

Received: November 16, 2017  
Accepted: January 17, 2018

## DI Bir Dizel Motorunda Optimum Buhar Püskürtme Oranı ve Yakıt Püskürtme Zamanının Taguchi Metodu ile Deneysel Olarak Belirlenmesi

Vezir AYHAN<sup>1</sup>, İbrahim ÖZSERT<sup>1</sup>, Yusuf ÇAY<sup>1</sup>, Aslan ÇOBAN<sup>1</sup>, İdris CESUR<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Makina Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, 54187, Sakarya, Türkiye

### Özet

Dizel motorlarının çalışma prensibi gereği atmosfere saldırdığı NO<sub>x</sub> ve PM emisyon değerleri oldukça yüksektir. NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşumuna neden olan en büyük etken silindir içi yanma sonucu ulaşılan yüksek sıcaklıklardır. NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmak için silindir içi sıcaklığın düşürülmesi gerekmektedir. Ancak, silindir içi sıcaklığın düşürülmesi, motor performansını ve diğer emisyonları olumsuz yönde etkilemektedir. Dolayısıyla NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltırken performansın olumsuz etkilenmemesini sağlayan tekniklerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu tekniklerden biri buhar enjeksiyonu yöntemidir. Bu çalışmada, Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılarak, tam yük şartlarında, farklı motor devirlerinde çalışan bir DI dizel motoruna farklı oranlarda buhar enjeksiyonu ve yakıt püskürtme avansı değerlerinde yakıt enjeksiyonu yapılmasının motor performans ve emisyon karakteristiklerine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Her bir motor parametresi için optimum faktör seviyeleri Taguchi yöntemi ile belirlenmiştir. Motor performans ve NO<sub>x</sub> emisyonları açısından optimum değerler S20, 32 °KA (ÜÖN' dan önce) ve 1600 d/d olarak tespit edilmiştir. Bu şartlarda çalışan motorda standart motor verilerine göre performans parametrelerinde iyileşmeler, NO<sub>x</sub> emisyonlarında dikkate değer oranlarda azalmaların meydana geldiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelime:** Buhar enjeksiyonu, Püskürtme avansı, Performans, Emisyonlar .

## Determination with Taguchi Method of Optimum Steam Injection Rate and Fuel Injection Timing in a DI Diesel Engine Experimentally

Vezir AYHAN<sup>1</sup>, İbrahim ÖZSERT<sup>1</sup>, Yusuf ÇAY<sup>1</sup>, Aslan ÇOBAN<sup>1</sup>, İdris CESUR<sup>1\*</sup>

### Absrtact

Due to the operating principle of the diesel engines, release in to atmosphere NO<sub>x</sub> and PM emissions is high. The greatest cause for the formation of NO<sub>x</sub> emissions is the high temperature values reached at the end of the cylinder combustion. In order to reduce NO<sub>x</sub> emissions, the temperature inside the cylinder must be reduced. However, the reduction in cylinder temperature affects engine performance and other emissions negatively. Techniques need to be developed to ensure that NO<sub>x</sub> emissions are reduced while performance is not adversely affected. One of these techniques is steam injection. In this study, the effect of steam injection and fuel injection timing at different ratios on engine performance and emission characteristics for a DI diesel engine operating under full load conditions at different engine speeds was experimentally investigated using the Taguchi experimental design method. The optimum factor levels for each engine parameter are determined by the Taguchi method. In terms of engine performance and NO<sub>x</sub> emissions, optimum values were determined as S20, 32 °CA (bTDC) and 1600 rpm. It has been found that the engine operating under these conditions improves performance parameters and reduces NO<sub>x</sub> emissions considerably compared to standard engine data.

