



# Yanıt Yüzey Metodolojisi Kullanılarak 1-Propanol/Benzin Yakıt Karışımlarının Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması

Mehmet Selman Gokmen<sup>1\*</sup>, Ibrahim Dogan<sup>2</sup>, Hasan Aydoğan<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup>Necmettin Erbakan Üniversitesi, Seydişehir MYO, Mot. Ar. ve Ulaş. Tek. Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5943-7504), [msgokmen@erbakan.edu.tr](mailto:msgokmen@erbakan.edu.tr)

<sup>2</sup>Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1448-8911), [ibrahimdogan0594@gmail.com](mailto:ibrahimdogan0594@gmail.com)

<sup>3</sup>Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1404-6352), [haydogan@selcuk.edu.tr](mailto:haydogan@selcuk.edu.tr)

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.898563)

**ATIF/REFERENCE:** Gokmen, M. S., Dogan, I. & Aydoğan, H. (2021). Yanıt Yüzey Metodolojisi Kullanılarak 1-Propanol/Benzin Yakıt Karışımlarının Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (24), 67-74

## Öz

Bu çalışmada, 1-Propanolün benzin ile karıştırılması ile elde edilen yakıt karışımlarının egzoz emisyon değerlerine etkisi yanıt yüzey metodolojisi ile deneysel olarak incelenmiştir. Yanıt Yüzey Metodolojisi (YYM) için giriş faktörleri 1-Propanol oranı ile Motor devri ve yanıt değerleri ise karbonmonoksit (CO), karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), hidrokarbon (HC), Azot Oksit (NO) ve Oksijen (O<sub>2</sub>) emisyonları olarak belirlenmiştir. Oluşturulan YYM tasarımında 3 Seviye Faktöriyel Tasarım (3SFT) tekniği kullanılarak deneyler planlanmıştır. Deneysel sonuçlarında motor devri 1500, 2500 ve 3500 d/dk ayrıca 1-propanol oranı ise %5, %10 ve %15 (% hacim) olarak belirlenerek 3 farklı karışım ve %100 Benzin için toplam 12 farklı ölçüm gerçekleştirilmiş ve sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> ve NO emisyonları için optimum değerleri sırasıyla %98.58, %98.88, %99.03, %99.33 ve %98.51 doğrulukta % 0.292, %7.07, 45.55 ppm, %7.49 ve 1298.42 ppm olarak tahmin edilmiştir. Sonuçların istatistiksel olarak önemli olması, YYM kullanılarak benzin karışımlarının emisyon değerleri üzerindeki etkilerinin daha az test sayısı ile verimli bir şekilde incelenebildiğini göstermektedir. Çalışma sonuçlarına göre 1-Propanol karışımları tüm devirlerde CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, NO emisyonlarını azaltmıştır fakat CO emisyonu için en düşük değerler %100 benzin ile yapılan testlerde elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** 1-Propanol, Benzin, Egzoz Emisyon, Deneysel Tasarım, Yanıt Yüzey Metodolojisi, Optimizasyon.

## Investigation of the Effect of 1-Propanol / Gasoline Fuel Blends on Exhaust Emissions Using Response Surface Methodology

### Abstract

In this study, the effect of 1-Propanol / Gasoline fuel mixtures on exhaust emission values has been experimentally investigated using response surface methodology. The input factors for Response Surface Methodology (YYM) are 1-Propanol ratio and Engine speed and response values are determined as carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), hydrocarbon (HC), Nitrogen Oxide (NO) and Oxygen (O<sub>2</sub>) emissions. In the created YYM design, experiments were planned by using 3 Level Factorial Design (3SFT) technique. Engine speed was determined as 1500, 2500 and 3500 (rpm), and 1-propanol ratio was determined as 5%, 10% and 15% (volume %). A total of 12 different measurements were performed for 3 different mixtures and 100% Gasoline and the results were evaluated statistically. Optimum values for CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> and NO emissions were estimated as 0.292%, 7.07%, 45.55 ppm, 7.49% and 1298.42 ppm, respectively. The accuracy rates of the estimates were calculated as 98.58%, 98.88%, 99.03%, 99.33% and 98.51% for emission values, respectively. The statistical significance of the results shows that the effects of gasoline mixtures on emission values can be examined efficiently with less number of tests using YYM. According to the results of the study, 1-Propanol mixtures reduced CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, NO emissions in all cycles, but the lowest values for CO emission were obtained in tests with 100% gasoline.

**Keywords:** 1-Propanol, Gasoline, Exhaust Emission, Design of Experiment, Response Surface Methodology, Optimization.

\* Sorumlu Yazar: [msgokmen@erbakan.edu.tr](mailto:msgokmen@erbakan.edu.tr)

