

## ÇİTEN YANMALI MOTORLARIN ARDI İK ÇEVİRLERİNDE OLUNAN MAKSİMUM BASINÇ VERİLERİNİN GRÖNGÖRÜCÜLER KULLANILARAK TAHMİN

Ali Rıza KALEL<sup>1\*</sup>, M. Akif CEVİZ<sup>2</sup>, Köksal ERENTÜRK<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 25240, ERZURUM,

arizakaleli@atauni.edu.tr

<sup>2</sup>Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 25240, ERZURUM, aceviz@atauni.edu.tr

<sup>3</sup>Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 25240, ERZURUM,

keren@atauni.edu.tr

### ÖZET

Bu çalışmada atelemeli içten yanmalı motorlarda özellikle fakir yanma koşullarında meydana gelen çevrimsel farklar, ardi ik çevrimlerden her birinde maksimum basınç değerlerinin birbirlerinden farklı olmasına neden olmaktadır. Azot oksit ve hidrokarbon emisyonlarının azaltılması ayrıca, motor termal veriminin artırılması için motorun fakir şartlarda çalıştırılması istenmesine rağmen, bu durumda oluşan bir şekilde meydana gelen çevrimsel farklar önemli bir parametre haline gelmektedir. Atelemeli fakir yanma sınırına yakın bölgelerde çevrimsel farklar artarsa yanma meydana gelmeyebilir, bu durum sürtünme problemleri oluşturabilir ve hidrokarbon emisyonları daha fazla olur. Fakir çalışma sınırına yakın bölgelerde veya bu bölgenin genişletilmesinde çevrimsel farkların azaltılması en önemli parametrelerden birisidir. Üstelik çevrimsel fark olumuna neden olan etki stokastik bir yapıda bulunduğundan motor çevrimleri arasında deterministik bir ilişki kurulamamaktadır.

Çevrimsel farkların rassal bir yapıya sahip olması nedeniyle ardi ik çevrimlerde bir sonraki çevrimde oluşacak maksimum basıncın değerinin öngörülmesi büyük önem taşımaktadır. Belirli ölçüde öngörülebilir ardi ik çevrim maksimum basınç verileri kullanılarak, çevrimsel farkları azaltmak amaçlı kontrol stratejileri geliştirilebilir. Bu kontrol stratejileri, maksimum basınç verilerinin belirli bant içerisinde kalması amacıyla seçilen motor çalışma parametrelerini kullanmaktadır.

Bu amaçla, yapılan bu çalışmada, ardi ik motor çevrimlerinin maksimum basınç değerleri bir dizi şeklinde tanımlanarak bir sonraki çevrime ait maksimum basınç değeri tahmin edilmiştir. Tahmin yöntemi olarak gri sistem teorisine dayanarak oluşturulan gri tahmin modeli GM(1,1) geliştirilmiştir. Ayrıca, çevrimlerdeki maksimum basınçlardan oluşan diziye gelecek değerleri öngörmekte daha başarılı olan yuvarlanan GM(1,1) ve hata düzeltilmeli gri tahmin modelleri uygulanmıştır. Tüm tahmin yöntemleri ile elde edilen veriler grafiksel olarak gösterilmiş ve sonuçlar kısmında tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Çevrimsel farklar, içten yanmalı motorlar, GM(1,1), Fourier Hata Düzeltilmeli GM(1,1)

\* Sorumlu Yazar: arizakaleli@atauni.edu.tr

## PREDICTION OF MAXIMUM PRESSURE DATA in SUCCESSIVE CYCLES of SPARK IGNITION ENGINES USING GREY PREDICTION METHOD

### ABSTRACT

The cyclic variations in spark ignition engines occurring especially under lean combustion conditions make the maximum pressure variable for successive in-cylinder pressure cycles. The lean operation is desired to reduce nitrogen oxides and hydrocarbon emissions as well as to improve fuel efficiency; however, the cyclic variations are a major factor during lean operation. If the cyclic variations are large during engine operation near the lean combustion limit, combustion may not occur resulting in misfires, drivability problems, and increased hydrocarbon emissions. Minimization of cycle-to-cycle variations is a key factor in effectively operating near to or extending the effective lean limit. In addition, the effect of the formation of the cyclic variations is a stochastic process hence; a deterministic model couldn't be correlated between motor cycles.

Prediction of maximum pressure value for the next cycle has a vital importance due to the random behavior of the cyclic variations. Control strategies can be developed for reducing cyclic variations by using the predicted maximum pressure data of successive cycle in a certain band of accuracy. In this type of control strategies, several engine operating parameters are used to get the cyclic variations into a specific range by using the predicted maximum pressure data of successive cycles.

For this purpose, in this study, the maximum pressure value of next cycle is predicted by defining as a serial of the maximum pressure values for successive engine cycles. Gray prediction model GM (1,1) based on the gray system theory has been developed as a prediction method. Additionally, rolling and Fourier error modification GM (1,1) model which are more successful to predict future values have been applied. All the obtained data by prediction methods have been graphically shown and the results have been discussed.

**Keywords:** Cyclic variations, Spark ignition engines, GM(1,1), Fourier Error, Modification GM(1,1)

### 2.G R

Dünya nüfusunun artmasıyla paralel olarak enerjiye olan talep de gittikçe yükselmektedir. Fakat bu talebe karşılık fosil yakıtlarından özellikle petrol kaynaklarındaki azalma, ara tırmacıları mevcut enerji kaynaklarının daha verimli bir şekilde kullanılmasının yollarını aramaya veya alternatif yakıtlar üzerinde çalışmaya yönlendirmiştir [1].

