

COMMON RAIL DİZEL MOTORLARDA YAKIT ENJEKSİYON BASINCI KONTROL YÖNTEMLERİ

Mustafa AYDIN¹, Abdurrazzak AKTAŞ²

¹Karabük Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, 78100, Karabük,
TÜRKİYE
m.aydin@karabuk.edu.tr

²Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, 78100, Karabük,
TÜRKİYE

Özet- Dizel motorlarda enjeksiyon basıncı motor performansını, yakıt tüketimini ve emisyonlarını doğrudan etkilediğinden hassas ve etkili kontrolü gerekmektedir. Çünkü enjeksiyon basıncı, gerek yüksek basınç pompasının yapısından kaynaklanan gerekse enjeksiyon sırasında oluşan dalgalanmalar nedeniyle lineer olmayan, zaman değişkenli ve bozucu etkilerden çok çabuk etkilenen bir değişkendir. Bu nedenle geleneksel yöntemlerle, özellikle anlık ve büyük ölçekli yük değişimi sırasında hassas bir basınç kontrolü sağlanamadığı için motorun ihtiyaç duyduğu yakıt doğru hesaplanamamakta dolayısıyla motor performansı ve emisyonları olumsuz etkilenmektedir. Bu çalışmanın amacı; common rail basıncının kontrol yöntemlerini incelemektir.

Anahtar Kelimeler- Enjeksiyon basıncı, kontrol yöntemi, motor performansı, emisyon

INJECTION PRESSURE CONTROL METHODS OF COMMON RAIL DIESEL ENGINE

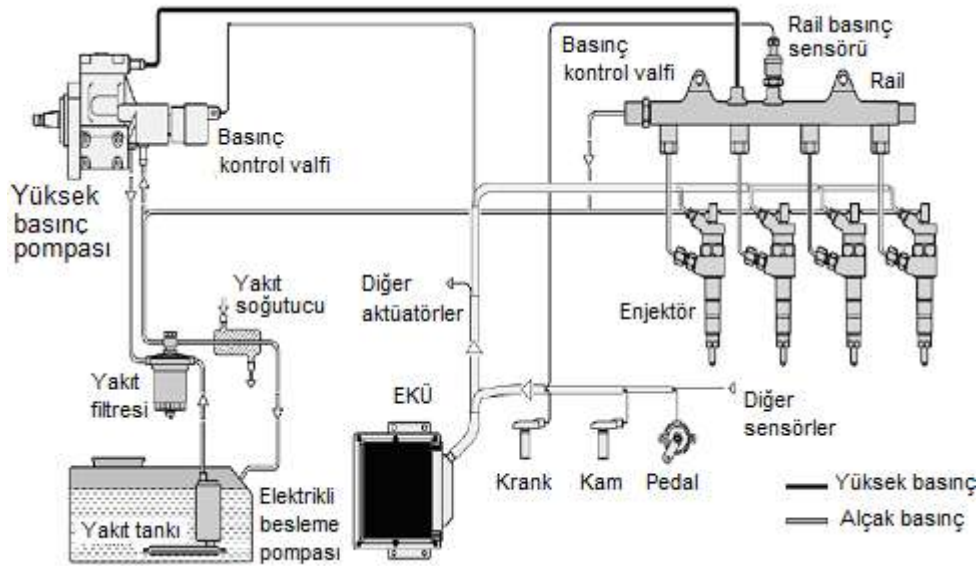
Abstract- Injection pressure in diesel engine effects on engine performance, emissions and fuel consumption directly. Due to the importance of injection pressure, it needs precise and accurate control on different working conditions. Injection pressure is a nonlinear, time-variable parameter because of pressure fluctuations that are caused by injection process and structure of high pressure pump. Besides, it can be impressed by many varied disturbing factors rapidly. Owing to these phenomena, precise and accurate control of injection pressure could not be achieved through instant and high loads alterations when the traditional control methods are used. So the fuel that the engine needs during working conditions cannot be determined exactly. Therefore engine performance and emissions are affected negatively. In this study, the injection control methods of common rail diesel engine were examined.

Key Words- Injection pressure, control method, engine performance, emissions

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gün geçtikçe sıkılaştıran emisyon standartları ve petrol kökenli yakıtların azalan ömürleri, yakıt enjeksiyon sistemlerini otomotiv sektöründe motor performansı, yakıt tüketimi ve emisyonları bakımından en önemli bileşenlerden biri haline getirmiştir. Dizel motorlarda enjeksiyon basıncı, zamanlaması ve sayısı kontrol edilerek yakıt-hava karışımı iyileştirilebilmekte böylece iyi bir yanmanın gerçekleşmesi sağlanabilmektedir. Bu nedenle motor performansını artırmada, yakıt

