

## SOYA YAĞI METİL ESTERİNİN MOTOR PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİ ve NO<sub>x</sub> EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Murat KARABEKTAŞ<sup>1</sup>, Gökhan ERGEN<sup>2</sup>

1. Murat KARABEKTAŞ, Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü Sakarya/TÜRKİYE, muratk@sakarya.edu.tr
2. Gökhan ERGEN, Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü Sakarya/ TÜRKİYE, gergen@sakarya.edu.tr

### ÖZET

Bu çalışmada, rafine soya yağından transesterifikasyon yöntemiyle elde edilen ve biyodizel olarak adlandırılan soya yağı metil esterinin (SYME), bir dizel motorunda kullanılması sonucu elde edilen motor performans karakteristikleri ve NO<sub>x</sub> emisyon değerlerindeki değişimler dizel yakıtı ile karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. Biyodizel yakıtının testlerinde motorine oranla daha düşük ısı değeri, yüksek viskozite ve yoğunluk saptanmıştır. Motor testlerinde ise motorine oranla efektif güçte ortalama %3.92 azalma ortaya çıkmaktadır. Özgül yakıt tüketiminde artış görülmektedir. NO<sub>x</sub> emisyonları SYME yakıtı ile belirgin artış göstermektedir. Yapılan testlerde yakıtın kullanımı ile ilgili önemli bir sorunla karşılaşmamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Biyodizel, Transesterifikasyon, NO<sub>x</sub> Emisyonu, Motor Performansı

## INVESTIGATION OF EFFECT OF USING SOYBEAN OIL METHYLESTER ON ENGINE PERFORMANCE CHARACTERISTICS AND NO<sub>x</sub> EMISSIONS

### ABSTRACT

This article presents engine performance characteristics and NO<sub>x</sub> emissions values obtained from test results of a diesel engine operated on neat soybean oil methyl ester (SYME) produced from neat soybean oil via transesterification. It is determined by means of fuel test that heating value is lower, viscosity and density are higher for SYME compared to diesel fuel. Engine test results revealed that SYME leads to an average of 3.92% lower break power and increase in break specific fuel consumption (bsfc). NO<sub>x</sub> emissions increase with SYME. There was no problem observed about usage of the fuel for the duration of the tests.

**Key Words:** Biodiesel, Transesterification, NO<sub>x</sub> Emission, Engine Performance

### 1. Giriş

Geçmiş yıllarda yaşanan petrol krizleri, yükselen yakıt fiyatları, yakıtların yerel kaynaklardan üretilme ihtiyacı, enerji ihtiyacının dışa bağımlı olmaktan kurtarılması, güvenli ve yeterli miktarda yakıtı her zaman temin edebilme düşüncesi, mevcut yakıtların ana kaynağı olan petrol rezervlerinin 40-60 yıl gibi kısa bir süre ile sınırlı olması gibi önemli faktörlerin etkisiyle, petrol kökenli yakıtların yerine içten yanmalı motorlarda kullanılabilecek alternatif yakıtlar ile ilgili çalışmalar günümüzde yoğun biçimde sürdürülmektedir.

Bunun yanında, başta metropol kentler olmak üzere yaşanan hava kirliliği problemi artık küresel ısınma boyutunda etkiler ortaya koymaktadır. Yıllar itibarıyla sürekli artış gösteren motorlu taşıt sayısına bağlı olarak artan taşıtlardan kaynaklanan egzoz emisyonları artık tehlike boyutlarının üzerine çıkmaktadır. Neticede dünyada birçok yerde, yönetimlerce emisyonları kısıtlayıcı yasal düzenlemeler yapılmakta ve bu düzenlemeler gün geçtikçe daha da daralan limitler ortaya çıkarmaktadır. Mevcut petrol kökenli yakıtlarla bu limitleri karşılamak için yapılan motor üzerindeki yenilikler ve yakıt sistemindeki yeni teknoloji uygulamaları artık zor bir sürece doğru gitmektedir. Dolayısıyla petrol kökenli

yakıtların yerini alacak alternatif yakıtlar için istenen önemli özelliklerden biri olarak; emisyon standartlarını karşılayacak içerikte olması gösterilebilir. Gelecekte içten yanmalı motorlarda kullanımı muhtemel alternatif yakıtları şu şekilde sınıflandırmak mümkündür [1, 2];

1. Sıvı yakıtlar; alkoller (metanol, etanol), biyodizel, MTBE (metil tetra bütül eter), ETBE (etil tetra bütül eter)
2. Gaz yakıtlar; doğalgaz (LNG, CNG), hidrojen
3. Elektrik; yakıt hücreleri, elektrikli araçlar

Bu yakıtların birçok yönden birbirlerine karşı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Son yıllarda özellikle hidrojen yakıtlar üzerinde oldukça yoğun çalışmalar sürdürülmektedir. Yakıt hücrelerinde uygulanabilmesi ve yakıt kullanımı sonucu sera etkisine sebep olan CO<sub>2</sub> gibi bir emisyonu üretmemesi hidrojenin en büyük avantajı olarak görülmektedir. Ancak hidrojenin araç üzerinde depolama güçlüğü, taşıtlarda yakın gelecekte yaygın olarak kullanımı için önemli bir sorun oluşturmaktadır [3].

Mevcut dizel motorlu araçlarda çok fazla modifikasyona gereksinim duyulmadan yakıt olarak kullanılabilmesi, yerel kaynaklardan üretilebilmesi, yenilenebilir bir yakıt olması, oksijen içeriğine bağlı olarak iyi yanma karakteristikleri göstermesi gibi avantajları sebebiyle biyodizel son yıllarda üzerinde çalışılan bir alternatif yakıt olarak ortaya çıkmaktadır [4, 5, 6, 7].