Yakıt ve yanma yılları boyu mühendisleri tarafından temel konulardandır. Bilindiği üzere otomobillerde kullanılan içten yanmalı motorlar, kimyasal enerjiyi mekanik enerjiye dönüştüren sistemlerdir. Bir içten yanmalı motorda yüksek verim elde edilebilmesi için yukarıda bahsedilen dönüşümün minimum enerji kaybıyla olması

gerekmektedir. Bundan dolayı ara tırmacılar, benzin veya motorin gibi kimyasal yakıtla çalışan içten yanmalı motorların performansının ve emisyonlarının arzu edilen seviyelerde olması için yoğun çaba göstermektedir.

Motor performansının yanı sıra dünya genelinde uygulanan katı emisyon kuralları, otomotiv üreticilerinin ileri motor kontrol sistemlerini geliştirmesini sağlamıştır. Geleneksel motor denetim sistemlerinde motorun çalışma durumunu gösteren birçok sensör yer almaktadır. Bu sensörlerden gelen verilere ve laboratuvar koşullarında yapılan haritalandırmaya göre kullanılan denetim mekanizması motor parametrelerini en iyi olacak şekilde ayarlamaktadır. Fakat kullanılan bu denetim mekanizması, motorda belirli bir zaman sonra meydana gelen eskime ve çevresel koşullardan dolayı egzoz emisyonlarındaki bozulmaların ve motor performansında görülen azalmanın üstesinden gelememektedir. Bu nedenle, motor denetim mekanizmasının sürekli değişim gösteren çevresel faktörlere adaptasyonunu sağlamak için silindir içi yanma bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bilindiği gibi içten yanmalı motorlarda silindir içi basınç verileri, piezo-elektrik basınç çeviricileri adı verilen sensörler kullanılarak elde edilebilmektedir. Bu sensörler yardımıyla elde edilen silindir içi basınç verilerinin zamana göre grafiği incelendiğinde ardı iki çevrimlerden her birinin diğerinden farklı olduğu görülmektedir. Çevrimsel farklar adı verilen bu olay, buji ateşlemeli içten yanmalı motorların tasarımında en büyük problemlerinden biridir. Bu konu üzerine yapılan araştırmalar çevrimsel farkların yok edilmesiyle, aynı yakıt tüketimi ile motorda %10 daha fazla çıkış gücü elde edilebileceğini göstermiştir [2].

Özellikle motorun fakir yanma koşullarında ortaya çıkan çevrimsel farklar, motor performansı, yakıt verimliliği ve hidrokarbon emisyonları üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Her bir çevrim diğerinden bağımsız, rastgele olaylar silsilesi ile meydana gelmesi ve birbirini izleyen çevrimler arasında bir ilişki bulunmamasından dolayı çevrimsel farklar, stokastik bir yapı olarak incelenmiştir [3]. Ayrıca, içten yanmalı motorların yanma fazı incelendiğinde önceki çevrimlerden kalan artık gazlardan kaynaklanan döngüsel olmayan bir durumun da çevrimden çevrime oluşan farklılıkları artırdığı gözlemlenmiştir [4].

Yanma zamanında oluşan çevrimsel farklılıklar, çevrimlerin maksimum basınç değerleri üzerinde etkin rol oynayarak her bir motor çevrimine ait maksimum basınç değerinin birbirinden farklı olmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı, önceki çevrimlerdeki maksimum basınç değerleri kullanılarak bir sonraki çevrimin maksimum basıncının öngörülmesi büyük önem taşımaktadır. Belirli döngüde öngörülebilen ardı iki çevrim maksimum basınç verileri kullanılarak, çevrimsel farkları azaltmak amaçlı kontrol stratejileri geliştirilebilir. Bu kontrol stratejileri, maksimum basınç verilerinin belirli bant içerisinde kalması amacıyla çeşitli motor çalışma parametrelerini denetlenmektedir. Bu tahmin işlemi literatürde yer alan çeşitli öngörü algoritmaları ve modelleri ile mümkün olmaktadır. Bu yöntemlerden biri de gri sistem teorisidir.

Gri sistem teorisi, ilk olarak 1982 yılında Deng Ju-Long tarafından ortaya konulmasıyla birlikte bu tarihten itibaren kısmen bilinmeyen değişkenlere sahip veya belirsizlik içeren sistemleri modelleyebilmesi, sınıflandırabilmesi ve

çözümleyebilmesi yetene inden dolayı yaygın olarak kullanılmaya ba lamı tır [5]. Gri sistem kuramı, bir ehrin veya ülkenin gelecekteki enerji tüketiminin tahmininden, hisse senetleri fiyatlarının önceden ve ba arılı bir ekilde tahmin edilmesine dayanan finansal uygulamalara veya belirsizlik içeren fiziksel bir sistemin davranı mın öngörülmesine kadar birçok farklı alanda kullanılmaktadır [6-10].

Yapılan bu çalı mada silindir içi basınç e rileri veri ileti im kartı kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılıp motor çevrimlerinin her birinin maksimum basınç de erleri bir dizi eklinde tanımlanmı tır. Önceki motor çevrimlerinin maksimum basınç noktalarından olu turulan bu seri ile bir sonraki çevrimde meydana gelebilecek maksimum basınç de eri, gri sistem teorisi kullanılarak tahmin edilmeye çalı ılmı tır.