**Key Words :** Steam injection, Fuel injection timing, Engine performance, Emissions .

## 1. Giriş

İçten yanmalı motorlardan çevreye salınan zararlı emisyonlar, kanunu zorunluluktan dolayı azaltılması gerekmektedir. Buji ateşlemeli motorlarda çevreye salınan kirletici bileşenlerin miktarları ile dizel motorlarında açığa çıkan kirletici bileşenlerin miktarları farklıdır. Buji ateşlemeli motorlarda kısmi eksik yanma ürünleri CO ve HC emisyonları önemli iken, dizel motorlarında yanma buji ateşlemeli motorlara göre daha fakir karışımlarla gerçekleştiğinden en önemli kirletici bileşenler NO<sub>x</sub> ve partikül madde emisyonlarıdır[1,2].

NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşma nedeni yüksek sıcaklıklardır ve özellikle yanma odası sıcaklığının 1800<sup>0</sup>C' yi geçtiği anda NO<sub>x</sub> oluşum hızı artmaktadır. Dolayısıyla NO<sub>x</sub> emisyonunu azaltmanın ana mekanizması yanma odası sıcaklığının düşürülmesine dayanır. Dizel motorlarında NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılması için geçmişten günümüze pek çok yöntem önerilmiştir. Bu yöntemlerden biride su veya buharın yanma odasına su-yakıt emülsiyonu halinde, doğrudan veya emme manifolduna püskürtme şeklindedir. Literatürde silindire su gönderilmesi durumunda NO<sub>x</sub> emisyonlarında dikkate değer oranda azalmaların meydana geldiği ifade edilmektedir[3-5]. Emülsife yakıt kullanımı durumunda silindir içerisine suyun gönderilmesi durumunda mikro patlamaların etkisiyle atomizasyon ve karışım kalitesinin arttığı ve bu sayede yanma veriminin iyileştiği, NO<sub>x</sub> emisyonları ile birlikte İ<sub>s</sub> emisyonlarının da azaltıldığı vurgulanmaktadır [6]. Bazı araştırmacılara göre ise emülsife yakıt kullanımında partikül madde (PM) ve is emisyonlarında artmaların meydana geldiği tespit edilmiştir[7,8].

NO<sub>x</sub> emisyonları azaltılması için alınacak önlemlerden birisi de püskürtme avansının azaltılmasıdır. Ancak avansı azaltılması durumunda NO<sub>x</sub> önemli ölçüde azalmasına karşılık, güç ve momentte ciddi azalmalar olmakta ve is emisyonları da artmaktadır[3-5].

Literatürde yapılan çalışmalara baktığımızda; Wu ve ark.[9] LPG ile birlikte dizel/biyodizel karışımlarının kullanıldığı ve emme manifolduna soğuk EGR yapılan bir dizel motorunun yanma karakteristiklerinin araştırılması ve optimum faktörlerin belirlenmesinde Taguchi metodunu kullanmışlardır. Kumar ve ark. [10], bir dizel motorunda yakıt olarak dizel-oksijen karışımlarını kullanmışlardır. Çalışmalarında NO<sub>x</sub> ve İ<sub>s</sub> emisyonlarını azaltıp, performansı maksimum yapan parametre ve seviyelerinin minimum sayıda deney ile belirlenmesinde Grey-Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Ganapathy ve ark[11] biyodizel ile çalışan bir dizel motorun optimum motor dizayn ve çalışma parametrelerinin belirlenmesinde Taguchi optimizasyon yöntemini kullanmışlardır. Wu and Wu,[12] tek silindirli DI bir dizel motoruna optimum hidrojen enjeksiyon zamanı, hidrojen enerji oranı ve EGR yüzdesinin belirlenmesinde Taguchi metodunu kullanmışlardır. Natarajan ve ark. [13] Algae yağından elde edilen biyodizel karışımlarının kullanıldığı bir dizel motorunda motor performans ve emisyon parametreleri açısından en uygun püskürtme avansının tespitinde Taguchi yöntemini kullanmışlardır.