tüketimini ve emisyonları düşürmede yakıt enjeksiyon basıncı kontrolü önemli rol oynamaktadır. Günümüz dizel motorlarında yakıtın 20-25 Mpa' a varan yüksek basınçta enjeksiyonu ile PM emisyonlarında ve özgül yakıt tüketiminde iyileşmeler sağlanmıştır [1-5]. Ancak bu iyileşmeler ile birlikte NOx emisyonlarında, maksimum silindir içi basıncında ve yüksek basınç pompasının harcamakta olduğu güçte de bir artış olmuştur [6]. Şekil 1' de yüksek basınçlı enjeksiyon yapan Common Rail Sistemi (CRS) görülmektedir. Sistem besleme pompası ve filtrenin olduğu alçak basınç devresi ile yüksek basınç pompası, ortak yakıt hattı ve enjektörlerin bulunduğu yüksek basınç devresi olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Besleme pompasının yakıt tankından yüksek basınç pompasına gönderdiği yakıt burada sıkıştırılarak yüksek basınç altında ortak yakıt hattına gönderilir. Elektronik Kontrol Ünitesi (EKÜ) ortak yakıt hattı üzerindeki basınç sensöründen aldığı bilgiye göre basınç kontrol valfine uyguladığı PWM (Pulse width Modulation) sinyalinin görev oranını değiştirerek yakıt basıncını kontrol eder. Motorun çalışma koşullarına göre ihtiyaç duyduğu yakıt EKÜ tarafından basınç kontrol valfi ve elektro-hidrolik enjektöre kumanda edilerek optimum enjeksiyon kontrolü sağlanır [7-9].



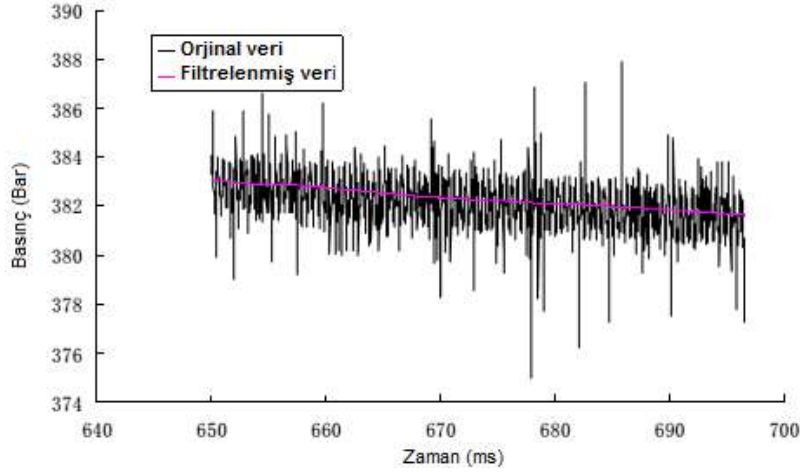
Şekil 1. Common Rail Yakıt Enjeksiyon Sistemi

Common railli (ortak hatlı veya müşterek manifoldlu) dizel motorlarda yakıt enjeksiyon basıncı, motor performansı ve emisyonlarını doğrudan etkilediğinden, hassas bir basınç kontrolü oldukça önemlidir. Bu çalışmada yüksek basınç pompasının çalışma prensibi ve enjeksiyon esnasında railden yakıt kaçıışı nedeniyle oluşan bozucu etkilerin common rail enjeksiyon basıncında meydana getirdikleri basınç dalgalanmaları ve bu bozucu etkilere karşı kontrol yöntemleri ayrıntılı olarak incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

2. ENJEKSİYON BASINCI KONTROL YÖNTEMLERİ (INJECTION PRESSURE CONTROL METHODS)

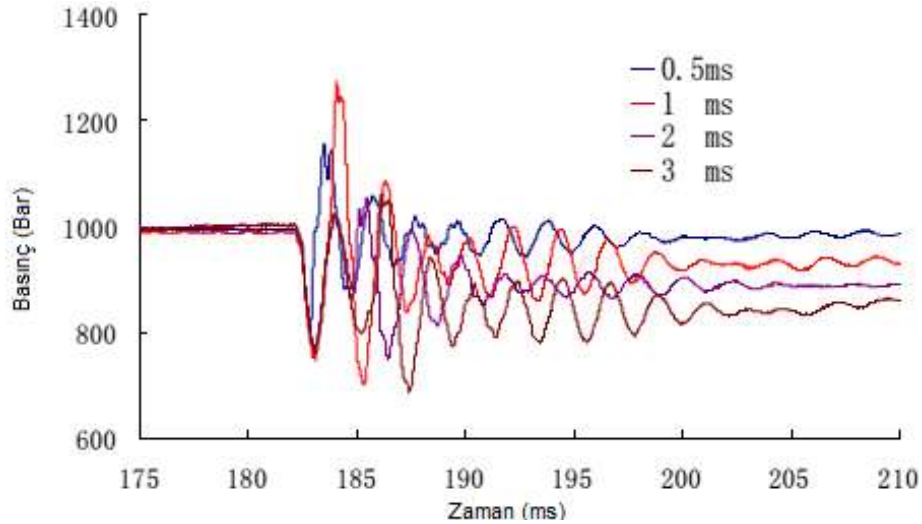
Common rail enjeksiyon sisteminde rail basıncı EKÜ'nün basınç kontrol valfine uyguladığı 1 kHz lik PWM sinyalinin görev oranını değiştirmesiyle kontrol edilir. Common rail enjeksiyon sisteminde yüksek basınç pompasının çalışma prensibi dolayısıyla boşa çalışma durumunda bile basınç dalgalanmaları oluşmaktadır. Pompa yapısında bulunan üç pistonlu yakıt sıkıştırma

birimi motor kam milinden aldıkları hareketle sırası ile yakıtı sıkıştırarak common raile göndermektedir. Motor devrinin değişmesi ve her pistonun belirli bir basınçta sıkıştırarak gönderdiği yüksek basınçlı yakıt Şekil 2’de görüldüğü gibi rail basıncında dalgalanmalara sebep olmaktadır [10].