Biyodizelin ana kaynağı olan bitkisel yağı, direkt olarak saf halde mevcut dizel motorlarında kullanmak, yüksek yoğunluk, yüksek vizkozite, kötü filtreleme olanağı ve düşük buharlaşma özelliğinden dolayı yakıt sistemi ve motor çalışmasında birçok olumsuz etki ortaya koymaktadır [8, 9]. Bu problemlerin çözümü için yakıtın vizkozite değerlerini dizel yakıtına yakın değerlere indirgeme gerekliliği vardır. Bunun için bitkisel yağın ısıtılması dahil birçok metod denenmiştir. Literatür çalışmalarında bitkisel yağın motorlarda kullanımı ve vizkozitenin azaltılması için uygulanacak en uygun metodun transesterifikasyon yoluyla biyodizel elde edildiği açıkça vurgulanmaktadır [10]. Transesterifikasyon ayrıca bitkisel yağın teknik özelliklerini iyileştirmekte ve modern dizel motorlarında kullanılabilecek duruma getirmektedir.

Biyodizelin motorlarda kullanımı için en avantajlı yönünün oksijen içeriği olduğu söylenebilir. Bundan dolayı motorine göre daha iyi yanma karakteristikleri göstermesi neticesi is emisyonlarında düşük değerler görülmektedir. Diğer yenilenebilir yakıtlar gibi doğada kolayca çözünebilir, zehirli değildir ve sülfür içermez. Ayrıca biyodizel-dizel yakıtı ile yapılan karışım yakıt kullanımında daha iyi yağlama özellikleri ortaya

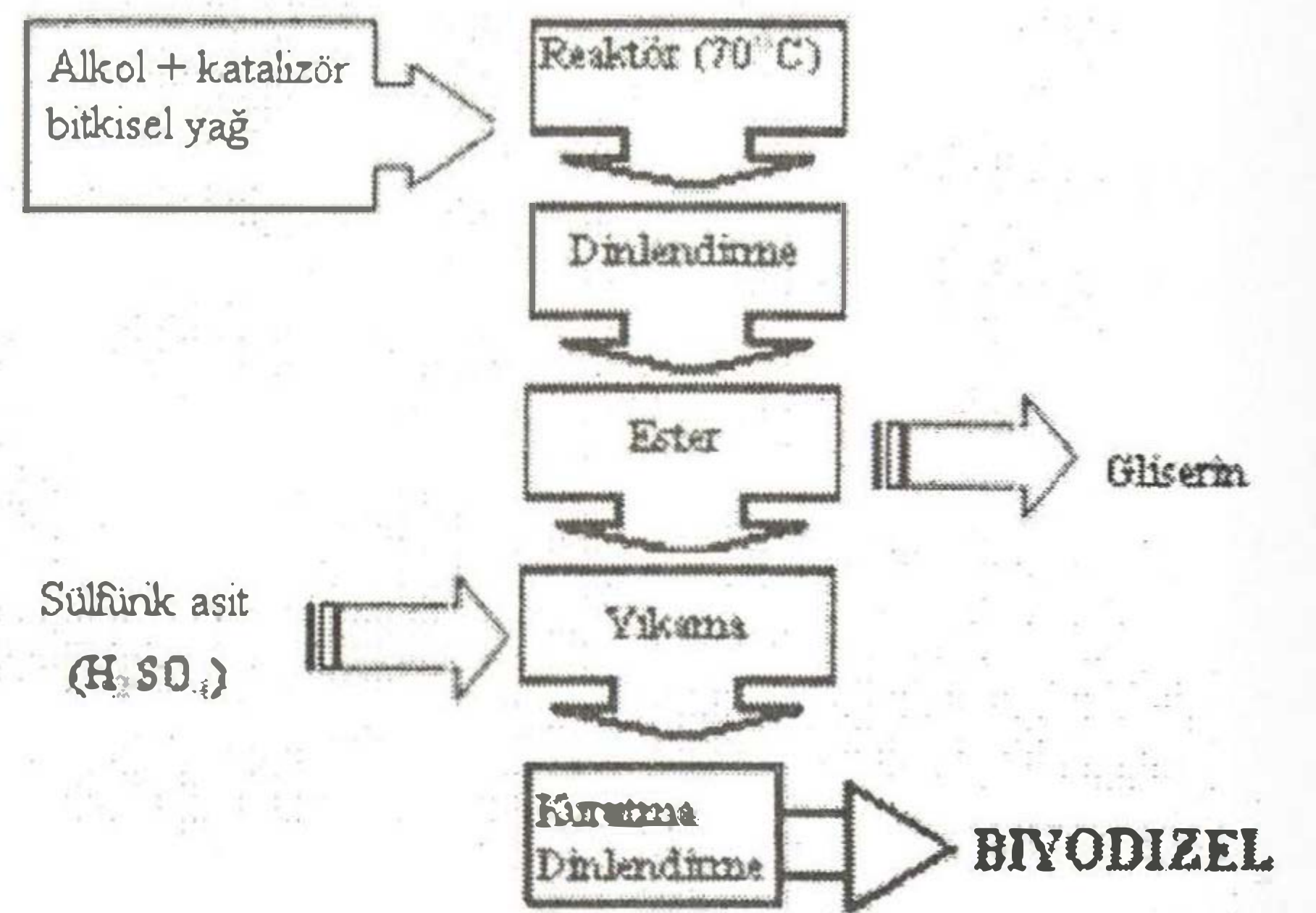
çıkılmaktadır. Biyodizel yakıtının kullanıldığı dizel motorlarında ortaya çıkan emisyon karakteristikleri ile ilgili olarak genellikle CO ve HC emisyonlarında azalma ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında artış olduğu belirtilmektedir [9, 10, 11, 12].

## 2. Materyal ve Metod

Yapılan çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Çalışmanın ilk aşamasında rafine soya yağı kullanılarak transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel yakıtı olarak adlandırılan soya yağı metil esteri (SYME) elde edilmiş, yakıt özellikleri laboratuvar testleriyle belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise üretilen biyodizel yakıtı, saf olarak bir dizel motorunda performans ve emisyon testlerine tabi tutulmuştur. Benzer testler karşılaştırma yapabilmek amacıyla öncelikle dizel yakıtı ile gerçekleştirilmiştir.

### 2.1. Biyodizel Üretimi

Biyodizel yakıt üretimi, Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.1'de rafine bir yağın transesterifikasyon yöntemi uygulanarak metil estere dönüştürülmesi için uygulanan akış şeması görülmektedir.