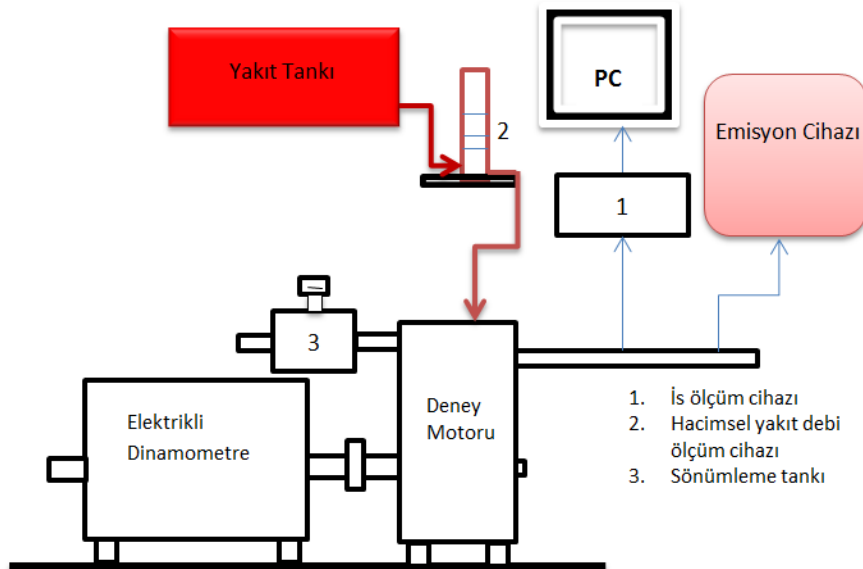
Bu çalışmada, Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılarak, tam yük şartlarında, farklı motor devirlerinde çalışan bir DI dizel motoruna farklı oranlarda buhar enjeksiyonu ve yakıt püskürtme avansı değerlerinde yakıt enjeksiyonu yapılmasının motor performans ve emisyon karakteristiklerine etkisi Taguchi yöntemine göre oluşturulan ortogonal diziye bağlı olarak deneysel olarak araştırılmıştır. Her bir motor parametresi için optimum faktör seviyeleri Taguchi yöntemi ile belirlenmiştir.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Deneylerde; tek silindirli, direk püskürtmeli, su soğutmalı, dört zamanlı, doğal emişli, çanak pistonlu SüperStar marka bir dizel motoru kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan deney motorunun teknik özellikleri Tablo 2.1’de verilmiştir. Deney düzeneği Şekil 2.2.’de şematik olarak görülmektedir. Deneyler, tam yük şartlarında 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200 ve 2400 d/d ve 35 derece statik püskürtme avansında gerçekleştirilmiştir. Motor gücünü tespit etmek için deney motoru hidrolik dinamometreye bağlanmıştır ve deneyler esnasında dinamometre su basıncı 3 barda tutulmuştur. Frenleme yükü, motor devri, yakıt sarfiyatı ve egzoz emisyonlarının ölçümüne geçilmeden önce motorun kararlı hale gelmesi beklenmiştir. Motor kararlı hale geldikten sonra ölçüm gerçekleştirilmiştir. Soğutma suyu çıkış sıcaklığı 70 °C de sabit tutulmuştur.

**Tablo1.** Deney motoru teknik özellikleri

Motor Tipi	Süper Star
Piston Çapı [mm]	108
Strok [mm]	110
Silindir Sayısı	1
Strok Hacmi [dm <sup>3</sup> ]	1
Güç, 2200 d/d, [kW]	13
Enjektör Açma Basıncı [bar]	175
Püskürtme Avansı [Krank Açısı]	34
Sıkıştırma Oranı	17,5
Maksimum Devir [d/d]	2500
Soğutma Tipi	Su
Püskürtme Tipi	Direkt Enjeksiyon
Piston Tipi	Çanak Piston



**Şekil 1.** Deney düzeneği

Egzoz ölçümü için MRU Spectra 1600 L model gaz analiz cihazı, duman ölçümü için ise Bilsa Mode 5000 opacimeter kullanılmıştır.

Motora buhar enjekte etmek için bir buhar püskürtme sistemi geliştirmiştir. Sistem, buhar hattı ve yalıtımlı bağlantı boruları, seloneid enjektör, basınç sınırlayıcı, sıcaklık ölçümü için termo elamanlar, atık ısı kazanı, su ilave tankı, santrifüj pompa, abselit Encoder, üst ölü nokta Sensörü ve 8051-F121 mikro denetleyiciden oluşmaktadır.