## 1. Giriş

Benzin, ham petrolün rafineride işlenmesi ile elde edilen yapısında aromatik ve parafin bulunduran bir yakıttır (Acaroğlu et al., 2018). Yapısında bulunan parafinler yanıcı özelliklerinden dolayı benzinin ateşleme performansını artırırken vuruntu direncini ise düşürdüğü için benzen ve izoparafinler vuruntu kontrolü sağlamak için rafineride ilave edilmektedir (Jarmon & Anderson, 2005). Fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı iklimsel koşullardan çok etkilenen bir yakıt olmasına rağmen rafineriler kabul edilebilir motor performansı sağlayan, standart ve düşük maliyetli benzin üretimi yapmaktadır. Bu nedenle gelişmiş ülkeler iklim ve tüketim koşullarını göz önüne alarak kendi iç rafinerilerinde standart benzinin özelliklerini kendi ihtiyaçları doğrultusunda geliştirmektedir (Reif, 2015). Yakıtların sağlanması gereken temel özellikler standartlar ile belirlenmiştir fakat iklimsel ve bölgesel koşullar göz önüne alındığı zaman genellikle farklı katkı maddeleri kullanılarak bir takım özelliklerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Yakıt katkılarının ilavesi ile standart yakıtın sağladığı motor performansının artırılması, zararlı emisyonların azaltılması gibi temel parametrelerin yanı sıra korozif etkilerin önlenmesi, yağlayıcı özelliklerin iyileştirilmesi, yakıt stabilizesinin yükseltilmesi gibi özelliklerinde geliştirilmesi amaçlanmaktadır (Srivastava & Hancsók, 2014).

Benzin yakıtının oksijen içeriği daha iyi bir yanma ve daha düşük emisyon değerleri sağlaması amacı ile 1-Propanol kullanılarak artırılabilir (Qian et al., 2018). 1-Propanol yapısında üç adet karbon bulundurur ve  $CH_3H_7OH$  formülü ile tanımlanmaktadır (Gawale & Naga Srinivasulu, 2020). Yapısında bulunan OH grupları benzinin oksijen içeriğini artırmaktadır (Mourad & Mahmoud, 2018). Aynı zamanda oktan sayısının yüksek olması ile benzinin vuruntu direncini artırmaktadır. Endüstride çözücü ve buzlanma önleyici olarak yaygın olarak kullanılmakta olan 1-Propanol yakıt sisteminin temizlenmesine katkı sağlamaktadır (Liu et al., 2016). OH grubu metanol ve etanolden farklı olarak zincir sonunda doğrudan karbon'a bağlanmıştır ve yüksek moleküller arası etkileşime sahip olduğu için kaynama noktası benzin, etanol ve metanolden daha yüksektir (Papa, 2000). Ayrıca (Li et al., 2019) tarafından yapılan çalışmada ise 1-Propanolün doğrusal kimyasal zincir yapısından dolayı laminer alev hızının yüksek olduğu belirtilmiştir. Yüksek laminer alev hızı yanmayı iyileştirdiği için emisyonların indirgenmesine katkı sağlamaktadır.

1920 li yıllarda Sir Ronald A. Fisher' in istatistiksel deney tasarımı geliştirmesi ardından faktöriyel tasarım kavramı ve varyans analizinin gelişimine yaptığı katkılar ile birlikte 1951 yılında Box ve Wilson (Draper, 1992) tarafından Yanıt Yüzey Metodolojisi geliştirilmiştir. Bu metodoloji ile birlikte test parametrelerinin ve prosesinin optimizasyonu sağlanmıştır (Montgomery, 2006). YYM son yıllarda içten yanmalı motor testlerinde deneylerin tasarımı, maliyetlerin düşürülmesi ve optimizasyon amacı ile yaygın olarak kullanılmaktadır (Abdalla et al., 2019; Bote et al., 2020; Yusri et al., 2017).

Son yıllarda çevre ve insan sağlığına olumsuz etkileri nedeni ile diesel araçlarının kullanılmasına dünya genelinde sınırlandırmalar getirilmektedir. Yaşanan gelişmeler araştırmacıların ilgisini çekmiş ve benzin yakıtının özelliklerini iyileştirilmesi için çalışmalar hız kazanmıştır. Literatürde 1-Propanol'ün benzin katkı maddesi olarak kullanımı ile ilgili çok az sayıda çalışma olmasına rağmen optimizasyon çalışmasına

rastlanmamıştır. Bu çalışmada motor devri ve % 1-Propanol oranına bağlı olarak egzoz emisyon değerleri (CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, ve NO) YYM ile optimize edilerek emisyonlar için ideal koşullar belirlenmiştir. Ayrıca YYM sayesinde test sayıları azaltılarak, her bir parametrenin tahmin fonksiyonları matematiksel olarak elde edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Yakıt Karışımları ve Test Düzenegi

Yakıt karışımları Sigma Aldrich tarafından tedarik edilen %99.9 saflıkta 1-Propanolün hacimce %5 (P5), %10 (P10) ve %15 (P15) oranında benzin ile karıştırılması ile elde edilmiştir. Ayrıca kıyas yakıtı olarak OPET'ten tedarik edilen 95 Oktan Benzin kullanılmıştır. Yakıt özellikleri tablo 1'de verilmiştir.

