



ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik Bilimleri Dergisi

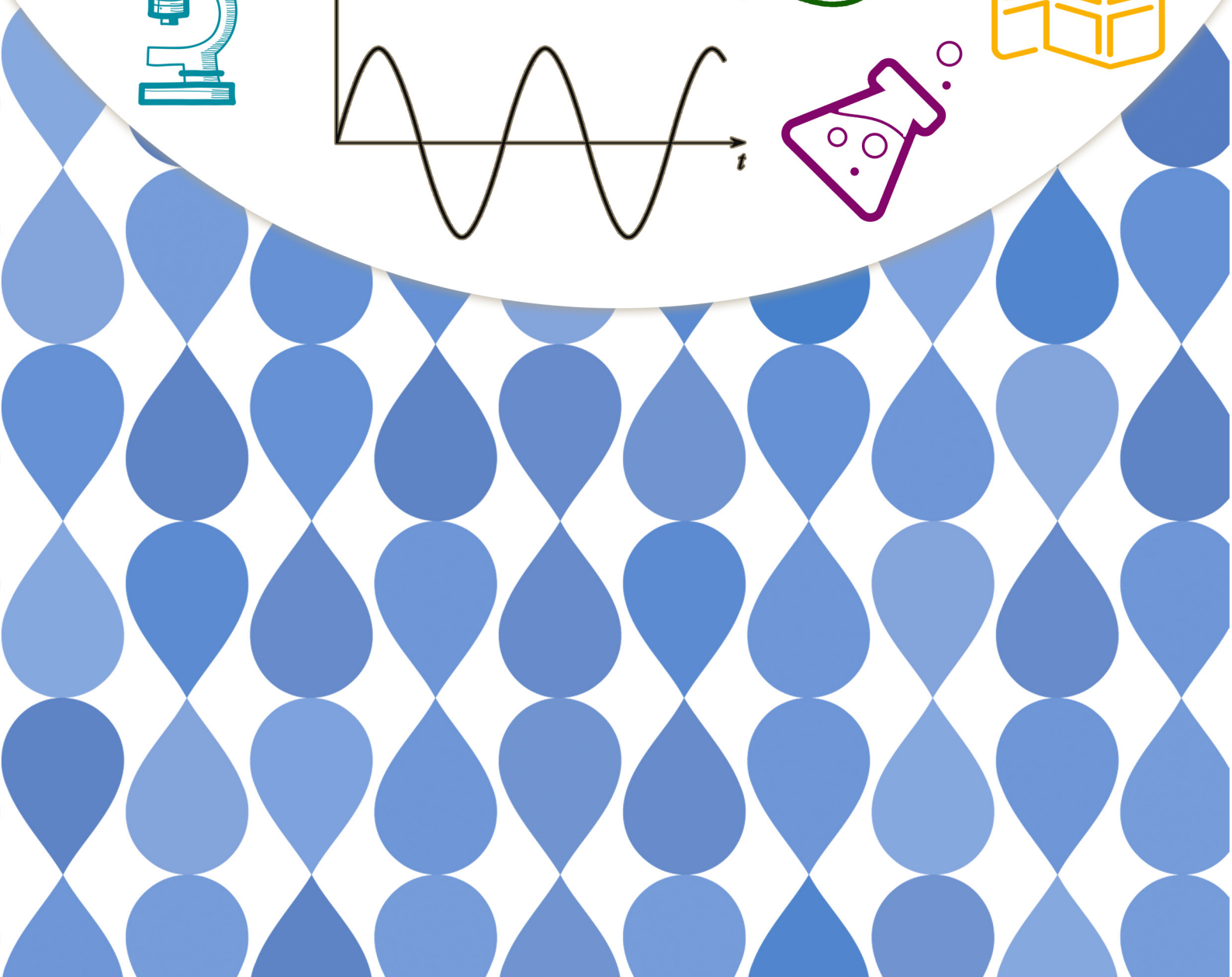
Journal of Engineering Science
of Adiyaman University

ISSN: 2149-0309

CİLT
VOLUME 5

SAYI
ISSUE 9

ARALIK
DECEMBER 2018



ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik Bilimleri Dergisi

Journal of Engineering Science of Adiyaman University

ISSN: 2149-0309

Cilt:5 Sayı:9

Dergi Yöneticisi

Prof. Dr. Murat PALA

Baş Editör

Prof. Dr. Murat PALA

Editörler

Dr. Öğr. Üyesi Şerif ÇİTİL

Dr. Öğr. Üyesi Miraç UÇKUN

Arş. Gör. Abuzer DOĞAN

Yazışma Adresi / Correspondence

Address Adiyaman Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi Dekanlığı

e-mail: mbd@adiyaman.edu.tr

Tel: 0 (416) 223 38 08

Fax: 0 (416) 223 38 09

YAYIN KURULU/ EDITORIAL BOARD

- 1-Prof.Dr. Şemsettin TEMİZ(İnönü Üniversitesi)
- 2-Prof.Dr. Murat DEMİR AYDIN(Erzurum Teknik Üniversitesi)
- 3-Prof.Dr. İbrahim TÜRKMEN..... (İnönü Üniversitesi)
- 4-Prof.Dr. Naci ÇAĞLAR(Sakarya Üniversitesi)
- 5-Prof.Dr. Abdullah ÇEVİK(Gaziantep Üniversitesi)
- 6-Prof.Dr. Seyhan FIRAT(Gazi Üniversitesi)
- 7-Prof.Dr. Hasan OKUYUCU(Yıldırım Beyazıt Üniversitesi)
- 8-Prof.Dr. Eyüp DEBİK(Yıldız Teknik Üniversitesi)
- 9-Prof.Dr. Yusuf TUNÇTÜRK(Yüzüncü Yıl Üniversitesi)
- 10-Prof.Dr. Nevzat ARTIK(Ankara Üniversitesi)
- 11-Doç.Dr. Hamit ADİN(Batman Üniversitesi)
- 12-Doç.Dr. Halef DİZLEK(Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi)
- 13-Yrd. Doç.Dr. Yaşar AYZ(İnönü Üniversitesi)
- 14-Yrd. Doç.Dr. Aysun ŞENER(Adana Bilim Teknoloji Üniversitesi)

İÇİNDEKİLER- CONTENTS

Yapay Sinir Ağları İle Kesir Dereceli Pid Denetleyici Katsayılarının Ayarlanması

Adjustment Of Fractional Order Pid (Fopid) Controller Coefficients With Artificial Neural Networks

Hüseyin ARPACI 156-173

Nanoyapılı Lantan Katkılı Zno Filmlerinin Elde Edilmesi Ve Karakterizasyonu

Deposition And Characterization Of Nanostructured Lanthanum Doped Zno Films

Gonca İLGÜ BÜYÜK, Saliha ILICAN 174-187

Kentsel Dönüşüm Sürecinde İstanbul'da İnşaat Ve Yıkıntı Atıkları Yönetimi

Construction And Demolition Waste Management In Istanbul During Urban Transformation Process

Kadriye Elif MAÇİN, İbrahim DEMİR 188-201

Perlitten Üretilen Filtrelerin İs Partikülleri Üzerine Etkisinin Deneysel Araştırılması

Experimental Investigation Of Filters Produced By Perlite On The Particulars Of Business

Hüseyin TURHAN, Erkan YÜKSEL 202-210

Gıda Laboratuvarlarında Kullanılan Yöntemlerin Laboratuvar Akreditasyonu

Laboratory Accreditation Of Methods In Food Laboratories

Fatma HEPSAĞ 211-218

YAPAY SİNİR AĞLARI İLE KESİR DERECELİ PID DENETLEYİCİ KATSAYILARININ AYARLANMASI

Hüseyin ARPACI *

İnönü Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Bölümü, Malatya, Türkiye

ÖZET

Bu makalede, Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanarak uyarlamalı kesir dereceli PID (FOPID) kontrolörün katsayılarının ayarlanmasına yönelik bir çalışma sunulmaktadır. Kontrolör katsayıların uyarlamalı olarak ayarlanması pratik kontrol uygulamalarında dayanıklılık için çok önemlidir. Çünkü parametre belirsizlikleri ve dış etkenler nedeniyle sistemin katsayılarının değişmesi kontrolörün dayanıklılığını olumsuz yönde etkileyebilir. Bu çalışmada YSA ile kontrolörün oransal, integral ve türev kazanç katsayıları kontrol süreci devam ederken geri beslemeler ile duruma göre yeniden ayarlanabilmektedir. Bu da kesir dereceli PID kontrolörüne hem uyarlamalı hemde dinamik bir yapı kazandırmaktadır. YSA' lar eğitildikten sonra kontrolörün kazanç katsayılarını en uygun şekilde ayarlarlar. Kontrol işlemi sırasında kontrol edilen sistemin parametrelerinde bozulma gerçekleşirse, bu bozulmaya karşı YSA' lar kontrolör katsayılarını yeniden en uygun değere getirerek uyarlama yaparlar. Önerilen yöntem pratik kontrol uygulamaları için FOPID kontrolörün uygulanabilirliğini kolaylaştırır. İki benzetim örneğinde önerilen uyarlamalı kontrol yönteminin performansını göstermek için MATLAB/Simulink kullanılarak YSA içeren FOPID kontrolörün tasarımı gerçekleştirilmiş ve birim basamak cevapları sunulmuştur. Bu cevaplar da (Şekil 14, 16, 19, 21, 23) göstermiştir ki önerilen yöntem hız ve dayanıklılık bakımından daha başarılı olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kesir dereceli PID kontrolör, Yapay Sinir Ağları, uyarlamalı kontrol, dayanıklılık

ADJUSTMENT OF FRACTIONAL ORDER PID (FOPID) CONTROLLER COEFFICIENTS WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

ABSTRACT

In this article, we present a study for adjusting the coefficients of the adaptive fractional PID controller using Artificial Neural Networks (ANN). Adaptive adjustment of the controller coefficients is very important for the robustness in practical control applications. Because of the parameter uncertainties and external factors, changing the system's coefficients can affect the durability of the controller negatively. In this study, proportional, integral and derivative gain coefficients of the controller can be readjusted by the feedbacks with Artificial Neural Networks while the control process is continuing. This gives the fractional PID controller an adaptive and dynamic structure. If deterioration occurs in the parameters of the controlled system during the control process, the ANN adapt the controller coefficients automatically by optimizing their values against this deterioration. To show the control performance and robustness of the proposed adaptive control method, first the FOPID controller including ANN designed by using MATLAB / Simulink and then the unit step responses for two simulation examples are presented. These responses (Figures 14, 16, 19, 21, 23) have shown that the proposed method has been more successful in terms of speed and durability.

Keywords: Fractional order PID controller, Artificial Neural Networks, Adaptive control, durability

* e-posta: huseyin.arpaci@inonu.edu.tr

1. Giriş

PID kontrolörler yapısal basitliği ve yeterli derecede performansı nedeniyle kontrol uygulamalarında yaygın olarak tercih edilirler. Bu durum PID kontrol sistemlerini aktif araştırma alanlarından biri konumuna getirmiştir. Ayrıca araştırmacılar PID kontrolörden en iyi performansı almak için kontrol sisteminin kararlılık ve kontrolör katsayılarını ayarlama problemlerine odaklanmışlardır. Ziegler-Nichols (ZN), Cohen-Coon kuralları, Åström-Hägglund yöntemi ve ileri Ziegler-Nichols yöntemi gibi en temel PID kontrolör katsayılarını belirleme ve ayarlama yöntemleri sunulmuştur [1-4]. Gerçek zamanlı kontrol sistemlerinde parametre belirsizlikleri ve dalgalanmaları, öngörülemez sistem bozucu gibi olumsuz durumların etkilerini azaltmak ve gerçek dünya koşullarında dayanıklı kontrol performansı sergilemek için PID kontrolör tasarımları istenmektedir. Bu nedenle PID denetleyici katsayılarının (K_p , K_i , K_d) otomatik veya kendiliğinden ayarlanması için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları; sinir ağı tabanlı algoritmalar [5-7], bulanık mantık teknikleri [8], genetik algoritmalar [9], parçacık sürüsü yöntemleri [10], tabu arama algoritmaları [11], elektromanyetizma benzeri algoritmalar [12], bakterilerin besin arama optimizasyonu algoritması [13], uyarlamalı ayarlama mekanizmasıdır [14].

Son yirmi yılda, kesir dereceli PID (FO-PID, Fractional Order PID) kontrolöre olan ilgi zaman geçtikçe artmıştır. FOPID kontrolörde kazanç katsayılarına (K_p , K_i , K_d) ek olarak iki yeni tasarım parametresi (kesirli integratör- λ ve kesirli türev- μ) daha eklenmiştir. Bazı çalışmalarda kesir derecelerinin (λ , μ) kontrolörün performansını arttırdığı gösterilmiştir [15-16]. Bununla birlikte, otomatik ayarlama yöntemleri, FOPID kontrolörün dayanıklılığının iyileştirilmesi için gereklidir. Literatürde, FOPID kontrolörlerinin dayanıklılığını arttırmak ve katsayıların pratik olarak ayarlanması için değişik yöntemler önerilmiştir [17-21]. Kesir dereceli türev ve integral, kontrolörün performansını önemli ölçüde artırmasına karşılık, FOPID kontrolöründe parametre sayısındaki artış geleneksel PID kontrolöre göre katsayıların kendiliğinden ayarlanmasını zorlaştırmaktadır. Parametre sayısındaki bu artış sisteme uygun parametrelerinin belirlenmesinde ve dolayısıyla FOPID kontrolörün kullanımında zorluklar oluşturmaktadır. Bu zorlukları azaltmak için klasik PID' de olduğu gibi FOPID kontrolörün parametrelerini hesaplayan metotlar geliştirilmiştir. S-cevabına dayalı ayarlama kuralları ve kritik kazanca dayalı ayarlama kuralları bu metotlardan bazıları teşkil etmektedir. [17, 22-24].

Sinir ağı kullanarak kendinden ayarlamalı kontrolör tasarımları, güçlü doğrusal olmayan modelleme kabiliyeti ve uyarlanabilirliği nedeniyle çeşitli kontrol probleminde yaygın olarak kullanılmaktadır [6]. Bu çalışmada, sinir ağları kullanılarak sadece kazanç katsayılarının kontrol sürecinde oluşabilecek yeni durumlara göre ayarlanması, yeni duruma kontrolörün katsayılarını uyarlaması sağlanmıştır. Böylece hem uyarlamalı FOPID kontrolör tasarımlarındaki karmaşıklık azaltılmıştır hem de kontrolörün sistemde oluşabilecek değişimlere karşı dayanıklılığı artırılmıştır. YSA' lar kontrol uygulaması için nöronların esnekliğini ve doğrusal olmamasını önemli ölçüde arttıran aktivasyon fonksiyonunun şekilsel olarak çevrimiçi ayarını yaparlar [6-7]. Başlangıçta YSA' lar ZN yöntemine göre belirlenen FOPID kontrolörün katsayıları kullanılarak eğitilirler, eğitilmiş YSA' lar kontrol sırasında aldıkları geri bildirimleri de kullanarak sistemin kontrolü için en uygun katsayı optimizasyonunu yaparak kontrol işlemini sürdürürler.

Bu çalışmada YSA kullanarak FOPID kontrolörün kazanç katsayıları (K_p , K_i , K_d) ayarlanır. Kontrolörün kazanç katsayılarını ayarlamak için SOM (self organizing map - özörgütlemeli harita ağı) YSA modeli kullanılır [25]. Bu makalede iki farklı tasarım örneği mevcuttur; birinci örnekte FOPI, FOPD ve FOPID kontrolörlerin performansı ve kararlılığı test edilmiştir. İkinci örnekte ise zaman gecikmeli sistem için FOPID kontrolörünün performansı gösterilmektedir. Ayrıca her iki örnekte, YSA kullanarak FOPID kontrolörün birim basamak yanıtları ile ZN ile ayarlanmış sabit katsayılara sahip FOPID kontrolör birim basamak yanıtları karşılaştırılır [17].

Bu makale aşağıdaki gibi organize edilmiştir: İlk bölümde FOPID kontrolör ve YSA yapısı kısaca anlatılır. Sonraki bölümde YSA ile FOPID kontrolör tasarım yöntemi gösterilir. En son bölümde ise örnek tasarımlar ve benzetim sonuçları sunulur.

2. Materyal ve Metod

2.1. Kesir Dereceli PID Kontrolör

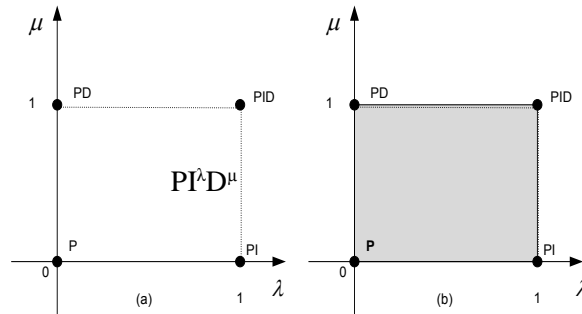
Kesirli cebir işlemlerinde kesirli türev ve D^α integral olarak gösterilir. $\alpha > 0$ için kesirli türev gerçekleşir. $D^\alpha f(t) = \partial^\alpha f / \partial t^\alpha$ ve $\alpha < 0$ için $D^\alpha f(t)$ operatörü kesirli integrali ifade eder. FOPID denetleyicisi yaygın olarak şu şekilde ifade edilir,

$$u(t) = K_p e(t) + K_i D^{-\lambda} e(t) + K_d D^\mu e(t) \quad (1)$$

Kesirli türevin Laplace $L(D^\alpha f(t)) = s^\alpha F(s)$ dönüşümü ise, FOPID kontrolör transfer fonksiyonu genel olarak Denklem 2' de ki gibi tanımlanır,

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s^\lambda} + K_d s^\mu \quad (2)$$

Burada λ integral teriminin ve μ türev teriminin kesirli derecesidir. Kazanç katsayıları K_p , K_i ve K_d sırasıyla oransal, integral ve türev kazanç katsayılarıdır. [15]'de Podlubny, FOPID kontrolörün hem tamsayı dereceli ve hem de kesir dereceli sistemlerin kontrolünde etkili bir şekilde kullanılabileceğini belirtmiştir. Petras, FOPID kontrolörün, kontrol sistemleri için daha iyi kontrol performansı ve kararlılık sağladığını ifade etmiştir [26]. Aslında, $\lambda = 1$ ve $\mu = 1$ tamsayı dereceli durumu, yani klasik PID kontrolörü ifade eder. Şekil 1'de, $\lambda - \mu$ düzleminde PID kontrolör yapıları gösterilmektedir. Tamsayı dereceli kontrolörler Şekil 1.a' da 4 köşedeki noktalar ile temsil edilmesine karşın, kesir dereceli denetleyiciler ise Şekil 1.b.2' deki gibi taralı alandaki sonsuz sayıda nokta ile temsil edilirler.



Şekil 1.a. $\lambda - \mu$ düzleminde tamsayı dereceli, **(b)** $\lambda - \mu$ düzleminde kesir dereceli PID kontrolör yapıları

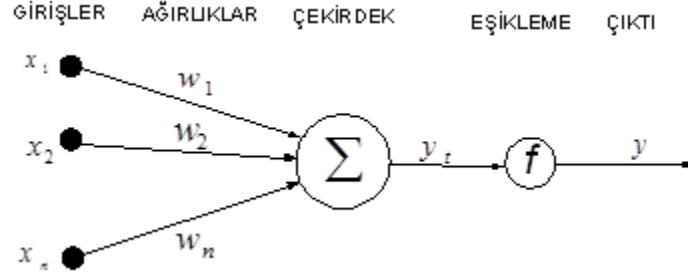
Kontrol sisteminden beklenen performans özelliklerine ulaşılabilmesi için kontrolör parametrelerinin iyi ayarlanması (tuning) gerekir. Bu işleme kontrolör parametrelerinin elde edilmesi denir. Kontrolör parametreleri için uygun değerlerin bulunması kontrolör tasarım çalışmalarının en önemli konularından biridir. Dolayısıyla bu konu üzerinde oldukça fazla durulmuştur [16-24].

Bir tam sayı dereceli PID kontrolör tasarlamak için gerekli parametre sayısı 3 tanedir (K_p , K_i , K_d). Fakat bir FOPID kontrolör tasarlamak için gerekli parametre sayısı 5'i bulmaktadır (K_p , K_i , K_d , λ , μ). Bu durum her ne kadar FOPID kontrolöre daha uygun denetleyici cevapları vermesine neden olsa da, tasarım parametrelerinin artması FOPID kontrolörün katsayı ayar sorununun karmaşık ve zor duruma

gelmesine neden olur. Kesir dereceli $PI^{\lambda}D^{\mu}$ kontrol uygulamaları sadece kesirli integral veya türev uygulamaları olabileceği gibi kesirli PI^{λ} veya PD^{μ} de olabilir. Ya da kesirli $PI^{\lambda}D^{\mu}$ veya PID^{μ} şeklinde de uygulanabilmektedir.