Şekil 2. Yüksek basınç pompası çalışma prensibi gereği rail basıncında oluşan dalgalanma [10].

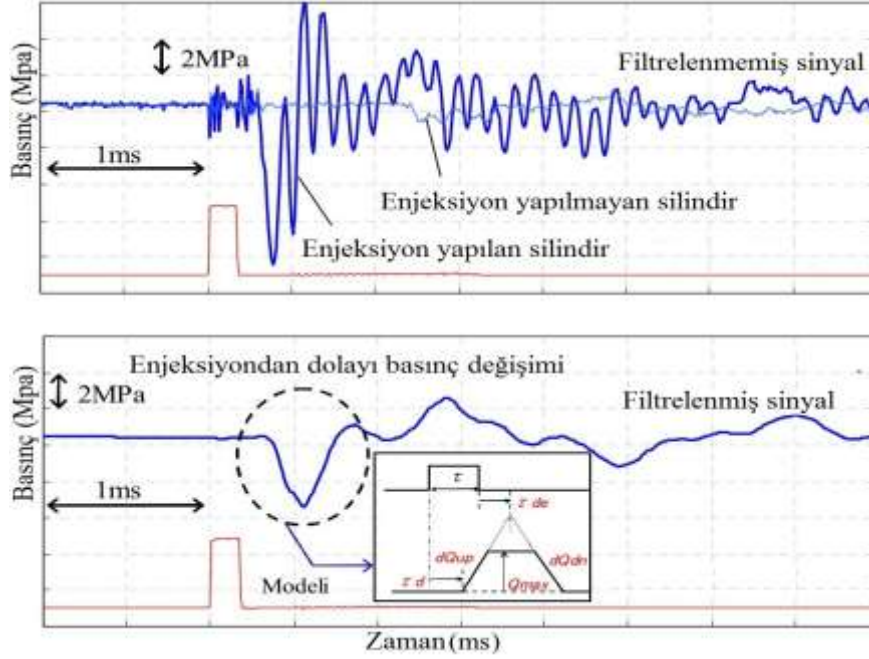
Enjeksiyon esnasında enjektörün yakıt püskürtmeye başlaması ile railde hazır bulunan yüksek basınçlı yakıt miktarında bir azalma nedeniyle enjeksiyon basıncı ve süresine bağlı olarak rail basıncında bir dalgalanma oluşmaktadır. Şekil 3’te enjektörün açılması ile birlikte yüksek basınçlı yakıtın püskürtülmesi esnasında rail basıncında oluşan dalgalanma görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi belirli bir basınç altında enjeksiyon süresi arttıkça rail basıncında oluşan dalgalanmalar artmakta ve basıncın tekrar kararlı hale gelme süresi uzamaktadır [10].



Şekil 3. Enjeksiyon süresine bağlı olarak rail basıncında oluşan dalgalanma [10].

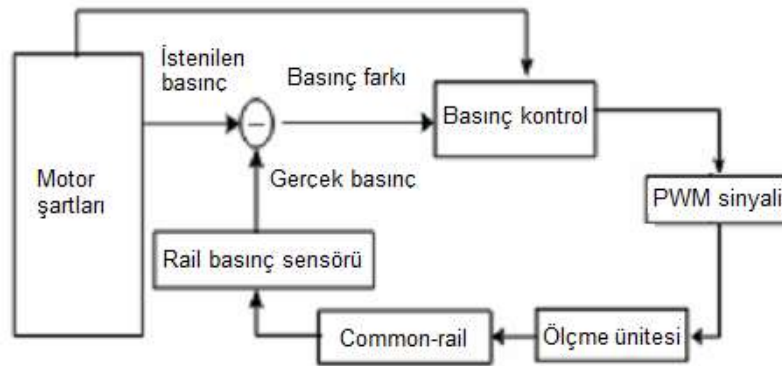
Miyura et al. dizel motorlarda enjeksiyon esnasında oluşan basınç dalgalanmalarının silindir içine gönderilen yakıt miktarı hesaplamalarında dikkate alınması gerektiğini ifade ederek enjeksiyon esnasındaki basınç değişimini enjektör içine yerleştirdikleri bir basınç sensörü ile anlık olarak ölçmüşler ve yakıt miktarı kontrolü hesabına dahil etmişlerdir. Böylece geleneksel ve doğrudan olmayan yakıt miktarı hesaplama yöntemleri yerine basınç değişiminin hızlı ve

anlık olarak değerlendirilmesi sonucu hassas bir yakıt miktarı kontrolü yapmışlardır. Enjeksiyon basıncının anlık değerlendirilmesi sonucu yakıt miktarı hesaplanmasının daha düşük sıkıştırma oranlarında yanmayı iyileştirdiğini ve emisyonları azalttığını ifade etmişlerdir [11]. Şekil 4'te enjeksiyon esnasında yakıt basıncında meydana gelen dalgalanma görülmektedir.