Karşılaştırma açısından deneyler ilk önce dizel yakıtı ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra egzoz atık ısısından elde edilen su buharı motor emme zamanında, emme manifolduna ve emme supabı açık iken motor yakıt sarfiyatının % 5, % 10, % 15, % 20, % 30 ve % 40 kütleli oranlarında motora enjekte edilmiştir. Her bir buhar püskürtme oranı için deneyler tekrarlanmış olup motor performans ve emisyon değerleri ölçülmüştür.

Çalışmada, motor performans ve emisyon parametreleri üzerine etkisi yüksek olan yakıt püskürtme avansı, motor çalışma devri ve buhar püskürtme oranı faktörler olarak seçilmiştir. Püskürtme avansı 3 seviyeli (32, 35, 38 °KMA), motor devri 4 seviyeli (1200, 1600, 2000, 2400 d/d) ve buhar püskürtme oranı 4 seviyeli (B0, B10, B20, B30) olarak seçilmiştir. Standart olarak L16' lı olarak dizayn edilen ortogonal dizi L12 ile eşleştirilerek yeni bir L12'lik dizin oluşturulmuştur. Belirlenen faktörlerin motor performans parametreleri ve emisyon karakteristiklerine etkileri açısından optimum seviyeleri Taguchi yöntemine göre belirlenmiştir. Tablo 3'de faktörler ve seviyeleri görülmektedir.

**Tablo 2.** Faktörlerin dizaynı ve faktör seviyeleri

Sembol	Faktör	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
A	Püskürtme avansı, °KMA	32	35	38	-
B	Motor devri, d/d	1200	1600	2000	2400
C	Buhar oranı	B0	B10	B20	B30

Taguchi yönteminin temel ilkesi, çeşitli tasarım parametrelerinin bireysel ve birlikte etkilerinin minimum deney sayısı ile gözlemlenen parametrelere etkisinin anlaşılmasını sağlamaktır. Taguchi yöntemi, mevcut değişkenlerin etkisini belirlemek için Sinyal-Gürültüyü (S/N) oranı kullanılmaktadır. İncelenen parametrenin durumuna göre S/N oranının hesaplanmasında farklı formüller kullanılmaktadır. Kullanılan formüller Tablo 3' de görülmektedir.

**Tablo 3.** S/N oranlarının hesaplanmasında kullanılan formüller

Küçük en iyi olduğu durum	Yüksek en iyi olduğu durum	Nominal en iyi olduğu durum
$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$	$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$	$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{S} \right)$

Taguchi yöntemine göre minimum deneysel çalışma için düzenlenmiş L12 ortogonal dizi Tablo 4' de verilmiştir.

**Tablo 4.** Deneysel Ortogonal Dizi

Deney No	Faktörler		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	1	4	4
5	2	1	3
6	2	2	4
7	2	3	1
8	2	4	2
9	3	1	4
10	3	2	3
11	3	3	2
12	3	4	1

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılarak, farklı motor devirlerinde çalışan bir DI dizel motoruna farklı oranlarda buhar enjeksiyonu yapılması ve farklı yakıt püskürtme avansları için motor performans parametreleri ve egzoz emisyonlarındaki değişim incelenmiştir.

Tablo 5 'de varyans analizi sonuçları görülmektedir. Varyans analizi sonuçlarına göre; hem motor performans parametrelerinde hem de egzoz emisyonlarında %95 ile %99,99 aralığında etkili olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 3' de motor momentine etki eden faktörler ve seviyelerine göre değişimler görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi moment açısından en yüksek değer 35<sup>0</sup> KMA püskürtme avansı (birinci faktörün ikinci seviyesinde), 1600 d/d motor hızı (ikinci faktörün ikinci seviyesinde) ve B20 buhar püskürtme oranında (üçüncü faktörün üçüncü seviyesinde) elde edilmiştir. Taguchi yöntemine göre optimum şartlar A2B2C3 olarak tespit edilmiştir.