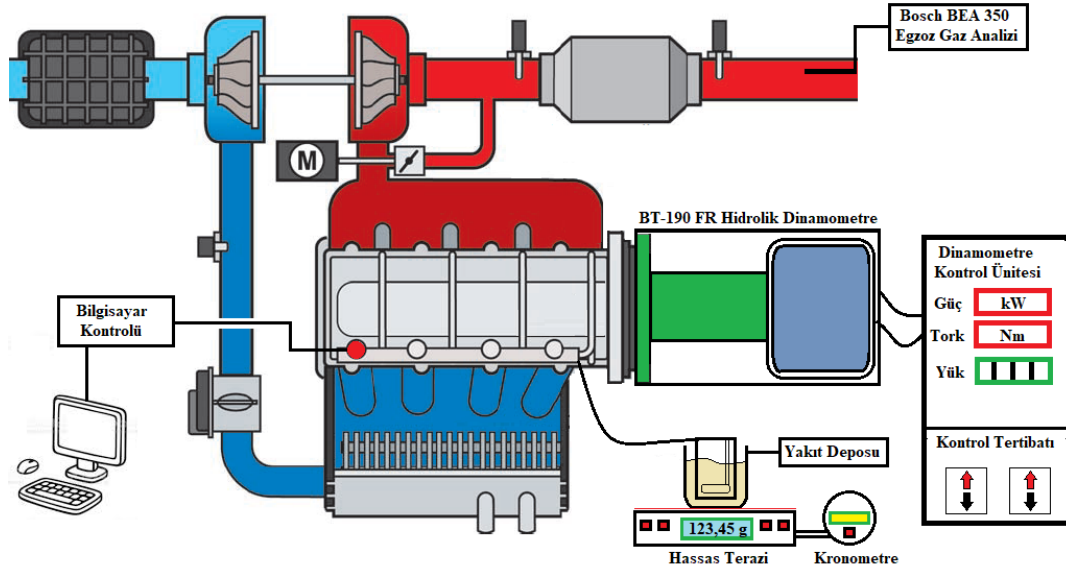
Tablo 1. Yakıt Özellikleri

Özellik	Benzin	1-Propanol
Yoğunluk (g/ml)	0,775	0,804
Parlama Noktası (°C)	<-40	22
Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı (°C)	>250	372
Kaynama Noktası	>32	>97
Oktan Sayısı	95	98
Alt Isıl Değer (kJ/kg)	43430	30630

Testler 1.2 TSI direkt enjeksiyonlu 4 zamanlı ve 4 silindir bir benzinli motor ile 1500, 2500 ve 3500 d/dk 'da 100 kW maksimum güç ve 750 Nm maksimum tork değerleri sağlayabilen BT-190 FR hidrolik dinamometre kullanılarak kısmi yük altında gerçekleştirilmiştir. Test motorunun özellikleri tablo 2'de, test düzenegi ise şekil 1'de verilmiştir. Emisyon değerleri Bosch BEA 350 model egzoz emisyon cihazı ile ölçülmüştür.

Tablo 2. Test Motoru Özellikleri

Özellik	Nitelik
Model	1.2 TSI, 4 zamanlı, Direk Enj.
Motor Hacmi	1197 cm <sup>3</sup>
Silindir Sayısı	4
Sıkıştırma Oranı	10:1
Silindir Çapı	71 mm
Strok	75.6 mm
Motor Gücü	77 kW (5000 d/dk)
Motor Torku	175 Nm (1550 – 4100 d/dk)
Turbo Basıncı	160 kPa (3500 d/dk)
Emisyon Standartı	Euro 5
Motor Kontrol Sistemi	Continental Simos 10



Şekil 1. Motor Test Düzeneği

## 2.2. Yanıt Yüze Metodolojisi

YYM, test sayılarının azaltılması ve sonuçların optimizasyonu için giriş faktörlerinin yanıt değerleri üzerindeki etkisini istatistiksel ve matematiksel yöntemler kullanarak incelenmesini sağlayan bir deney tasarımı tekniğidir. Bu teknik ile giriş faktörlerinin yanıt değerleri üzerindeki etkileri matematiksel bir tahmin fonksiyonu ile ifade edilebilmektedir. Yanıt değeri, faktörlerin doğrusal bir fonksiyonu ile istatistiksel olarak anlamlı olacak şekilde modellenmişse, tahmin fonksiyonu birinci dereceden bir model olarak tanımlanmaktadır. Tahmin fonksiyonu,  $\beta$  sabit katsayıyı,  $k$  giriş faktörü sayısını,  $\epsilon$  standart hatayı ve  $X$  giriş değerini temsil etmek üzere denklem 1'de verildiği ifade edilmektedir (Anderson-Cook et al., 2009). Doğrusal olarak açıklanması mümkün olmayan fonksiyonlar ise  $i$  doğrusal,  $j$  polinomal katsayıyı temsil etmek üzere denklem 2'de verildiği gibi ifade edilmektedir (Montgomery, 2006).

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_k X_k + \epsilon \quad (1)$$

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \epsilon \quad (2)$$

$R^2$  değeri determinasyon katsayısı olarak 0 ile 1 arasında tanımlanan bir istatistiksel parametredir ve 1'e ne kadar yakınsa yanıt değerleri giriş faktörleri ile o kadar iyi açıklanabilmektedir.  $y_i$  yanıt değerinin gerçek değeri,  $\hat{y}_i$  tahmini değeri olmak üzere  $R^2$  değeri denklem 3 te verildiği gibi hesaplanmaktadır (Bradley, 2007). Düzeltilmiş  $R^2$  değeri,  $R^2$  değerini etkileyen fakat istatistiksel olarak anlamsız olan gürültü verilerinin etkisini ortadan kaldırmak için kullanılır.  $n$  hesaplamaya dahil edilen toplam veri sayısını ve  $p$  ise bağımsız değişken sayısı olmak üzere denklem 4'te verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır (Ostertagová, 2012). Ortalama Mutlak Hata (OMH), gerçek değer ile hesaplama sonucunda bulunan yaklaşık değer arasındaki farkı ifade eden mutlak hata değerinin, bütün test koşulları dahil edilerek ortalamasının alınması ile elde edilmektedir ve  $\alpha$ , hata sayısını ve  $|x_i - x|$  ise mutlak hatayı temsil etmek üzere denklem 5 te verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır (Carley et al., 2004).