Şekil 4. Enjeksiyon anında rail basıncının anlık değişimi [11].

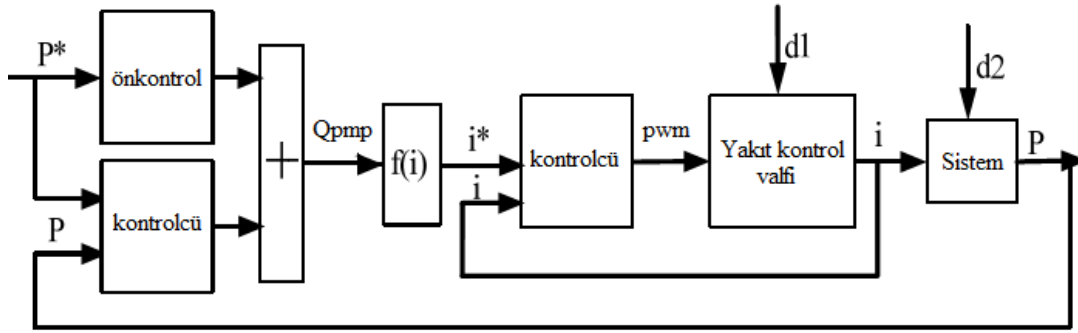
Common railli dizel motorlarda EKÜ motorun çalışma şartlarına göre ihtiyaç duyduğu yakıt enjeksiyon basıncı ve süresine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Ancak rail basıncında oluşan bu dalgalanmalar yakıt miktarının hassas olarak hesaplanmasına engel olmaktadır. Dolayısıyla motor performansı ve emisyonları olumsuz yönde etkilenmektedir. Hassas bir yakıt enjeksiyonunun yapılabilmesi için rail basıncı kararlılığı ve kontrolü büyük önem arz etmektedir. Şekil 5'te rail basıncı kontrol prensibi gösterilmektedir. Sistemde motorun çalışma şartlarına göre ihtiyaç duyduğu yakıt basıncı, gerçek rail basıncı ile kıyaslanarak basınç sensörüne uygulanan PWM sinyali görev oranı değiştirilerek ayarlanmakta, böylece motorun o anki ihtiyacına göre uygun enjeksiyon basıncı değeri sağlanmaktadır.



Şekil 5. Rail basıncı kontrol prensibi.

Daha önce bahsedilmiş olan bozucu etkilerin rail basıncında oluşturduğu dalgalanmaların ve basınç değişimlerinin hızlı bir şekilde giderilmesi ve kararlı bir basınç kontrolünün sağlanması motor performansı ve emisyonları açısından önemlidir. Literatürde rail basıncı kontrolünde anlık basınç değişimlerine hızlı cevap verebilen ve yüksek stabilizasyon sağlayabilen farklı yöntemler bulunmaktadır.

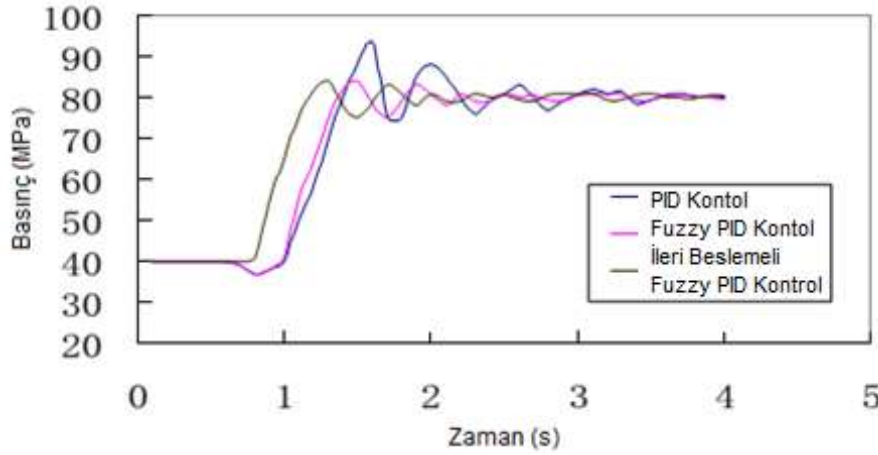
Hua et al. yaptıkları çalışmada Şekil 6'da görülen çift döngülü kontrol yöntemini kullanarak common rail basıncını kontrol etmişlerdir. Çalışmalarında ana döngü olarak rail basıncı döngüsünü, yardımcı döngü olarak kontrol valfi akımı döngüsünü kullanmışlardır. Akım döngüsünün kontrol valfi çalışmasından kaynaklanan bozucu etkileri elimine ettiğini böylece sistemin performansını artırdığını ifade etmişlerdir. Kullandıkları çift döngülü kontrol tekniği ile rail basıncı kararlı hal dalgalanmasının ± 1 MPa, geçiş durumu dalgalanmasının ise ± 3 MPa olarak ölçüldüğünü dolayısı ile kullandıkları kontrol yönteminin etkili olduğunu ifade etmişlerdir [12].