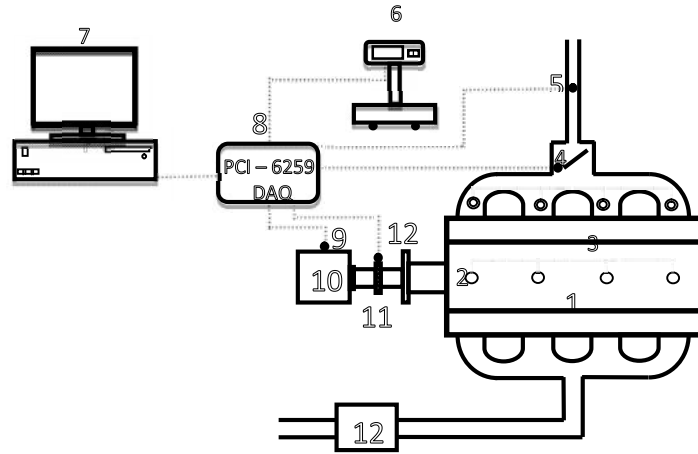
Bu çalı mada, ilk olarak, deneylerin yapıldı ı test düzene i tanıtılmı tır. Daha sonra gri öngörü algoritmasını olu turan adımlar detaylı ekilde tanımlanmı ve sonrasında ise maksimum basınçlardan olu an seri üzerine gerçekte tirilen tahmin uygulamasının sonuçları grafiksel bir gösterimle verilmi ve sonuçlar kısmında tartı ılmı tır.

### **3. DENEY DÜZENE B LE ENLER**

Deneyler, buji ate lemeli, dört silindirli, dört zamanlı benzin motoru üzerinde gerçekte tirilmi tir. Ölçümlerin yapıldı ı motor test düzene i ekil 1.'de gösterilmi tir. Silindir içi basınç de erlerindeki de i imlerinin incelenmesi için piezo-elektrik basınç çeviricileri kullanılmı , elde edilen veriler ki isel bilgisayara sonradan analiz edebilecek ekilde kaydedilmi ve çe itli hesaplamaların yapılabilmesi için MATLAB dilinde bir bilgisayar programı hazırlanmı tır.

Ölçüm test düzene inde çe itli sensörlerden alınan sinyaller bilgisayara aktarılırken veri ileti im kartı kullanılmaktadır. Veri ileti im kartları, do ada bulunan verileri toplayıp bilgisayarda i lenebilecek hale çevirmektedir. Bu kartlar, verileri sensörler aracılı ıyla toplamaktadırlar.

Bu çalı ma kapsamında verilerin okunup i lenebilmesi için National Instruments firması tarafından tasarlanan, yüksek hızlı çoklu fonksiyon M serisi bir veri ileti im kartı olan PCI-6259 veri ileti im kartı kullanılmı tır. Bu kart dört adet 16 bitlik analog çıkı a ve 32 bitlik analog giri e sahiptir [11].



**ekil 1.** Deney düzene inin ematik resmi

- |                                 |                            |
|---------------------------------|----------------------------|
| 1. Motor                        | 2. Bujiler                 |
| 3. Yakıt enjektörleri           | 4. Gaz kelebek sensörü     |
| 5. Sıcak tel hava debi sensörü  | 6. Dijital hassas terazi   |
| 7. Ki isel bilgisayar           | 8. Veri toplam kartı       |
| 9. Load cell (Tork ölçümü için) | 10. Hidrolik dinamometre   |
| 11. Motor aftı                  | 12. aft dönü türücü sensör |
| 13. Susturucu                   |                            |

#### 4. GR S STEM TEOR S ve ÖNGÖRÜ MODEL

Genel sistem teorisinde, hakkında bilgi olmad ı sistemler siyah, tamamen bilinen sistemler beyaz ve kısmen bilginin oldu u sistemler ise gri ile renklendirilerek isimlendirilmektedir. Di er bir deyi le, gri sistemlerde bazı bilgiler bilinirken bazıları ise bilinmemektedir ve sistem içerisindeki de i kenler arasındaki ili kiler kesin de ildir.

De erleri tam olarak bilinmeyen fakat bir aralı a sahip sayılar “gri sayılar” ekinde adlandırılmaktadır. Sadece dü ük veya yüksek bir banda sahip, hem yüksek hem de dü ük bantlı, sürekli veya ayrık olmak üzere çe itli gri sayı tipleri mevcuttur. Gri sayılar, matrisler, gri diferansiyel denklemler ve gri cebir “gri sistem teorisini” olu turan bile enlerdir [12].

Gri sistem teorisinde temel amaç, sosyal, ekonomik, ekolojik, fiziksel vb. sistemlerin davran ılarını karakterize eden mevcut veriye dayanarak farklı sistem de i kenleri arasında bir matematiksel ili ki olu turmaktır [13,14].

Gri sistem teorisine dayanarak olu turulan gri öngörü modeli ise uygulamada birçok farklı sistemin gelecekteki durumlarını gösteren tahmin veya öngörü modelidir.

Deng [5] tarafından önerilen yöntemde, gri öngörü modelinde belli bir düzene sahip olmayan, rastgele diziye Birikim Üretme levi (BÜ ) uygulanmasıyla bu dizinin düzenli olması veya belli bir büyüme e ilimine sahip olması

sa lanmaktadır. Böylece, Geli tirilmi adi diferansiyel denkleminin çözüümü kullanarak sistemin h-adım ilerideki tahmin de eri elde edilmektedir.

Literatürde en yaygın eilde kullanılan gri model tipi olan GM(1,1) modelidir. Bu model, “Birinci mertebeden tek de i kenli gri diferansiyel model” ekinde isimlendirilmektedir. GM(1,1) modelinin diferansiyel denklemleri, zamanla de i en katsayılarına sahip oldu undan tahmin modeli için yeni veriler elde edilebildi inde model kendini sürekli olarak yenilemektedir.