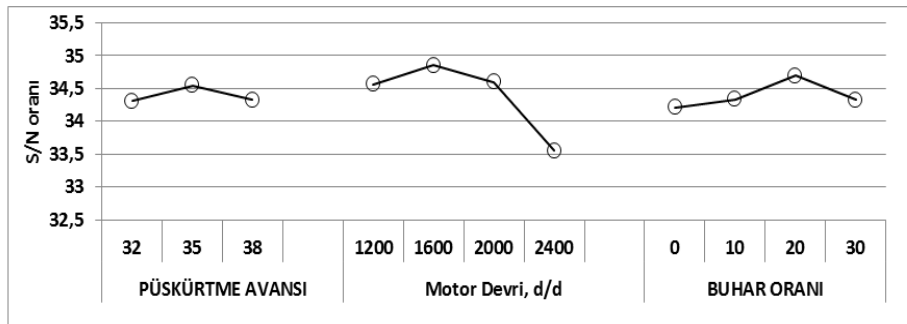
Motora standart duruma göre buhar enjeksiyonu durumunda motor döndürme momentinin arttığı görülmektedir. Çalışmada, motora emme periyodunda gönderilen buharın eldesi için gerekli enerji egzoz atılan kayıp enerjisinden sağlanmaktadır. Egzoz devresindeki suyun 3 bar basınç altında ısı alması esnasında entalpi artmaktadır. Buharın motora gönderilmesi esnasında entalpi artmasından dolayı ilave ısı girişi olmaktadır. Bu durum motordan alınan efektif güç ve momentin artmasına neden olmaktadır.

Ayrıca silindir içerisine gönderilen su damlacıklarının yakıt ile teması esnasında yüzey gerilmesinin çok küçük olmasından dolayıyla, mikro patlamalarla yakıtın çok daha küçük damlacıklara bölünmesine neden olduğu bilinmektedir. Damlacık çaplarının küçülmesine bağlı olarak yanmaya dahil olan toplam damlacık yüzey alanı arttığı için yanma veriminin iyileştiği için motorun döndürme moment ve gücünde artmaya neden olduğunu tahmin edilmektedir[1].

**Table 5.** Varyans Analizi(ANOVA )

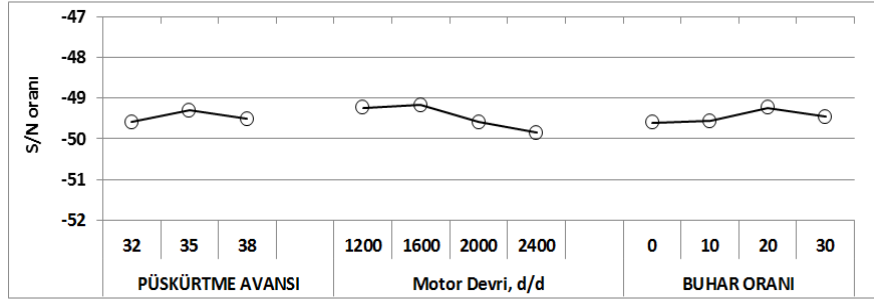
	Faktörler	Kareler Toplamı, SS	Serbestlik Derecesi $f$	Kareler Ortalaması	$F_{teori}$
Moment	A - Avans	0,140260539	2	0,07013027	-0,57092853
	B – Devir Sayısı, d/d	2,954492914	3	0,984830971	-8,017480912**
	C – Buhar Oranı, %	0,398004016	3	0,132668005	-1,080046455
	Toplam	3,124251083	11	0,284022826	
	Hata	0,368506386	3	-0,122835462	
Özgül Yakıt Sarfiyatı	A - Avans	0,186928555	2	0,093464278	-1,703907539
	B – Devir Sayısı, d/d	0,915488313	3	0,305162771	-5,563292842*
	C – Buhar Oranı, %	0,238305074	3	0,079435025	-1,448146188
	Toplam	1,176163228	11	0,10692393	
	Hata	-0,164558714	3	-0,054852905	
Etkatif Verim	A - Avans	0,104858363	2	0,052429181	-0,569284664
	B – Devir Sayısı, d/d	1,39485662	3	0,464952207	-5,048527452*
	C – Buhar Oranı, %	0,382532522	3	0,127510841	-1,384533657
	Toplam	1,605957708	11	0,145996155	
	Hata	-0,276289796	3	-0,092096599	
NOx	A - Avans	19,21874119	2	9,609370596	12,33868048
	B – Devir Sayısı, d/d	0,619417287	3	0,206472429	0,265115941**
	C – Buhar Oranı, %	5,122676745	3	1,707558915	2,192549829*
	Toplam	27,29723674	11	2,481566976	
	Hata	2,336401516	3	0,778800505	
İs	A - Avans	33,43316873	2	16,71658437	0,571994369
	B – Devir Sayısı, d/d	23,78019254	3	7,926730847	0,271230373
	C – Buhar Oranı, %	11,86573367	3	3,955244556	0,135337313
	Toplam	156,7543516	11	14,2503956	
	Hata	87,67525669	3	29,22508556	