Şekil 6. Çift döngülü kontrol yöntemi [12].

Liu et al. çalışmalarında common rail basıncının enjeksiyon miktarını ve hızını doğrudan etkilediğini dolayısıyla hassas bir enjeksiyon basıncı kontrolünün enjeksiyon karakteristiğini ve motor performansını iyileştirebileceğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında common rail basıncının kapalı-döngü PID kontrol yöntemi ile stabilizasyonu üzerine çalışmışlardır [13].

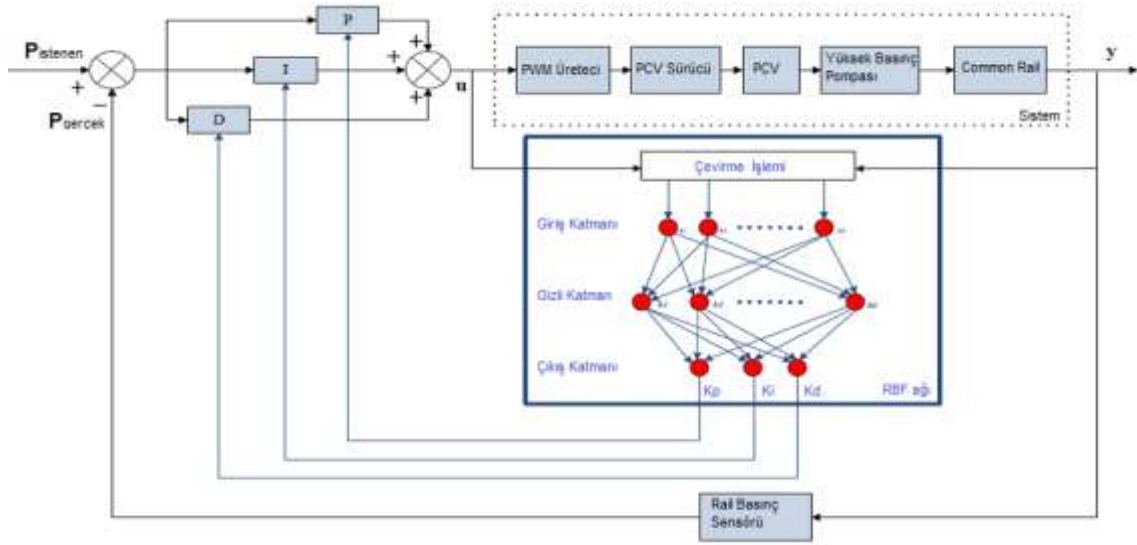
Haifeng et al. ise mekanik, elektronik ve hidrolik bileşenlerden oluşan common rail sisteminin, lineer olmayan ve zaman değişkenli bir sistem olduğundan dolayı kontrol edilmesinin güç ifade etmişlerdir. Geleneksel PID yöntemiyle özellikle anlık ve büyük ölçekli yük değişimlerinde hassas bir common rail basıncı kontrolünün mümkün olmadığını ifade ederek yüksek basınç common rail sisteminin performansını iyileştirmek için ileri beslemeli fuzzy PID kontrol yöntemini uygulamışlardır. İleri beslemeli fuzzy kontrolcünün geleneksel PID kontrolcüyeye oranla daha küçük taşma ve hata değerine, fuzzy kontrolcüyeye göre de daha hızlı tepki süresine etkin bir kararlılığa sahip olduğunu belirtmişlerdir. Böylece anlık ve belirsiz yük değişimlerine karşı sistem cevabının daha hızlı olduğunu, bütün motor çalışma koşullarında ileri beslemeli fuzzy kontrolcünün daha etkili ve kararlı bir basınç kontrolü sağladığını belirtmişlerdir. Şekil 7'de Haifeng et al. tarafından yapılan ileri beslemeli fuzzy kontrolcünün geleneksel PID ve fuzzy PID göre basınç kontrolü karakteristiği görülmektedir [14].