$$R^2 = 100 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \right) \% \quad (3)$$

$$R_d^2 = 100 \left( 1 - \left( \frac{n-1}{n-p-1} \right) \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2} \right) \% \quad (4)$$

$$OMH = \frac{1}{\alpha} \sum_{i=1}^{\alpha} |x_i - x| \quad (5)$$

YYM kullanılarak yapılan deney tasarımlarında farklı teknikler kullanılarak optimizasyon yapılabilmektedir (Gökmen & Bilban, 2020). 3SFT tekniği ile  $k$  ya bağlı olarak  $3^k$  adet test kombinasyonu oluşturulmuştur ve bu teknik giriş faktörlerinin en düşük, orta ve en yüksek seviyelerinde değerlendirme imkanı sağladığı için tercih edilmiştir. Bu çalışmanın giriş faktörleri ve seviyeleri tablo 3'te gösterilmiştir aynı zamanda CO (% hacim), CO<sub>2</sub> (% hacim), HC (ppm), NO (ppm) ve O<sub>2</sub> (% hacim) emisyonları ise yanıt değerleri olarak belirlenmiştir.

Tablo 3. Giriş Faktörleri ve Seviyeleri

Giriş Faktörleri	Seviyeler		
1-Propanol (% hacim)	5	10	15
Motor Devri (d/dk)	1500	2500	3500

Yanıt değerlerinin optimum noktalarının bulunabilmesi için tanımlanan arzu edilirlilik (desirability, d) fonksiyonu, tahmin edilen yanıt değerinden faydalanarak bir integrasyon işlemine tabi tutulması sonucunda 0 ile 1 aralığında bir değer alması işlemidir. Optimize edilecek yanıt değerinin maksimize, minimize yada sabit bir değerde tutulması gerekliliği ölçüm sonuçları ile yapılan kıyaslamaların doğruluğu açısından çok önemlidir ve bu nedenle araştırmacılar tarafından YYM modeli oluşturulurken "yanıt hedefi" tanımlanmaktadır (Wagner, J. R., Mount, E. M., & Giles, 2014). Bu çalışmanın hedefi egzoz emisyon değerlerinin azaltılması olduğu için tüm yanıt değerlerinin arzu edilirlilik fonksiyonu denklem (11) ' de verilen minimizasyon formülü hesaplanmıştır.  $\hat{y}$  tahmin edilen yanıt değeri, **min** kabul edilebilir

en düşük ölçüm değer, **max** tanımlanan yanıt hedefine göre en uygun ölçüm değeridir. **ft** ise fonksiyon eğrisellik üstelidir. Yanıt hedefinin minimizasyon olduğu yaklaşımlarda arzu edilirlilik fonksiyonu değerinin 0 a en yakın olması gerekmektedir (Saravanan et al., 2017).

$$d(y) = \int_0^1 \left( \frac{\hat{y} - \max}{\min - \max} \right)^{ft}, \quad \begin{matrix} \hat{y} < \min \\ \min \leq \hat{y} \leq \max \\ \hat{y} > \max \end{matrix} \quad (11)$$

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Exgöz emisyon testleri gibi yanıt değerlerinin kendi aralarında içsel ilişkiye (interkorelasyon) sahip olduğu durumlarda giriş parametrelerinin herbir yanıt değeri üzerindeki etkisinin belirlenmesi için kullanılan varyans analizi (ANOVA), yanıt değişkenlerinin tekrarsız kombinasyonlarının regresyonu sonucunda giriş parametreleri ile ilişkilendirilmesini sağlamaktadır. ANOVA analizi, R<sup>2</sup>, Rd<sup>2</sup>, F testi değeri (F-Değeri), olasılık değeri (P-Değeri) gibi faktörlerin yanı sıra faktörlerin üstel değerleri (A<sup>2</sup>, B<sup>2</sup>, A\*B) gibi istatistiksel faktörleri içermektedir. P-Değeri 0.05'ten küçük olduğu durumlarda sonuç istatistiksel olarak önemlidir. Ayrıca F-Değerinin büyük olması ise istatistiksel olarak anlamlılığı artırmaktadır. Yanıt değerlerinin giriş değerleri ile açıklanabilirliğinin bir ölçüsü olan R<sup>2</sup> değerleri tüm emisyonlar için %98 üzerindedir, ayrıca 2 ve daha fazla giriş parametresinin olduğu durumlarda kıyaslama için daha önemli olan Rd<sup>2</sup> ise CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, ve NO için sırasıyla %96.30, %98.73, %99.54, %99.91 ve %99.72 dir. Tablo 4'te yanıt parametreleri için ANOVA sonuçları verilmiştir.