Gri tahmin yöntemi iki temel operatöre sahiptir. Bunlar; Birikim Üretme levi (BÜ ) ve Tersine Birikim Üretme levi (TBÜ ) olarak isimlendirilir. Örne in, silindir içi maksimum basınçlardan olu an  $n$  elemanlı bir zaman serisi E .(1) ile gösterilsin.

$$x^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\} \quad n \geq 4 \quad (1)$$

E . (1) ile verilen  $x^{(0)}$  dizisi negatif olmayan elemanlardan olu maktadır ve en az dört elemandan olu malıdır. Bu diziyeye, Birikim Üretme levi (BÜ ) uygulandı nda E . (2)’deki gibi  $x^{(1)}$  dizisi elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} x^{(1)}(k) &= \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)\} \\ x^{(1)}(k) &= \sum_{j=1}^k x^{(0)}(j) \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \end{aligned} \quad (2)$$

Sonrasında ise GM(1,1) modelinin orijinal formu E .(3) ile ifade edilir.

$$x^{(0)}(k) + ax^{(1)}(k) = b \quad (3)$$

$x^{(1)}$  dizisinin ardı ık ortalama dizisi ise  $a$  a ıdaki gibi tanımlanır.

$$z^{(1)}(k) = ax^{(1)}(k) + (1 - a)x^{(1)}(k - 1) \quad k = 2, 3, 4, \dots, n \quad (4)$$

E .(4) ile verilen ifadede genellikle 0,5 olarak alınmaktadır ve  $z^{(1)}(k)$  ardı ık iki verinin ortalaması ekinde ifade edilmektedir. GM(1,1) modelinin temel formu E .(5) ile tanımlanabilir.

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b \quad (5)$$

GM(1,1) modelinde veriyi beyazla tırma denklemi olarak tanımlanan denklem E . (6) ile ifade edilebilir. E . (6) ile ifade edilen denklem “birinci mertebeden tek de i kenli diferansiyel denklem” ekinde tanımlanmaktadır.

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b \quad (6)$$

E . (3, 5, 6) ile ifade edilen denklemlerde  $a$  ve  $b$  katsayıları sırasıyla “geli tirme katsayısı” ve “grile tirme miktarı katsayısı” ekinde adlandırılmaktadır.

E . (5) ile ifade edilen denkleme en küçük kareler yönteminin uygulanmasıyla  $[a,b]^T$  katsayıları E . (7) ile bulunmaktadır. Ayrıca, E . (7)'de bulunan B ve Y matrisleri E .(8) ve E .(9) ile tanımlanmıştır.

$$[a, b]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (7)$$

Burada;

$$B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$Y = [x^{(0)}(2) \quad x^{(0)}(3) \quad \dots \quad \dots \quad x^{(0)}(n)]^T \quad (9)$$

Bu a amadan sonra, E . (6) ile verilen diferansiyel denklemin çözümü E . (10) ile yapılmaktadır.

$$\bar{x}^{(1)}(k+1) = \left[ x^{(1)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} + b/a \quad (10)$$

$\bar{x}^{(1)}(k)$  terimi,  $x^{(1)}(t)$ 'nin  $k$  zamanındaki çözümünü göstermektedir ve ba langıç ko ulları için  $x^{(1)}(1) = x^{(0)}(1)$  olarak alınmıştır. Ayrıca, E .(10) ile  $x^{(1)}(k)$ 'nin bir adım sonrası öngörülen de eri hesaplanmaktadır.

Son olarak, E . (1) ile verilen ham verinin bir adım sonrasının tahmini için E . (11) veya E (12) yazılabilir. Bu i lem için Tersine Birikim Üretme levi (TBÜ) uygulanmaktadır [15].

$$\bar{x}^{(0)}(k+1) = \left[ x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} (1 - e^a) \quad (11)$$

$$\bar{x}^{(0)}(k+1) = \bar{x}^{(1)}(k+1) - \bar{x}^{(0)}(k) \quad (12)$$

#### 4.1. Yuvarlanan GM(1,1) modeli

Belirsiz veriler ile tahmin yapılırken sadece son verilerin kullanılması tahmin i leminin do rulu unu artırmak için önemlidir. Bu amaçla kullanılan yuvarlanan GM(1,1) modeli, GM(1,1) modelini olu turan dizi verilerinin ilerletilmesi temeline dayanmaktadır. Yuvarlanan GM(1,1) modeli,  $x^{(0)}(k+1)$ , GM(1,1)'in  $k < n$  oldu u sürece  $x^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3) \dots, x^{(0)}(k)\}$  serisine uygulanması ile tahmin i leminin yapılmasıdır. Sonucun bulunmasından sonra,  $x^{(0)}(k+1)$  verisi ham veriye eklenip  $x^{(0)}(1)$ 'in çıkartılmasıyla aynı i lemler tekrarlanır. Bir sonraki döneme ait tahmin de eri  $x^{(0)}(k+2)$ 'nin bulunması,  $x^{(0)} = \{x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), x^{(0)}(4) \dots, x^{(0)}(k+1)\}$  ekinde ifade edilen veri dizisi kullanılarak yapılmaktadır. Bu i lem dizinin sonuna kadar devam etmektedir.

Yuvarlanan GM(1,1) modeli, bir sistemin çıktısı veya bir finansal sürecin veya sosyal de i kenlerin tahmini gibi uzun süreli veri dizilerinin gelecekteki de erlerinin öngörülmesinde kullanılabilir [16].

#### 4.2. Fourier hata düzeltmeli gri tahmin modeli

Bu düzeltme metodolojisi, GM (1,1) modelinin periyodik ve sistematik stokastik hataları düzelterek tahmin do rulu unu artırmak için kullanılmaktadır.