Şekil 2.1. Biyodizel üretimi

Üretilen biyodizel yakıtın analizleri ODTÜ Petrol Araştırma Merkezinde yaptırılmıştır. Dizel yakıtının özellikleri ise TÜPRAŞ'tan alınan değerler olarak belirlenmiştir. Üretilen ve deneylerde kullanılan yakıtların bazı özellikleri Tablo 2.1'de verilmektedir.

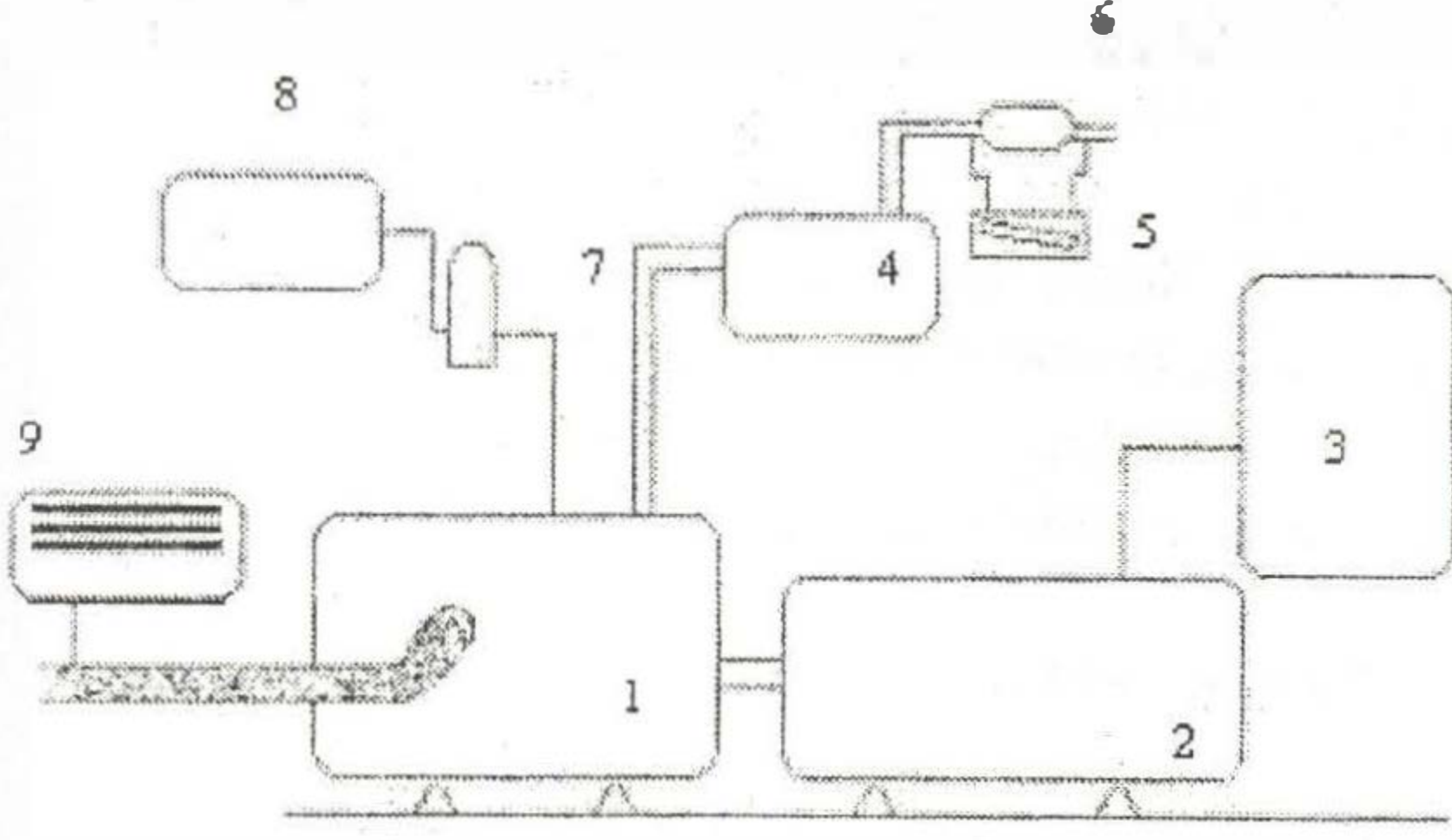
Tablo 2.1. Deneylede kullanılan yakıtların özellikleri

ÖZELLİKLER	DİZEL YAKITI	BİYODİZEL (SYME)
Kinematik Vizkozite 40°C'de (cst)	3,25 <sup>a</sup>	5,57
Alt Isıl değer (kJ/kg)	42550 <sup>a</sup>	37034
Yoğunluk 15°C'de (kg/L)	0,84 <sup>n</sup>	0,8859
Alevlenme Noktası (°C)	55 <sup>b</sup>	208

<sup>a</sup> Tüpraş Tarafından garanti edilen değerlerin ortalaması <sup>b</sup> Tüpraş Tarafından garanti edilen minimum değer

## 2.2. Deney Düzeneği

Üretilen biyodizel yakıtı ile performans ve emisyon değerlerini belirlemek için gerekli motor deneyleri, Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.2'de deney düzeneğini oluşturan elemanlar ve bu elemanların birbirleriyle bağlantıları şematik olarak görülmektedir.



1. Deney motoru 2. Dinamometre 3. Kontrol paneli 4. Hava söndürme Tankı 5. Eğik manometre 6. Orifis plakası 7. Hacimsel yakıt ölçer 8. Yakıt deposu 9. Egzoz emisyon cihazı

Şekil 2.2. Deney düzeneğinin şematik görünüşü

Deneylede Antor (6 LD 400) marka, tek silindirli, direkt püskürtmeli, hava soğutmalı, bir dizel motor kullanılmıştır. Motorun teknik özellikleri Tablo 2.2'de belirtilmektedir.

Dizel yakıtı ve biyodizel yakıtının motor performans ve NO<sub>x</sub> emisyonu değerlerini belirlemek amacıyla deney motoruna tam yük-değişik hız testleri uygulanmıştır. Motorun en iyi çalışma koşulları göz önüne alınarak, deney aralıkları; 1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200 dev/dak olmak üzere 200 dev/dak aralıklı olarak belirlenmiştir. Deneylede yakıt olarak, saf dizel yakıtı ve saf biyodizel (SYME) kullanılmıştır.