2.2. Yapay Sinir Ağı (YSA) ve Özörgütlemeli Harita Yapay Sinir Ağ Modeli (Self-Organizing Map - SOM)

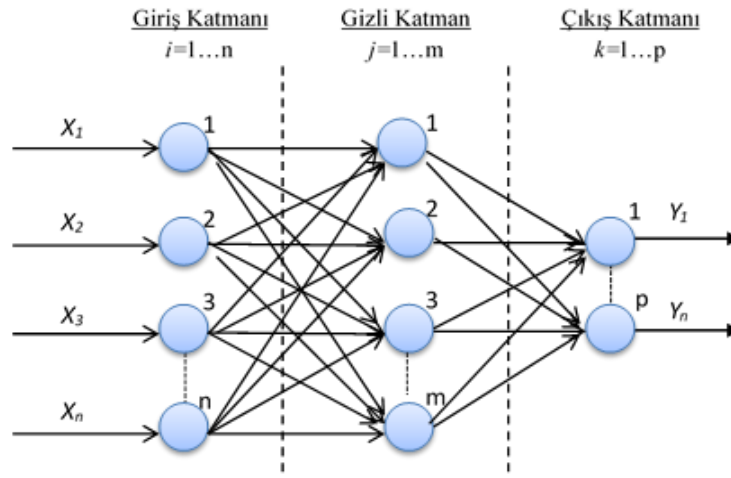
Biyolojik hücrenin çalışma ilkeleri referans alınarak Şekil 2' deki yapay sinir hücresi oluşturulmuştur [27].



Şekil 2. Yapay sinir hücre yapısı

Şekil 2' de ki yapay sinir hücresinin girişleri x_n ile gösterilmiştir ve her bir girişin ağırlık katsayısı (bu katsayı giriş ile hücre arasındaki bağlantının kuvvetini gösterir) w_n ile gösterilmiştir. x_n girdi sinyallerini gösterirken, w_n ise sinyallerin hücre ile olan bağlantı ağırlık katsayılarının değerlerini taşır. Girdi sinyalleri ağırlıklarla çarpıldıktan sonra çekirdekte toplanarak tüm girdi sinyallerinin ağırlıklı toplamları elde edilir. y_t çekirdekte elde edilen toplam sinyal göstermektedir ve bu toplam sinyal eşikleme (f) fonksiyonuna girdi olarak yönlendirilir. Sinapsis üzerindeki eşikleme fonksiyonundan çıkan sonuç sinyali y ile belirtilmiş ve diğer hücreye yönlendirilmiştir [28].

Yapay sinir hücresinin görevi; x_n girişlerine karşılık y çıkış sinyalini bulmak ve bu sinyali de diğer hücrelere iletmektir. x_n giriş sinyali ile y çıkış sinyali arasındaki ilişkiyi temsil eden w_n ağırlıkları, her yeni giriş ve çıkış sinyaline göre tekrar ayarlanır. Bu ayarlama sürecine yapay sinir hücresinin öğrenme süreci denir. Öğrenmenin tamamlanabilmesi için w_n ağırlıklarındaki değişim kararlı olana dek yeni girdilerle sistem beslenir. Kararlılık sağlandığı zaman hücre öğrenmesini tamamlamıştır.



Şekil 3. Çok katmanlı yapay sinir ağı

Görevi yukarıdaki gibi tanımlanan yapay sinir hücrelerinin birleşmesi ile oluşan katmanlı yapının tümü yapay sinir ağı olarak nitelendirilir. Böylece m adet yapay sinir hücresinin katmanlı bir yapıda bir araya gelmesi ile yapay sinir ağı oluşur.

Yapay sinir hücresindeki öğrenmenin ilk basamağı aktivasyon olarak adlandırılır. Sinir hücresine giren sinyallerin toplamına bakılır. Sinyallerin toplamı o hücreyi aktif hale getirebilecek bir değere sahip midir, değil midir? Eğer toplam sinyal eşik değerini geçebilecek kadar yüksek ise o hücre aktiftir ($y=1$) değilse hücre pasiftir ($y=0$). Bu sorunun cevabı yardımıyla yapay sinir hücresinin sınıflandırma yapabildiği sonucuna ulaşılır. Çok basit anlamda; girdilere 1 ya da 0 cevabını vererek sınıflandırma yapabilen bir hücre, hangi girdilere 1 hangilerine 0 diyeceği hakkında karar vermiş sayılmaktadır. “Karar vermek” ve “sınıflandırmak”, öğrenme sürecinin temel yapı taşlarını oluşturmaktadır [25, 27].

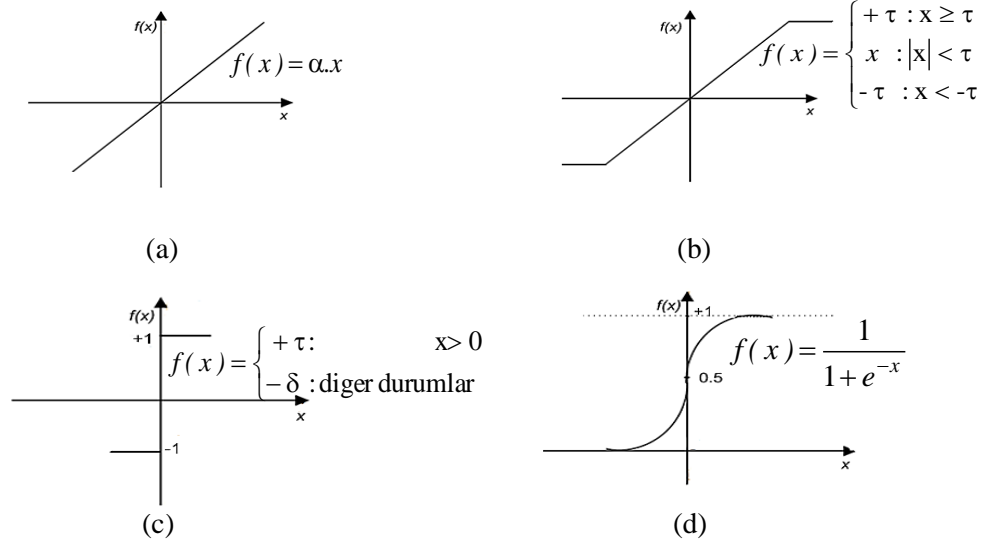
Bir yapay sinir hücresi neye göre girdilere 0 ya da 1 demektir? Sinir hücresi bunu Şekil 2’ de gösterilen ağırlıkları (w_n) ile gerçekleştirir. Dışarıdan alınan her bir girdi sinyali ile her defasında ayarlanan bu ağırlıklar öğrenmenin gerçekleştiğinin de göstergesidirler. [27, 29]. Yapay sinir hücresine giren sinyallerin toplamı Denklem 3 ile hesaplanır.

$$y_i = \sum_{i=1}^p x_i * w_i \quad (3)$$

x_i sinyali kendine ait olan ağırlık katsayısı ile çarpılarak toplam sinyale eklenmektedir. Ve y_i şeklinde toplanan toplam sinyal değeri eşikleme fonksiyonundan geçirdikten sonra çıktı değerini vermektedir.

$$y = f(y_i) \quad (4)$$

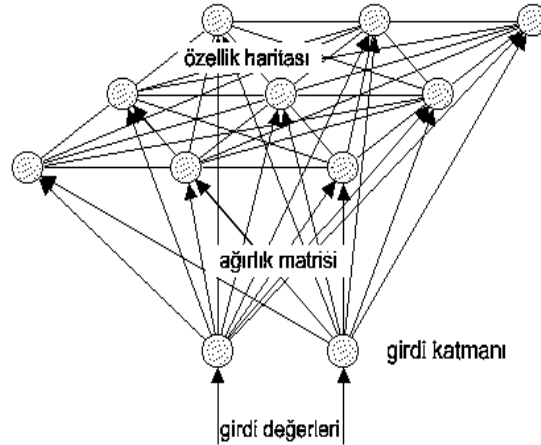
Denklem 4’ te f olarak gösterilen fonksiyon matematiksel herhangi bir fonksiyon olabilir. Fakat yapay sinir ağı modellerinde 4 tip fonksiyonun daha çok kullanıldığı görülür. Bunlar; doğrusal (a), rampa (b), basamak (c) ve sigmoid (d) fonksiyonlarıdır, Şekil 4 [27, 30].



Şekil 4. (a) doğrusal (b) rampa (c) basamak (d) sigmoid fonksiyonları

SOM ağları, Teuvo Kohonen tarafından geliştirilen eğitimsiz çalışabilen, rekabete dayalı öğrenme (competitive learning) ile giriş verisinin yapısına göre kendini organize edebilen yapılardır. Bu ağlar sınıflandırma yapmak için kullanılmaktadırlar. Bu ağlar olayları öğrenmek için bir öğretmene (eğitici)

ihtiyaç duymazlar. İleri/geri besleme türünde olabilir ve öğrenme algoritması olarak öz-örgütlenme yöntemini kullanır. Bir giriş katmanı ve bir çıkış katmanı olmak üzere iki katmandan oluşur. Öz-örgütlenme kullanan Kohonen Özellik Haritaları insan beynini taklit edecek şekilde tasarlanmıştır. İnsan beyninde öğrenme işlemi, sürekli tekrarlanan olaylar ve durumlar karşısında beyine iletilen sinyallerin, korteksin belli bölgelerinde yoğunlaşması sonucu bir hafıza oluşması şeklinde gerçekleşir [29]. SOM ağlarında yarışmayı kazanma 1 değeri ile gösterilirken, kaybetme durumu 0 değeri ile gösterilir. Ağa bir giriş verildiğinde çıkış uzayında yarışmayı kazanan ve onun etrafındaki komşuları eğitim sırasında ağırlıklarını değiştirmektedirler.



Şekil 5. Kohonen'ün 2 katmanlı (girdi, çıktı) SOM ileri beslemeli ağ yapısı

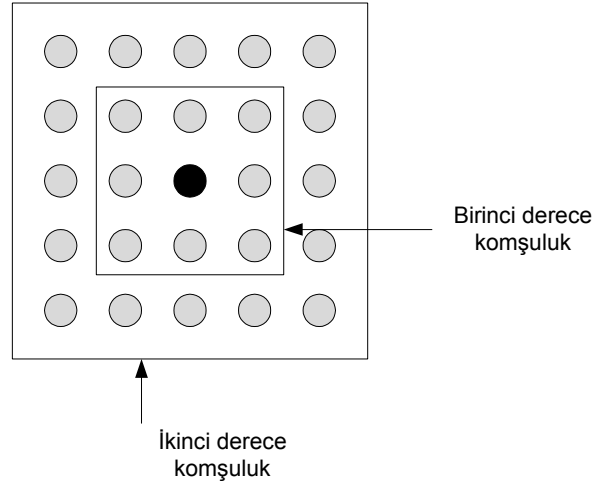
Khonen'ün sunduğu ileri/geri beslemeli olan bu model [25] beynin çalışma stiline “ilişkisel bellek” karakteristiğinde olduğu teorisine dayanır. Khonen bu teorisini iki tip ilişkisel bellek ile pekiştirir. Bunlar otomatik ilişkili (auto associative), zıt ilişkili (hetero associative) bellekler. İlişkisel belleklerde öğrenme iki nesne birbiriyle ilişkilendirilerek gerçekleşir.

Bu iki tip ilişkisel bellek modeli Khonen'ün modeline dayanak olan modellerdir ve bu modeller iki nesne arasındaki bağı kuvvetliliğinden yararlanırlar. Öğrenme algoritmaları ise “öğretmenli öğrenme” dir. Bu ilişkisel öğrenme modeline örnek vermek gerekirse; elma meyvesi ile kokusunun ilişkisi, limonla ekşimsi tad arasındaki ilişki. İlişkisel belleklerde öğrenme gerçekleştikten sonra örnekte verilen limon girdisine karşılık ekşilik sonucunu verecektir. Ve böylece yapı bu iki ayrı nesneyi ilişkilendirilerek (meyve - tad) öğrenmiş olacaktır.

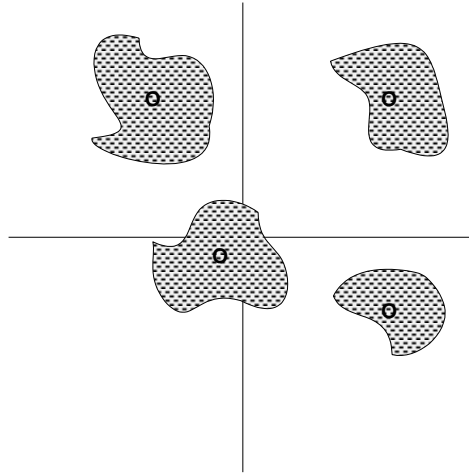
Khonen, modelinde çıkış noktası olarak bu temeli almakla birlikte “self” (kendi kendine) öğrenmeyi algoritması için temel olarak almıştır. Khonen kurduğu yapay sinir ağı modellerinde bir başka kavramdan daha söz ettirmiştir. O da “komşuluk” kavramıdır, Şekil 6. SOM yapısında “küme” (cluster) adı verilen grup merkezleri vardır. Eğer popülasyonda iyi temsilciler seçilebilirse, o popülasyon seçilmiş olan temsilcilerle ifade edilebilirdi. Ya da örneğin “x” adet elemandan oluşan girdiler “n” tane değişik sınıfa ayrılabilirdi. “n” değişik sınıf ise grup (cluster) merkezleri tarafından temsil edilebilirdi, Şekil 7 [29].

Khonen bu mimariyi geliştirirken kendi kendine öğrenmeyi hedeflediği için ele aldığı “x” adetlik girdilerin ilk “n” adedini “n” grup olarak yerleştirir. Sinir ağı tüm girdi elemanlarını bu merkez noktalarına göre öğrenir. Öğrenme sırasında alınan girdiler tüm gruplarla kıyaslanır ve girdi yakın olduğu gruba adapte edilir. Sonuçta her nokta yakın bulunduğu grup merkezini kendine doğru çekmeye çalışarak grup merkezlerinin daha iyi grup temsilcisi olabilmesini sağlamaya çalışırlar. Eğer bu işlem 100, 1000, 10000 döngü ile tekrarlanırsa grup merkezlerinin popülasyonu en iyi temsil eden grup merkezleri olduğu görülür [29]. Her grup merkezi örneklerin ayrı ayrı sınıflarını temsil ederler, Şekil 7.

Bu sayede girdiler kendilerini ait oldukları sınıfın merkezine daha yakın bulacaklardır. “Komşuluk” kavramı sayesinde birbirine yakın olan sınıflar yine birbirleriyle ilişkili hareket edeceklerdir



Şekil 6. SOM ağ modelinde çıktı katmanındaki komşuluk dereceleri

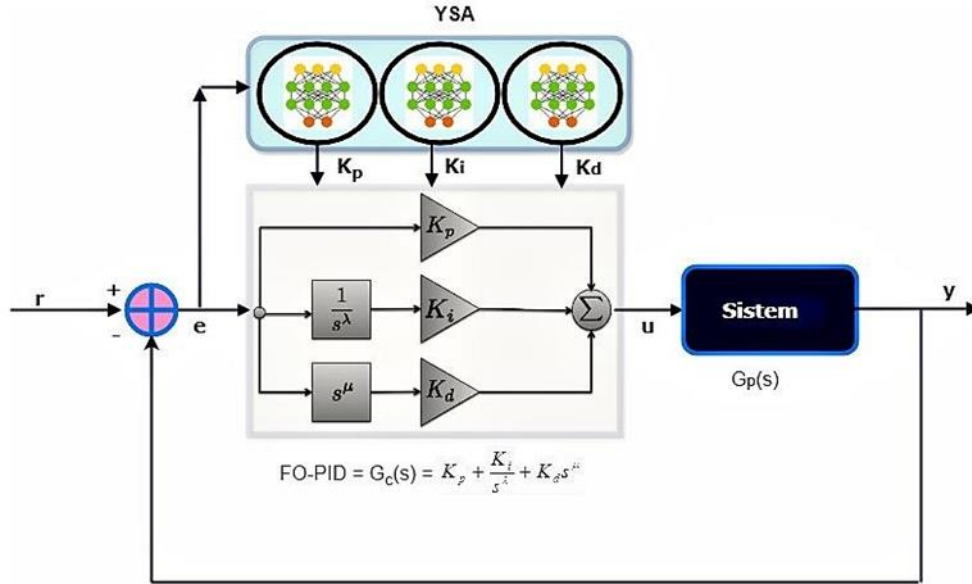


Şekil 7. SOM ağ modeli ile girdilerin sınıflandırılması

3. Uyarlamalı Yapay Sinir Ağları Tabanlı Kesir Dereceli PID Kontrolör

Bu çalışma, YSA ile uyarlamalı kesir dereceli PID denetleyicisini geliştirmeyi hedeflemektedir. Önerilen kontrolör sisteminin blok diyagramı Şekil 8’ de gösterilmiştir. YSA çıkışları FOPID bloğunun kazanç katsayılarını besler.

Şekil 8' de optimizasyonda kullanılan kapalı kontrol sisteminin hata sinyali $e = r - y$ şeklinde tanımlanır. Döngüsel olarak hatanın karesinin toplamı yerel minimuma yaklaştığında, kontrol sisteminin çıkışı referans girişine yaklaşır ve bu nedenle nöronların adaptasyonu tamamlanır ve en iyi sistem cevabı elde edilir.



Şekil 8. YSA içeren FOPID kontrol sisteminin blok diyagramı

Şekil 8' de gösterilen tek girişli-tek çıkışlı bir sistemde, $G_p(s)$ tamsayı veya kesirli dereceli sistemin transfer fonksiyonunu temsil etmektedir. $G_c(s)$ ise YSA' lar ile katsayıları ayarlanacak olan FOPID kontrolörü göstermektedir. Şekil 8' deki kontrol sistemindeki hedef, sistemi kararlı hale getiren FOPID kontrolörün kazanç katsayılarının K_p , K_i ve K_d çevrimiçi ayarlanmasıdır. FOPID kontrolörü zaman düzleminde Denklem 5' de görüldüğü gibi üç bileşene ayrılabiliriz.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i D^{-\lambda} e(t) + K_d D^{\mu} e(t) = u_1(t) + u_2(t) + u_3(t) \quad (5)$$

$$u_1(t) = K_p e(t) \quad (6)$$

$$u_2(t) = K_i D^{-\lambda} e(t) \quad (7)$$

$$u_3(t) = K_d D^{\mu} e(t) \quad (8)$$

K_p , K_i ve K_d parametreleri YSA ile ayarlanan FOPID kontrolör yapısı Şekil 9' da ki gibidir.

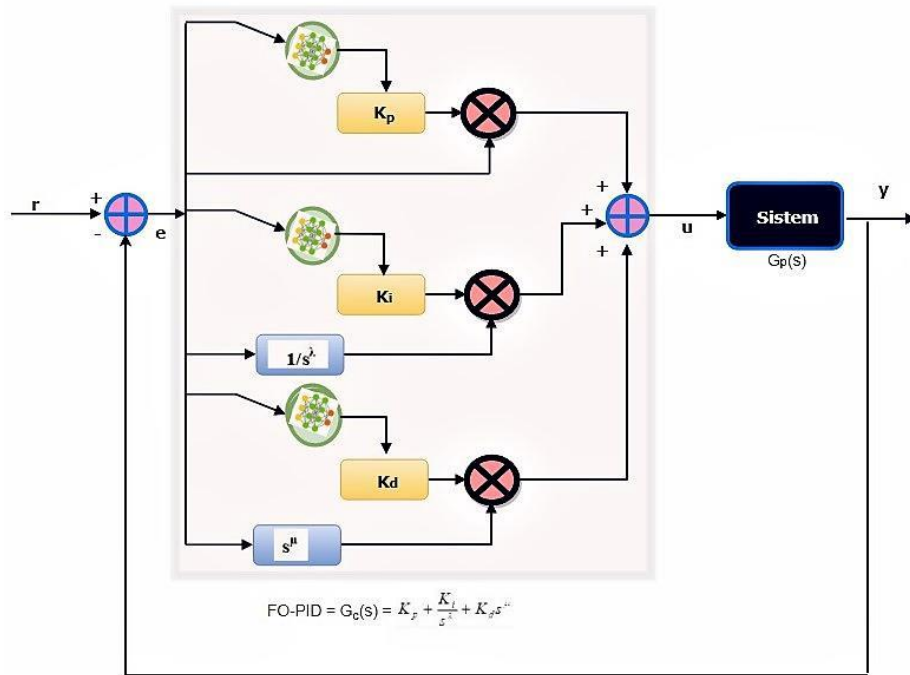
$PI^{\lambda}D^{\mu}$ kontrolün transfer fonksiyonu Denklem 3 kullanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$u(t) = f_1 \left(\sum_{i=0}^n e_i * w_i \right) * e(t) + f_2 \left(\sum_{j=0}^m e_j * w_j \right) * D^{-\lambda} e(t) + f_3 \left(\sum_{k=0}^v e_k * w_k \right) * D^{\mu} e(t) \quad (9)$$

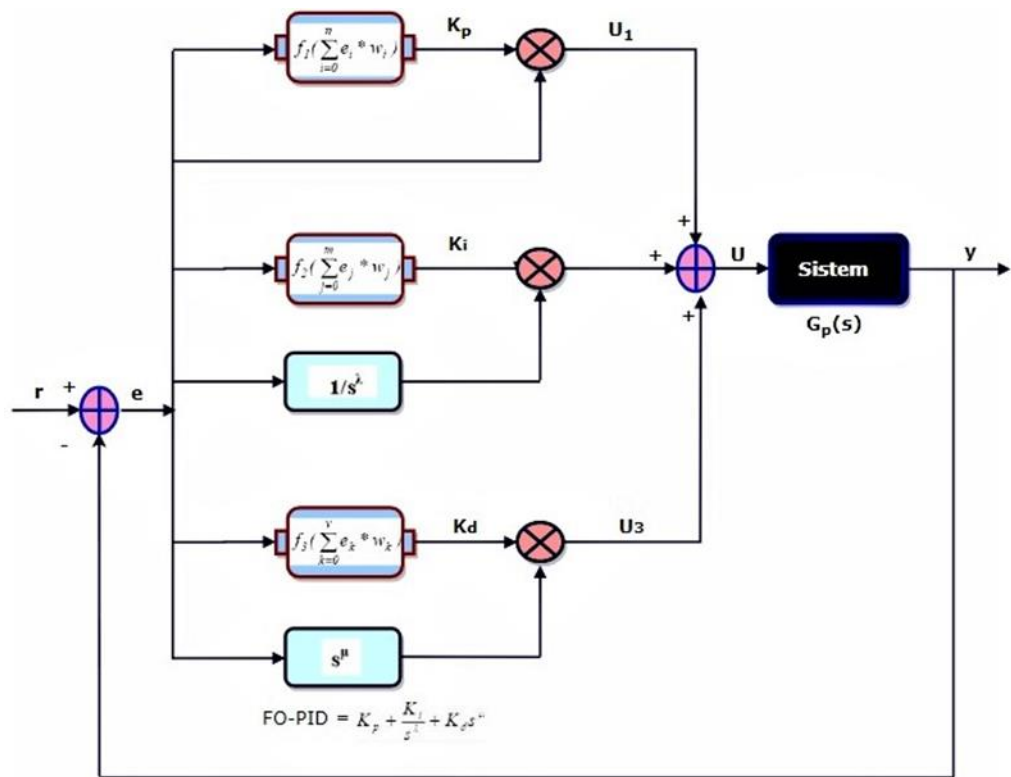
Kazanç katsayıları aşağıdaki gibidir.

$$K_p(e) = f_1 \left(\sum_{i=0}^n e_i * w_i \right), K_i(e) = f_2 \left(\sum_{j=0}^m e_j * w_j \right), K_d(e) = f_3 \left(\sum_{k=0}^v e_k * w_k \right) \quad (10)$$

Burada sırasıyla f_1 , f_2 ve f_3 YSA' nın aktivasyon fonksiyonları, e_i , e_j ve e_k YSA' nın girişleri ve w_i , w_j ve w_k da YSA' nın ağırlıklarıdır.