YYM, geleneksel istatistiksel yaklaşımlardan farklı olarak bir test prosedürünün matematiksel fonksiyonunu elde etmek için kullanılmaktadır. Elde edilen fonksiyon bilinen ölçüm sonuçları ile kıyaslanarak tahmin performansı gözlemlenebilirken test prosedüründe yer almayan giriş değerleri için tahmin imkanı sağlamaktadır. Bu çalışmada CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, ve NO için giriş parametrelerine bağlı olarak elde edilen 2. dereceden fonksiyonlar motor devri d/dk (MD) ve 1-Propanol oranı % hacim (AO) olmak üzere sırasıyla (6), (7), (8), (9) ve (10) numaralı denklemlerde verilmiştir. Tablo 5, yakıt karışımlarının test sonuçlarındaki emisyon ölçüm ve tahmin değerlerini karşılaştırmalı olarak vermektedir. % Hata değeri, tahmin değerinin ölçüm değeri ile yüzdelik farkını göstermektedir. Eğer tahmin değeri ölçüm değerinden küçük ise “-“ indisi büyük ise “+” indisi ile belirtilmiştir. Benzin kıyas yakıtı olduğu için tahmin sonuçları tabloda yer almamaktadır.

$$CO = -0,232153 + 0,000625833 * MD + 0,0270917 * AO - (1,40833E - 7 * MD^2) - (3,65 * 10^{-6} * MD * AO) - (0,000473333 * AO^2) \quad (6)$$

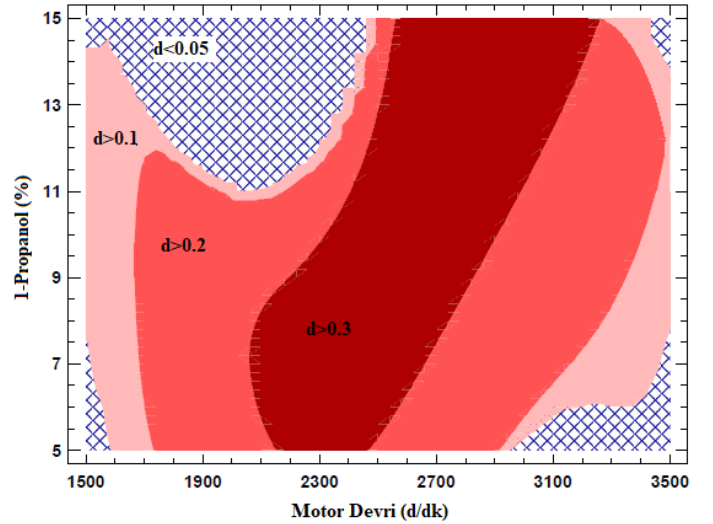
$$CO_2 = 2,57083 + 0,00516667 * MD - 0,138167 * AO - (5,9E - 7 * MD^2) + 0,000027 * MD * AO - 0,002 * AO^2 \quad (7)$$

$$HC = 76,9306 + 0,0096667 * MD - 1,2 * AO - 4,83 * 10^{-6} * MD^2 + 0,0002 * MD * AO + 0,006667 * 1 - AO^2 \quad (8)$$

$$O_2 = 22,4172 - 0,01205 * MD - 0,2015 * AO + 1,67 * 10^{-6} * MD^2 + 49 * 10^{-6} * MD * AO + 0,0016667 * AO^2 \quad (9)$$

$$NO = -990,958 + 1,9505 * MD - 1,325 * AO - 0,0002145 * MD^2 - 0,00315 * MD * AO - 0,28 * AO^2 \quad (10)$$

Test çalışmaları artan 1-Propanol miktarı ile orantılı bir şekilde CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> ve NO emisyonlarında azalma CO emisyonlarında ise artma olduğunu göstermektedir. 1500 d/dk da yapılan testlerde, P15 karışımının CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> ve NO emisyonları sırasıyla %20.28, %16.86, %25.34 ve %7.31 oranlarında azalırken CO emisyonu %34,42 oranında artmıştır. 2500 d/dk da yapılan testlerde ise P15 yakıtında O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, HC ve NO emisyonları sırasıyla %27.03, %18.76, %12,85 ve %11,91 oranlarında azalırken CO emisyonu %10,46 oranında artmıştır. 3500 d/dk da yapılan testlerde ise CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> ve NO emisyonları sırasıyla %5.03, %16.36, %36.78 ve %8.31 azalırken CO emisyonu %31,88 artmıştır. Şekil 3'te grafikleri verilen YYM fonksiyonları kullanılarak yapılan hesaplamalar tüm ölçüm sonuçlarını %90 üzerinde doğru tahmin etmiştir. En yüksek hata P5 ve P15 karışımlarının 3500 d/dk daki O<sub>2</sub> emisyonu değerinde sırasıyla %8.24, %6,16 olarak hesaplanmıştır ve bunlar haricindeki tüm tahmin hataları %5 ten düşüktür.