\* 95% etki.  
 \*\*99% etki.  
 \*\*\* 99,99% etki.



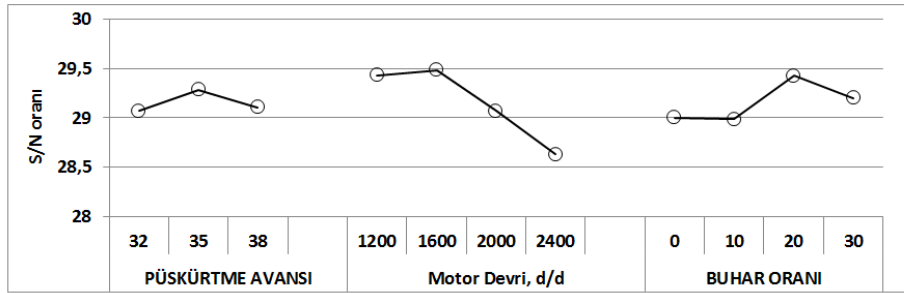
**Şekil 3.** Moment için faktör seviyeleri S/N değerleri

Şekil 4' de motora farklı oranlarda buhar püskürtülmesi, farklı püskürtme oranları ve farklı devir aralıkları için ÖYS değişimi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi ÖYS açısından optimum şartlar 35<sup>0</sup> püskürtme avansı, 1600 d/d ve B20 buhar püskürtme oranında tespit edilmiştir. Yani A2B2C3 en düşük ÖYS' nı veren seviyelerdir.



Şekil 4. ÖYS için faktör seviyeleri S/N değerleri

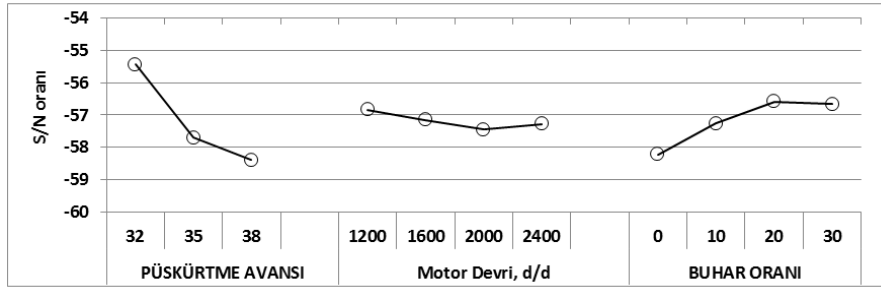
Şekil 5' de motora farklı oranlarda buhar püskürtülmesi, farklı püskürtme oranları ve farklı devir aralıkları için efektif verim değişimi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi efektif verim açısından optimum şartlar 35<sup>0</sup> püskürtme avansı, 1600 d/d ve B20 buhar püskürtme oranında tespit edilmiştir.