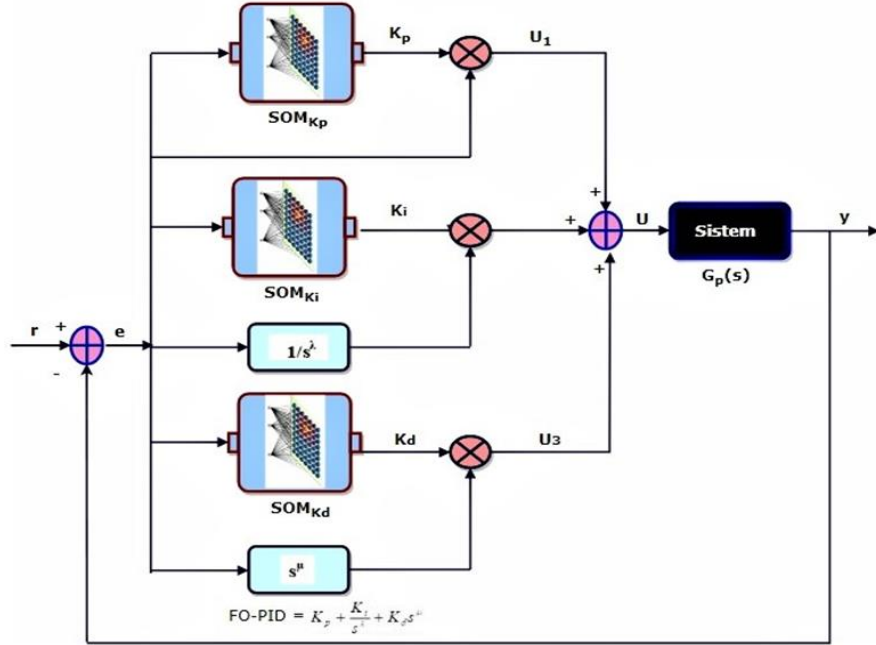


Şekil 9. YSA ile uyarlamalı $PI^\lambda D^\mu$ kontrolörün blok diyagramı

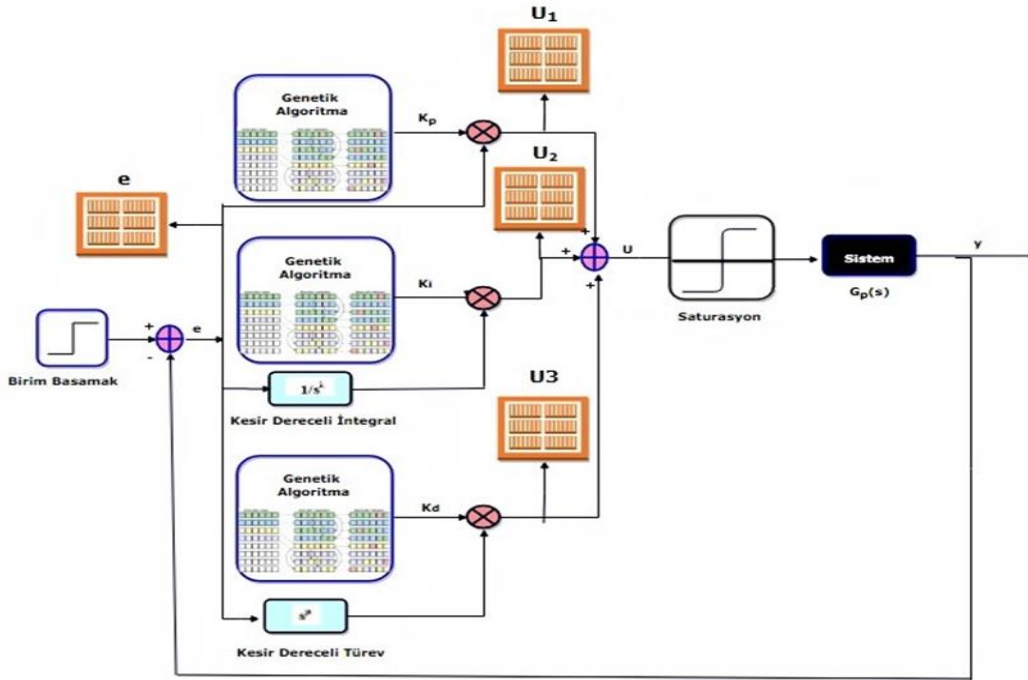


Şekil 10. YSA-FOPI kontrolör tasarımı

Denklem 9 ve 10 ile gösteren sistemin blok diyagramı, Şekil 10 ve 11’ da gösterildiği gibi olur. Burada SOM tipi YSA’ lar kullanılmıştır. K_p , K_i ve K_d katsayıları SOM-YSA algoritması ile belirlenir. Şekil 8’ deki K_p , K_i ve K_d yerine Şekil 11’ deki gibi SOM tipi YSA’ lar kullanılmıştır. YSA’ ların eğitimi için gerekli başlangıç verileri Şekil 12’ de verilen kontrolörden elde edilmiştir. Burada kullanılan FOPID kontrolörünün katsayıları ise Genetik Algoritma (GA) ile belirlenmiştir [30, 31]. Bu yöntemle veriler içinde iyi olanın seçilimi sağlanmıştır. Uygun olmayan değerler elenmiştir.



Şekil 11. YSA-FOPID’ nin K_p , K_i ve K_d parametrelerini ayarlama



Şekil 12. Öğrenme verilerini elde etmek için kullanılan FOPID kontrolörünü içeren sistemin blok diyagramı

YSA' nın eğitimi için gerekli olan başlangıç verileri (e, u_1) , (e, u_2) , (e, u_3) olarak Şekil 12' de ki sistemden genetik algoritma ile alınmıştır. Burada e , YSA' nın giriş öğrenme verisini temsil ederken, oransal, integral ve türev kazanç bloklarının çıkışından elde edilen u_1 , u_2 ve u_3 , YSA' nın çıkış öğrenme verileridir. Bu çalışmada MATLAB - YSA (SOM) fonksiyonu kullanılarak (e, u_1) , (e, u_2) , (e, u_3) eğitim veri çiftleri için öğrenme süreci gerçekleştirilmiştir. Eğitim verilerini elde etmek için gerekli başlangıç değerleri $(K_p, K_i, K_d, \lambda, \mu)$ genetik algoritma kullanılarak belirlenmiştir. Eğitimi tamamlanan YSA' lar ile sistemin kontrolü sağlanmıştır.

4. Bulgular ve Tartışma

Önerilen yöntemin performansı iki örnekle gösterilmiştir ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi analiz edilmiştir.

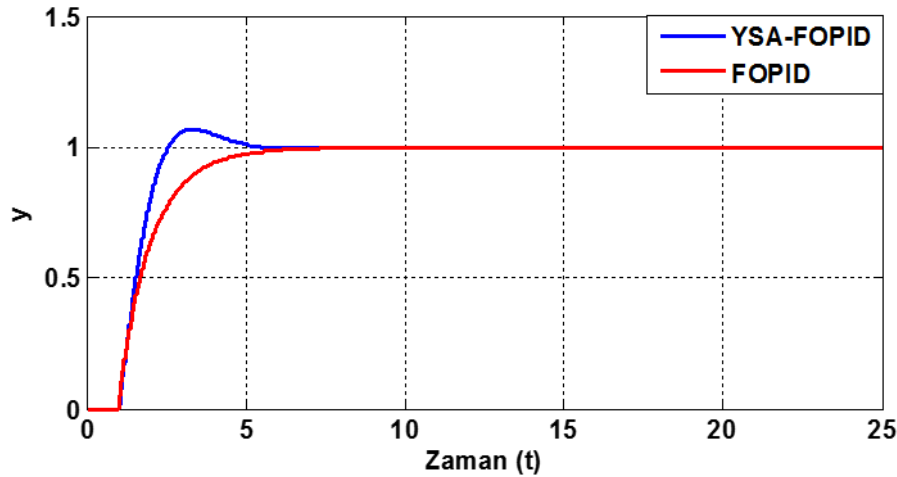
Örnek 1. Birinci örnek için sistemin transfer fonksiyonu Denklem 11' deki gibi alınmıştır.

$$G_p(s) = \frac{K}{s(s + \tau)} \quad (11)$$

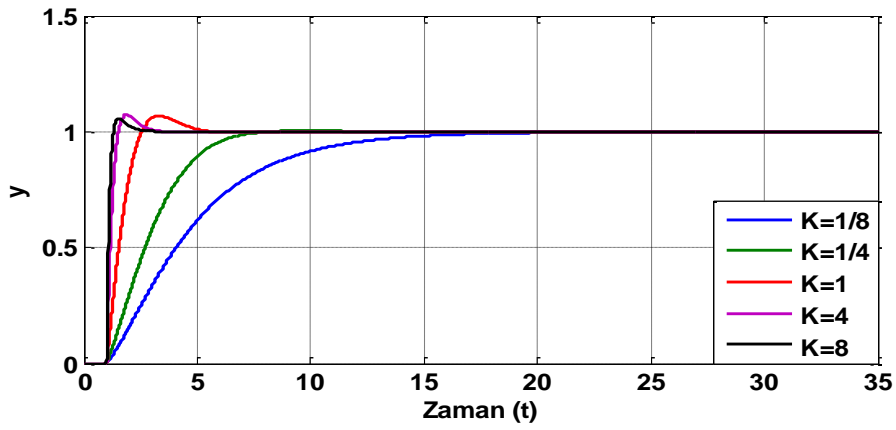
$PI^\lambda D^\mu$ kontrolör için başlangıç parametreleri (katsayıları) genetik algoritma kullanılarak seçilmiştir ve belirlenen bu başlangıç değerleri Denklem 12' deki gibidir.

$$PI^\lambda D^\mu : K_p = 0.9716, K_i = 0.3749, K_d = 0.2964, \lambda = -1.3653, \mu = 1.0017 \quad (12)$$

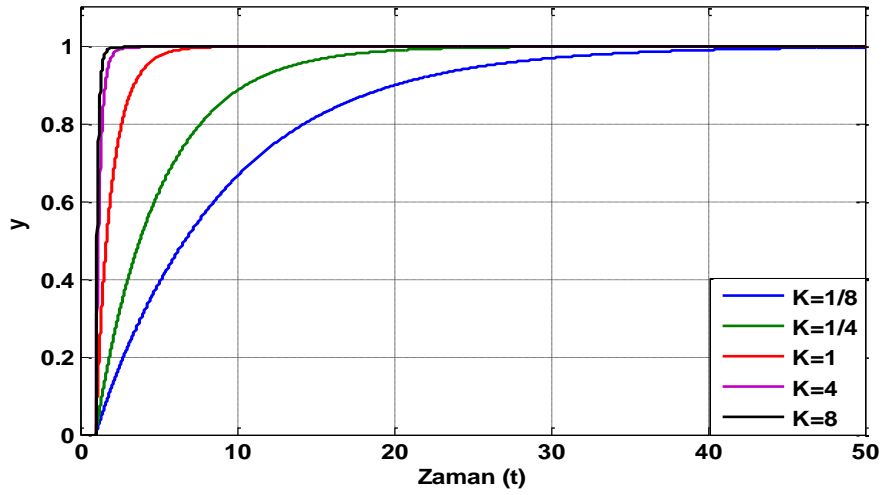
Bu parametreler, $PI^\lambda D^\mu$ kontrolörünün başlangıçtaki katsayılarıdır ve YSA (SOM)' ları eğitmek için kullanılmıştır. Şekil 11' de gösterilen süreçte SOM_{K_p} , SOM_{K_i} ve SOM_{K_d} YSA yapıları oluşturulduktan sonra elde edilen başlangıç değerleri referans alınarak eğitilmiştir. Daha sonra farklı K ve τ değerleri için geleneksel $PI^\lambda D^\mu$ kontrolör ile YSA- FOPID kontrolörün birim basamak cevapları Şekil 13 – 17' de karşılaştırılarak analiz edilmiştir.



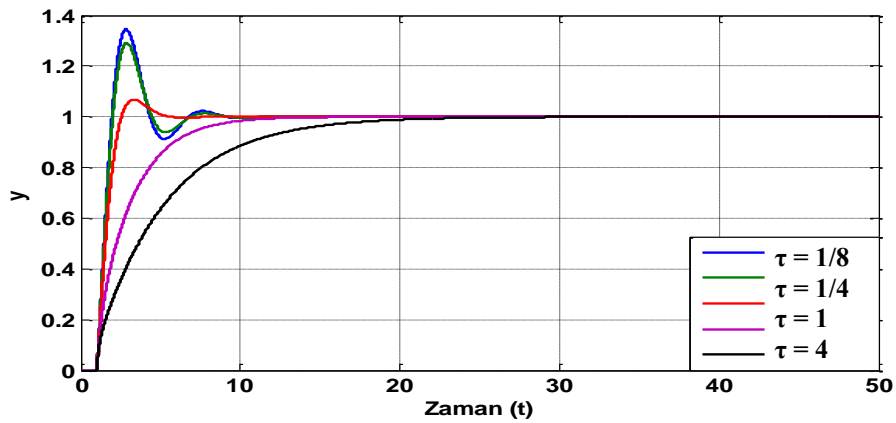
Şekil 13. Aynı K ($K = 1$) ve τ ($\tau = 1$) değerleri için YSA-FOPID ile FOPID kontrolörlerinin birim basamak cevaplarının karşılaştırılması



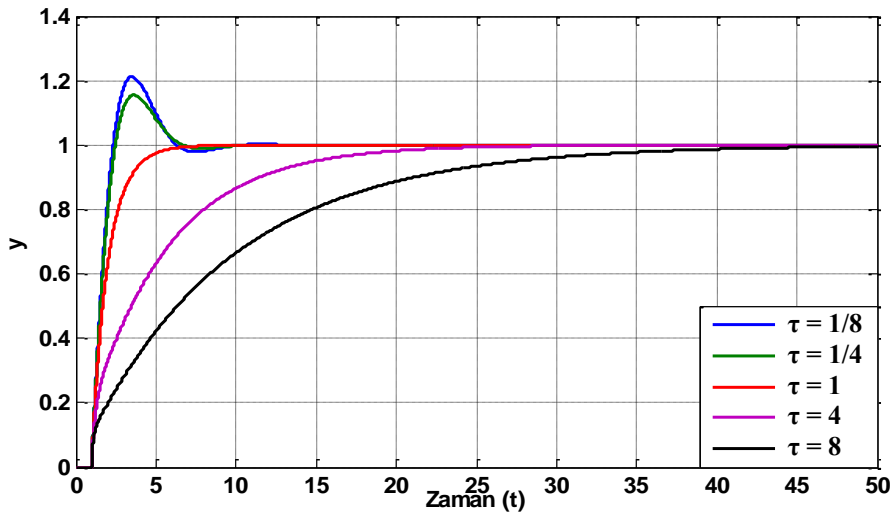
Şekil 14. Farklı K değerleri için YSA-FOPID kontrolörün birim basamak cevapları



Şekil 15. Farklı K değerleri için FOPID kontrolörün birim basamak cevapları



Şekil 16. Farklı τ değerleri için YSA-FOPID kontrolörün birim basamak cevapları



Şekil 17. Farklı τ değerleri için FOPID kontrolörün birim basamak cevapları

Şekil 13' te YSA-FOPID ile FOPID kontrolörlerinin aynı K ve τ değerleri ($K = 1$, $\tau = 1$) için birim basamak cevapları gösterilmiştir. Bu grafikten her iki kontrolörün sistemi kararlı konuma getirmelerinin yaklaşık olarak aynı zamanda gerçekleştiği görülmekle birlikte YSA-FOPID kontrolörün başlangıçta verdiği tepkini daha hızlı olduğu ifade edilebilir.

Şekil 14 ve Şekil 15' de ise τ sabit tutularak ($\tau = 1$) farklı K değerleri ($K = 1/8, 1/4, 1, 4, 8$) için YSA-FOPID ve FOPID kontrolörlerinin birim basamak cevapları sırası ile verilmiştir. Şekil 14' deki cevaplar incelendiğinde YSA-FOPID kontrolörün çok hızlı ve kararlı cevaplar verdiği görülür. En kötü durumda bile ($K = 1/8$) sistemi yaklaşık 15. saniyede kararlı konuma getirmiştir. Oysa Şekil 15 incelendiğinde ise K değerlerindeki düşüşe bağlı olarak sistemin kararlı konuma gelme süresinin de uzadığı görülür. Aynı değer için ($K = 1/8$) karşılaştırıldığında sistem yaklaşık olarak 50. saniyede kararlı noktaya ulaşmıştır.

Şekil 16 ve 17' de ise K değeri sabit tutularak ($K = 1$) farklı τ değerleri ($\tau = 1/8, 1/4, 1, 4, 8$) birim basamak cevapları karşılaştırıldı. YSA-FOPID kontrolörün verdiği cevaplara bakıldığında düşük τ değerleri için taşmalar meydana gelmekle birlikte büyük τ değerleri için yine sistem kısa sürede ($\tau = 8$ için yaklaşık 20. sn.) kararlı noktaya ulaşmıştır. FOPID kontrolörün cevaplarında ise kararlı konuma gelme süresinin ($\tau = 8$ için yaklaşık 45. sn) yine yüksek olduğu görülür.

Örnek 2. Bu örnekle de önerilen yöntemin zaman gecikmeli sistemlerdeki performansı test edilmiştir. Ham şeker kamışı suyu nötralizasyon işleminin transfer fonksiyonu olan örnek Denklem 13' deki gibidir.

$$G(s) = \frac{k}{\tau s + 1} e^{-Ls} = \frac{0.55}{62s + 1} e^{-1s} \quad (13)$$

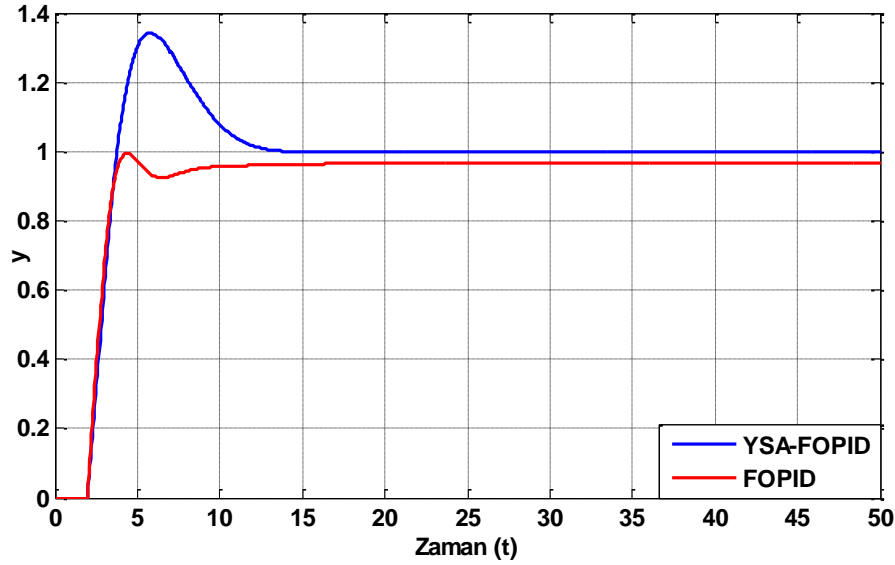
Birinci dereceden Pade yaklaşımı kullanılarak,

$$G(s) = \frac{k}{\tau s + 1} e^{-Ls} = \frac{0.55}{62s + 1} e^{-1s} = \frac{0.55}{62s + 1} \frac{1 - 0.5s}{1 + 0.5s} \quad (14)$$

$$G(s) = \frac{0.55 - 0.275s}{31s^2 + 62.5s + 1} \quad (15)$$

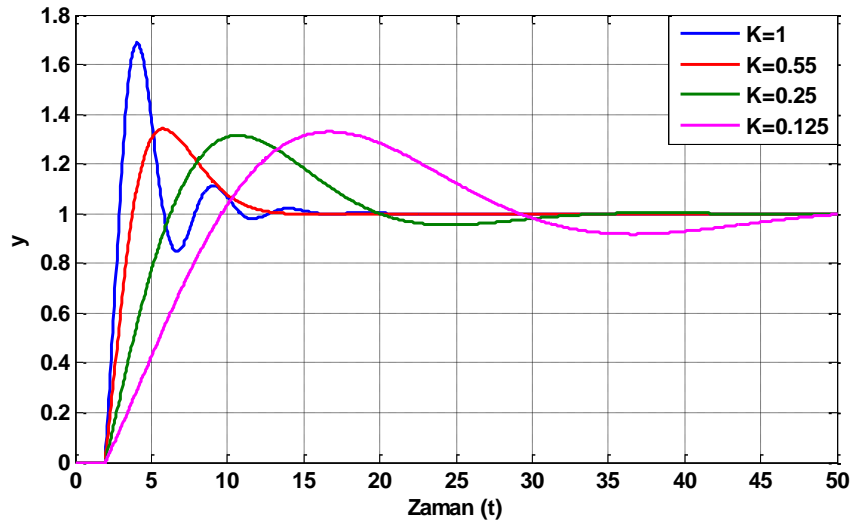
elde edilir.