Öncelikle,  $x^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$  ekinde gerçek zamanlı veriler ile Tersine Birikim Üretme levi (TBÜ) uygulanan verilerin farkı alınır. Bu fark i lemi a a ıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\varepsilon^{(0)} = [\varepsilon_0(2), \varepsilon_0(3), \varepsilon_0(4), \dots, \varepsilon_0(n)]^T \quad (13)$$

Burada;

$$\varepsilon_0(k) = x_0(k) - \bar{x}_0(k) \quad k = 2, 3, \dots, n \quad (14)$$

Ayrıca, (14) numaralı ifade ile verilen hata e itli i Fourier serisi kullanılarak E . (15)'deki gibi tanımlanabilir.

$$\varepsilon_0(k) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{i=1}^m \left[ a_i \cos\left(\frac{2\pi i}{T} k\right) + b_i \sin\left(\frac{2\pi i}{T} k\right) \right], \quad k = 2, 3, 4, \dots, n \quad (15)$$

Bu ifadede yer alan  $T$ , bir tamsayı de eri olup artık serilerin periyodunu ifade etmektedir.

$$T = n - 1 \text{ ve } m = \left(\frac{n-1}{2}\right) - 1 \quad (16)$$

E . (15) ile verilen ifade içinde yer alan  $i=1, 2, \dots, m$  için  $a_0$ ,  $a_i$  ve  $b_i$  parametreleri, en küçük kareler yakla ımı kullanılarak tanımlanabilir.

$$C = (P^T P)^{-1} P^T \varepsilon^{(0)}$$

$$C = [a_0, a_1, b_1, a_2, b_2, \dots, a_m, b_m] \quad (17)$$

E . (17) ile verilen ifadede  $P$ , bir matris olup a a ıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$P = \begin{bmatrix} 1/2 & \cos\left(\frac{2\pi \cdot 1}{T} \cdot 2\right) & \sin\left(\frac{2\pi \cdot 1}{T} \cdot 2\right) & \dots & \cos\left(\frac{2\pi \cdot m}{T} \cdot 2\right) & \sin\left(\frac{2\pi \cdot m}{T} \cdot 2\right) \\ 1/2 & \cos\left(\frac{2\pi \cdot 1}{T} \cdot 3\right) & \sin\left(\frac{2\pi \cdot 1}{T} \cdot 3\right) & \dots & \cos\left(\frac{2\pi \cdot m}{T} \cdot 3\right) & \sin\left(\frac{2\pi \cdot m}{T} \cdot 3\right) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/2 & \cos\left(\frac{2\pi \cdot 1}{T} \cdot n\right) & \sin\left(\frac{2\pi \cdot 1}{T} \cdot n\right) & \dots & \cos\left(\frac{2\pi \cdot m}{T} \cdot n\right) & \sin\left(\frac{2\pi \cdot m}{T} \cdot n\right) \end{bmatrix} \quad (18)$$



Son olarak, Fourier serisi hata düzeltim i lemi kullanarak elde edilen ifade E . (19)'da verilmektedir.

$$x_{\pm f}(k) = \bar{x}^{(0)}(k) - \varepsilon_0(k), \quad k = 2, 3, \dots, n + 1 \quad (19)$$

Yukarıda ifade edilen modellerin do rulu unu incelemek ve serinin gerçek ile tahmin de eri arasındaki farkı ortaya koymak amacıyla sırasıyla hata, göreceli yüzde hata ve ortalama göreceli yüzde hata E .(20), E .(21) ve E .(22) ile hesaplanmaktadır [17,18].

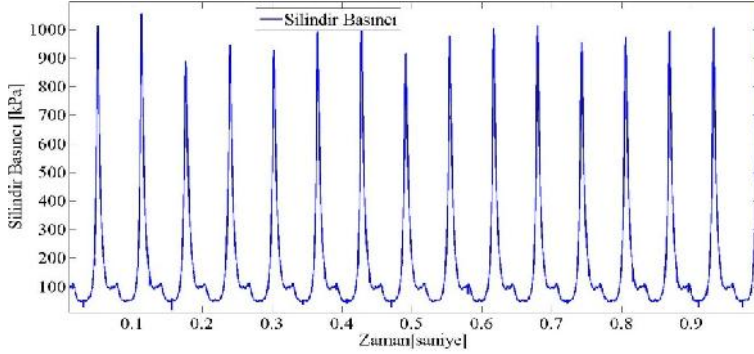
$$Hata = x^{(0)}(k) - \bar{x}^{(0)}(k) \quad (20)$$

$$GYH = \frac{|Hata|}{x^{(0)}(k)} 100\% \quad (21)$$

$$OGYH = \frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n \frac{|Hata|}{x^{(0)}(k)} \quad (22)$$

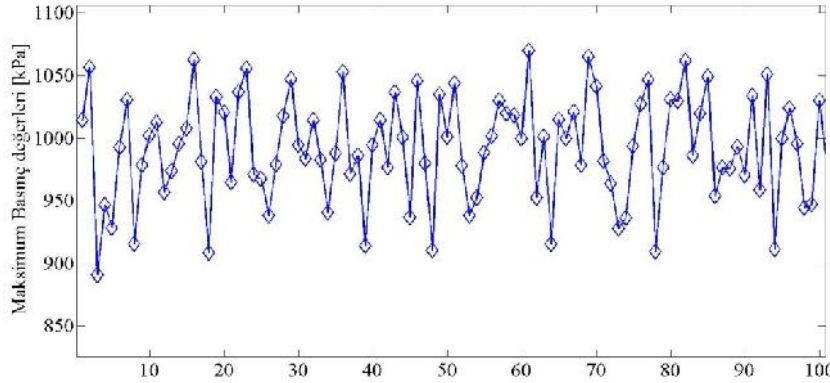
## 5. BENZET M SONUÇLARI

Bu çalı ma kapsamında, deneyler farklı devir sayılarında ve lamda de erlerinde gerçekle tirilmi tir. Öncelikle, devir sayısı 1920 dev/dk ve hava fazlalık katsayısı de erinin  $1.000 \pm 0.002$ 'e ayarlanarak elde edilen silindir içi basınç grafi i ekil 2'de gösterilmi tir.