Şekil 2. Model Arzu Edilirlik Fonksiyonu Grafiği

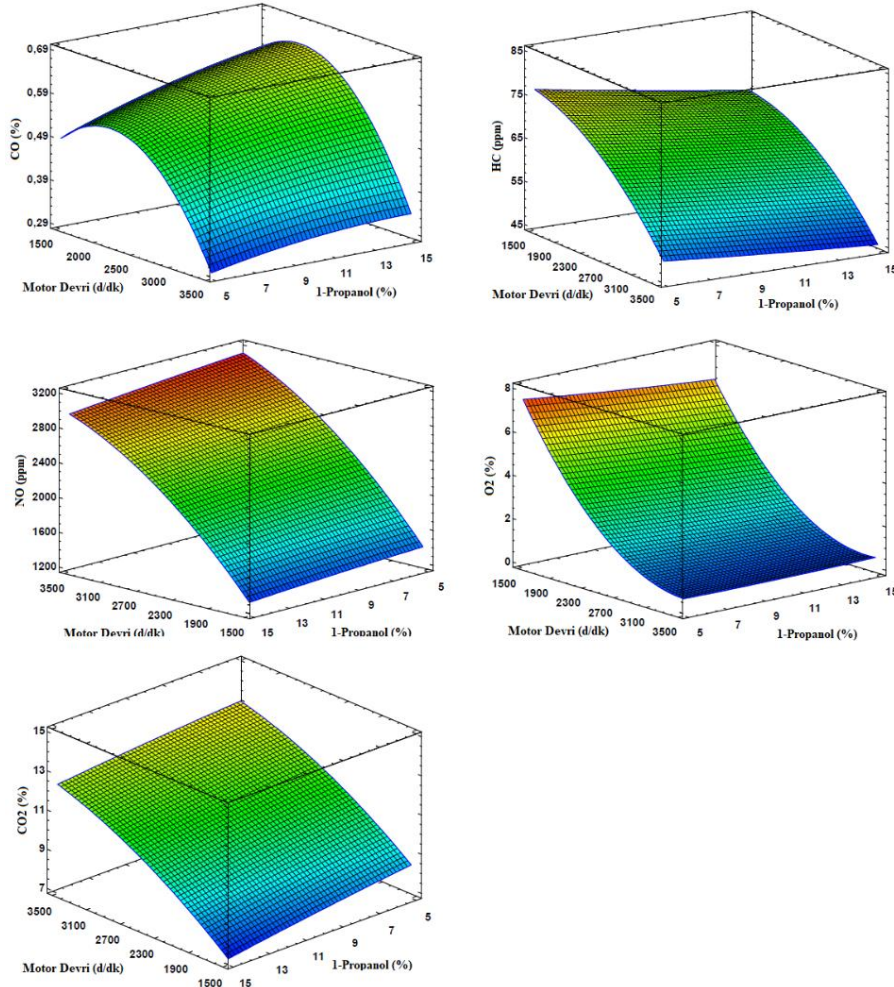
Motor devri ve 1-Propanol oranına bağlı olarak YYM modelinin arzu edilirlilik fonksiyonu grafiği şekil 3 te verilmiştir. Ayrıca her yanıt değeri için minimum ve optimum değerler arzu edilirlilik fonksiyonuna bağlı olarak hesaplanmıştır. Model arzu edilirlilik fonksiyonu grafiğinde taralı alanlar (d<0.05) en iyi optimum nokta tahminlerinin yapıldığı bölgeleri göstermektedir. Taralı alan haricinde kalan bölgeler için arzu edilirlilik fonksiyonun değerleri artış göstermektedir bu nedenle o bölgelerdeki tahminler istatistiksel olarak güvenilir değildir. Optimum noktaların

doğrulukları, giriş parametrelerine göre yapılan gerçek ölçümler ile aynı nokta için yapılan tahminlerin yüzdesel olarak yakınlığının yüzdelik olarak ifade edilmesi ile kontrol edilir ve YYM modelinin doğru çalıştığının bir ölçüsüdür. Bu çalışmada CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> ve NO emisyonları için optimum değerler, minimum ölçüm değerleri baz alınarak yapılan hesaplamaya göre %98.58, %98.88, %99.03, %99.33 ve %98.51 doğrulukta % 0.292, %7.07, 45.55 ppm, %7.49 ve 1298.42 ppm olarak tahmin

edilmiştir. Bütün yanıt değerleri için optimum değer tahminleri %95 üzerinde doğruluktur.

Tablo 4. ANOVA Tablosu (A: Motor Devri (d/dk) B:1-Propanol (%))

Parametre	CO		CO <sub>2</sub>		HC		O <sub>2</sub>		NO	
	P-Değeri	F-Değeri	P-Değeri	F-Değeri	P-Değeri	F-Değeri	P-Değeri	F-Değeri	P-Değeri	F-Değeri
A	0,0015	128,89	0,0002	586,53	0,0000	1582,03	0,0000	8437,43	0,0000	2868,96
B	0,0246	17,66	0,0125	29,04	0,0029	81,28	0,0074	42,25	0,0184	21,92
A <sup>2</sup>	0,0040	64,62	0,0451	11,01	0,0030	78,84	0,0001	750,38	0,0043	61,40
A*B	0,2371	2,17	0,3617	1,15	0,0805	6,75	0,0107	32,43	0,4754	0,66
B <sup>2</sup>	0,5478	0,46	0,7969	0,08	0,7795	0,09	0,5426	0,47	0,8147	0,07
R <sup>2</sup>	0,9861		0,9952		0,9982		0,9996		0,9989	
Rd <sup>2</sup>	0,9630		0,9873		0,9954		0,9991		0,9972	
OMH	0,0120		0,1200		0,3950		0,0420		18,0700	