Bu durumda farklı K değerleri ($K = 1/4, 1/8, 0.55, 1$), farklı L değerleri ($L = 1, 0.8, 0.5, 0.1$) ve farklı τ değerleri ($\tau = 31, 62, 93$) için FOPID ve YSA-FOPID kontrolörlerinin Şekil 18 - 22' de elde edilen birim basamak cevaplarının karşılaştırmalı analizleri yapıldı.

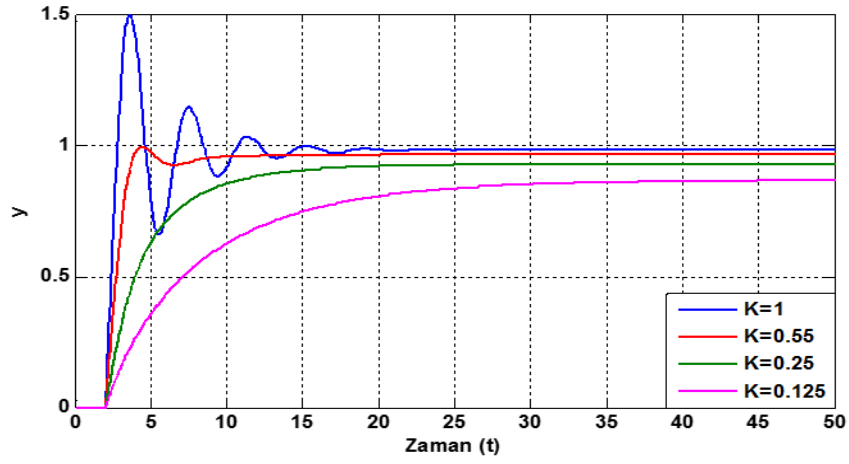


Şekil 18. Aynı K ($K = 0.55$), τ ($\tau = 62$) ve aynı L ($L = 1$) değerleri için YSA-FOPID ile FOPID kontrolörlerinin birim basamak cevaplarının karşılaştırılması

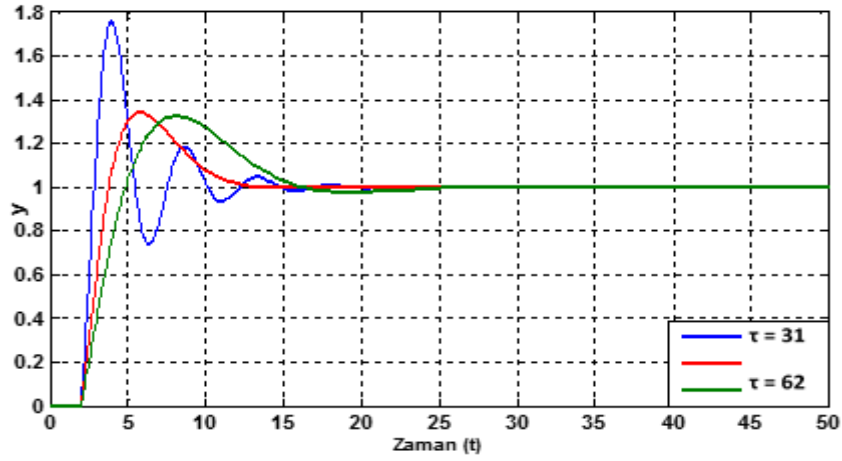
Şekil 18' de YSA-FOPID ile FOPID kontrolörlerinin aynı K ve τ değerleri ($K = 0.55$, $\tau = 62$) için birim basamak cevapları gösterilmiştir. Bu grafikten YSA-FOPID kontrolörün sistemi kısa sürede (yaklaşık 12 sn.) kararlı konuma getirmesine karşın FOPID kontrolörün sistemi kararlı konuma getirme süresinin daha uzun olduğu görülmektedir. Ayrıca FOPID kontrolör ile yapılan kontrol uygulamasında referans değere (1) ulaşamama sorunu görülmektedir.



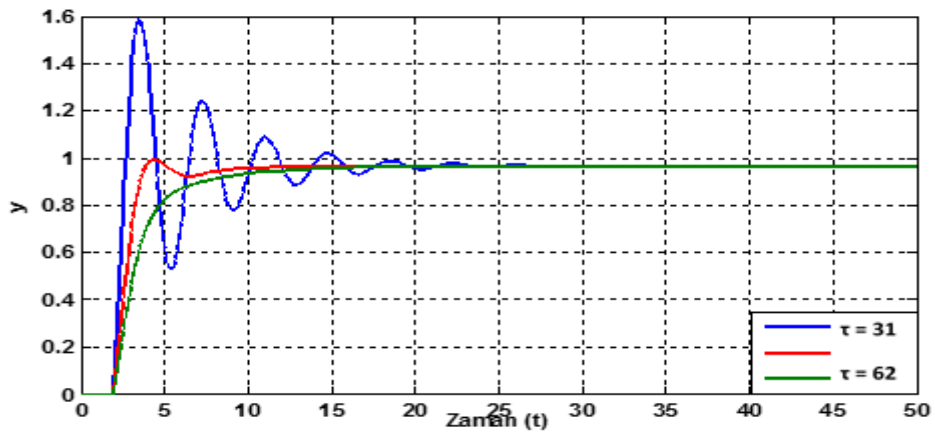
Şekil 19. Farklı K değerleri için YSA-FOPID kontrolörün birim basamak cevapları



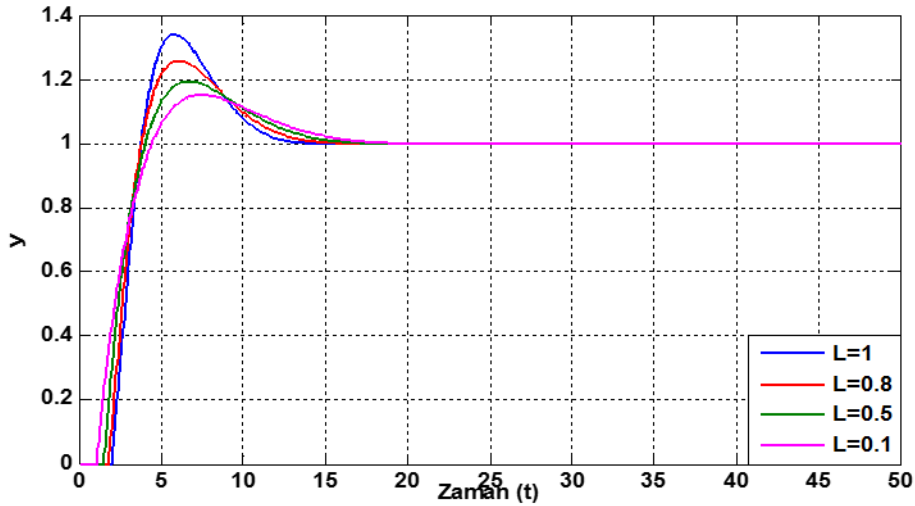
Şekil 20. Farklı K değerleri için FOPID kontrolörün birim basamak cevapları



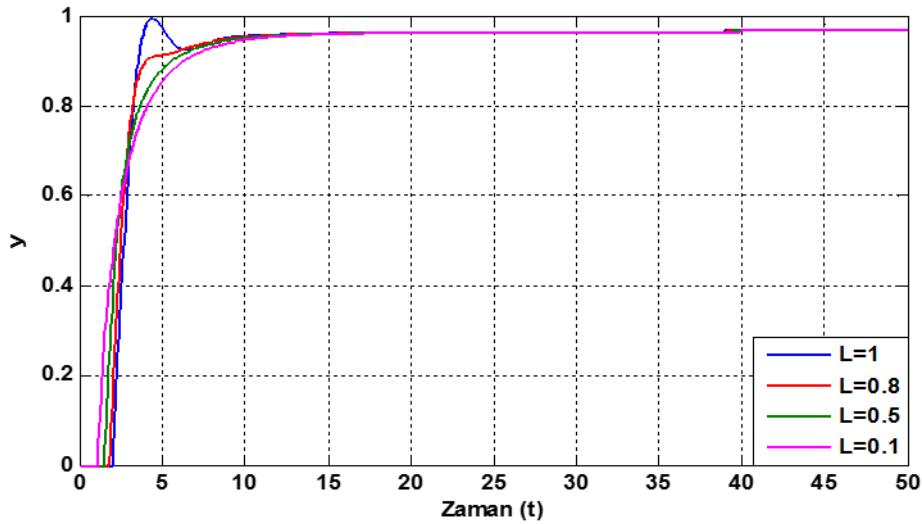
Şekil 21. Farklı τ değerleri için YSA-FOPID kontrolörün birim basamak cevapları



Şekil 22. Farklı τ değerleri için FOPID kontrolörün birim basamak cevapları



Şekil 23. Farklı L değerleri için YSA-FOPID kontrolörün birim basamak cevapları



Şekil 24. Farklı L değerleri için FOPID kontrolörün birim basamak cevapları

Şekil 19 ve Şekil 20' de τ ve L sabit tutularak ($\tau = 62$, $L = 1$) farklı K değerleri ($K = 1, 0.55, 0.25, 0.125$) için YSA-FOPID ve FOPID kontrolörlerinin birim basamak cevapları sırası ile verilmiştir. Şekil 19' da ki cevaplar incelendiğinde YSA-FOPID kontrolörün hızlı ve kararlı cevaplar verdiği görülür. FOPID kontrolörün birim basamak cevaplarının gösterildiği Şekil 20 incelendiğinde ise K değerlerindeki düşüşe bağlı olarak sistemin kararlı konuma gelme süresinin uzadığı ve referans değerden uzaklaştığı görülür.

Şekil 21 ve 22' de ise K ve L değerleri sabit tutularak ($K = 0.55$, $L = 1$) farklı τ değerleri ($\tau = 31, 62, 93$) için birim basamak cevapları karşılaştırıldı. YSA-FOPID kontrolörün verdiği cevaplara bakıldığında düşük τ değerleri için taşmalar meydana gelmekle birlikte büyük τ değerlerin de aşım oranı düşmüştür. FOPID kontrolörün cevaplarında ise kararlı konuma gelme süresinin yüksek olmasının yanı sıra aşım sayılarının fazlalığı ve referans değeri yakalama güçlüğü görülür.

Şekil 23 ve 24' de ise K ve τ değerleri sabit tutularak ($K = 0.55$, $\tau = 62$) farklı L değerleri ($L = 1, 0.8, 0.5, 0.1$) için birim basamak cevapları karşılaştırıldı. YSA-FOPID kontrolörün verdiği cevaplara bakıldığında sistemin kontrolü sorunsuzca tamamlanırken (15 sn.) FOPID kontrolörün cevaplarında ise taşım oranı azalmakla birlikte referans noktaya ulaşım sıkıntısı devam etmektedir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada Yapay Sinir Ağları (YSA) ile kesir dereceli PID (FOPID) kontrolörün kazanç katsayıları (K_p , K_d ve K_i) ayarlanarak sistemin en iyi şekilde kontrol edilmesi çalışılmıştır. FOPID kontrolör ile sistemleri kararlı bir şekilde kontrol edilebilirliği daha önce yapılan çalışmalarda gösterilmiştir [3 - 8]. Fakat sistemin parametrelerinde çevresel nedenler ile değişimler söz konusu olduğunda, FOPID kontrolörün sistemi kararlılıkla kontrol etmekte zorlandığı alınan benzetim sonuçlarında gözlemlenmiştir (Şekil 15, 17, 20, 22, 24). YSA kullanılarak gerçekleştirilen tasarımda (YSA-FOPID) ise duruma göre kazanç katsayılarını ayarlanması söz konusu olduğu için kontrol edilen sistemdeki parametre değişimlerine karşı dayanıklılığın arttığı ve çok daha geniş bir parametre aralığında sistemi kararlılıkla daha hızlı kontrol edebilmektedir (Şekil 14, 16, 19, 21, 23). Ayrıca kesir dereceli PID (FOPID) kontrolörlere göre daha hızlı ve kararlı cevaplar verdiği karşılaştırmalı cevap eğrilerinden gözlemlenmiştir (Şekil 13, 18). İleriye yönelik çalışmalarda yine YSA kullanarak FOPID denetleyicinin integral derecesinin (λ) ve türev derecesinin (μ) ayarlanması sağlanabilir.

Kaynaklar

- [1] Ziegler JG, Nichols N B (1942). Optimum Settings for Automatic Controllers, Trans. ASME, 64, 759 – 765.
- [2] Åström KJ, Hägglund T, Hang CC, Ho WK (1993). Automatic tuning and adaptation for PID controllers - a survey, Control Eng. Prac,1; 699-714.
- [3] Åström KJ, Hägglund T (1995). PID controllers: Theory, Design, and Tuning, Instrument, Society of America.
- [4] Zhuang M, Atherton DP (1993). Automatic tuning of optimum PID, IEE Proceedings D – Control Theory and Applications, 140(3), 216-224.
- [5] Mizumoto I, Tanaka H, Iwai Z (2010). Adaptive PID Control for Nonlinear Systems With a Parallel Feed forward Compensator, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 2901-2918.
- [6] Chang WD, Hwang RC, Hsieh JG (1998). Adaptive control of multivariable dynamic systems using independent self-tuning neurons, In Proceeding of the Tenth International Conference on Tools with Artificial Intelligence, 68-73.
- [7] Chen CT, Chang WD (1996) A feed forward neural network with function shape autotuning, Neural Networks, 9(4), 627-641.
- [8] Xu B, Pandian RS, Sakagami N, Petry F (2012). Neuro-fuzzy control of underwater vehicle-manipulator systems, Journal of the Franklin Institute, 349, 1125-1138.
- [9] Saad MS, Jamaluddin M, Darus IZM (2012). Implementation of PID Controller Tuning Using Differential Evolution and Genetic Algorithms, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 9(11), 7761-7779.
- [10] Gaing ZL (2004). A Particle Swarm Optimization Approach For Optimum Design of PID Controller in AVR system, IEEE Trans. on Energy Conversion, 19(2), 384-391.
- [11] Bagis A (2011). Tabu search algorithm based PID controller tuning for desired system specifications, Journal of the Franklin Institute, 348, 2795-2812.
- [12] Lee CH, Chang FK (2010). Fractional-order PID controller optimization via improved electromagnetism-like algorithm, Expert Systems with Applications, 37(12), 8871-8878.
- [13] Ali ES, Abd-Elazim SM (2011). Bacteria foraging optimization algorithm based load frequency controller for interconnected power system, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 33(3), 633-638.
- [14] Cetin M, Iplikci S (2015). A novel auto-tuning PID control mechanism for nonlinear systems, ISA transactions, 58, 292-308.
- [15] Podlubny I (1999). Fractional order systems and $PI^{\lambda}D^{\mu}$ controller, Proc. IEEE Transaction on Automatic Control, 44, 208–214.

- [16] Li HS, Luo Y, Chen YQ (2010). A Fractional Order Proportional and Derivative (FOPD) Motion Controller: Tuning Rule and Experiments, *IEEE Transactions on Control System Technology*, 18, 516-520.
- [17] Valério D, Costa JS (2006). Tuning of fractional PID controllers with Zeigler-Nichols-type rules, *Signal Processing*, 86, 2771–2784.
- [18] Valério D, Costa JS (2007). Tuning-Rules for Fractional PID controllers, *Advances in Fractional Calculus*, 463-476.
- [19] Duma R, Dobra P, Trusca M (2012). Embedded application of fractional order control, *Electronics Letters*, 48(24),1526-1528.
- [20] Padula F, Visioli A (2012). Optimal tuning rules for proportional-integral-derivative and fractional-order proportional-integral-derivative controllers for integral and unstable processes, *Control Theory & Applications*, 6(6), 776-786.
- [21] Arpacı H, Özgüven ÖF, Serhat M (2018). Otomatik Ayarlamalı Sinir Hücresi ile Adaptif Kesir Dereceli PID Kontrolör Tasarımı, *Journal of New Results in Engineering and Natural Science*, No:8, 100-118.
- [22] Caponetto R, Fortuna L, Porto D (2002). Parameter Tuning of a Non Integer Order PID Controller, In: *Electronic proceedings of the 15th International Symposium on Mathematical Theory of Networks and Systems*.
- [23] Chen YQ, Moore KL (2002). Discretization schemes for fractional order differentiators and integrators, *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, Vol. 49, No 3, 363–367.
- [24] Valério D, Sá da Costa JMG (2006). Tuning-Rules for Fractional PID controllers, 2nd IFAC workshop on fractional differentiation and its applications 06, Porto.
- [25] Kohonen T (1984). *Self-Organization and Associative Memory*, (3rd edition 1989). Springer, Berlin.
- [26] Petras I (1998). Control Quality Enhancement by Fractional Order Controllers, *Acta Montanistica Slovaca*, Vol. 3, No 2, 143-148.
- [27] Fausett LV (1994). *Fundamentals of Neural Networks*, Prentice Hall.
- [28] Base NK (1995). *Neural Network Fundamentals with Graphs, Algorithms and Applications*, McGraw-Hill Education.
- [29] Cinsdikici M, Yüçetürk AC, Öztürk Y (1997). ATM Networkleri için Yapay Sinir Ağı Çözümleri, 14.Ulusal Bilişim Kurultayı (BİLİŞİM.97) Bildirileri, İstanbul, 55-59.
- [30] Lipmann RP (1987). An introduction to computing with neural networks, *IEEE ASSP Mag.* 4, 4-22.
- [31] Cao JY, Liang J, Cao BG (2005). Optimization of Fractional Order PID Controllers Based on Generic Algorithm, 2005 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Vol.9, 5686-5689, 18-21.
- [32] Zhang Y, Li J (2011). Fractional-order PID Controller Tuning Based on Genetic Algorithm, *Business Management and Electronic Information (BMEI)*, 2011 International Conference on, Vol.3, 764 – 767, 13-15.