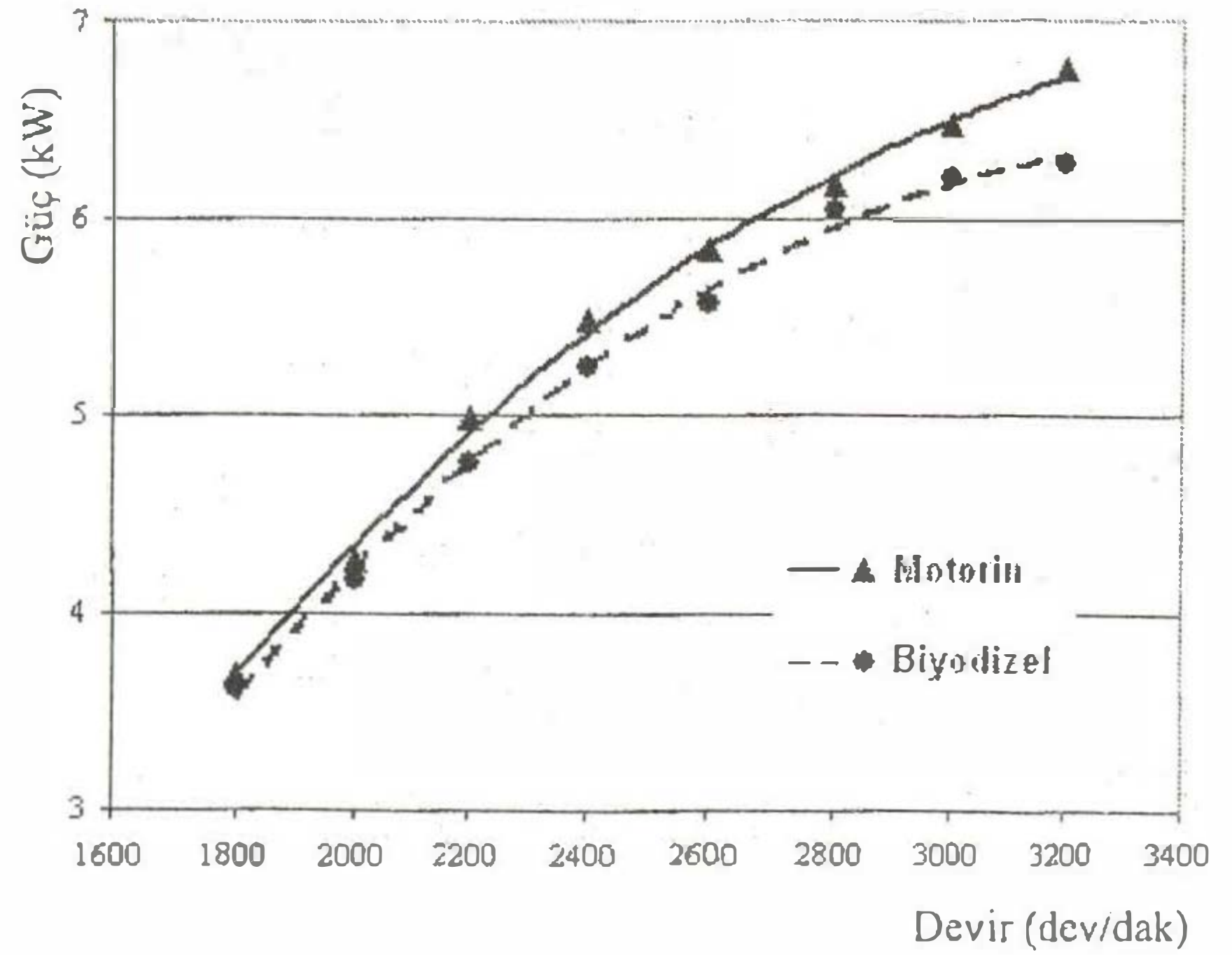
Tablo 2.2. Deney motorunun teknik özellikleri.

Marka ve model	Antor / 6 LD 400
Çalışma prensibi	4 zamanlı
Silindir sayısı	1
Silindir çapı (mm)	86
Strok (mm)	68
Toplam silindir hacmi (cm <sup>3</sup> )	395
Sıkıştırma oranı	18:1
Maksimum motor gücü (HP)	8.5 (3600 dev/dak'ta)
Maksimum döndürme momenti (Nm)	20 (2200 dev/dak'ta)

## 3. Bulgular

### 3.1. Efektif güç

Dizel yakıtı ve SYME ile elde edilen motor efektif gücü değişimleri Şekil 3.1'de görülmektedir. Efektif güç karakteristik olarak dizel yakıtı ve SYME ile motor devri artışına bağlı olarak yükselmektedir. Her iki yakıtta da en yüksek motor gücü 3200 dev/dak'ta elde edilmiştir. Genel bir bakış açısı ile motorun bütün devirlerinde dizel yakıtı ile SYME'ye oranla daha yüksek efektif güç değerleri elde edilmektedir. Motor devrinin artışına bağlı olarak yüksek devirlerde SYME ile dizel yakıtı arasında elde edilen güç farkı artmaktadır. Maksimum gücün elde edildiği 3200 dev/dak'ta dizel yakıtına oranla SYME ile %7,23 oranlarında güç düşüşü saptanmıştır. Bu güç düşüşü 1800 dev/dak'ta %2,20 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 3.1. Motor devrine bağlı efektif güç değişimleri

