışmada stokiometrik (teorik) yakıt-hava karışımı kullanıldığından yanmanın sona ermesiyle silindirde yanmamış yakıt kalmadığından tüm s/ç oranları için $X_{f, ch}$ sıfır değerine ulaşmaktadır. Şekil 5(b)'de toplam ekserjinin (X_{tot}) s/ç oranıyla değişimi verilmiş olup şekilde görüldüğü gibi sıkıştırma işlemi sırasında s/ç oranına bağlı olarak X_{tot} 'deki değişim düşük düzeyde kalmıştır. Fakat, s/ç oranının artışıyla yanma süresinin kısalması nedeniyle yanma ve genişleme işlemlerinde toplam ekserji s/ç oranının artışıyla azalmıştır. X_{tot} 'deki bu değişim termo-mekanik ve yakıt kimyasal ekserjilerindeki değişimlerin birleşimi olup genişleme işlemi sonunda egzoz gazlarıyla aktarılan ekserji artan s/ç oranıyla azalmıştır. İncelenen metanol yakıtlı motorlar için s/ç=0,7 ile karşılaştırıldığında egzoz gazlarıyla transfer edilen ekserji s/ç=1,0 ve s/ç=1,3 için %1,1 ve %1,04 oranlarında azalmıştır. Şekil 6'da, 1.ve 2. kanun verimleri ve indike özgül yakıt tüketiminin s/ç oranıyla değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi artan s/ç oranıyla 1.ve 2. kanun verimleri artarken indike özgül yakıt tüketimi azalmıştır. Verimdeki artışın s/ç oranının artışıyla bağlı olarak üretilen yararlı işin ve işle akatırılan ekserjinin artışından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. İncelenen metanol yakıtlı motorlar için s/ç=0,7

ile karşılaştırıldığında 1. ve 2. kanun verimleri $s/\ç=1,0$ ve $s/\ç=1,3$ için %4,99 ve %5,91 oranlarında artmıştır. Artan $s/\ç$ oranına bağlı olarak indike özgül yakıt tüketimindeki düşüşün ise verimindeki artışın sonucu olduğu düşünülmektedir. Çünkü özgül yakıt tüketimi verimle ters yönde değişen bir terimdir. İncelenen metanol yakıtlı motorlar için $s/\ç=0,7$ ile karşılaştırıldığında indike özgül yakıt tüketimi $s/\ç=1,0$ ve $s/\ç=1,3$ için %4,74 ve %5,58 oranlarında azalmıştır.



Şekil 6. 1. ve 2. Kanun verimlerinin ve özgül yakıt tüketiminin strok/çap oranı ile değişimi

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada metanol yakıtlı motorlarda $s/\ç$ oranının değiştirilmesinin etkileri kullanılabilirlik analiziyle incelenmiştir. Bunun için, sanki boyutlu bir çevrim modeli kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, $s/\ç$ oranının değiştirilmesinin ekserjetik terimlere, 1. ve 2. kanun verimlerine ve indike özgül yakıt tüketimine etkileri belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara bağlı olarak aşağıdaki sonuçlar özetlenebilir.

- İncelenen metanol yakıtlı motorlar için $s/\ç$ oranının artışı faydalı çevrim işi ve işle aktarılan ekserjinin artışı sağlarken ısı kayıplarının ve ısıyla aktarılan ekserjinin azalmasını sağlamıştır. $s/\ç$ oranının 0,7'den 1,3'e artması durumunda işle aktarılan ekserji %5,96 artmış ısıyla aktarılan ekserji ise %8,04 azalmıştır.
- İncelenen metanol yakıtlı motorlar için $s/\ç$ oranının artırılması tersinmezliklerin ve egzoz gazlarıyla aktarılan ekserjinin azalmasını sağlamıştır. $s/\ç$ oranının 0,7'den 1,3'e artırılması durumunda tersinmezlikler %2 ve egzozla gazlarıyla aktarılan ekserji %1,1 azalmıştır.
- İncelenen metanol yakıtlı motorlar için $s/\ç$ oranının artırılması 1. ve 2. kanun verimlerinin artmasını indike özgül yakıt tüketiminin ise azalmasını sağlamıştır. $s/\ç$ oranının 0,7'den 1,3'e artırılması durumunda 1. ve 2. kanun verimleri %5,91 artmış indike özgül yakıt tüketimi ise %5,58 azalmıştır.
- Bu sonuçlara göre; metanol yakıtlı motorlarda $s/\ç$ oranının uygun şekilde artırılmasının ekserji kayıplarının azalmasını sağlayarak faydalı çevrim işini artırdığı ve böylece motorun daha verimli ve yakıt tüketimi açısından daha ekonomik çalışmasının sağlanabileceği ifade edilebilir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Makale tek yazarlı olduğu için herhangi bir çıkar çatışması söz konusu değildir.