NANOYAPILI LANTAN KATKILI ZnO FİMLERİNİN ELDE EDİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU

Gonca İLGÜ BÜYÜK¹, Salih İLİCAN^{2*}

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Eskişehir, 26470, Türkiye

²Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Eskişehir, 26470, Türkiye

ÖZET

Sol jel metodu ile elde edilen çözeltiler kullanılarak, spin kaplama tekniği ile Lantan (La) katkıli çinko oksit (ZnO) filmleri p-tipi silisyum (*p-Si*) alttaşlar üzerine elde edilmiştir. Elde edilen ZnO filmlerinin morfolojik, yapısal ve optik özellikleri üzerine Lantan katkısının etkisi araştırılmıştır. Ortalama tanecik boyutu, tane sınırları ve filmlerin yüzey durumlarının araştırılması amacıyla, elde edilen filmlerin taramalı electron mikroskobu (SEM) görüntüleri çekilmiş ve ImageJ programı ile analiz edilmiştir. SEM görüntülerinden, filmlerin yüzeylerinin birbirine benzediği, gözeneksiz ve homojen olduğu, dairesel nanotaneciklerden oluştuğu ve La katkısı ile birlikte dairesel taneciklerin şekilsel yapısının bozulmadığı gözlenmiştir. Ortalama tanecik boyutlarının 20-31nm aralığında olduğu ve en büyük değere %0,4 La katkıli olan filmin sahip olduğu belirlenmiştir. Filmlerin X-ışınları kırınımı (XRD) spektrumları, X-ışınları toz kırınım cihazı ile alınmıştır. Bütün filmlerin heksagonal wurtzite yapıda zinksit fazda kristallendiği ve (002) tercihli yönelime sahip olduğu belirlenmiştir. Elde edilen filmlerin ortalama tanecik boyutları Scherrer formülü ile hesaplanmıştır. %0,4 La katkıli olan filmin diğer filmlere göre daha iyi kristallendiği ve en büyük tanecik boyutunun bu filme ait olduğu belirlenmiştir. La katkıli ZnO filmlerinin diffüz yansıma spektrumları UV-vis spektrofotometre kullanılarak alınmıştır. Bu spektrumlar kullanılarak diferansiyel yansıma ve Kubelka-Munk teorisi kullanılarak iki farklı yöntemle optik bant aralık değerleri hesaplanmıştır. Her iki yöntemden de, ZnO filminin optik band değerinin La katkısıyla önce arttığı, katkı miktarı daha artınca da azalmaya başladığı belirlenmiştir. %0,4 La katkıli filmin optik band aralığının diğer filmlere göre daha büyük olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Katkıli ZnO, nanoyapı, spin kaplama, XRD, SEM, Kubelka-Munk

DEPOSITION AND CHARACTERIZATION OF NANOSTRUCTURED LANTHANUM DOPED ZnO FILMS

ABSTRACT

Lanthanum (La) doped zinc oxide (ZnO) films were deposited onto p-type silicon (*p-Si*) substrates by sol gel method using spin coating technique. The effect of Lanthanum on the structural, morphological and optical properties of ZnO films was investigated. In order to investigate the average particle size, grain boundaries and the surface of the films, scanning electron microscopy (SEM) images of the obtained films were taken and analyzed by the ImageJ program. From these images, it was observed that the surfaces of the films were similar, homogeneous and non-porous, consisted of round-shaped nanoparticles, and the circular structure of the nanoparticles did not change with increasing the La content. Average particle size was calculated to be in the range of 20-31nm and the film having the highest value was determined to be 0,4% La doped ZnO film. The X-ray diffraction (XRD) spectra of the films were taken by using X-ray powder diffractometer. All the films were crystallized in hexagonal wurtzite structure in zinksite phase and (002) had preferential orientation. The average particle size of the obtained films was calculated by the Scherrer formula. It was determined that 0,4% La ZnO film was better crystallized than other films and the largest particle size belongs to this film. Diffuse reflectance spectra of La doped ZnO films were carried out using UV-vis spectrophotometer. Using these spectra, optical

* e-posta: salihailican@gmail.com

film was better crystallized than other films and the largest particle size belongs to this film. Diffuse reflectance spectra of La doped ZnO films were carried out using UV-vis spectrophotometer. Using these spectra, optical band gap values were calculated by using two different methods which are differential reflection and Kubelka-Munk theory. In both methods, it was determined that the optical band value of ZnO film first increased with the incorporation of La, and then decreased with increasing La content. It was observed that the optical band gap of the 0,4% La doped ZnO film was larger than the other films.

Keywords: Doped ZnO, nanostructure, spin coating, XRD, SEM, Kubelka-Munk

1. Giriş

Elektronik devrelerin çoğunda kullanılan çinko oksit (ZnO), geniş optik bant aralığına ($E_g=3,30\text{eV}$, oda sıcaklığında) sahip n-tipi bir yarıiletkenidir. Görünür bölgede yüksek geçirgenliğe sahip olup, eksiton bağ enerjisi ise 60meV 'dir [1]. Çevreye zarar vermeyen bir malzeme olan ZnO, aynı zamanda yüksek elektriksel iletkenliğe de sahiptir. Bu üstün özellikler nedeniyle geniş bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle güneş pili [2], nem sensörlü [3], gas sensörü [4], fotodiyot [5] ve transistör [6] uygulamalarında sıkça kullanılmakta olan oldukça popüler bir malzemedir.

ZnO filmleri hangi alanda kullanılacaksa, ona göre depolama metodu ve buna bağlı deney şartları belirlenerek çok çeşitli metotlar kullanılarak elde edilebilir. Ucuz ve kolay olmaları, vakum sistemleri gerektirmemeleri nedeniyle elektrokimyasal kaplama [7, 8], püskürterek kaplama [9, 10] ve sol jel [11-13] gibi çözelti başlangıçlı metotlar oldukça fazla kullanılmaktadır. ZnO filmlerinin optik, morfolojik ve elektriksel özellikleri gibi birçok fiziksel özellikleri, deneysel şartlarla değiştirilebilir. Örneğin sol jel metodunda, çözelti molaritesi, çözelti karıştırma sıcaklığı, çözücü türü gibi çözelti hazırlama parametreleri ile döndürme hızı ve süresi, kurutma ve tavlama sıcaklık ve süreleri gibi film depolama parametrelerinin değiştirilmesi, elde edilen filmlerin fiziksel özelliklerini etkiler. Bunun yanında yapılacak katkı işlemleri de, ZnO filmlerinin fiziksel özelliklerini değiştirebilir. ZnO filmlerinin çok geniş kullanım alanının olması ve sol jel metodunun içerdiği çok sayıda değişkenin varlığı, bu çalışmaların uzun yıllar daha süreceğini göstermektedir.

Ulaşılabilir literatürde sol jel yöntemi kullanılarak elde edilen Lantan (La) katkılı ZnO filmleri ile ilgili yapılan çalışmalar [14-17], İndiyum (In) ve Alüminyum (Al) gibi elementlerle katkılı ZnO filmlerine göre çok daha azdır. Bu çalışmalarda sol jel metodu ile hazırlanan çözeltiler, spin kaplama ya da dip kaplama teknikleri ile alttaşlar üzerine kaplanmış ve filmler elde edilmiştir (Çizelge 1). Bu çalışmada literatürden farklı olarak, La katkı oranı %1 ve daha az oranlarda alınarak, küçük katkı oranlarının ZnO filminin fiziksel özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

Çizelge 1. Ulaşılabilir literatürde sol jel metodu ile elde edilen La katkılı ZnO film çalışmaları.

Teknik	Alttaş	La katkı oranı (%)	La katkı tuzu	Referans
Spin kaplama	Si	0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0	$\text{La}(\text{CH}_3\text{COO})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Bu çalışma
Spin kaplama	Si	0; 1; 3; 5; 10	$\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	[14]
Dip kaplama	Cam	0; 1; 3; 5; 10	$\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	[15]
Spin kaplama	Cam	0; 1; 2; 3; 4	$\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	[16]
Dip kaplama	Si	0; 1	$\text{La}(\text{CH}_3\text{COO})_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	[17]

2. Materyal ve Metod

Elde edilecek filmin homojen olması ve fiziksel özelliklerinin iyi olması için alttaşların temiz olması şarttır. Dolayısıyla, film üretiminde en önemli adımlardan biri kullanılacak alttaşın temizliğidir. Bu çalışmada, (100) yönelimli ve 0,1-10 Ωcm öz direnç değerine sahip p-tipi silisyum (*p-Si*) alttaşlar elmas kesici yardımıyla $\sim 1\text{cm} \times 1\text{cm}$ boyutlarında kesilerek temizlenmiştir. İlk önce, alttaşlar üzerindeki tozların temizlenmesi için deiyonize (DI) suya daldırılmış ve ultrasonik banyoda 10 dakika bekletilmiştir. DI sudan çıkarılan alttaşlar, asetona daldırılmış ve ultrasonik banyoda 10 dakika daha bekletildikten sonra, azot gazı ile kurutulmuştur. Son olarak, Harrick marka plasma cleaner kullanılarak argon gazı ortamında alttaşların temizliği tamamlanmıştır. Temizlenen alttaşlar üzerine film üretimi hiç beklemeden hemen yapılmıştır.

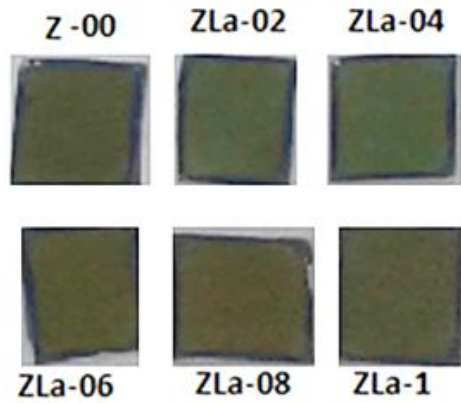
Çözelti hazırlarken çinko kaynağı olarak, çinko asetat dihidrat ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; ZnAc; %99,999; Sigma-Aldrich) kullanılmıştır. 5 ml'lik balon joje içine 0,35M'lık çözelti için 0,3841g ZnAc tuzu konulmuştur ve üzerine sabitleyici olarak 105 μl etanolamin ($\text{NH}_2(\text{CH}_2)_2\text{OH}$; EA; $\geq\%99$; Merck) eklenmiştir. Daha sonra 5ml'ye tamamlanacak şekilde 2-metoksietanol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$; $\geq\%99,9$; Sigma-Aldrich) eklenmiştir. La katkı kaynağı olarak, lantan(III) asetat hidrat ($\text{La}(\text{CH}_3\text{COO})_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$; LaAc; $\geq\%99,99$; Sigma-Aldrich) tuzu kullanılmış ve katkı miktarları kütlece hesaplanmıştır. Belirlenen oranlarda hazırlanan çözelti içine katkı tuzları eklenmiştir (Çizelge 2). Hazırlanan her bir çözelti 60°C'de 2 saat karıştırılıp, süzgeç kağıdı kullanılarak filtrelenmiş ve hiç bekletilmeden hemen film üretimine geçilmiştir.

Çizelge 2. Elde edilen filmlere ait film kodları ve çözeltilerin kütlece katkı miktarları.

Film	Film Kodu	ZnAc/LaAc ($m_{\text{Zn}}/m_{\text{La}}$);	Kütlece Katkı Miktarı (mg)
Katkısız ZnO	Z-00	100 / 0	0
%0,2 La katkılı ZnO	ZLa-02	99,8 / 0,2	0,649338
%0,4 La katkılı ZnO	ZLa-04	99,6 / 0,4	1,298676
%0,6 La katkılı ZnO	ZLa-06	99,4 / 0,6	1,944401
%0,8 La katkılı ZnO	ZLa-08	99,2 / 0,8	2,592535
%1 La katkılı ZnO	ZLa-1	99 / 1	3,240669

p-Si alttaşlar spin kaplama cihazındaki (LAURELL marka WS-400B-6NPP/LITE model) numune tutucusunun üzerine yerleştirilmiş ve hazırlanan çözelti mikropipet yardımıyla damlatılmıştır. Çözelti damlatılan alttaşlar, 3000rpm döndürme hızında 30s döndürülmüş ve ıslak film elde edilmiştir. Daha sonra 300°C'de 10dk kül fırında kurutulmuştur. Bu kaplama/kurutma süreci on kez tekrarlanmıştır. Son olarak, iyi bir kristallenme sağlamak amacıyla, filmler kurutma sıcaklığından daha büyük sıcaklıkta tavlansmıştır. Bunun için kurutma sonrası fırın içindeki filmler çıkarılmadan, sıcaklık 300°C'den 600°C'ye çıkıncaya kadar 20dk fırın içinde tutulmuş, böylece film yüzeyinde oluşabilecek olası çatlaklar engellenmeye çalışılmıştır. Son olarak sıcaklığı 600°C olan fırında filmler 60dk hava ortamında tavlansmış, fırın soğumaya bırakılmış ve sıcaklığı oda sıcaklığına düştüğünde filmler fırından çıkarılmıştır. Deneysel sonunda elde edilen bütün filmlere ait fotoğraflar Şekil 1'de verilmiştir.

Elde edilen katkısız ve La katkılı ZnO filmlerinin yüzey morfolojileri ZEISS Ultraplus alan emisyonlu taramalı elektron mikroskopu (FE-SEM) kullanılarak çalışılmıştır. Film yüzeylerinin zarar görmemesi için SEM görüntüleri 1,00 veya 2,00 kV gerilim altında alınmıştır. Filmlerin X-ışını kırınım (XRD) spektrumları BRUKER D2 Phaser XRD cihazı kullanılarak $2\theta=30^\circ-60^\circ$ arasında 0,02° adımlarla, 15rpm numune tutucu dönme hızında alınmıştır. XRD ölçümleri monokromatik $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=1,54059\text{\AA}$) ışını ile gerçekleştirilmiştir. Saydam olmayan filmlerin optik bant genişliğini belirlemek için en iyi metotlardan biri diffüz yansıma spektrumlarının belirlenmesidir.

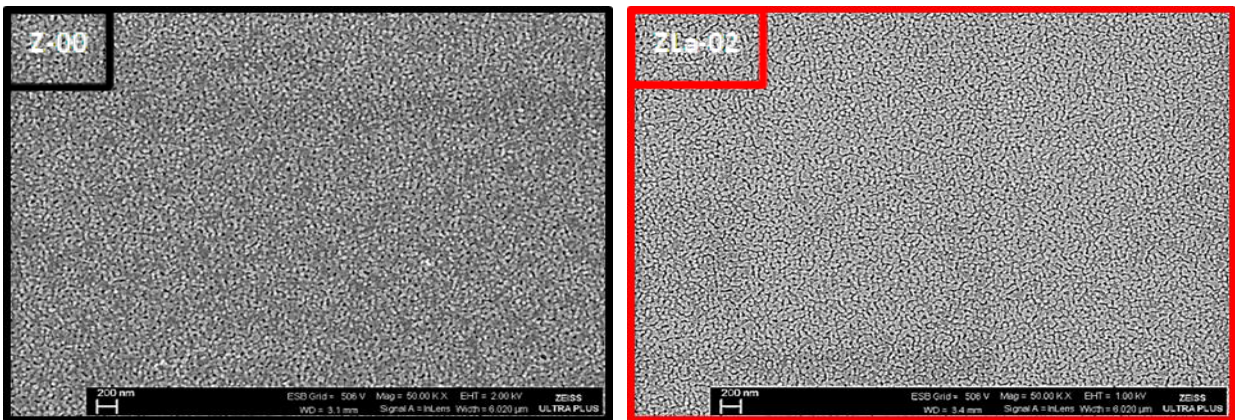


Şekil 1. Elde edilen filmlerin fotoğrafları

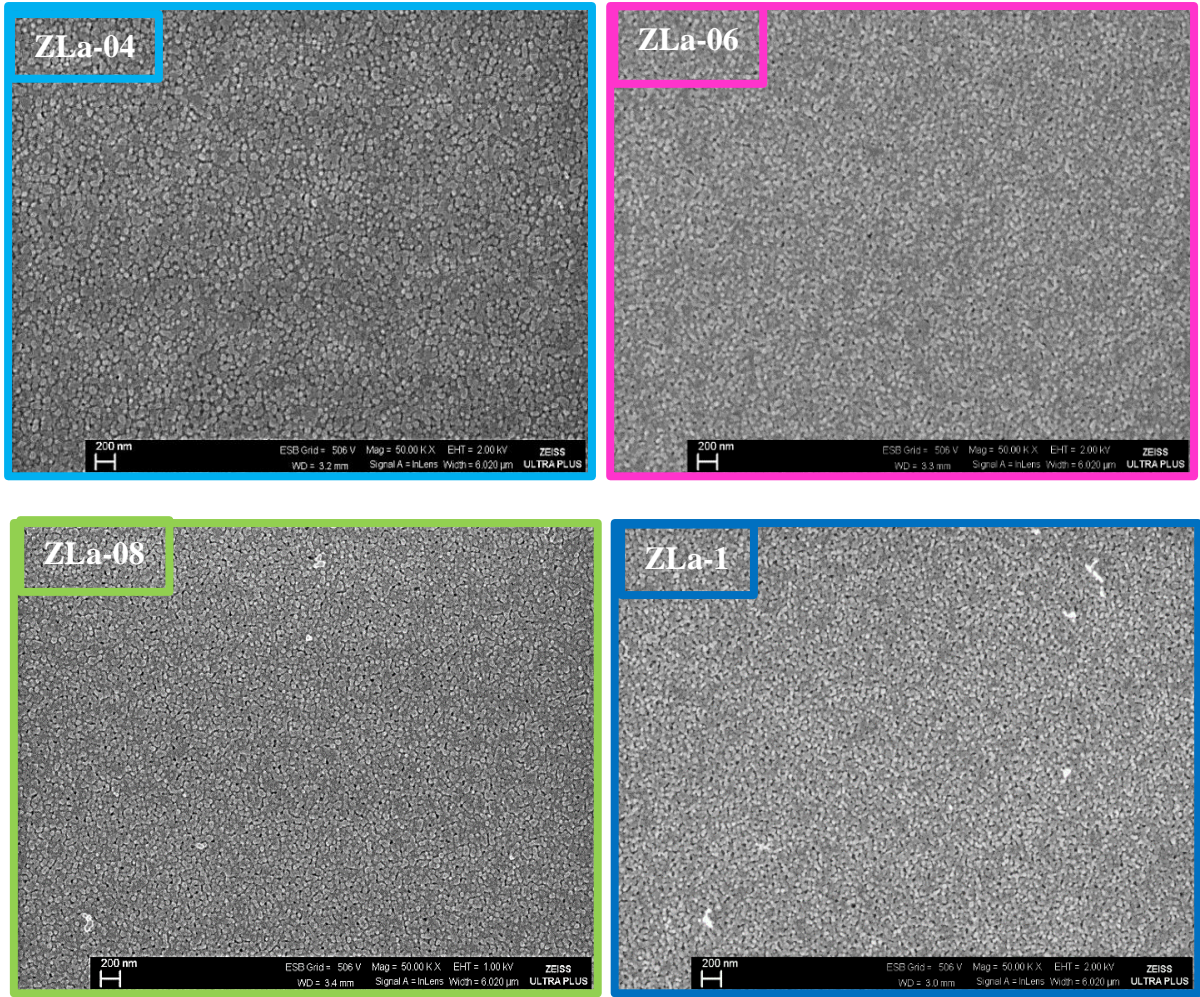
Elde edilen katkısız ve La katkılı ZnO filmlerinin diffüz yansıma spektrumları entegre küre ataçmanlı SHIMADZU UV-2450 UV-vis spektrofotometre cihazı kullanılarak 200-900nm dalgaboyu aralığında, 0,5nm hassasiyet ile ölçülmüştür. Yansıma ölçümlerinde referans olarak, toz halde baryum sülfat (BaSO_4) kullanılmıştır. Bütün ölçümler, oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

3. Sonuçlar

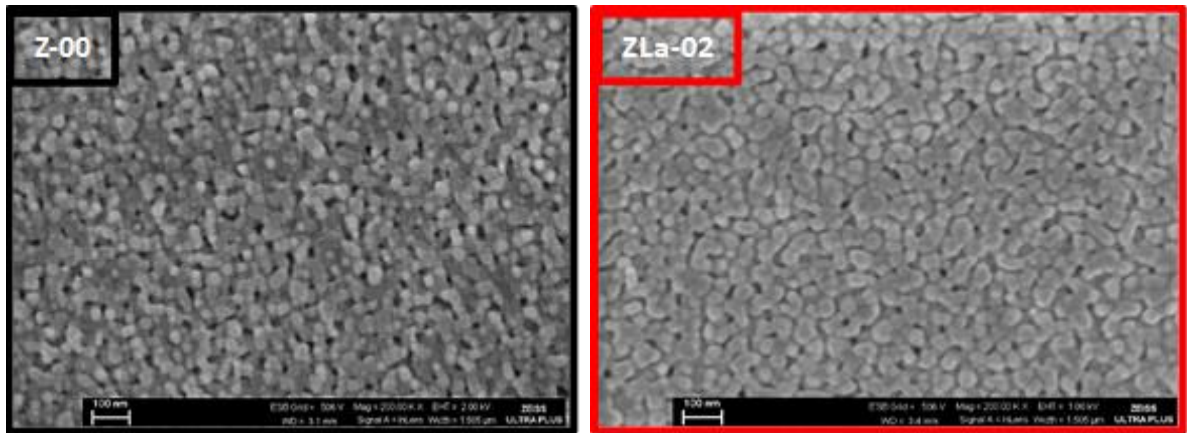
Şekil 2 ve 3'te katkısız ve farklı oranlarda La katkılı ZnO filmlerine ait sırasıyla 50.000 ve 200.000 büyütme oranındaki SEM görüntüleri verilmiştir. Elde edilen filmlerin düşük büyütmedeki SEM görüntüleri incelendiğinde (Şekil 2), film yüzeylerinin çatlak ve gözenekler olmadan düzgün ve pürüzsüz olarak sürekli bir yapıda oluştuğu görülmektedir. Yüksek büyütmedeki SEM görüntülerinden (Şekil 3) ise, bütün elde edilen filmlerin yüzeylerinin nanoyapılı dairesel taneciklerden oluştuğu belirgin olarak görülmektedir. Diğer bir deyişle, La katkısı ile ZnO filminin yüzeyini oluşturan nanotaneçiklerin şekilsel olarak yapısının değişmediği, yani bütün film yüzeylerinin dairesel yapıdaki taneciklerden oluştuğu gözlenmiştir.