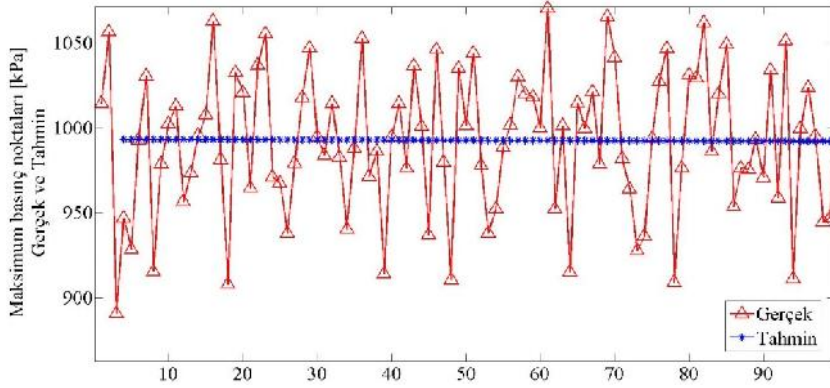
ekil 2. Ardı ik basınç çevrim grafi i

Bu artlar için, basınç e rilerinin maksimum noktalarının grafi i ise ekil 3'de verilmi tir.



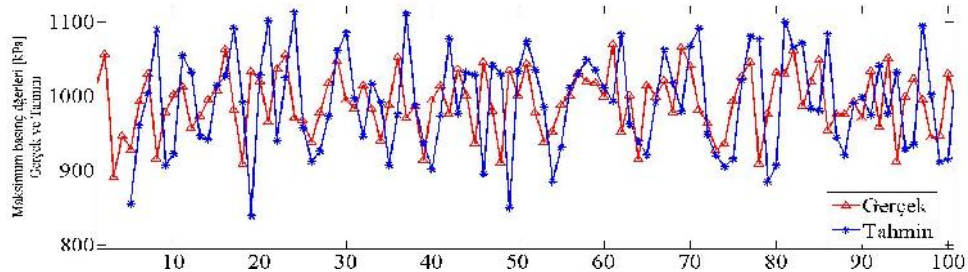
ekil 3. 100 ardı ık silindir içi maksimum basınç çevrim grafi i

Maksimum silindir basınçlarından olu an dizi kullanılarak uygulanan GM(1,1) modelinin sonucunda gerçek ve kestirilen basınç de erleri grafiksel olarak ekil 4’de gösterilmi tir.



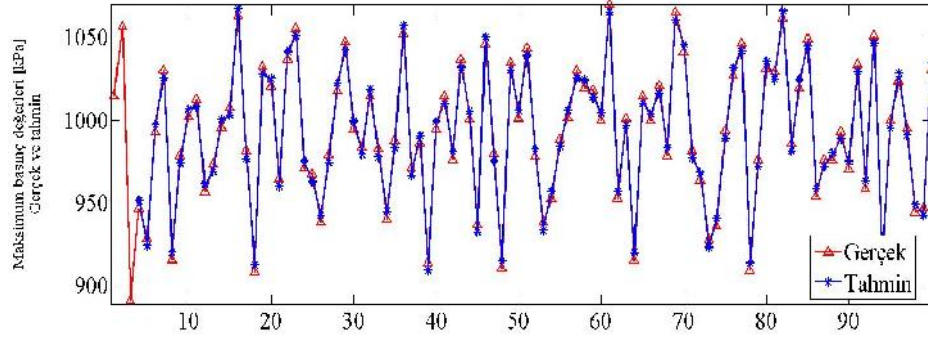
ekil 4. Gerçek ve GM(1,1) ile öngörülen silindir içi maksimum basınç çevrim grafi i

ekil 4’den görülece i üzere, GM(1,1) modeli, verinin çok fazla rassal ve belirsiz olmasından dolayı gerçek basınç de erlerinin tahmin edilmesinde iyi sonuçlar vermemi tir. Bu nedenle, aynı veriler üzerine yuvarlanan gri model uygulanmı ve sonuçları ekil 5’de gösterilmi tir.



ekil 5. Gerçek ve YGM(1,1) ile öngörülen silindir içi maksimum basınç çevrim grafi i

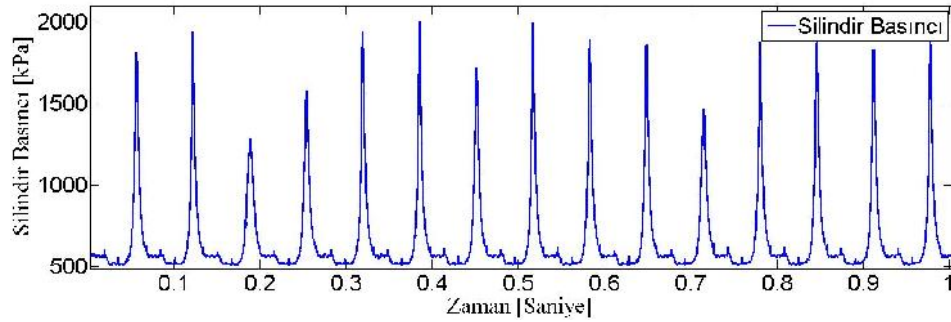
ekil 5'den görülece i gibi tahmin edilen maksimum basınç de erleri gerçek de erlere oldukça yakla mı tır. Son olarak, Fourier hata düzeltmeli GM(1,1) modeli veriler üzerine uygulanmı ve sonuçlar ekil 6 ile gösterilmi tir.