Şekil 3. Tüm Emisyon Değerleri İçin Yanıt Yüzey Grafikleri

Tablo 5. Test Sonuçları ve YYM Tahminleri

Motor Hızı (d/dk)	Yakıt	CO (% Hacim)			CO <sub>2</sub> (% Hacim)			HC (ppm)			O <sub>2</sub> (% Hacim)			NO (ppm)		
		Ölçüm	Tahmin	% Hata	Ölçüm	Tahmin	% Hata	Ölçüm	Tahmin	% Hata	Ölçüm	Tahmin	% Hata	Ölçüm	Tahmin	% Hata
1500	<b>Benzin</b>	0,459			8,97			83			8,72			1422		
	<b>P5</b>	0,497	0,486	-2,22	8,29	8,455	+1,99	76	76,222	+0,29	7,54	7,494	-0,61	1396	1414,92	+1,36
	<b>P10</b>	0,538	0,559	+3,82	7,91	7,817	-1,18	72	72,222	+0,31	6,97	6,979	+0,13	1363	1363,67	+0,05
	<b>P15</b>	0,617	0,607	-1,54	7,15	7,078	-1,00	69	68,556	-0,64	6,51	6,547	+0,57	1318	1298,42	-1,49
2500	<b>Benzin</b>	0,554			12,42			70			2,70			2619		
	<b>P5</b>	0,515	0,530	+2,96	11,67	11,397	-2,34	68	67,556	-0,65	2,26	2,356	+4,23	2532	2491,67	-1,59
	<b>P10</b>	0,612	0,615	+0,53	10,82	10,893	+0,68	65	64,556	-0,68	2,11	2,086	-1,16	2421	2424,67	+0,15
	<b>P15</b>	0,603	0,585	-3,06	10,09	10,290	+1,98	61	61,889	+1,46	1,97	1,899	-3,61	2307	2343,67	+1,59
3500	<b>Benzin</b>	0,261			13,11			55			0,87			3247		
	<b>P5</b>	0,297	0,293	-1,41	13,05	13,158	+0,83	49	49,222	+0,45	0,60	0,551	-8,24	3118	3139,42	+0,69
	<b>P10</b>	0,322	0,329	+2,14	12,77	12,790	+0,16	47	47,222	+0,47	0,51	0,526	+3,05	3061	3056,67	-0,14
	<b>P15</b>	0,344	0,341	-0,78	12,45	12,322	-1,03	46	45,556	-0,97	0,55	0,584	+6,16	2977	2959,92	-0,57

## 4. Sonuç

Bu çalışmada, 1197 (cc), turboşarj donanımlarına sahip, direk enjeksiyonlu benzinli bir motorda farklı oranlarda (%5, %10, %15) 1-Propanol katkılı yakıtların farklı motor devirlerinde (1500, 2500, 3500 d/dk) ve kısmi yük koşullarında emisyon değerlerine olan etkisi deneysel ve istatistiksel olarak incelenmiştir. Deney tasarımları için YYM/3SFT teknikleri kullanılmıştır. Motor devri (d/dk) ile 1-Propanol (%) oranları giriş parametreleri emisyon değerleri ise çıkış parametreleri olarak belirlenmiştir. Giriş parametrelerinin her 3 seviyesi için toplam 9 adet test yapılmış ve bu testler %100 benzin ile kıyaslanmıştır. Yapılan çalışma neticesinde 1-Propanol katkılı yakıt karışımlarında CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, NO emisyonlarının tüm motor devirlerinde azaldığı görülmüştür fakat CO emisyonları artış göstermiştir. Benzin değerlerine kıyasla en yüksek artış 1500 d/dk motor hızında P15 karışımında %34. 42gölürken en düşük artış ise aynı yakıt karışımı için 2500 d/dk motor hızında %10.46 olarak gerçekleşmiştir. 1-Propanol'un benzine kıyasla daha düşük alt ısı değere sahip olması nedeni ile yanma performansına olumsuz etki etmektedir, ayrıca kimyasal yapısında bulunan 3 adet metil grubu nedeni ile yakıtın karbon sayısını artırarak birim hava başına yakıtın daha fazla karbon içermesine neden olmaktadır ve bu nedenle CO emisyonları artmaktadır. CO emisyonları 2500 d/dk motor devrine kadar artış göstermesine rağmen 2500 d/dk ve üzerindeki devirlerde azalma eğilimine girmiştir. Bütün emisyon değerleri için giriş parametrelerine bağlı olarak matematiksel fonksiyonlar elde edilmiş ve bu modeller yanıt yüzey grafikleri ile açıklanmıştır. YYM tahmin fonksiyonları gerçek ölçüm sonuçları ile doğrulanmıştır ve bütün yanıt değeri fonksiyonları istatistiksel olarak önemlidir. Optimum yanıt değeri fonksiyonları arzu edilebilirlik (desirabilty) fonksiyonları kullanılarak doğrulanmış ve bütün modelin en iyi tahmin aralıkları giriş parametrelerine bağlı olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışma neticesinde model arzu edilebilirlik fonksiyonu grafiği ve optimum değerler göz önüne alınarak 1-Propanol karışımlarının düşük motor devirleri için yüksek oranlarda ya da yüksek motor devirlerinde düşük oranlarda kullanım için uygun olduğu görülmektedir. Yanıt yüzey grafikleri göz önüne alınarak yüksek 1-Propanol oranı ve yüksek motor devrindeki kullanımların sadece HC emisyonu üzerinde doğrudan etkisi olduğu görülmektedir. O<sub>2</sub> emisyonları motor devri ile doğru orantılı bir şekilde azalmıştır. NO ve CO<sub>2</sub> emisyonları için en düşük değerler 1500 d/dk ve P15 yakıtında elde edilmiştir. Ayrıca, alternatif yakıt testlerinde farklı parametrelerin egzoz emisyon değerleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi için YYM kullanılması, daha az test gerekliliği nedeni ile çalışmanın daha düşük maliyet ile gerçekleşmesini sağlamaktadır.