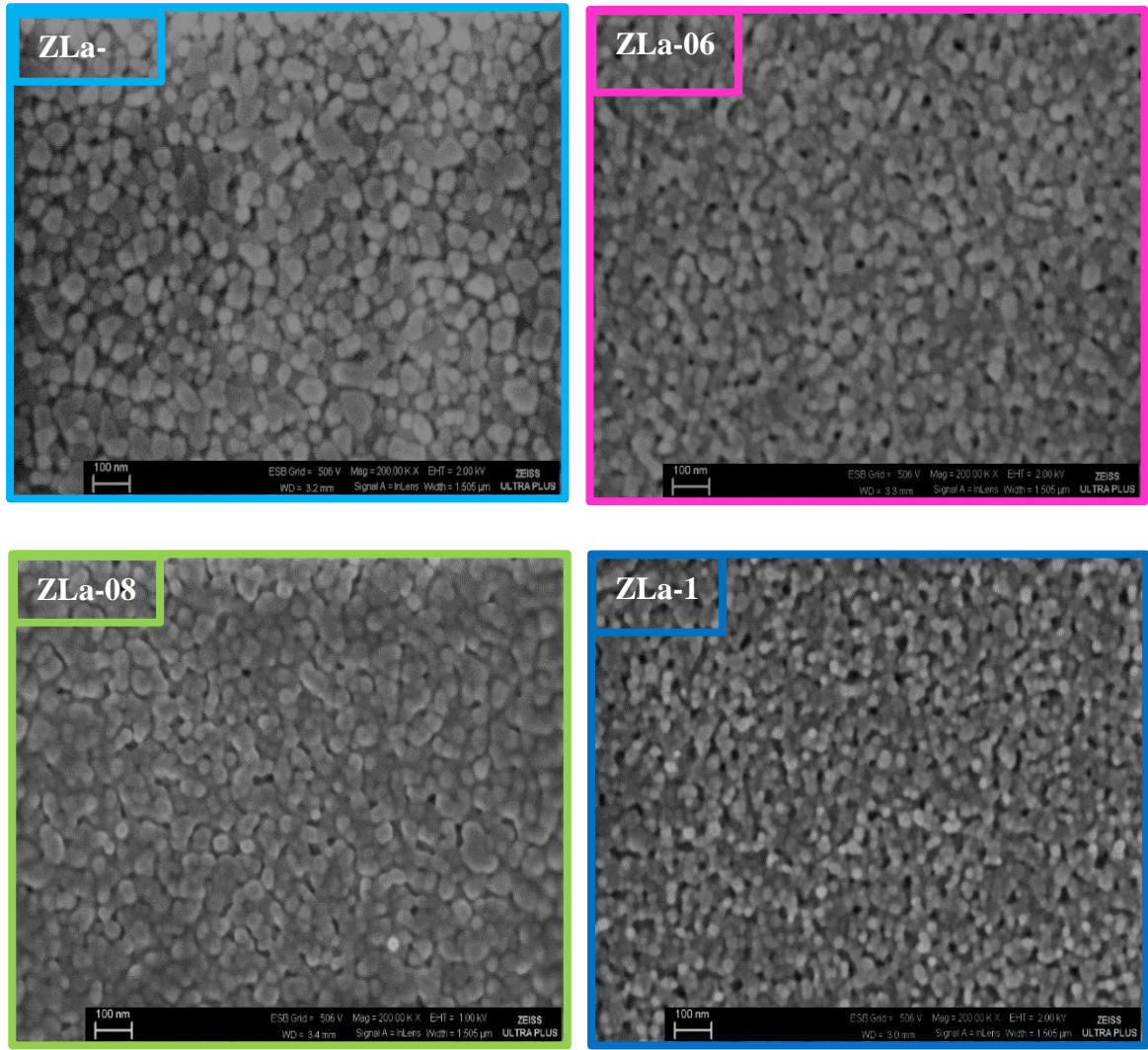
Şekil 2. Katkısız ve farklı oranlarda La katkılı ZnO filmlerine ait 50.000 büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri



Şekil 2.(devamı) Katkısız ve farklı oranlarda La katkılı ZnO filmlerine ait 50.000 büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri



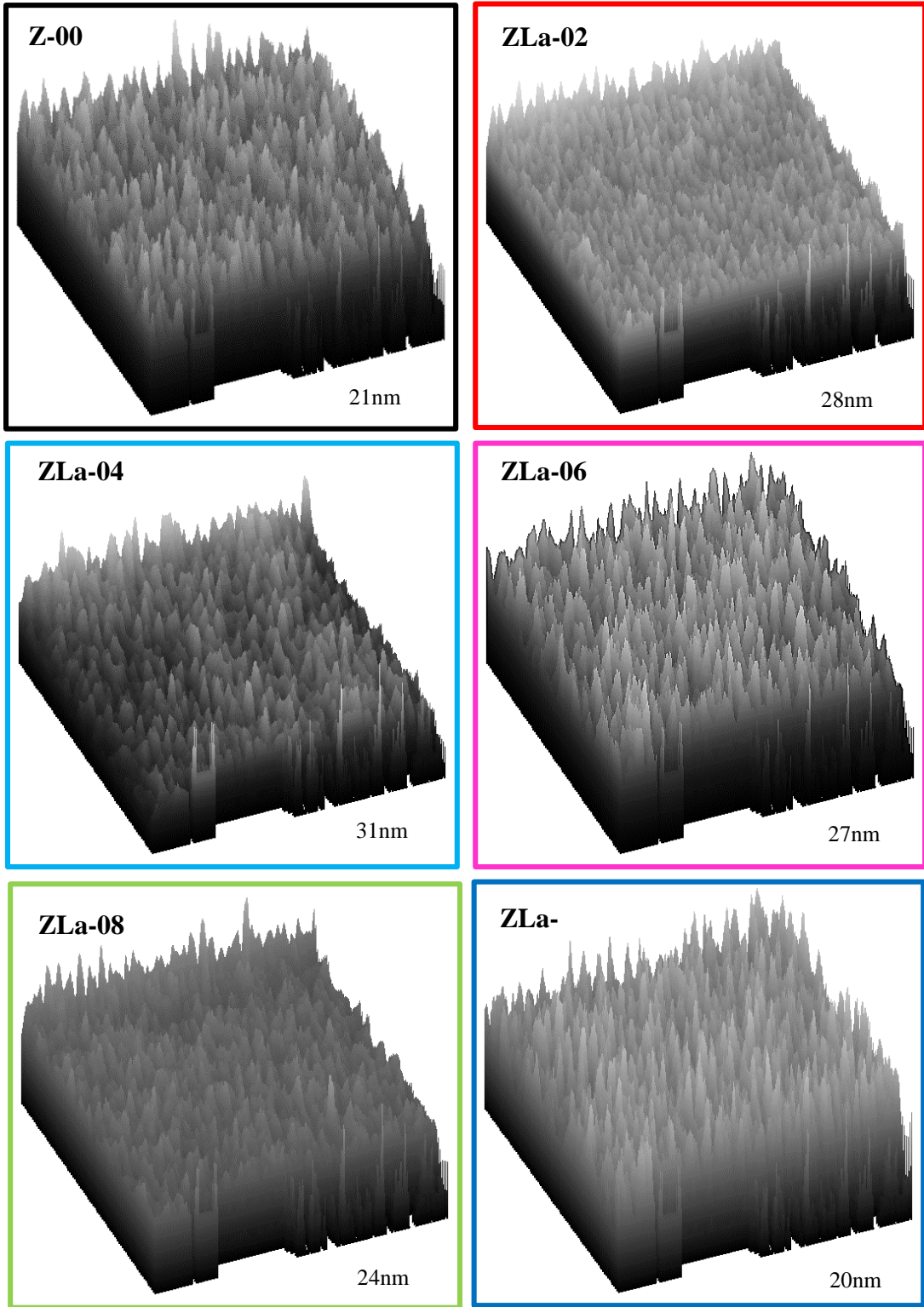
Şekil 3. Katkısız ve farklı oranlarda La katkılı ZnO filmlerine ait 200.000 büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri



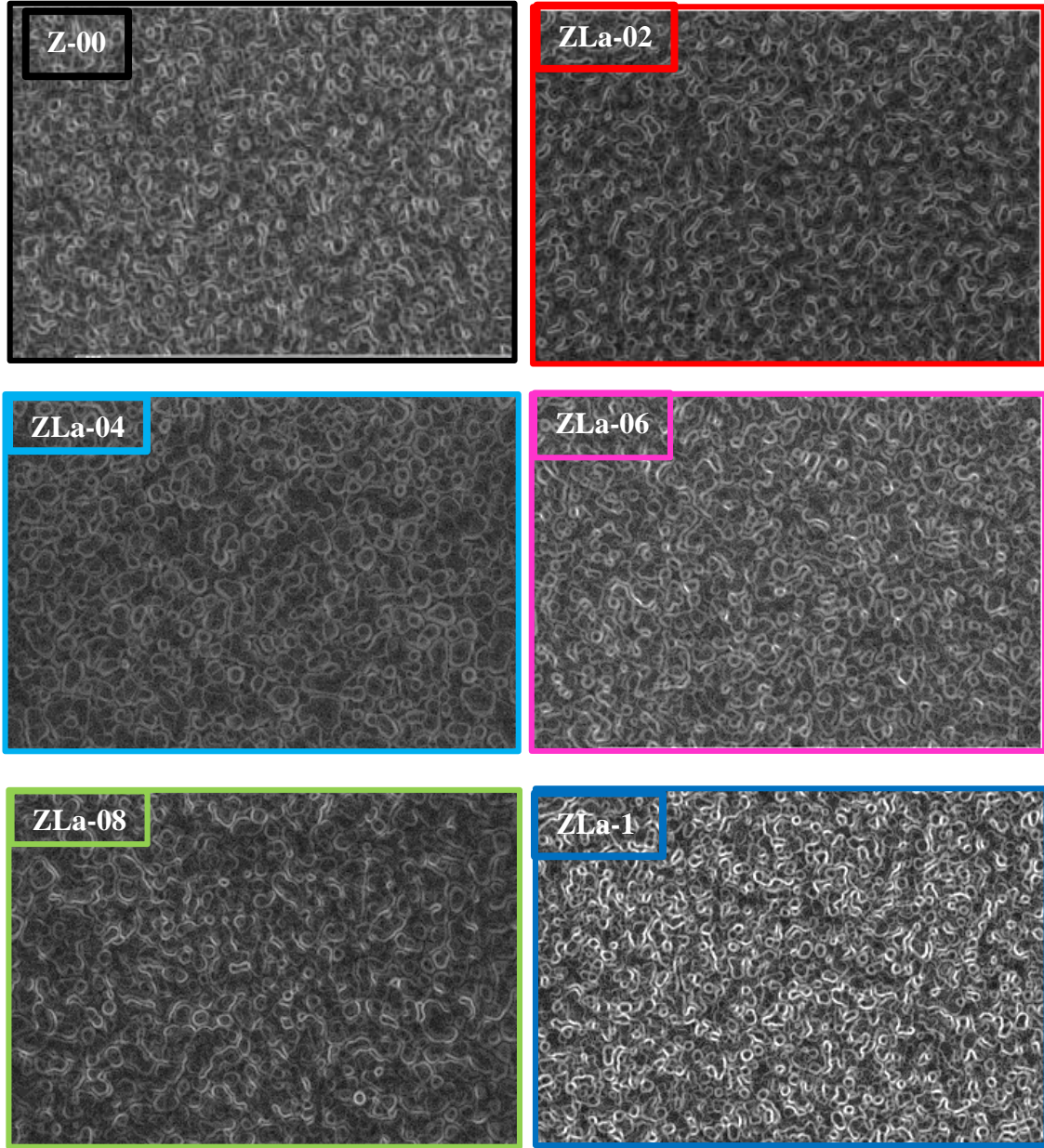
Şekil 3.(devamı) Katkısız ve farklı oranlarda La katkı ZnO filmlerine ait 200.000 büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri

Elde edilen SEM görüntüleri kullanılarak ortalama tanecik boyutları ölçülmüştür. ImageJ programı kullanılarak ölçülen tanecik boyutları Şekil 4’te verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde, en büyük ve en küçük ortalama tanecik boyutuna sahip olan filmlerin sırasıyla ZLa-04 ve ZLa-1 olduğu görülmektedir. Elde edilen filmlere ait yüzey haritaları Şekil 4’te verilmiştir. Bu haritalar incelendiğinde, yüzey pürüzlülük oranlarının değiştiği görülmektedir.

Şekil 5’te elde edilen ZnO filmlerine ait tane sınırları görüntüleri verilmiştir. Tane sınırları incelendiğinde, en büyük taneciklerin ZLa-04 filmine aitken, en küçük taneciklerin ZLa-1 filmine ait olduğu görülmüştür. Elde edilen filmlerin yüzeyinin boşluklar olmadan homojen bir şekilde oluştuğu da görülmektedir.



Şekil 4. Katkısız ve farklı oranlarda La katkılı ZnO filmlerine ait yüzey haritası (200.000 büyütme oranında alınan SEM görüntüleri kullanılmıştır).



Şekil 5. Katkısız ve farklı oranlarda La katkılı ZnO filmlerine ait tane sınırları (200.000 büyütme oranında alınan SEM görüntüleri kullanılmıştır).

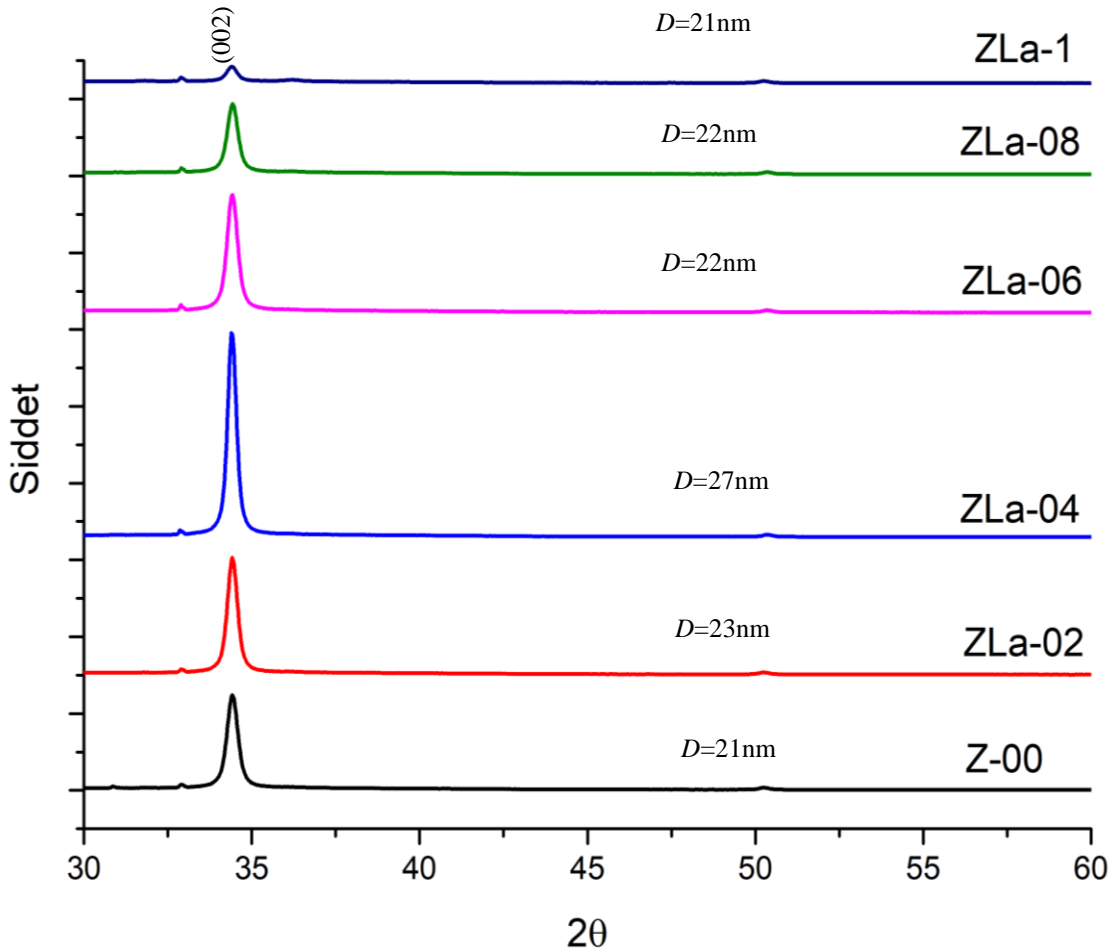
Şekil 5’te elde edilen ZnO filmlerine ait tane sınırları görüntüleri verilmiştir. Tane sınırları incelendiğinde, en büyük taneciklerin ZLa-04 filmine aitken, en küçük taneciklerin ZLa-1 filmine ait olduğu görülmüştür. Elde edilen filmlerin yüzeyinin boşluklar olmadan homojen bir şekilde oluştuğu da görülmektedir.

Elde edilen nanoyapılı filmlerin XRD spektrumları Şekil 6’da verilmiştir. XRD pikleri, hekzagonal yapıda zinksit (JCPDS card no:036-1451) faza aittir. La katkısına ait herhangi bir pik gözlenmemiştir. (002) pikinin yanında diğer pik şiddetlerinin ihmal edilebilir olması nedeniyle, tüm

filmlerin tercihli yöneliminin (002) düzleminde olduğu söylenebilir. Katkı ile birlikte pik pozisyonlarında belirgin bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Ortalama tanecik boyutları (D) aşağıda verilen Scherrer formülü kullanılarak hesaplanmıştır [18].

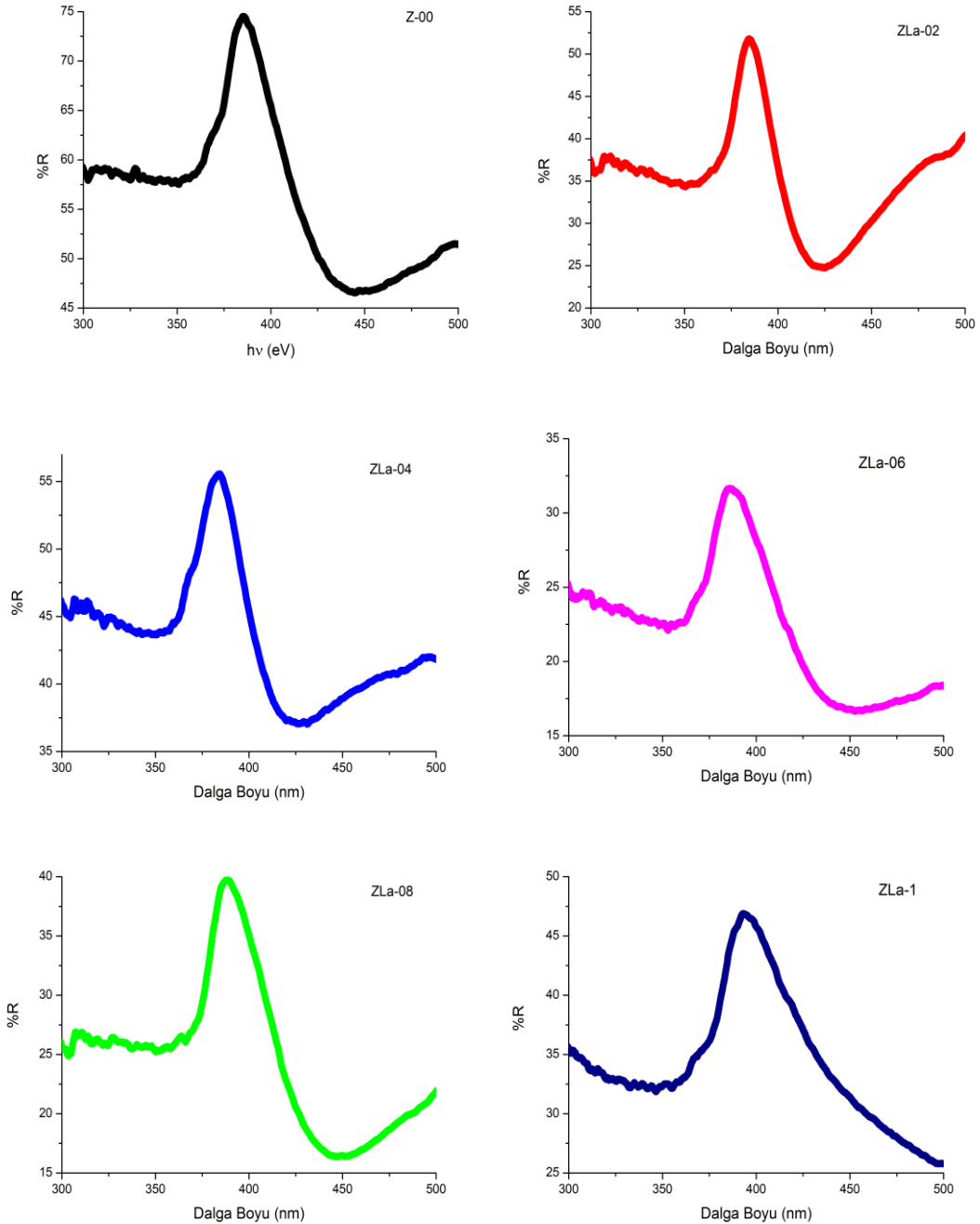
$$D = \frac{0,94 \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

Burada, $\lambda=1,54059\text{\AA}$ değerinde olup kullanılan $\text{CuK}\alpha$ ışınının dalgaboyu, β yarıpik genişliği ve θ kırınım açısıdır. Elde edilen filmlere ait hesaplanan D değerleri Şekil 6'da verilmiştir. En büyük tanecik boyutlu film, ZLa-04 filmidir. Katkı konsantrasyonun daha fazla artışı ile birlikte yapıda bozulmalar olmuş ve tanecik boyutu da küçülmeye başlamıştır. XRD desenleri kullanılarak hesaplanan ortalama tanecik boyutları ile SEM görüntülerinden gözlemlenen tanecik boyutları birbirleriyle uyum içindedir. Artan katkı ile tane boyutları önceleri büyürken, katkı miktarının artmasıyla kristal yapıda bozulmalar olmaya başlamıştır. Benzer durum pik şiddetleri için de geçerlidir. Küçük katkı miktarlarında pik şiddeti artarken, katkının daha da artmasıyla birlikte pik şiddeti azalmaya başlamıştır. Bu durum, La^{+3} ($r_i=1,06\text{\AA}$) ve Zn^{+2} ($r_i=0,74\text{\AA}$) arasındaki iyonik yarıçap farkından kaynaklanmış olabilir. En yüksek pik şiddeti ise yine ZLa-04 filmine aittir. Bu sonuçlar önceden rapor edilen çalışmalar ile uyum içindedir [14, 19].