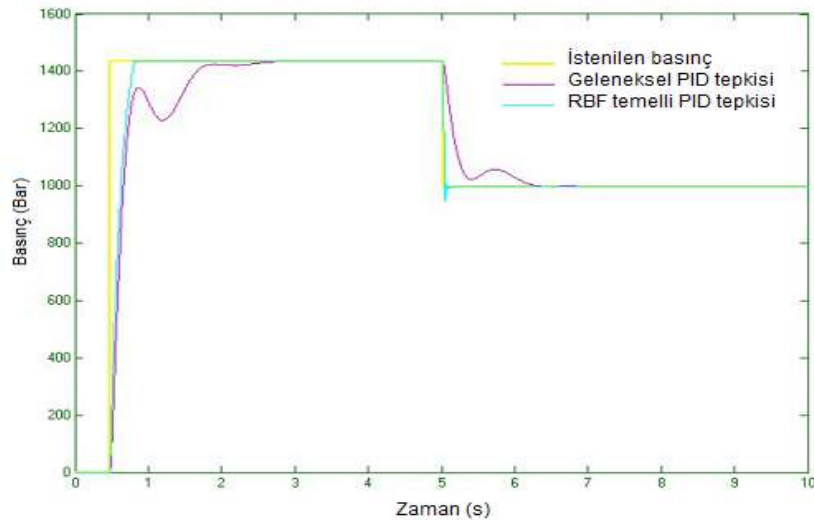
Şekil 7. Farklı kontrol yöntemlerinin karşılaştırılması [14].

Tiexiong and Shilun kayan kip kontrol, uyarlamalı kontrol, fuzzy kontrol ve kontrol sistemini kararlılığını birleştirerek oluşturdukları kayan kipli fuzzy kontrolcü ile common rail basıncının kontrolünü sağlamışlardır. Sistemin belirsizlik ve harici bozucu etkenlere karşı anlık cevabının, izleme karakteristiğinin iyi olduğunu sağlam bir kararlılık gösterdiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında geleneksel fuzzy kontrolcülerde giriş değişkeni sayısı arttıkça fuzzy temeli boyutunun üstel olarak arttığını bu nedenle fuzzy kurallarının elde edilmesinin güçleştiğini, bu problemlerin üstesinden gelmek için adaptif kanunlar ve kayan kip yüzeyinin tek bir giriş olarak entegre edilerek kontrol sistemini geliştirdiklerini ifade etmişlerdir. Böylelikle bir fuzzy kural tabanı oluşturmanın ve online olarak uygulamanın çok daha kolay olduğunu belirtmişlerdir [15].

Ji et al. common rail enjeksiyon sisteminde basınç kontrolünü sistemin hassasiyetini ve dinamik tepkisini iyileştirmek için RBF neural network temelli PID kontrolcü ile gerçekleştirmişlerdir. Şekil 8'de RBF neural network temelli PID kontrolcünün yapısı görülmektedir. RBF neural network giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olmak üzere üç katmandan oluşan ileri beslemeli bir yapıya sahiptir. Giriş katmanından gizli katmana lineer olmayan bir haritalama, gizli katmandan çıkış katmanına ise lineer haritalama kullanılmıştır. Böylece ağı öğrenme hızı artırılmış ve düşük hata oranı elde edilmiştir. Çalışma sonucunda gerçekleştirdikleri kontrolcünün değişik çalışma koşullarında geleneksel PID kontrolcüye oranla daha iyi tepki verdiğini ve rail basıncındaki değişiklikleri takip etme kabiliyetinin daha iyi olduğunu böylece railde oluşan basınç dalgalanmalarını azaltabileceğini ifade etmişlerdir. Şekil 9'da Ji et al. tarafından yapılan çalışmada iki farklı kontrolcünün basınç kontrolü ve izleme karakteristikleri karşılaştırmalı olarak görülmektedir. RBF temelli PID kontrolcünün kendi kendine ayarlama kabiliyeti sayesinde geleneksel PID kontrolcüye göre daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir [16].



Şekil 8. RBF temelli PID kontrolcü ile common rail basıncı kontrolü [16].



Şekil 9. RBF temelli PID- Geleneksel PID Basıncı kontrolü performansı karşılaştırılması [16].

An and Shao common rail basıncının kontrolünde kullandıkları tek nöron temelli PID kontrolcünün geleneksel PID kontrolcüye oranla daha üstün olduğunu ve hata payının daha küçük olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca tek nöron temelli kontrolcünün kendi kendine öğrenme ve adaptasyon özellikleri sayesinde hata oranını azalttığını ve etkili bir kontrol sağladığını belirtmişlerdir. [17].

Hong et al. basıncı kontrol valfi akımı ve rail basıncı karakteristiğini kullanarak deneysel bir model oluşturmuşlar, sistemlerine bir ölçme ünitesi ekleyerek hem basıncı kontrol valfi için hem de ölçme ünitesi için iki ayrı algoritma kullanmışlardır. Böylelikle rail basıncı dalgalanmasını azaltmışlar ve gerçekleştirdikleri deneysel model temelli kontrolcünün basıncı izleme ve geçiş durumu karakteristiklerinin başarılı olduğunu ifade etmişlerdir [18].