**ekil 6.** Gerçek ve Fourier hata düzeltmeli GM(1,1) ile öngörülen silindir içi maksimum basınç çevrim grafi i

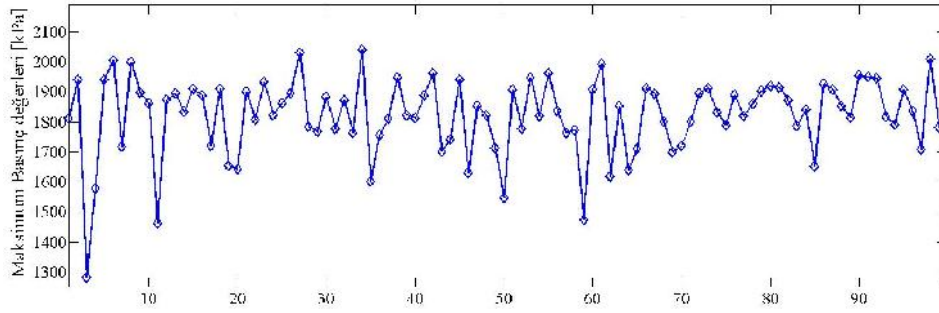
ekil 6'de görüldü ü üzere, Fourier hata düzeltmeli gri öngörücüsü ile maksimum basınçların tahmini ile gerçek veriler arasındaki hata farkı oldukça azalarak öngörü ba arımı önemli derecede artmı tır.

kinici olarak, deney artları devir sayısı 2030 dev/dk, hava fazlalık katsayısı de eri  $1,131 \pm 0.002$ 'ye ayarlanarak ve motorun yüklenmesiyle elde edilen verilere GM(1,1) modeli uygulanmı tır. Bu artlar için silindir içi basınç e rileri ekil 7'da gösterilmi tir.



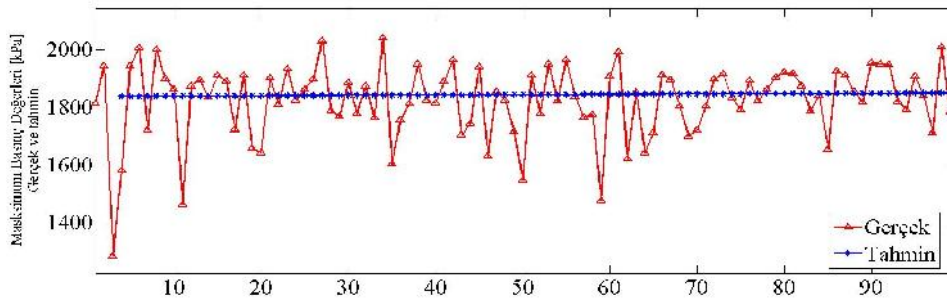
**ekil 7.** Ardı ik basınç çevrim grafi i

Bu artlar için olu an basınç e rilerinin maksimum noktalarının grafi i ise ekil 8'de verilmi tir.



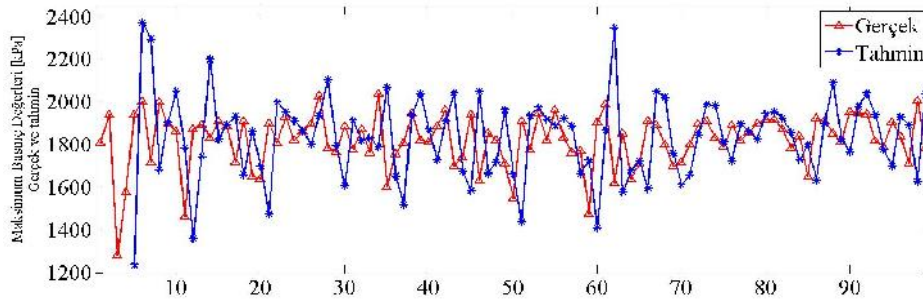
ekil 8. 100 ardı ık silindir içi maksimum basınç çevrim grafi i

Maksimum silindir basınçlarından olu an dizi kullanılarak uygulanan GM(1,1) modelinin sonucunda gerçek ve kestirilen basınç de erleri grafiksel olarak ekil 9'de gösterilmi tir.



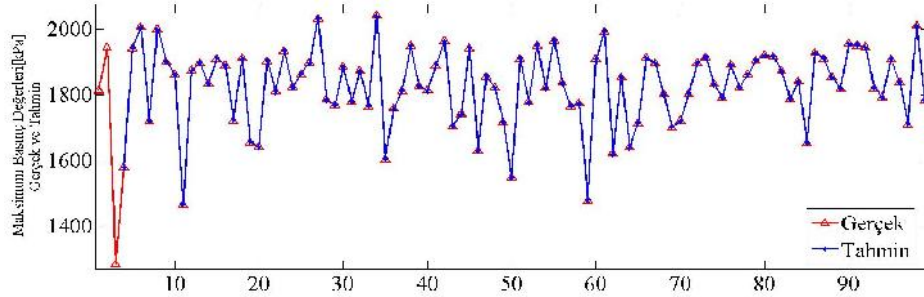
ekil 9. Gerçek ve GM(1,1) ile öngörülen silindir içi maksimum basınç çevrim grafi i

ekil 9'dan görülece i üzere, bir önceki deney artlarının sonuçlarına benzer sonuçlar elde edilmi tir. Bu verilerin çok fazla rassal ve belirsiz yapıda olmasından dolayı aynı veriler üzerine yuvarlanan gri model uygulanmı ve sonuçları ekil 10'de gösterilmi tir.



ekil 10. Gerçek ve YGM(1,1) ile öngörülen silindir içi maksimum basınç çevrim grafi i

Son olarak, Fourier hata düzeltmeli GM(1,1) modeli veriler üzerine uygulanmış ve sonuçlar ekil 11 ile gösterilmiştir.



**ekil 11.** Gerçek ve Fourier hata düzeltmeli GM(1,1) ile öngörülen silindir içi maksimum basınç çevrim grafiği

Tablo 1’de, her iki deney için 10 adet örnek alınarak gerçek ve GM(1,1), YGM(1,1) ve Fourier hata düzeltmeli GM(1,1) tahmin modelleri ile elde edilen verilerin sırasıyla E .(21) ve E .(22) ile hesaplanan göreceli yüzde hata ve ortalama göreceli yüzde hata değerleri verilmiştir.