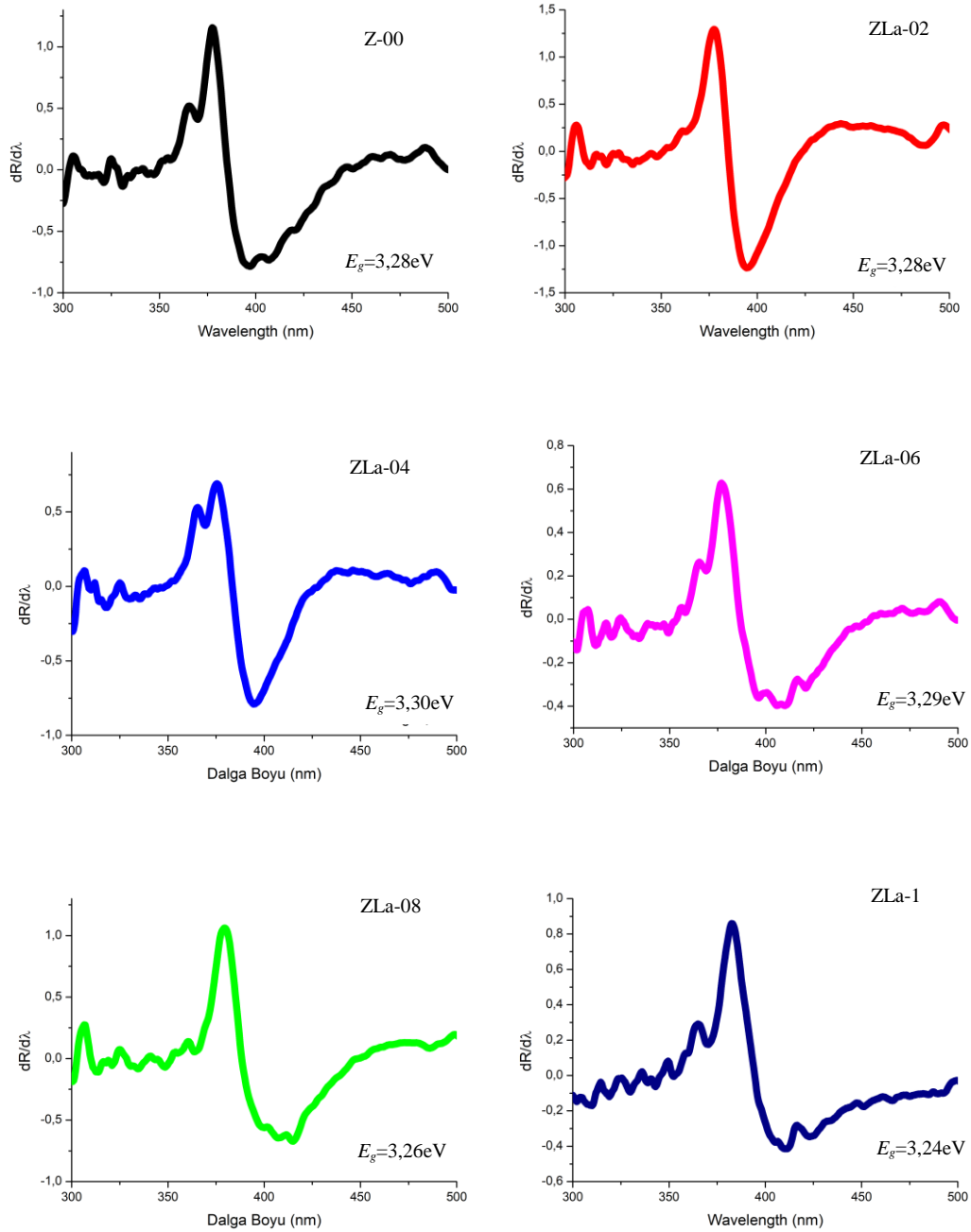
Şekil 6. Katkisız ve farklı oranlarda La katkılı ZnO filmlerine ait XRD spektrumları.

Katkısız ve farklı oranlarda La katkısı ile elde edilen ZnO filmlerin optik band aralık (E_g) değerlerini belirleyebilmek için, diffüz yansıma spektrumlarından yararlanılmıştır. Elde edilen tüm filmlerin diffüz yansıma spektrumları Şekil 7’de verilmiştir. Bu spektrumlar incelendiğinde, 375-450nm dalga boylarında bir pik göze çarpmaktadır. Pikin pozisyonu La katkısı ile değişmektedir. Bu da filmlerin optik bant aralıklarının La katkı miktarı ile değiştiğini göstermektedir.



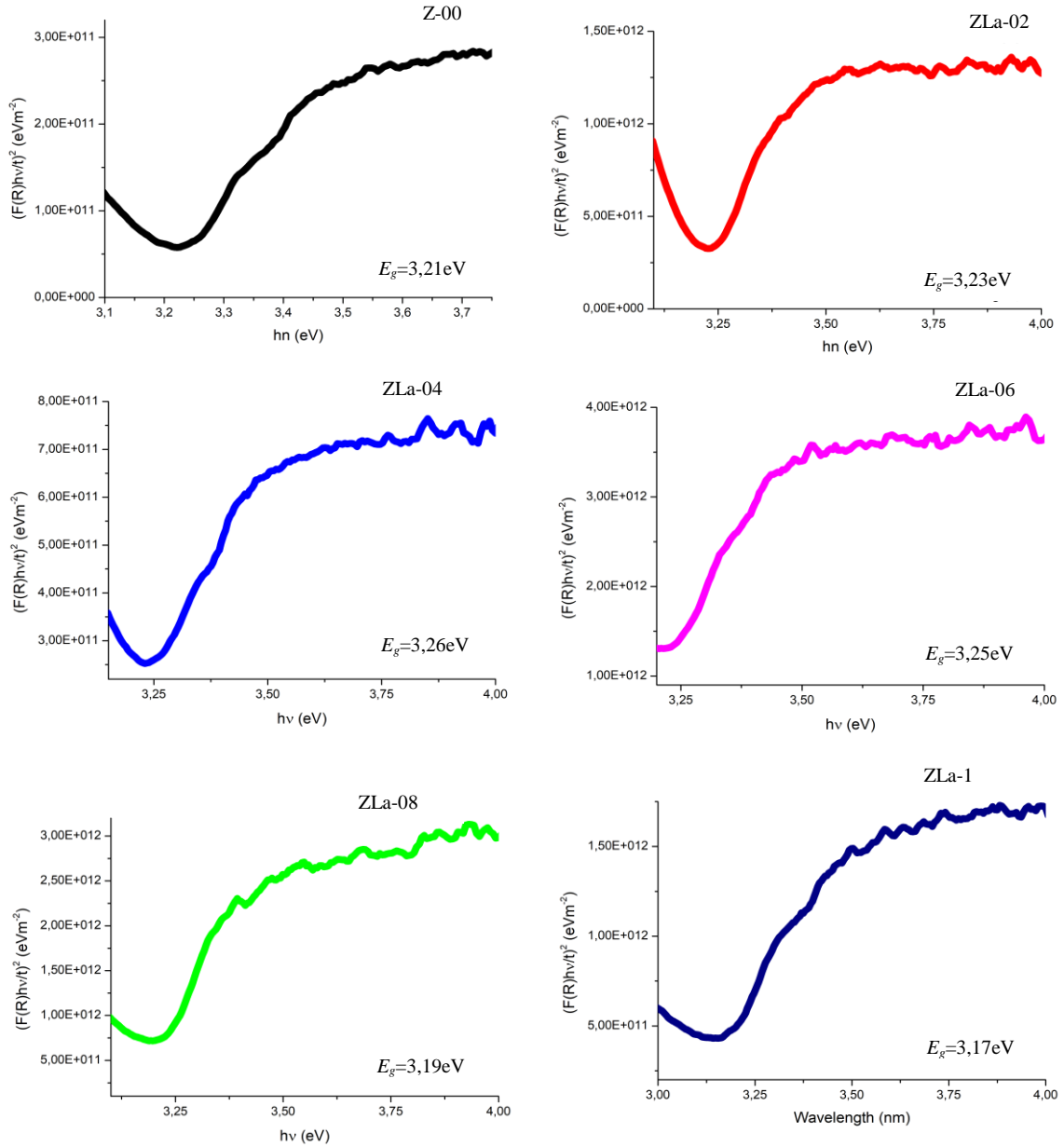
Şekil 7. Katkısız ve farklı oranlarda La katkılı ZnO filmlerinin diffüz yansıma spektrumları.

Elde edilen opak filmlerin E_g değerini hesaplamak için iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlardan birincisinde, diffüz yansımada spektrumunun dalga boyuna karşı birinci türevi ($dR/d\lambda$) alınmıştır. Elde edilen bu türev değerleri ile dalga boyuna karşılık bir grafik çizilmiştir (Şekil 8). Çizilen grafikteki maksimum noktaya karşılık gelen dalga boyu değeri kullanılarak da E_g değeri hesaplanmıştır. Bu maksimum nokta, o filmin absorpsiyon kenarına karşılık gelmektedir. Hesaplanan E_g değerleri çizilen grafikler içinde verilmiştir.



Şekil 8. Katkısız ve farklı oranlarda La katkılı ZnO filmlerinin dalgaboyuna karşı çizilen $dR/d\lambda$ grafikleri.

İkinci yöntemde ise yansıma değerleri Kubelka-Munk fonksiyonu [20] yardımıyla absorpsiyon değerlerine dönüştürülmüştür. Elde edilen bu değerler kullanılarak, nanoyapılı ZnO filmlerine ait E_g değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen filmlerin Kubelka-Munk grafikleri ve hesaplanan E_g değerleri Şekil 9'da verilmiştir. Her iki yöntemde de en yüksek E_g değeri ZLa-04 filmine, en küçük E_g değeri ise ZLa-1 filmine aittir. En küçük E_g değeri, en yüksek La katkısı yapılan ZnO filminde elde edilmiştir. Bu durum, katkı atomlarının yasak enerji aralığı içine yerleşerek, bant kuyuklarının oluşmasına sebep olmasına atfedilebilir. Elde edilen E_g değerleri literatür ile uyum içerisinde [21].



Şekil 9. Katkisız ve farklı oranlarda La katkılı ZnO filmlerinin Kubelka-Munk grafikleri.

Spin kaplama tekniği ile elde edilen katkısız ve La katkılı ZnO filmlerinin fiziksel özellikleri SEM, XRD ve UV-vis spektrofotometresi kullanılarak araştırılmıştır. Kütlece %1 ve daha az katkı oranı ile elde edilen filmlerden ZLa-04 filminin diğer filmlere göre, daha iyi kristallendiği ve en büyük tanecikli yapıya sahip olduğu gözlenmiştir. XRD ve SEM analizleri sonucunda, en büyük ortalama tanecik boyutuna sahip olan filmin ZLa-04 filmi olduğu belirlenmiştir. Yansıma spektrumlarından yararlanılarak hesaplanan optik band aralıklarınının hemen hemen birbiriyle aynı olmakla beraber, yine ZLa-04 filminin diğer filmlere göre en geniş band aralığına sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak, özellikle *p-n* heteroeklem uygulamalarında, yüzeyin pürüzlülük durumları oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışmada elde edilen bütün filmlerin yüzeylerinin boşluksuz olarak kaplanması ve homojen yüzeye sahip olması aygıt uygulamaları için her bir filmin uygun olduğu sonucuna varılmıştır. İleriki çalışmalarda, bu filmler kullanılarak *p-n* heteroeklem fabrikasyon ve karakterizasyonunun yapılması planmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma, Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Komisyonu 1501F032 no'lu lisansüstü projesi tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Ilgu, G., Caglar, Y., Ilican, S., Caglar, M., Ruzgar, S. The effect of sol concentration on the structural and electrical parameters of nanostructure ZnO films by sol gel dip coating. *J. Nanoelectron. Optoe.* 2014; 9: 622-627.
- [2] Raja, M., Muthukumarasamy, N., Velauthapillai, D., Balasundaraprabhu, R., Agilan, S., Senthil, T.S. Studies on bundle like ZnO nanorods for solar cell applications. *Solar Energy.* 2014; 106: 129-135.
- [3] Ates, T., Tatar, C., Yakuphanoglu, F. Preparation of semiconductor ZnO powders by sol gel method: Humidity sensors. *Sensor. Actuat. A-Phys.* 2013; 190: 153-160.
- [4] Abdi, Y., Jebreil Khadem, S.M., Afzali, P. Resonantly excited ZnO nanowires for fabrication of high sensitivity gas sensor. *Curr. Appl. Phys.* 2014; 14: 227-231.
- [5] Al-Hardan, N.H., Jalar, A., Abdul Hamid, M.A., Keng, L.K., Ahmed, N.M., Shamsudin, R. A wide-band UV photodiode based on n-ZnO/p-Si heterojunctions. *Sensor. Actuat. A-Phys.* 2014; 207: 61-66.
- [6] Alahmed, Z.A., Yakuphanoglu, F. The effects of microfibers on electrical characteristics of zinc oxide thin film transistor. *Microelectron. Eng.* 2013; 110: 25-28.
- [7] Dimova-Malnovska, A.P., Sendova-Vassileva, M., Nichev, H. Ve Starbova, K. Preparation of ZnO nanowires by electrochemical deposition. *Enrgy. Proced.* 2010; 2: 55-58.
- [8] Arslan, A., Hur, E., Ilican, S., Caglar, Y., Caglar, M. Controlled growth of c-axis oriented ZnO nanorod array films by electrodeposition method and characterization. *Spectrochim. Acta A.* 2014; 128: 716-723.
- [9] Caglar, M., Caglar, Y., Ilican, S. The determination of the thickness and optical constants of the ZnO crystalline thin film by using envelope method. *J. Optoelectron. Adv. Mater.* 2006; 8: 1410-1413.
- [10] Yakuphanoglu, F., Ilican, S., Caglar, M., Caglar, Y. The determination of the optical band and optical constants of non-crystalline and crystalline ZnO thin films deposited by spray pyrolysis. *J., Optoelectron. Adv. M.* 2007; 9(7): 2180-2185.

- [11] Caglar, Y., Yakuphanoglu, F., Ilıcan, S., Caglar, M. Electrical characterization of ZnO/organic semiconductor diode. *J. Optoelectron. Adv. M.* 2008; 10: 2584-2587.
- [12] Aksoy, S., Caglar, Y., Ilıcan, S., Caglar, M. Sol-gel derived zinc oxide films: Effect of deposition parameters on structure, microstructure and photoluminescence properties. *Superlattice. Microst.* 2011; 50(5): 470-479.
- [13] Ilıcan, S. Effect of Na doping on the microstructures and optical properties of ZnO nanorods. *Journal of Alloys and Compounds.* 2013; 553: 225-232.
- [14] Chen J.T., Wang J., Zhang F., Zhang G.A., Wu Z.G., Yan P.X. The effect of La doping concentration on the properties of zinc oxide films prepared by the sol-gel method. *Journal of Crystal Growth* 2008; 310: 2627-2632.
- [15] Venkatesh, K. S., Vijayalakshmi, K., Karthick, K., Krishnamoorthi, S. R., Palani, N. S., Ilıngovan, R. Fabrication of room temperature H₂ gas sensor using pure and La: ZnO with novel nanocorn morphology prepared by sol-gel dip coating method. *J. Mater. Sci: Mater. Electron.* 2014; 25: 4339-4347.
- [16] Aal, N.A., Al-Hazmi, F., Al-Ghamdi, A., Hendi, A.A., Aloraimy, R.H., Nawar, A. M., El-Gazzar, S., El-Tantawy, F., Yakuphanoglu, F. Nanostructure lanthanum doped zinc oxide optical materials. *J. Nanoelectron. Optoe.* 2014; 9(5): 628-638.
- [17] Ilıcan, S., Ilıgu, G. Electrical Properties of n-ZnO:La/p-Si Heterostructure Diode. *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics.* 2016; 11(4): 401-406.
- [18] Cullity B.D., Stock S.R., *Elements of X-ray Diffraction*, 2nd Ed., Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 2001.
- [19] Xu, J., Hao, S., Duan, X. Gu, S., Meng, X. Preparation and photoelectric properties of La-doped ZnO films. *J Mater Sci: Mater Electron.* 2013; 24: 4175-4179.
- [20] Murphy, A. B. Band-gap determination from diffuse reflectance measurements of semiconductor films, and application to photoelectrochemical water-splitting. *Solar Energy Materials & Solar Cells.* 2007; 91: 1326-1337.
- [21] Manikandan, A., Manikandan, E., Meenatchi, B., Vadivel, S., Jaganathan, S. K., Ladchumananandasivam, R., Henini, M., Maaza, M., Aanand, J. S. Rare earth element (REE) lanthanum doped zinc oxide (La: ZnO) nanomaterials: Synthesis structural optical and antibacterial studies. *Journal of Alloys and Compounds.* 2017; 723: 1155-1161.

KENTSEL DÖNÜŞÜM SÜRECİNDE İSTANBUL'DA İNŞAAT VE YIKINTI ATIKLARI YÖNETİMİ

Kadriye Elif MAÇIN^{1*}, İbrahim DEMİR²

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul

² İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET

Kentsel dönüşüm sürecinde atıkların istenilen kalitede yönetilememesinin, halkın gündelik hayatını ve sağlığını etkilemeye başlamış olması bu konuda araştırma yapma ihtiyacını doğurmuştur. Nüfusu ve atık yönetiminde en düzenli verilerin tutulmasından dolayı İstanbul'un kentsel dönüşüm sürecinde inşaat ve yıkıntı (İ&Y) atık yönetimi için önemli bir örnek olacağı kararına varılmıştır. Bu çalışmada (1) Kentsel dönüşüm sürecinde İstanbul'daki mevcut İ&Y atık yönetimi uygulamaları ve atık miktarı nedir? (2) Kentsel dönüşüm süreci boyunca İstanbul'da toplamda üretilecek atık miktarı ne kadar olacaktır? (3) Kısa ve orta vade de İ&Y atık yönetiminde gerekli yenilikler nelerdir? sorularına cevap aranmıştır. Hesaplamalarda ilçe belediyelerinin kullandığı denklem ve İspanya'da gerçek ölçekli çalışmaların sonucunda oluşturulan model kullanılmıştır. Sonuçta, kentsel dönüşüm süreci boyunca İstanbul'da model ve ilçe denkleminde göre kümülatif olarak oluşacak minimum ve maksimum atık miktarları arasında sırasıyla %18 (457,8-557,8 milyon) ve %17 (548,1-659,2 milyon) fark olduğu görülmüştür. İ&Y atık yönetimi sorunlarına bakıldığında atık hiyerarşisi politikasının bir tercih değil zorunluluk olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atık yönetimi, Hafriyat toprağı, Kentsel dönüşüm, İnşaat ve yıkıntı atıkları, İstanbul.

CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE MANAGEMENT IN ISTANBUL DURING URBAN TRANSFORMATION PROCESS

ABSTRACT

Waste couldn't managed at desired levels during urban transformation process and this situation started to affect daily life and health of public. Istanbul will be an important example for process due to several reasons such as; have a high population and regular database on waste management. In this study 3 questions were try to answered (1) What is the current C&D waste management practices and waste amount in Istanbul in the process? (2) How much total waste will be produced in Istanbul during the process? (3) What are the required innovations in C&D waste management in the short and medium term? District municipalities equation and Spain Model was used in waste generation calculations. As a result, difference between the minimum and maximum waste amounts that will occur find as 18% and 17% respectively. Considering problems of C&D waste management, waste hierarchy policy is not an option it is an obligation.

Keywords: Waste management, Excavation soil, Urban transformation, Construction and demolition waste (C&D), Istanbul.

* e-posta: macin@itu.edu.tr

1. Giriş

Dünya nüfusunun her geçen gün artması, sanayileşme sonrası ağır işler için insan gücü yerine makinaların kullanılması ve modern çağın ihtiyaçları, daha düzenli ve yüksek standartlarda yaşama ihtiyacını doğurmuş bu durum da kentsel yaşam tarzını ön plana çıkarmış, hatta pek çok yerde zorunlu kılmıştır. Kentsel yaşam ihtiyacının artması inşaat sektörünün büyümesinde ki en büyük etkenlerden olmuştur.

Şehirlerde artan nüfus, tüketimin dolayısıyla atık oluşumunun artmasına neden olmuştur. Geçmişte yaygın olarak kullanılan düzensiz depolama yönteminin katı atıkların bertaraf edilmesi için yeterli, sürdürülebilir yöntem olmadığı anlaşılmış ve günümüzde kullanılan atık hiyerarşisi ve bertaraf usulleri geliştirilmiştir. Atığı kaynağında azaltma, yeniden kullanma, geri dönüşümünü sağlama, enerji kazanımı ve bertaraf adımlarından oluşan atık hiyerarşisi Türkiye’de dâhil olmak üzere pek çok ülkede yasal olarak zorunlu hale gelmiştir [1].