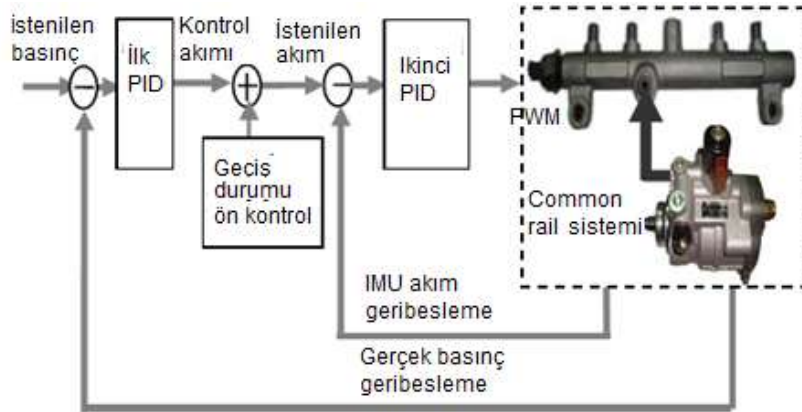
Weijun and Linna tarafından yapılan çalışmada farklı durumlar (çalışma, geçiş, normal, kapalı ve hata) için farklı rail basıncı kontrol stratejileri geliştirilmiştir. Genetik algoritma temelli PID

kontrolcü tasarımında kullandıkları integral ayırıcı ile taşma önemli ölçüde azaltılmış, ön kontrol teknolojisi ile de oturma zamanı kısılırken rail basınç dalgalanması da azaltılmıştır [19].

Lino et al. tarafından yapılan çalışmada common rail basıncının kontrolünde kayan kip kontrol yöntemi kullanılmıştır. Çalışmalarında rail basıncını yüksek basınç pompası çalışma prensibi ve enjeksiyon esnasında railden yakıt kaçıışı nedeniyle oluşan bozucu etkilere karşı sistemin hızlı tepki verdiğini gözlemlemişlerdir [20].

Luo et all. ise common rail basıncını daha stabil olarak kontrol ettikleri çalışmalarında rail basıncı hata sinyali değerinin büyüklüğüne göre PID kontrol işlemini 10 faza ayırarak her faz için farklı PID parametreleri kullanmışlardır. Açık döngü kontrolü kullanılan common rail sistemlerinde rail basıncı hata sinyalinin ± 10 MPa' a kadar yükselebildiğini, geliştirdikleri yöntemde ise ± 3 MPa' a kadar düşürdüklerini ifade etmişlerdir [21].

Wei et al. yaptıkları çalışmada Şekil 10'da görülen çift katmanlı kapalı döngü kontrol yöntemini kullanmışlardır. Common rail üzerinde bulunan ölçme ünitesi karakteristiğinin çevresel şartlar ve sürücü gerilimi gibi etkenler nedeniyle değişkenlik gösterdiğini dolayısıyla rail basıncının bu bozucu faktörlerden etkilendiğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında hassas bir basınç kontrolü ve stabilizasyonu sağlayabilmek için ilk katmanda, rail yakıt ölçme ünitesi karakteristiğini tespit ederek rail basıncı hata sinyaline göre basınç kontrol valfi akımını ayarlayan sistem ikinci katmanda da rail basıncı hata sinyaline göre basınç kontrol valfi PWM kontrol sinyalinin görev oranını ayarlamıştır. Ayrıca çalışmalarında enjektörün yakıt geri dönüş karakteristiğini rail basıncının kontrolünde yardımcı olarak kullanarak daha hassas bir basınç kontrolü sağlamışlardır [22].



Şekil 10. Çift katmanlı kapalı döngü kontrol yöntemi [22].

3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Enjeksiyon sırasında enjektörden silindir içine gönderilen yakıt ve yüksek basınç pompasının yapısından kaynaklanan basınç dalgalanmaları nedeniyle açık döngü kontrol yöntemiyle yapılan basınç kontrolü yetersiz kalmaktadır. Enjeksiyon basıncı kontrolünde bozucu etkilerin giderilmesi ancak kapalı döngü kontrol yöntemlerinin uygulanması ve farklı durumlara göre değişken kontrol tekniklerinin uygulanması ile mümkün olmaktadır. Literatürden de anlaşıldığı gibi değişik çalışma koşulları ve farklı durumlar için common rail basıncının kontrolünde en uygun yöntemin uygulanması gerekmektedir. Bu nedenle değişik durumlar için farklı PID parametreleri ile yapılan kontrolün rail basıncı izleme ve dalgalanma tepkilerinde daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Common rail sistemlerinde enjeksiyon basıncının bozucu etkilerden dolayı yüksek değişkenlik gösterdiği ve geleneksel yöntemlerle yapılan kontrolün basınç stabilizasyonu karakteristiğinin yetersiz kaldığı görülmüştür. Farklı kontrol teknikleri kullanılarak yapılan enjeksiyon basıncı kontrolünün farklı stabilizasyon ve tepki sürelerine sahip olduğu, Luo et al. tarafından yapılan çalışmada rail basıncı hata sinyali büyüklüğüne göre farklı PID parametreleri kullanılarak yapılan rail basıncı kontrolünün basınç izleme karakteristiği bakımından daha iyi stabilizasyon gösterdiği anlaşılmaktadır.