Şekil 5. Efektif verim için faktör seviyeleri S/N değerleri

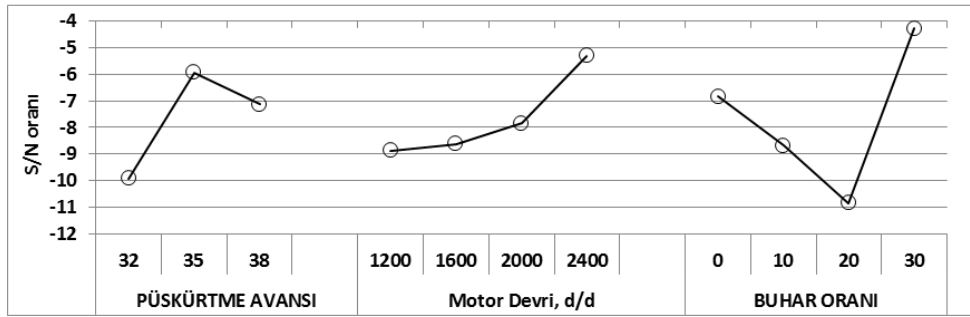
Şekil 6' da motora farklı oranlarda buhar püskürtülmesi, farklı püskürtme oranları ve farklı devir aralıkları için NOx emisyonu değişim görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi NOx emisyonu açısından optimum şartlar 32<sup>0</sup> püskürtme avansı, 1200 d/d ve B20 buhar püskürtme oranında tespit edilmiştir.

Püskürtme avansının düşürülmesi NOx emisyonlarının azaltılmasında etkili olmakla birlikte motor performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Buhar enjeksiyonu ise yanma sonu sıcaklığı düşürerek NOx emisyonlarının azaltılmasını sağlayan etkili yöntemlerden biridir. İçten yanmalı motorlarda NOx emisyonu reaksiyonları yanma sonucu ulaşılan yüksek sıcaklıklardan oldukça etkilenmektedir. Suyun özgül ısısı yaklaşık olarak havanın özgül ısısından dört kat yüksektir. Silindire dolmuş esnasında motora giren havanın içerisine buhar püskürtülmesi durumunda yanma ürünleri karışımının standart duruma göre özgül ısılara bağlı olarak ısı kapasiteleri atmaktadır. Yanma ürünlerinin ısı kapasitesinin artması motor silindir içi maksimum yanma sıcaklığının düşmesine neden olmaktadır. Yanma sonu maksimum sıcaklığın düşmesi NOx emisyonu oluşum hızını yavaşlattığından dolayı buhar enjektörü durumunda motordan salınan NOx emisyon değerlerinde azalmalar görülmüştür.



Şekil 6. NOx emisyonu için faktör seviyeleri S/N değerleri

Şekil 7’ de motora farklı oranlarda buhar püskürtülmesi, farklı püskürtme oranları ve farklı devir aralıkları için is emisyonu değişimi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi is emisyonu açısından optimum şartlar 35<sup>0</sup> püskürtme avansı, 2400 d/d ve B30 buhar püskürtme oranında tespit edilmiştir.



Şekil 7. İs emisyonu için faktör seviyeleri S/N değerleri

## 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılarak, farklı motor devirlerinde çalışan bir DI dizel motoruna farklı oranlarda buhar enjeksiyonu yapılması ve farklı yakıt püskürtme avansları için motor performans parametreleri ve egzoz emisyonlarındaki değişim incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda; püskürtme avansı, motor devri ve motora farklı oranlarda buhar püskürtülmesinin performans parametreleri ve NOx ve İs emisyonları üzerine etkili olduğu görülmüştür. Performans açısından en iyi sonuçlar 35<sup>0</sup> püskürtme avansı, B20 buhar püskürtme oranı ve 1600 d/d’de tespit edilmiştir. NOx emisyonları açısından optimum sonuçlar 32<sup>0</sup> püskürtme avansı, 1600 d/d ve B20 buhar püskürtme oranında saptanmıştır. İs emisyonları, 35<sup>0</sup> püskürtme avansı, 2400 d/d ve B30 buhar püskürtme oranında optimum olarak belirlenmiştir. Genel olarak tüm parametreler dikkate alındığında motor performans ve emisyonlar açısından en iyi sonuçlar A2B2C3 çalışma şartlarında elde edilmiştir.