Tablo 1’den de görüleceği üzere, Fourier hata düzeltmeli GM(1,1) modelinde ortalama göreceli yüzdeler hata ve göreceli yüzdeler hata değerlerine bakıldığında GM(1,1) ve yuvarlanan GM(1,1) modellerine göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

**Tablo 1.** Gerçek ve tahmin edilen maksimum basınçlar ve hata değerleri

Deney No.	Gerçek Değerler	GM(1,1)		Yuvarlanan GM(1,1)		Fourier Hata Düzeltmeli GM(1,1)	
		Tahmin	GYH(%)	Tahmin	GYH(%)	Tahmin	GYH(%)
1	946,83	993,3381	4,911	749,96	20,7919	951,3977	0,48242
2	1579,14	1837,9	16,43	848,15	46,29	1571,335	0,4942
1	928,491	993,3254	6,982	1005,9	8,3435	923,9283	0,49142
2	1941,47	1838	5,29	1932,4	0,4671	1943,478	0,10346
1	992,848	993,3126	0,046	910,52	8,2914	997,4127	0,45976
2	2006,14	1838,1	8,37	2374,2	18,3467	2004,133	0,100043
1	1030,5	993,2998	3,609	1061,1	2,9694	1025,9	0,446385
2	1719,43	1838,3	6,91	2072,6	20,53	1721,4	0,11457
1	915,62	993,2870	8,482	1069,5	16,8061	920,1847	0,49854
2	2000,67	1838,4	8,11	1471,9	26,42	1998,7	0,098467
1	978,689	993,2742	1,490	812,84	16,9457	974,1268	0,466154
2	1898,02	1838,5	3,13	2321,9	22,33	1900,02	0,10537
1	1002,2	993,2614	0,891	1045,7	4,3404	1006,7	0,44901
2	1862,95	1838,6	1,307	1800,2	3,36	1860,94	0,107893
1	1012,8	993,2487	1,930	1026,2	1,3230	1008,2	0,454186
2	1463,3	1838,8	25,66	1828,6	24,96	1465,63	0,15923
1	956,808	993,2359	3,807	1023,5	6,9702	961,3727	0,47708
2	1873,9	1838,9	1,86	1147,1	38,78	1871,9	0,106729
1	973,541	993,2231	2,02	903,68	7,1752	968,9783	0,468671
2	1895,13	1839	3,014	2380	25,58	1897,13	0,10553
OGYH			%3,417 %8,11		%9,395 %22,71		%0,4693 %0,1495

OGYH: Ortalama Göreceli Yüzdeler hata

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada silindir içi basınç değerlerinden elde edilen maksimum basınç değerlerini kullanarak bir sonraki motor çevriminde meydana gelebilecek maksimum basınç değeri öngörülme çalışılmıştır. Ardı ardışık çevrimlerdeki maksimum basınç değerleri rastgele bir şekilde gerçekleştiren öngörülebilir için farklı gri modelleri uygulanmıştır. Önerilen bu gri öngörücüler, serilerin rassallık dereceleri arttıkça geliştirilebilir olmasından dolayı bu tür zorlukların üstesinden gelebilecek yeteneklere sahiptir. Yapılan bu çalışmada, GM(1,1) modelinin monoton süreçlerde ve YGM(1,1)'in ise uzun süre devam eden veri dizileri üzerinde doğrudan tahminlerde bulunmasına rağmen, kullanılan serilerin çok fazla gürültü içermesi probleminden dolayı iyi bir performans sergileyemedikleri gösterilmiştir. Bununla birlikte, çalışmada uygulanan Fourier hata düzeltme yöntemi ile gri modelin doğruluğu ve etkinliği artırılmıştır. Ayrıca, tüm modellerden elde edilen sonuçlar grafiksel ve örnek tablo ekinde gösterilerek karşılaştırılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Eyido an M., Çanakçı M., Özsezen A. N., Alptekin E., Türkcan A., Kılıçaslan .., (2011), *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26(3), p. 499-507.
- [2] Ozdor N., Dulger M., Sher E., (1994), *SAE Technical Paper*, 940987.
- [3] Daw C., Finney C., Green J., Kennel M., (1996), *SAE Technical Paper*, 962086.
- [4] Wagner R., Drallmeier J., ve Daw C., (1998), *SAE Technical Paper*, 981047.
- [5] Deng J.L., (1982), *System and Control Letters*, 5, p. 288-294.
- [6] Kayacan E., Uluta B., Buyuksalvarci A., Kaynak O., 11. Ulusal Finans Sempozyumu, 17-20 Ekim 2007, Zonguldak, Türkiye, p. 215-229.
- [7] Mingli L., Zuren F., Qingsong S., (2010), *Networking, Sensing and Control (ICNSC)*, International, Chicago, USA, p.631- 636.
- [8] Cui H., Liu Y., and Zhai Y., (2002), *SAE Technical Paper*, 2002-01-1741.
- [9] Sun C.C., Lin G.T., (2009), *Journal of Scientific & Industrial Research*, 68, p.354-360.
- [10] Aka D., Atak M., (2007), *Energy*, 32(9), p.1670-1675.
- [11] NI PCI-6259, (2011), *Technical Documents*.
- [12] Liu S., Lin Y., (2010), *Grey Systems Theory and Application*, Springer.
- [13] Kayacan E., Ulutas B., Kaynak O., (2010), *Expert System With Applications*, 37(2), p.1784-1789.
- [14] Askari M., Fetanat A., (2011), *Journal of Applied Sciences*, 11, p.3034-3038.
- [15] Deng J.L., (1989), *The Journal of Grey System*, 1, p.1-24.
- [16] Kayacan E., Kaynak O., (2011), *Expert System With Applications*, 38, p.9499-9505.
- [17] Huang Y. L., Lee Y., (2011), *Modern Economy*, 2, p.823-829.
- [18] Huang Y. L., Lee Y., Chang T.P., (2009), *Expert Systems with Applications*, 36, p.9658-9662.