Common rail yakıt enjeksiyon sistemlerinin yapılarının anlaşılması, geliştirilmesi ve araştırma çalışmalarında kullanılması ülkemizde içten yanmalı motorlar konusunda ve bu alandaki literatüre katkı sağlayacaktır.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Gumus, M., Sayin, C., and Canakci, M., (2012). The impact of fuel injection pressure on the exhaust emissions of a direct injection diesel engine fueled with biodiesel–diesel fuel blends, *Fuel*, 95, 486-494.
2. Agarwal, A. K., Srivastava, D. K., Dhar, A., Maurya, R. K., Shukla, P. C., and Singh, A. P., (2013). Effect of fuel injection timing and pressure on combustion, emissions and performance characteristics of a single cylinder diesel engine. *Fuel*, 111, 374-383.
3. Agarwal, A. K., Dhar, A., Srivastava, D. K., Maurya, R. K., and Singh, A. P., (2013). Effect of fuel injection pressure on diesel particulate size and number distribution in a CRDI single cylinder research engine, *Fuel*, 107, 84-89.
4. Le, M. K., & Kook, S., (2015). Injection Pressure Effects on the Flame Development in a Light-Duty Optical Diesel Engine. *SAE International Journal of Engines*, 8, 609-624.
5. Liu, J., Yao, A., and Yao, C., (2015). Effects of diesel injection pressure on the performance and emissions of a HD common-rail diesel engine fueled with diesel/methanol dual fuel, *Fuel*, 140, 192-200.
6. Hountalas, D. T., Kouremenos, D. A., Binder, K. B., Schwarz, V., and Mavropoulos, G. C., (2003). Effect of injection pressure on the performance and exhaust emissions of a heavy duty DI diesel engine, *SAE Technical Paper No. 2003-01-0340*.
7. O. Chiavola, P. And Giulianelli, (2001). Modeling and simulation of common rail systems, *SAE Technical Paper No. 2001-01-3183*.
8. Ficarella, D. Laforgia, V. Landriscina, (1999). Evaluation of instability phenomena in a common rail injection system for high speed dieselengines, *SAE Technical Paper No. 1999-01-0192*.
9. A.E. Catania, et al., (1996). Study of automotive diesel injection-system dynamics under control, *SAE Technical Paper No. 962020*,
10. Tao, Q., Changyuan, W., Zhiqiang, F., Zhiquan, Q., and Wenhui, Y., (2010). Research on Rail Pressure Signal Processing Method of High Pressure Common Rail System, In *Optoelectronics and Image Processing (ICOIP), 2010 International Conference onn 2*, 274-276. IEEE.
11. Miyaura, T., Morikawa, A., Ito, Y., Ishizuka, K., and Tsuiki, T., (2013). Development of Diesel Engine using New Fuel Injection System-Direct Monitoring of Fuel Injection Pressure using Injector with Built-in Sensor, and its Applications, *SAE Technical Paper No. 2013-01-1739*.
12. Hua, H. D., Ma, N., Ma, J. and Huang, H. (2013). Design of rail pressure tracking controller for novel fuel injection system. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, 18, 264-270.

13. Liu, W., and Wang, J., (2011). Simulation on Pressure Control of Common Rail Line in High Pressure Fuel Injection System, *In International Conference on Computer Science and Information Technology*, 51, 508-514.
14. Haifeng, S., Gang, H., Pengzhi, L., and Xu, L., (2010). Feed forward fuzzy PID controller for common-rail pressure control of diesel engine, *In Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), International Conference on IEEE 2*, 264-267.
15. Tiexiong, H., and Shilun, G., (2009). Adaptive fuzzy sliding mode control of the common rail diesel injection system, *In Power Electronics and Intelligent Transportation System (PEITS), 2nd International Conference on IEEE*, 1, 161-165.
16. Ji, Z., Xie, X., Sun, Z., and Chen, P., (2011). Rail Pressure Control of Common Rail Diesel Engine Based on RBF Neural Network Adaptive PID Controller, *Proceedings, International Conference Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology*, (3), 1122-1125.
17. An, S., and Shao, L., (2008). Diesel engine common rail pressure control based on neuron adaptive PID, *In Cybernetics and Intelligent Systems, 2008 IEEE Conference on*, 714-717.
18. Hong, S., Shin, J., and Sunwoo, M., (2012). Common Rail Pressure Controller for Diesel Engines using an Empirical Model, *In IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 887-892.
19. Weijun, R., and Linna, Q., (2014). Diesel Common-Rail Pressure Control with Genetic Algorithm Nonlinear PID, *Computer Measurement & Control*, 5: 034.
20. Lino, P., Maione, B., and Rizzo, A. (2007). Nonlinear modelling and control of a common rail injection system for diesel engines, *Applied mathematical modelling*, 31(9), 1770-1784.
21. Luo, S., Gong, Y. and Song, X., (2012). Phases PID Controller of Common-rail Pressure for Diesel Engine Electronic Injector Test Bench, *Przegląd Elektrotechniczny*, 88, 15-17.
22. Wei, X., Mao X., Zhu, K., Feng, J., Jiang, Z and Wang. J., (2013). Research into Rail Pressure Control Strategy of Multi-stage Closed Loop based on Injector Pressure Relief for Diesel, *International Journal of Digital Content Technology & its Applications*, 7(14), 84-95.