## 5. Kaynaklar

- [1] V. Ayhan., “Bir Dizel Motoruna Buhar Enjeksiyonunun NOx Ve İs Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması”, SAÜ, FBE, Doktora Tezi,2009.
- [2] V. Ayhan, İ. Cesur, A. Parlak, B. Boru, “Bir Dizel Motoruna Buhar Enjeksiyonunun Performansa Ve NOx Emisyonlarına Etkilerinin Araştırılması”, 10. Uluslararası Yanma Sempozyumu 9-10 Ekim 2008, Sakarya/Türkiye.



- [3] A.Parlak, V. Ayhan, İ. Cesur, B.Boru, “Kısmi Yük Şartlarında Çalışan Bir Dizel Motoruna Buhar Enjeksiyonunun Etkileri”, 11th International Combustion Symposium, 24-27 June, 2010,Sarajevo, Bosn
- [4] A.Parlak, V. Ayhan, Y. Üst, B.Şahin, İ.Cesur, B. Boru, “NOx Emisyonlarının Azaltılmasında Yeni Bir Yöntem: Elektronik Kontrollü Su Buharı Enjeksiyonu”, The First Global Conference on Innovation in Marine Technology And The Future of Maritime Transportation, 24-29 November, 2010, İstanbul-Turkey.
- [5] A.Parlak, V. Ayhan, İ. Cesur, B.Boru, “ Endirekt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motoruna Buhar Enjeksiyonunun Etkilerinin Araştırılması”, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), 16-18 Mayıs, 2011, Elazığ, Turkey.
- [6] F. L. Dryer, “Water addition to practical combustion systems concepts and applications.” 16th International Syposium on Combustion, The Combustion Institute, pp. 321–336, Cambridge MA, Aug. 1976.
- [7] M. Y. E. Selim, and S. M. S. Elfeky, “Effects of diesel/water emulsion on heat flow and thermal loading in a pre-combustion chamber diesel engine,” Applied Thermal Engineering., vol. 21, no.15, pp. 1565–1582, 2001.
- [8] A.Parlak,H.Karabaş, İ.Özsert, V.Ayhan, İ. Cesur, “Application of Taguchi’s Methods to Investigate Factors Affecting Exhaust Emissions of a Diesel Engines Running With Tobacco Seed Oil Methyl Ester Blends”, International Jornaoul Of Vehicle Design. Int. J. Vehicle Design, Vol. 59, Nos. 2/3, 196-211, 2012.
- [9] Zhan-Yi Wu, Horng-Wen Wu, Cheng-Han Hung, Applying Taguchi method to combustion characteristics and optimal factors determination in diesel/biodiesel engines with port-injecting LPG, Fuel 117 (2014) 8–14.
- [10] B. Rajesh Kumar, S. Saravanan, Balaji Sethuramasamyraja, D. Rana, Screening oxygenates for favorable NOx/smoke trade-off in a DI diesel engine using multi response optimization, Fuel 199 (2017) 670–683.
- [11] T. Ganapathy, K. Murugesan, R.P. Gakkhar, Performance optimization of Jatropha biodiesel engine model using Taguchi approach, Applied Energy 86 (2009) 2476–2486.
- [12] Horng-Wen Wu\*, Zhan-Yi Wu, Combustion characteristics and optimal factors determination with Taguchi method for diesel engines port-injecting hydrogen, Energy 47 (2012) 411-420.
- [13] S.Natarajan, K.Akash Trasy, N.Srihari, S.Raja, Effects of Injection Timing on CI Engine fuelled with Algae oil blend with Taguchi technique, Energy Procedia 105 ( 2017 ) 1043 – 1050.