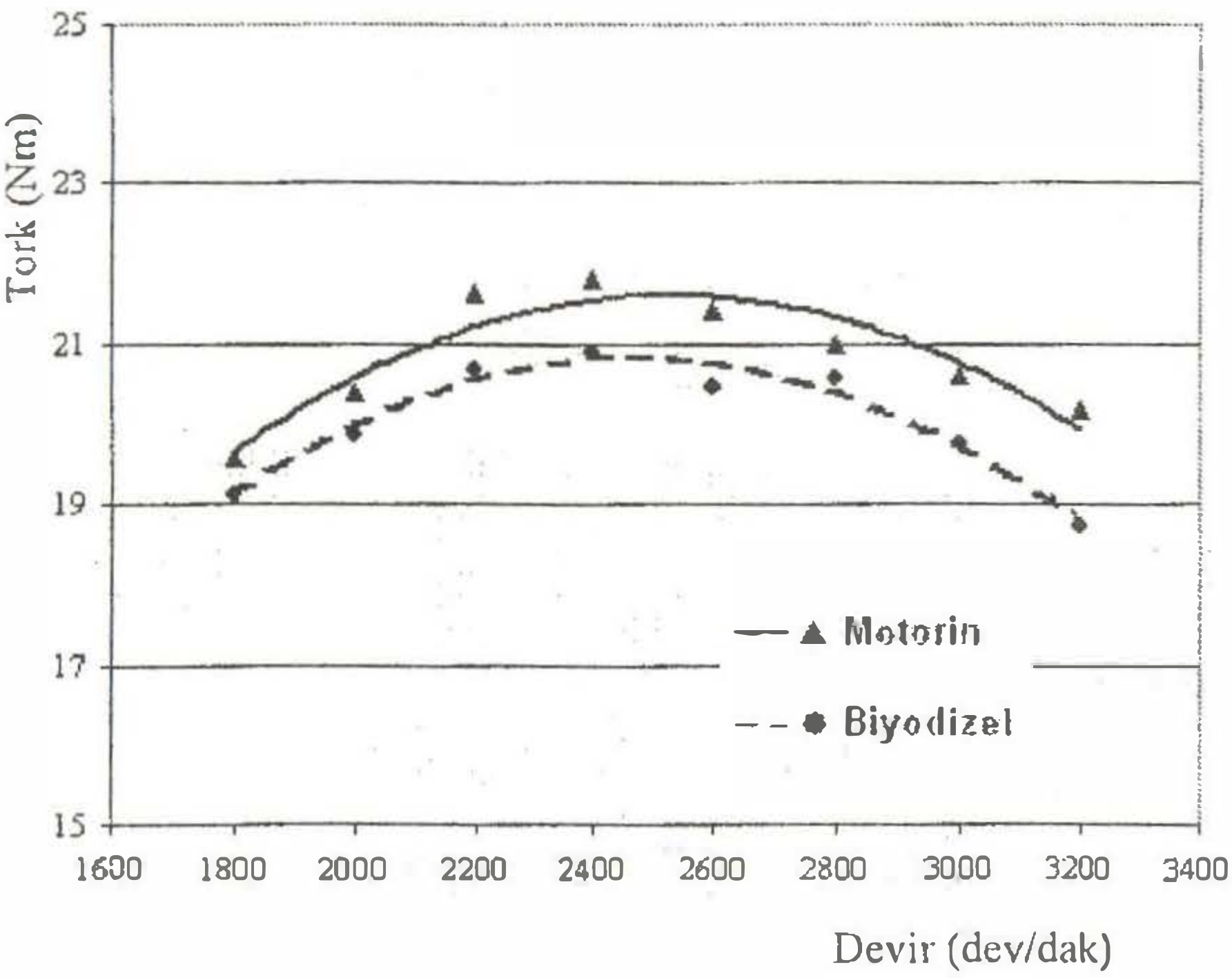
Bütün motor devirleri göz önüne alındığında SYME ile ortalama %3,92 oranında daha düşük efektif güç değeri belirlenmiştir. Daha önceki çalışmalarda da genellikle belirtildiği gibi, biyodizel yakıtları dizel yakıtına oranla daha düşük alt ısıl değere sahip olduğu için efektif güç düşüşü göstermektedir. Ancak güç düşüşünün motor

performansını çok fazla etkileyici bir boyutta olmadığı görülmektedir.

### 3.2. Efektif tork

Motor devrine bağlı olarak dizel yakıtı ve SYME ile elde edilen efektif tork değişimleri Şekil 3.2’de görülmektedir. Görüldüğü gibi bütün motor devirlerinde SYME ile daha düşük tork değerleri saptanmıştır.