KAYNAKLAR

1. Poulos, S. G., & Heywood, J. B. 1983. "The effect of chamber shape on spark ignition engine combustion," Society of Automotive Engineering, SAE paper no. 830334, p. 1–24. DOI: <https://doi.org/10.4271/830334>
2. Sung, N. W., & Jun S. P. 1997. "The effects of combustion chamber geometry in an SI engine," Society of Automotive Engineering, SAE paper no. 972996, p. 227–239. DOI: <https://doi.org/10.4271/972996>
3. Filipi, Z. S., & Assanis, D. N. 2000. "The effect of the stroke-to-bore ratio on combustion, heat transfer and efficiency of a homogeneous charge spark ignition engine of given displacement," International Journal of Engine Research, vol. 1(2), p. 191–208. DOI: <https://doi.org/10.1243/1468087001545137>
4. Sher, E., & Bar-Kohany, T. 2002. "Optimization of variable valve timing for maximizing performance of an unthrottled SI engine—a theoretical study," Energy, vol. 27, p. 757–775. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(02\)00022-1](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(02)00022-1)
5. Hu, Z., Whitelaw, J. H., & Vafidis, C. 1992. "Flame propagation studies in a four-valve pentroof-chamber spark ignition engine," Society of Automotive Engineering, SAE paper no. 922321, p. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.4271/922321>
6. Caton, J. A. (2002). Detailed results for nitric oxide emissions as determined from a multiple-zone cycle simulation for a spark-ignition engine. *Fall Technical Conference of the ASME, Internal Combustion Engine Division*, p. 1–19, New Orleans, Los Angeles.
7. Rakopoulos, C. D., & Giakoumis, E. G. 2006. "Second law analyses applied to internal combustion engines operation," Progress in Energy and Combustion Science, vol. 32(1), p. 2–47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2005.10.001>
8. Moran, M. J., & Shapiro H. N. (2000). *Fundamentals of engineering thermodynamic*. New York, USA, John Wiley & Sons Inc.
9. Caton, J. A. (2000). A review of investigations using the second law of thermodynamics to study internal-combustion engines. *SAE World Congress*, p. 1–15, Detroit, Michigan.
10. Rakopoulos, C. D. 1993. "Evaluation of a spark ignition engine cycle using first and second law analysis techniques," Energy Conversion and Management, vol. 34(12), p. 1299–1314. DOI: [https://doi.org/10.1016/0196-8904\(93\)90126-U](https://doi.org/10.1016/0196-8904(93)90126-U)
11. Gallo, W. L. R., & Milanez, L. F. 1992. "Exergetic analysis of ethanol and gasoline fueled engines," Society of Automotive Engineers, SAE paper no. 920809, p. 907–915. DOI: <https://doi.org/10.4271/920809>
12. Shapiro H. N., & Van Gerpen, J. H. 1989. "Two zone combustion models for second law analysis of internal combustion engines," Society of Automotive Engineers, SAE paper no. 890823, p. 1408–1422. DOI: <https://doi.org/10.4271/890823>
13. Alasfour, F. N. 1997. "Butanol—a single-cylinder engine study: availability analysis," Applied Thermal Engineering, vol. 17(6), p. 537–549. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1359-4311\(96\)00069-5](https://doi.org/10.1016/S1359-4311(96)00069-5)
14. Caton, J. A. 1999. Results from the second-law of thermodynamics for a spark-ignition engine using a cycle simulation. *Fall Technical Conference of the ASME, Internal Combustion Engine Division*, p. 35–49, Ann Arbor, Michigan.
15. Caton, J. A. 2000. Operation characteristics of a spark-ignition engine using the second law of thermodynamics: effects of speed and load. *SAE World Congress*, p. 1–17, Detroit, Michigan.
16. Ferguson, C. R. (1985). *Internal combustion engine, applied thermosciences*. New York, USA, John Wiley & Sons Inc.
17. Sezer I. 2023. "Doğalgaz yakıtlı buji ateşlemeli motorlarda strok/çap oranı etkilerinin ekserji analiziyle incelenmesi," International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches, vol. 7(10), p. 1–11. <https://as-proceeding.com/index.php/ijanser/article/view/2055>
18. Sezer I. 2024. "LPG yakıtlı buji ateşlemeli motorlarda strok/çap oranı etkilerinin ekserji analiziyle incelenmesi," Engineer and Machinery, vol. 65(714), 121–145. DOI: 10.46399/muhendismakina.1257235
19. Sezer, I., & Bilgin, A. 2008. "Mathematical analysis of spark ignition engine operation via the combination of the first and second laws of thermodynamics," Proceedings of the Royal Society A: Mathematical Physical and Engineering Sciences, vol. 464, p. 3107–3128. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspa.2008.0190>
20. Sezer, I., & Bilgin, A. 2012 "Exergetic evaluation of speed and load effects in spark ignition engines," Oil & Gas Science and Technology, vol. 67(4), p. 647–660. DOI: <https://doi.org/10.2516/ogst/2012002>
21. Nguyen D.-K. (2019). "*Diluted combustion of methanol in spark-ignition engines with on-board fuel reforming*," PhD Dissertation, Ghent University, Ghent, Belgium.
22. Chaudhary N. & Subramanian K. A. 2022. "Comparative study on methanol (M100) and ethanol (E100) fueled Otto cycle engine," International Journal of Automotive Science and Technology vol. 6(1), p. 61–67. DOI: <https://doi.org/10.30939/ijastech..999550>