## Kaynakça

- Abdalla, A. N., Tao, H., Bagaber, S. A., Ali, O. M., Kamil, M., Ma, X., & Awad, O. I. (2019). Prediction of emissions and performance of a gasoline engine running with fusel oil-gasoline blends using response surface methodology. *Fuel*, 253(April), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.04.085>
- Acaroğlu, M., Aydoğan, H., & Özçelik, A. E. (2018). *Yakıtlar ve Yanma*. Nobel Akademi Yayıncılık.
- Anderson-Cook, C. M., Borror, C. M., & Montgomery, D. C.

- (2009). Rejoinder for “Response surface design evaluation and comparison.” *Journal of Statistical Planning and Inference*, 139(2), 671–674. <https://doi.org/10.1016/j.jspi.2008.04.009>
- Bote, M. A., Naik, V. R., & Jagdeeshgouda, K. B. (2020). Optimization of spark ignition engine adopting Taguchi access and response surface methodology. *Fuel*, 280(May), 118530. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118530>
- Bradley, N. (2007). *The Response Surface Methodology* [Indiana University of South Bend]. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-44324-8\\_1998](https://doi.org/10.1007/978-3-662-44324-8_1998)
- Carley, K. M., Kamneva, N. Y., & Reminga, J. (2004). *Response surface methodology, CASOS Technical Report*. <https://doi.org/10.1002/wics.73>
- Draper, N. R. (1992). *Introduction to Box and Wilson (1951) On the Experimental Attainment of Optimum Conditions. 1951*, 267–269. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4380-9\\_22](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4380-9_22)
- Gawale, G. R., & Naga Srinivasulu, G. (2020). Experimental investigation of propanol dual fuel HCCI engine performance: Optimization of propanol mass flow rate, impact of butanol blends (B10/B20/B30) as fuel substitute for diesel. *Fuel*, 279(March), 118535. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118535>
- Gökmen, M. S., & Bilban, M. (2020). Optimization of Internal Combustion Engine Tests with Response Surface Methodology: A Review. *Renewable Energy Sources Energy Policy and Energy Management*, 1(2), 34–41.
- Jarmon, G., & Anderson, P. (2005). *Special Gasoline Blends* (No. 05–421; GAO, Issue June).
- Li, W., Zhang, Y., Mei, B., Li, Y., Cao, C., Zou, J., Yang, J., & Cheng, Z. (2019). Experimental and kinetic modeling study of n-propanol and i-propanol combustion: Flow reactor pyrolysis and laminar flame propagation. *Combustion and Flame*, 207, 171–185. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2019.05.040>
- Liu, X., Wang, H., Zheng, Z., Liu, J., Reitz, R. D., & Yao, M. (2016). Development of a combined reduced primary reference fuel-alcohols (methanol/ethanol/propanols/butanols/n-pentanol) mechanism for engine applications. *Energy*, 114, 542–558. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.001>
- Montgomery, D. C. (2006). Design and Analysis of Experiments. In *Technometrics* (Vol. 48, Issue 1). <https://doi.org/10.1198/tech.2006.s372>
- Mourad, M., & Mahmoud, K. R. M. (2018). Performance investigation of passenger vehicle fueled by propanol/gasoline blend according to a city driving cycle. *Energy*, 149, 741–749. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.099>
- Ostertagová, E. (2012). Modelling using polynomial regression. *Procedia Engineering*, 48(December 2012), 500–506. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.09.545>
- Papa, A. J. (2000). Propanols. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. [https://doi.org/10.1002/14356007.a22\\_173](https://doi.org/10.1002/14356007.a22_173)

- Qian, Y., Guo, J., Zhang, Y., Tao, W., & Lu, X. (2018). Combustion and emission behavior of N-propanol as partially alternative fuel in a direct injection spark ignition engine. *Applied Thermal Engineering*, 144, 126–136. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.08.044>
- Reif, K. (2015). Gasoline Engine Management Systems and Components. In *Springer Vieweg*. Springer Vieweg.
- Saravanan, S., Rajesh Kumar, B., Varadharajan, A., Rana, D., Sethuramasamyraja, B., & Lakshmi Narayana rao, G. (2017). Optimization of DI diesel engine parameters fueled with iso-butanol/diesel blends – Response surface methodology approach. *Fuel*, 203, 658–670. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.04.083>
- Srivastava, S. P., & Hancsók, J. (2014). Fuels and Fuel-Additives. In *John Wiley & Sons*. John Wiley & Sons.
- Wagner, J. R., Mount, E. M., & Giles, H. F. (2014). Design of Factorial Experiments. *Extrusion*, 291–308. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-3481-2.00025-9>
- Yusri, I. M., Mamat, R., Azmi, W. H., Omar, A. I., Obed, M. A., & Shaiful, A. I. M. (2017). Application of response surface methodology in optimization of performance and exhaust emissions of secondary butyl alcohol-gasoline blends in SI engine. *Energy Conversion and Management*, 133(2017), 178–195. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.12.001>