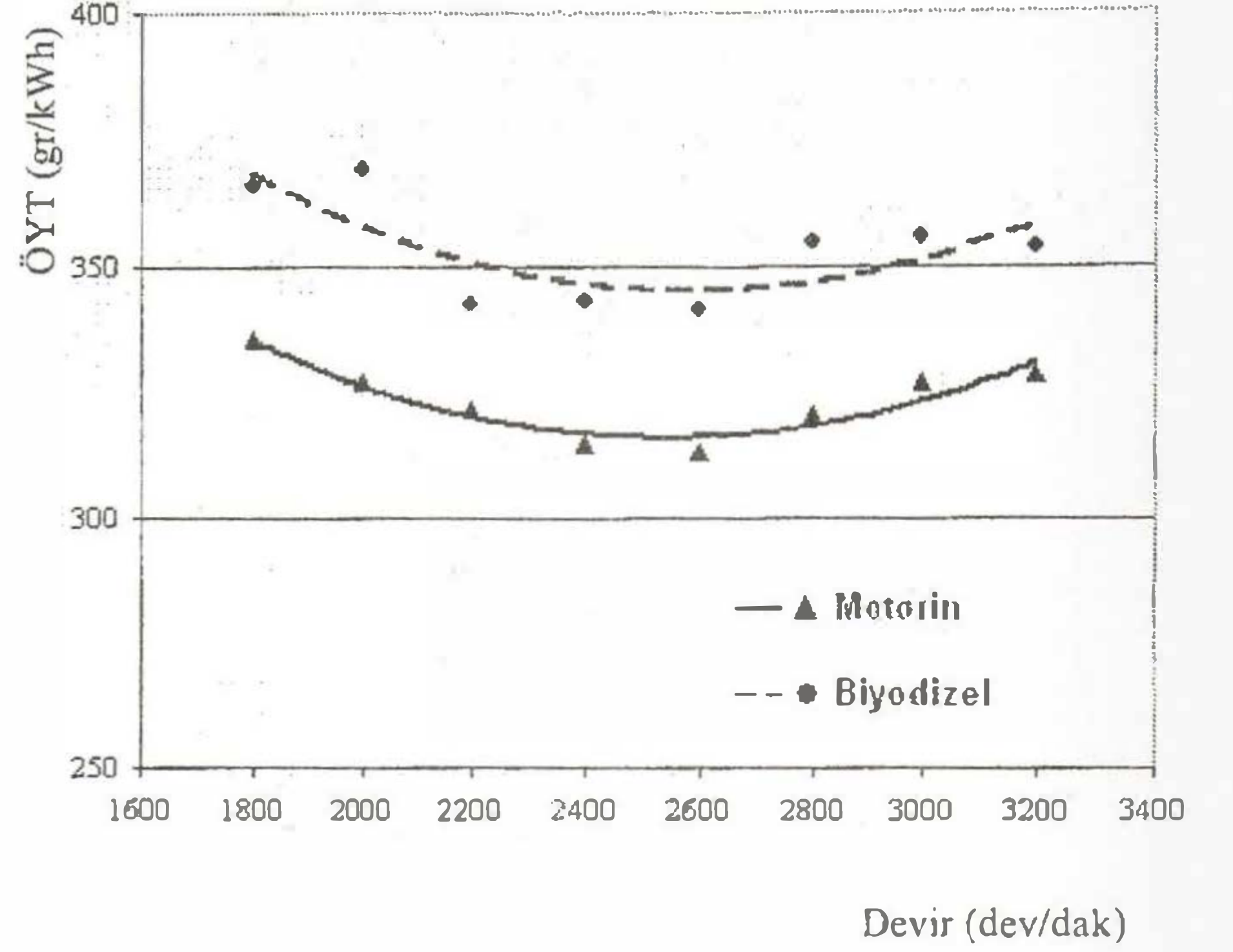
Dizel yakıtı ve SYME ile düşük ve yüksek motor devirlerinde daha düşük tork değerleri elde edilirken en yüksek tork değerlerinin 2200-2600 dev/dak aralığında elde edildiği görülmektedir. Maksimum torkun elde edildiği 2400 dev/dak’ta motor devrinde motorine oranla SYME ile oluşan tork farkı %4,34 olarak belirlenmiştir. 1800 dev/dak’ta %2,20, 3200 dev/dak’ta ise %7,23 oranlarında daha düşük tork değerleri elde edilmiştir. Buradan görüldüğü gibi SYME’nin sahip olduğu düşük alt ısıl değeri nedeniyle motor efektif gücünde olduğu gibi torkunda da daha düşük değerler ortaya çıkmaktadır. Ancak bu farklar SYME ve dizel yakıtı arasındaki alt ısıl değer oranıyla paralel değil daha düşük değerlerdedir. Bu duruma karşılık biyodizel yakıtların sahip olduğu oksijen içeriğinin yanma karakteristiklerini iyileştirmesi ve motor performans karakteristiklerini makul seviyede tutması gösterilebilmektedir.



Şekil 3.2. Motor devrine bağlı efektif tork değişimleri

### 3.3.Özgül yakıt tüketimi

Özgül yakıt tüketimi değerleri genel bir karakteristik olarak motorlarda düşük ve yüksek devirlerde yüksek değerler göstermektedir. Orta motor devirlerinde ise daha düşük değerler belirlenmektedir. Motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketimindeki değişiklikler Şekil 3.3’te verilmektedir.

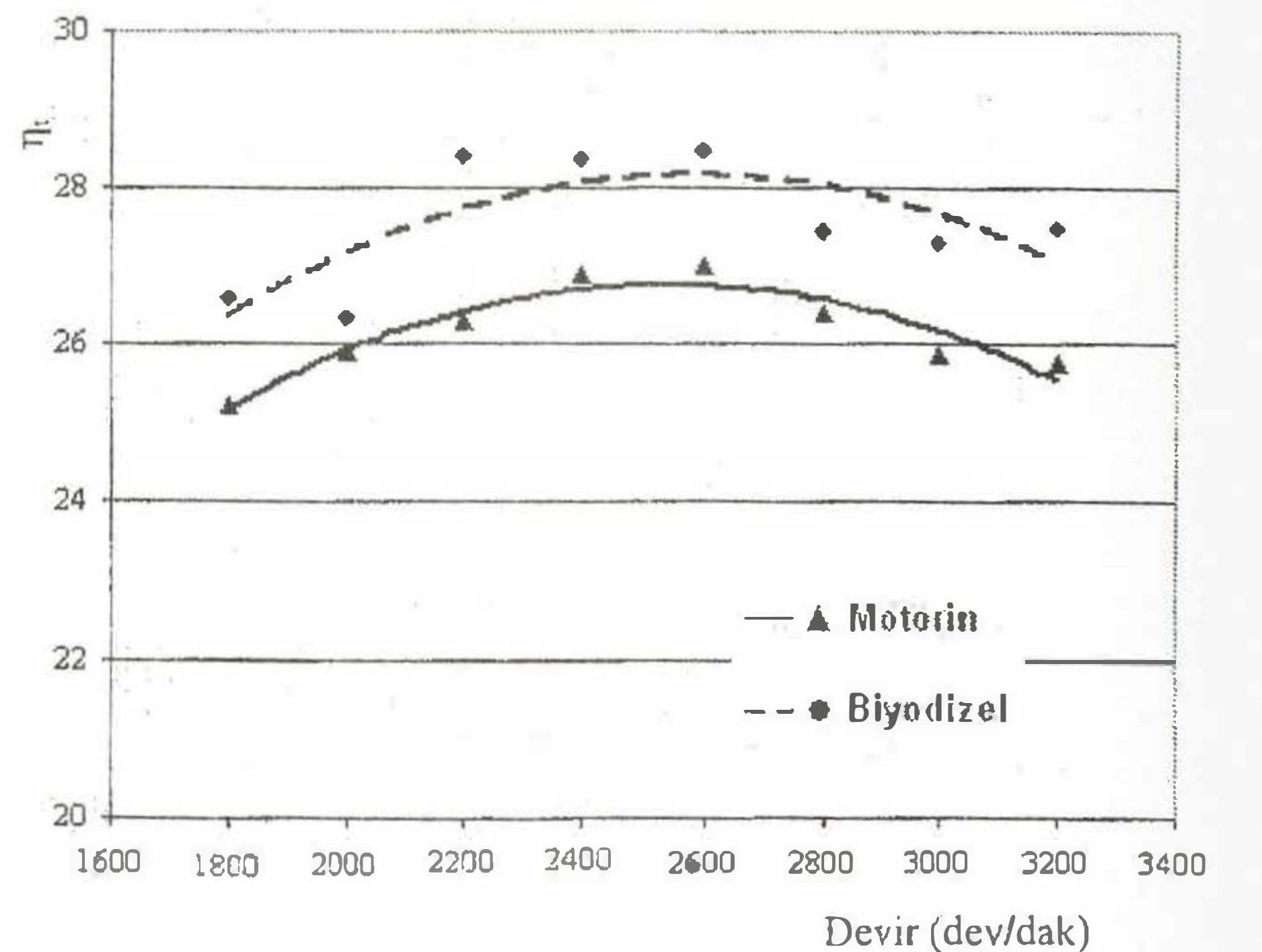


Şekil 3.3. Motor devrine bağlı özgül yakıt tüketimi değişimleri

Görüldüğü gibi en düşük özgül yakıt tüketimi tüm yakıtlarda yaklaşık 2600 dev/dak’ta saptanmıştır. Bu devirde dizel yakıtına oranla SYME ile %9,04 daha yüksek özgül yakıt tüketimi değerleri saptanmıştır. Ortalama motor devirleri göz önüne alındığında motorine oranla SYME ile ortalama %9,18 oranlarında daha yüksek özgül yakıt tüketimi değerleri elde edilmiştir. SYME’nin düşük alt ısıl değerinden dolayı dizel yakıtına yakın güç elde edebilmek amacıyla pompadan daha fazla yakıt gönderilmesi yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketiminde artışların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır

### 3.4. Termik verim

Motor devrine bağlı olarak SYME ve dizel yakıtı kullanılması sonucu termik verimdeki değişim Şekil 3.4’te görülmektedir.



Şekil 3.4. Motor devrine bağlı termik verim değişimleri

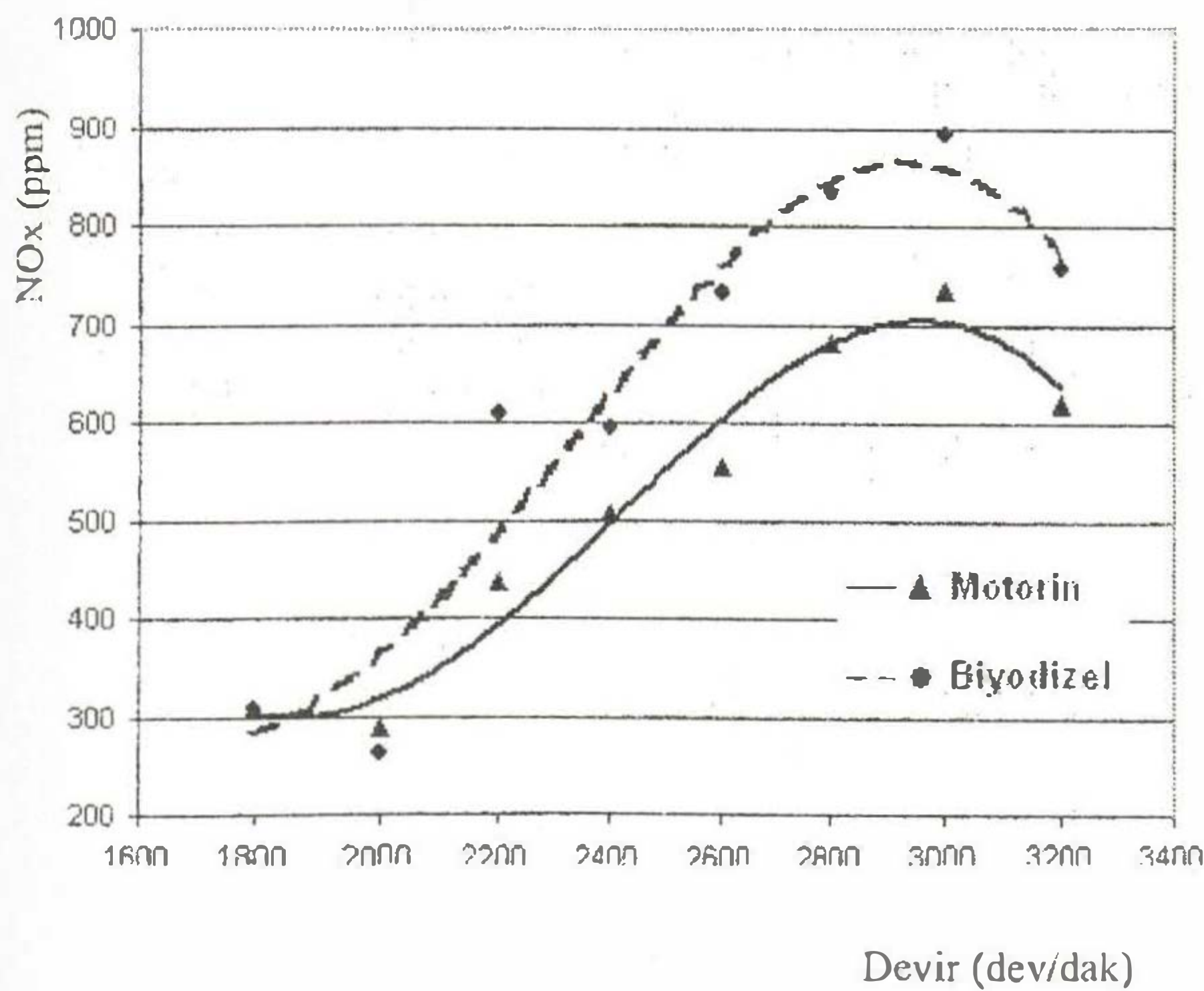
Termik verim motorun genel bir karakteristiği olarak motorun düşük ve yüksek devirlerinde düşüş göstermekte orta devirlerde ise artmaktadır. Maksimum değerlerin

elde edildiği 2600 dev/dak'ta dizel yakıtına oranla SYME ile %5,37 oranında artış görülmektedir. Motorun tüm devir aralıkları göz önüne alındığında ortalama olarak dizel yakıtına oranla SYME ile %5,26 oranlarında artışlar tespit edilmiştir. SYME'nin düşük alt ısı değerine rağmen, sahip olduğu oksijen içeriği karışım oluşumu ve yanma yönünden olumlu etki yapmakta bu da termik verim artışı olarak ortaya çıkmaktadır.

### 3.5. NO<sub>x</sub> emisyonu

Biyodizel yakıtları ile yapılan çalışmalarda genellikle performans yönünden olumlu sonuçlar elde edilmektedir. SYME ve dizel yakıtı kullanımı sonucu NO<sub>x</sub> emisyonlarındaki değişim Şekil 3.5'te görülmektedir.

NO<sub>x</sub> emisyonlarını motorlarda etkileyen en önemli iki parametre yanma ortamında bulunan oksijen miktarı ve maksimum sıcaklıklara ulaşma ve kalma süresidir. Grafik incelendiğinde, SYME ile dizel yakıtına oranla NO<sub>x</sub> emisyonlarında hemen hemen tüm motor devirlerinde daha yüksek değerler elde edildiği görülmektedir.



Şekil 3.5. Motor devrine bağlı NO<sub>x</sub> değişimleri

Maksimum değerlerin elde edildiği 3000 dev/dak'ta, SYME kullanıldığında dizel yakıtına oranla %21,20 oranında artış tespit edilmiştir. Tüm motor devirleri göz önüne alındığında ortalama olarak %18,23 oranlarında artış tespit edilmiştir. NO<sub>x</sub> artış oranı için en belirgin sebep biyodizelin içerdiği %10 civarındaki oksijen ve oluşan biyodizel-hava karışımındaki HFK değerinin yüksek olması gösterilebilmektedir. Biyodizel yakıtının alternatif bir motor yakıtı olarak motorine oranla gösterdiği en önemli sorun, kullanımı sonucu ortaya çıkan NO<sub>x</sub> emisyonlarındaki bu artıştır.

### 4. SONUÇLAR

Rafine soya yağından transesterifikasyon metoduyla üretilen biyodizel yakıtına uygulanan testler sonucu viskozitesinin dizel yakıtına oranla %58,34 oranında daha yüksek olduğu, buna karşın ısı değerinin %12,96 daha düşük olduğu saptanmıştır.

SYME'nin dizel motorunda kullanımı ile yapılan deneysel çalışma sonucuna göre, efektif güç ve tork değerleri göz önüne alındığında SYME ile motorine oranla daha düşük efektif güç ve tork değerleri elde edilmiştir. Efektif güçteki ve torktaki bu düşüş makul seviyelerde (ortalama %3,92) olmaktadır. Özgül yakıt tüketimi değerleri ise SYME ile dizel yakıtına oranla ortalama %9,18 oranında artış göstermektedir. Dizel yakıtına göre saf biyodizel ve karışım yakıtlarda ortaya çıkan güç ve tork düşüşü ve özgül yakıt tüketimi artışı biyodizelin sahip olduğu düşük alt ısı değerden kaynaklanmaktadır.

Termik verim değerleri göz önüne alındığında ise SYME ile ortalama olarak %5,26 oranında artış olmaktadır. NO<sub>x</sub> emisyonları incelendiğinde SYME baz alındığında ortalama olarak %18,23 oranında artış görülmektedir. Biodizel yakıtının oksijen içeriği ve oluşturduğu karışımın yüksek HFK değeri NO<sub>x</sub> emisyon artışında etkili olmaktadır.

### KAYNAKLAR

- [1] Nichols, R., J., "The Challenges Of Change In The Auto Industry: Why Alternative Fuels?", Journal Of Engineering For Gas Turbines, Transaction Of The ASME, Vol 116, October 1994
- [2] Coup, D., "Toyota's approach to alternative technology vehicles : The power of diversification strategies", Corporate Environmental Strategy 6, vol 258-269, 1999
- [3] Johnston, B., Mayo, M, C., Khare, A., "Hydrogen: the energy source for the 21st century", Technovation 25, vol 569-585, 2005
- [4] Silva, F., N., Prata, A., S., Teixeira, J, R., "Technical feasibility assessment of oleic sunflower methyl ester utilisation in diesel bus engines", Energy Conversion and Management 44 (2003) 2857-2878
- [5] Antolin, G., Tinaut, F., V., Briceno, Y., Castano, V., Perez, C., Ramirez, A., I., "Optimization of biodiesel production by sunflower oil transesterification", Bioresource Technology , 83 (2002) 111-114
- [6] Gomez, M. E. G., Hildige, R. H., Leahy, J. J., Reilly, T. O., Supple, B., Malone, M., "Emission and

performance characteristics of a diesel van operating on esterified waste oil and diesel fuel”, *Environment Monitoring and Assessment*, 65: 13-20, 2000

[7] Çetinkaya, M., Ulusoy, Y., “Engine and winter road test performances of used cooking oil originated biodiesel”, *Energy Conversion and Management* 46 (2005) 1279–1291

[8] Pramanik, K., “Properties and use of jatropha curcas oil and diesel fuel blends in compression ignition engine, *Renewable Energy*”, 28 (2003) 239-248

[9] Labeckas, G., Slavinkas, S., “The effect of rapeseed oil methyl ester on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions”, *Energy and Management*, 2005

[10] Puhana, S., Vedaramana, N., “Performance and emission study of mahua oil (madhuca indica oil) ethyl ester in a 4-stroke natural aspirated direct injection diesel engine”, *Renewable Energy* 30 (2005) 1269–1278

[11] Raheman, H., Phadare, A, G., “Diesel engine emissions and performance from blends of karanja methyl ester and diesel” *Biomass and Bioenergy* 27 (2004) 393 – 397

[12] Marshall, W., Schumacher, L., Howell, S., “Engine exhaust emissions evaluation of a cummins L10E when fueled with a biodiesel blend”, SAE paper 952363