Atık yönetimine İ&Y atıkları özelinde bakıldığında ise II. Dünya Savaşı’na kadar ayrı bir atık grubunda değerlendirilmedikleri ve sadece atıkların oluştukları yerden uzaklaştırılması üzerine uygulamalar yapıldığı anlaşılmaktadır. Savaş sırasında oluşan enkaz atıkları ve hasarları telafi için bina yenileme sürecinde oluşacak atıklar için çözüm bulunması gerekmiştir. Araştırmalara göre günümüzde dünyada kullanılan ürünlerin ve oluşan katı atıkların yaklaşık % 50’si inşaat sektörü ile ilişkilidir [2]. Bir başka çalışmaya göre kullanılan hammaddenin %30’u, enerjinin %42’si, su kaynaklarının %25’i ve arazinin %12’si inşaat sektörü kaynaklıdır [3]. Amerika Yeşil Binalar Konseyi’nin yaptığı araştırmaya göre; binalar toplam su kullanımının %17’sinin, sera gazı emisyonlarının %33’nün ve elektrik tüketiminin %73’nün oluşmasına doğrudan veya dolaylı olarak neden olmaktadır [4]. Örneğin Dünya genelinde 2006 yılında 31 milyar ton beton kullanılmış, sudan sonra en çok kullanılan madde olmuştur [4]. İstisna durumlar olsa da dünya geneli incelendiğinde, herhangi bir ülkede oluşan toplam katı atığın ortalama %30-50’si İ&Y atıklarından ve bu oranın da %50 ile %60’nın betondan oluştuğu tahmin edilmektedir [5]. Ülkelerin coğrafi koşulları, kültürleri ve geçim kaynakları (tarım, hayvancılık, sanayi vb.) konutlardaki yapılaşmayı etkilemektedir. Örneğin; Tayvan’da ortaya çıkan yıkıntı atıklarının %20’sini tahta ve sadece %10’unu beton oluşturmaktayken, gelişmiş ülkelerde en çok yüzdeyi beton oluşturmaktadır [5]. Ayrıca inşaat sürecinde bol miktarda ortaya çıkan hafriyat toprağının, en üst kısmı değerli bitkisel topraktan oluşmaktadır. Doğada 2 cm bitkisel toprağın oluşması 500 yıl gibi uzun bir süreci kapsamaktadır [2]. Bu nedenle İ&Y atıklarının yönetimiyle ilgili planlamalar yapılırken yukarıda bahsi geçen koşullar göz önünde bulundurulmalıdır.

Adımı İngilizce kelimelerin baş harflerinden alan 3R (reduce, reuse, recycle) yani; kaynağında azalt, yeniden kullan, geri dönüştür politikası İ&Y atıkları için Çin, Avrupa ve dünyada pek çok ülkede uygulanmaya başlanmış, politikayı doğru uygulayan ülkelerde olumlu sonuçlar alınmıştır [6]. 3R politikası doğrultusunda Avrupa Birliği ülkeleri 2020 yılına kadar tehlikeli olmayan İ&Y atıkları ağırlıkça minimum %70’i azaltılmalıdır [7]. Son yıllarda 3R politikasını destekler nitelikte olan yeşil bina kavramı başta Avrupa ülkeleri olmak üzere birçok ülkede gelişmeye ve uygulanmaya başlamıştır [6-8]. Yeşil binaların yaygınlaşması ve kullanımı sayesinde binalarda enerji kullanımında %25-50 arasında azalma, karbon salınımında %35 azalma, su kullanımında %70 oranında azalma ve katı atık miktarında %70 azalma beklenmektedir [3].

Avrupa Birliği’ne uyum sürecinde Türkiye atık yönetimi için yasal zorunluluklar ve uygulamalarda değişiklikler yapmıştır [9]. Bu kapsamda İ&Y atıklarının yönetiminde seçici yıkım ve geri dönüşüm ön plana çıkartılmıştır [1]. 2011 yılında gerçekleşen Van depremi sonrası ülkedeki binaların ve yapılaşmanın kalite durumunun yeterli olmadığı daha iyi anlaşılmıştır. 2012 yılında 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun’la beraber ülkede gerçekleşecek değişimler için önemli bir adım atılmıştır. Kanunun yayınlandığı tarihten itibaren birçok şehir ve ilçede riskli alanlar ilan edilmiş, yıkımlar ve inşaatlar başlamıştır.

Kentsel dönüşüm süreci; İ&Y atık yönetimi ve miktarı açısından olağan akışın dışında algılanabilecek ve halkın günlük hayatını doğrudan etkileyen kapsamlı bir süreçtir. Çalışmanın literatür araştırması safhasında, kentsel dönüşüm süreci ve İ&Y atıklarıyla ilgili çeşitli yayınlar bulunmuştur [10]. Fakat bu iki önemli konuyu beraber incelerken, İ&Y atık miktarındaki değişimin ne yönde olacağına dair bir çalışmaya rastlanılmamıştır. İlan edilen bölgedeki yapı sayısı ve etkilenen nüfusun fazlalığından dolayı İstanbul kentsel dönüşüm sürecinin en kapsamlı olarak yürütüldüğü şehirdir. Bu nedenle İstanbul'daki uygulamaların incelenmesine karar verilmiştir.

Bu çalışmada 3 soruya cevap vermeye çalışılmıştır: (1) Kentsel dönüşüm sürecinde İstanbul'daki mevcut İ&Y atık yönetimi uygulamaları ve atık miktarı nedir? (2) Kentsel dönüşüm süreci boyunca İstanbul'da toplamda üretilecek atık miktarı ne kadar olacaktır? (3) Kısa (ilk aşama da hemen uygulamaya geçebilecek) ve orta vade de İ&Y atık yönetiminde gerekli yenilikler nelerdir?

2. Araştırma Çerçevesi ve Metot

2.1. Araştırma Çerçevesi

Bu çalışmada mevcut İ&Y atık yönetimi uygulamaları tespit edilmeye çalışılmış, atık miktarına dair hesaplamalar yapılmış ve atık yönetiminin iyileştirilmesi için atılabilecek adımlara dair önerilerde bulunulmuştur. Kentsel dönüşüm ve İ&Y atıklarıyla ilgili literatür araştırmasında uluslararası, ulusal ve yerel kaynaklar incelenmiştir. Atık miktarıyla ilgili en güvenilir ve ayrıntılı bilgiler yerel ölçekte (İstanbul'da) elde edildiğinden geleceğe dönük hesaplamalar sadece yerel ölçekte yapılmıştır.

2.2. Metot

Bu çalışmada, literatür çalışmasının yanı sıra; ulusal (Çevre Bakanlığı), yerel (İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve ilçe belediyeleri) ve sektördeki paydaşlarla (hafriyatçılar vb.) kişisel görüşmeler yapılmıştır. Çevre Bakanlığı ve Resmi Gazete kararlarının yardımıyla kentsel dönüşüm sürecindeki ilçeler ve riskli alan bilgileri temin edilmiştir. Büyükşehir ve ilçe belediyeleri görüşmeleriyle İstanbul'daki İ&Y atık miktarı ve mevzuatların nasıl uygulandığı öğrenilmiştir. Süreçte etkin olarak yer alan özel sektörde ki paydaşlarla görüşülerek, sürecin içindeki tüm aktörlerden bilgi alınmaya çalışılmıştır. İleriye dönük atık miktarı hesapları yapılırken ve atık yönetimi önerilerinde bulunurken akademik çalışmalardan yararlanılmıştır.

3. Kentsel Dönüşüm Süreci

3.1. Cumhuriyet Döneminden Günümüze Kentsel Dönüşüm Tarihçesi

Thomas tarafından yapılan tanıma göre kentsel dönüşüm; kentsel sorunların çözümünü sağlayan ve değişime uğrayan bir bölgenin ekonomik, fiziksel, sosyal ve çevresel koşullara kalıcı bir çözüm sağlamayı amaçlayan kapsamlı bir vizyon eylemidir [11].

Türkiye'de Cumhuriyet'in ilk yıllarından 1960'lı yıllara kadar, inşaat sektörüyle ilgili yatırımlar genellikle yol ve altyapı işleriyle ilgili olmuştur. Ülke geneline bakıldığında 1950'li yıllara kadar (Ankara dışında ki kentlerde) yapı sayısı ile ilgili sorun yaşanmamıştır. 1960'lı yıllarda ülkenin ekonomik politikası değişmeye başlamış, sanayileşme artmış bunun sonucu olarak kentleşme ve kentlerdeki konut ihtiyacı artmıştır. Sorunları çözmek üzere 1958 yılında İmar ve İskan Bakanlığı kurulmuştur [12]. Bakanlık sorunları çözmek adına adımlar atsa da, ülkenin dışa doğru büyüme politikasıyla, kentlerdeki nüfus artışının önüne geçilemez olmuş ve gecekondular mahalleleri ortaya çıkmıştır [13].

Cumhuriyet Dönemi İstanbul Planlama Raporları 1934-1995 kitabında belirtildiğine göre, Türkiye Cumhuriyeti kurulduktan sonra İstanbul'un imarıyla ilgili yapılan çalışmalarda başlangıç olarak 1933 yılında gerçekleştirilen Uluslararası Şehircilik Yarışması kabul edilmektedir [13]. Fakat bu yarışma hedeflediği verime ulaşamamıştır. Bu nedenle Prost 1936 yılında Mustafa Kemal Atatürk'ün davetiyle İstanbul'a gelmiştir, 2 yıl gibi bir sürede plan hazırlamış ve 1951 yılına kadar plan aralıklarıyla güncellenmeye devam etmiştir. Plana dair tartışmalar bugün halen devam etmektedir. Tarihi yarımada, Galata-Beyoğlu ve Eyüp semtleri için Prost'un planlarının bir kısmı uygulanmış, geriye kalan kısmı da siyasi yönetimin değişmesiyle 1960'lı yıllarda iptal edilmiştir. Cumhuriyet döneminde Prost'tan önce İstanbul'la ilgili yapılan ilk şehircilik çalışması Prof. Dr Martin Wagner'a aittir. Yapılan çalışmalar dönemin Bayındırlık Bakanlığı tarafından yeterli bulunmamış ve Wagner'ın planı uygulamaya geçmemiştir.

Türkiye topraklarının %66'sı ve nüfusun %71'i, 1. ve 2. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır [14]. Geçmişte yaşanan büyük depremler ve bilimsel çalışmalar sonucunda ulaşılan verilere göre Türkiye deprem açısından riskli bölge de konumlanmıştır [14].

1939 yılında Erzincan depreminde 33 bin kişi hayatını kaybetmiş ve 1995 Afyon depremi sonrasında binlerce bina hasar görmüş 90 kişi ölmüştür [15]. Son yıllardaki sürecin gelişimini özetlemek gerekirse 1999 yılındaki Marmara depreminde verilen kayıplarda yapılaşmadaki sorunlar ortaya çıkmış fakat yeterli girişimde bulunulmamıştır. 2011 yılı Van depreminden sonra ülke çapında uygulanacak kentsel dönüşümün artık tercih değil zorunluluk olduğu anlaşılmış ve gerekli çalışmalar başlatılmıştır [16].

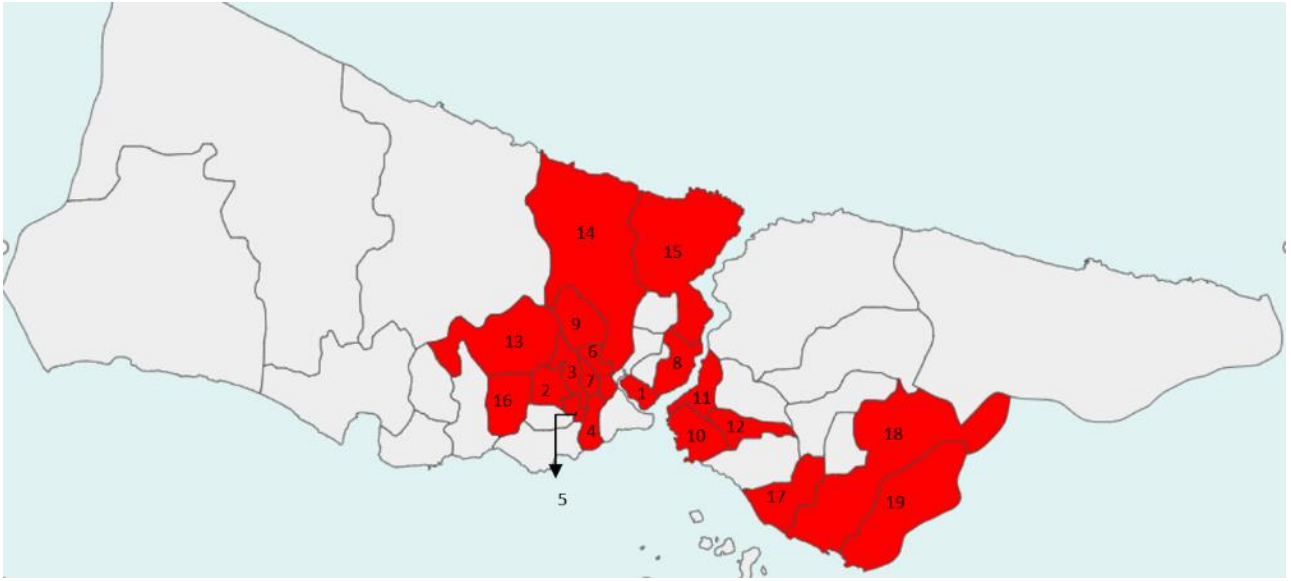
3.2. İstanbul'da Kentsel Dönüşüm Sürecinde ki İlçeler

2017 yılı sonu itibarıyla dünya nüfusunun %54'ü, Türkiye'nin %88'i şehirlerde yaşamaktadır. 2050 yılına gelindiğinde Türkiye nüfusunun %95'inin şehirlerde yaşayacağı tahmin edilmektedir [17]. Günümüzde Türkiye'deki hane sayısı 21 milyondan fazladır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın belirttiği üzere mevcut binalardan yaklaşık 5 milyonu 1999 yılında Marmara'da gerçekleşen depremden sonra inşa edilmiştir ve geriye kalan 16 milyon binaya göre kısmen daha sağlam yapıdadır [17]. Ayrıca inşa sırasında asbest içeren ürünler kullanılmadığı için tehlikeli atık yönetimi açısından sorun teşkil etmemektedirler. Araştırmalara göre İstanbul'da Richter ölçeğinde 8,0 şiddetinde bir deprem 500000 kişinin hayatını etkileyecek ve 60 milyar dolar maddi zarara neden olacaktır [18]. 2014 yılı TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) verilerine göre İstanbul 3 866 890 hane sayısı ile toplam hanelerin %17'sini oluşturmaktadır. İstanbul, Türkiye'deki toplam riskli binaların %15'ini içeren en riskli bölgedir. İstanbul'da 7'si Anadolu yakasında olmak üzere 19 ilçede kentsel dönüşüm alanı ilan edilmiştir. İlçelerin deprem fay hattında bulunmasının yanı sıra gecekondular ve binaların sağlamlığı gibi etkenler göz önüne alınarak, Şekil 1'de yerleri gösterilen ilçeler de kentsel dönüşüm alanları ilan edilmiştir.

Kentsel Dönüşüm İlçeleri					
1	Beyoğlu	7	Bayrampaşa	13	Başakşehir
2	Bağcılar	8	Beşiktaş	14	Eyüp
3	Esenler	9	Sultangazi	15	Sarıyer
4	Zeytinburnu	10	Kadıköy	16	Küçükçekmece
5	Güngören	11	Üsküdar	17	Kartal
6	G.O.P	12	Ataşehir	18	Pendik
				19	Tuzla

Şekil 1. İstanbul'da kentsel dönüşüm süreci içinde olan ilçeler*

*Resmi gazete kararlarından yararlanılarak yazarlar tarafından oluşturulmuştur.



Şekil 1.(devamı) İstanbul'da kentsel dönüşüm süreci içinde olan ilçeler*

*Resmi gazete kararlarından yararlanılarak yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

4. Kentsel Dönüşüm Sürecinde İstanbulda Atık Yönetimi

4.1. İstanbul'da İ&Y Atığı Yönetiminde Mevcut Uygulamalar

T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yetkilendirilen Büyükşehir Belediye Başkanlıkları denetimlerde cezai bir durumla karşılaştıklarında, Çevre Kanunu'na dayanarak gerekli işlemleri yapabilmektedirler, yetki almayan belediyeler ise Kabahatler Kanunu'na dayanarak yaptırım uygulayabilmektedirler. İstanbul'da Hafriyat Toprağı ve İnşaat/Yıkıntı Atıklarının denetim ve idari yaptırım yetkisi 2008 yılında İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne (İBB) devredilmiştir [19]. Kaçak dökümleri önlemek için atık taşıyan araçlar Çevre Kontrol Merkezi'nde kayıt altına alınmakta ve takibi yapılmaktadır [20]. İBB ve ilçe belediyelerinin görevlileri denetimlerle kontrollere devam etmekte ve yıllık faaliyet raporlarında gerçekleştirilen denetim sayısını belirtmektedirler.

Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği'nin 2004 yılında yayınlanmasından önce İBB inşaat atıklarını toplayabilmek için 2001 yılında "Alo Moloz" hattını oluşturmuş, daha çok küçük ölçekli tamir ve inşaatlara hizmet veren bu sistemin yetersiz olduğu görülmüştür [21]. Yönetmelik, yayınlanmış olmasına rağmen 2006 yılına kadar sistem oturmadiği için yasal olmayan yollardan atıkların bertarafı devam etmiştir [20].

İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret A.Ş.'nin (İSTAÇ) devreye girmesi ve Hafriyat Toprağı, İnşaat Yıkıntı Atığı Taşıma ve Kabul Belgesi uygulamasının hayata geçmesiyle atık yönetimi olumlu anlamda değişmiştir [20]. Atık üreticisinin, taşıyanın ve depolayanın bilgilerini içeren taşıma ve kabul belgesi sayesinde atıkların takibi kolaylaşmıştır [20]. İ&Y atıklarının şehir içinde taşınması için kırkayak kamyonlar en uygun araçlardır. Kırkayak kamyonların hacimleri 15 m³ olduğundan ve tırlara bağlanan damperler (22-26 m³) bir seferde daha fazla atık taşıyabildiklerinden tercih edilmektedirler. Tırların görüş alanları daha dar olduğundan şehir içi trafiği ve halk sağlığı olumsuz yönde etkilenmektedir [22].

İlçe belediyeleri 3 aylık periyodlarla İ&Y atık miktarlarını, İBB Çevre Koruma Daire Başkanlığı'na yazılı olarak bildirilmelidir. Kişisel görüşmelerle İBB'den alınan bilgilere göre şu an periyodik raporlamalar düzenli olarak yapılmamaktadır. Hafriyat toprağı, İ&Y atıklarının bertaraf

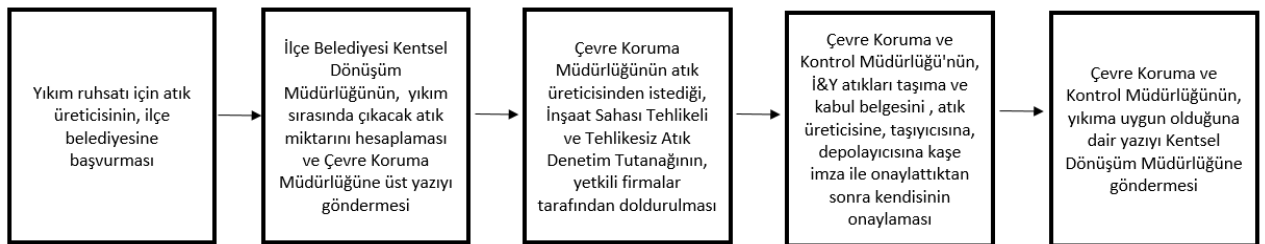
edilmesi için III. sınıf düzenli depolama alanları kullanılabilir fakat genellikle eskiden madencilik faaliyetlerinin gerçekleştirildiği yerler depolama alanı olarak seçilmektedir. Madencilik faaliyetlerinin gerçekleştirildiği yerler, doğal yapısı bozulmuş orman sayılan alan sınıfına girdiği için; Orman Kanunu'nun 16. Maddesi'nin Uygulama Yönetmeliği'ne göre seçilen alanlara atık bertaraf edilmeden önce izin alınması gereklidir [23]. İ&Y atıkları ve kentsel dönüşümle ilgili diğer yasal dayanaklar Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Geri dönüşüm uygulamalarına bakıldığında; demir, hurda piyasasında en değerli malzemelerden biridir. Bu nedenle yıkım işlerinde en yaygın uygulama binadaki demirin diğer yıkıntı atıklarından ayrıştırılarak hurda piyasasına satılmasıdır. Sektörde ki paydaşların belirttiği üzere müteahhit ile hafriyatçı arasında yapılan sözleşmede; demirin hurda piyasasındaki değeri düşünülerek ücretlendirme hesapları yapılmaktadır. Fakat bu uygulamada geri kazanımın çevresel etkileri ön planda tutulmadığından binadaki demir ayrıştırıldıktan sonra geriye kalan yıkıntı atıkları seçici yıkım sürecine tabi tutulmadan karışık halde bertaraf alanına gönderilmektedir. Sektörde yer alan kişiler ve belediyelerle yapılan görüşmeler sonucunda gerçekteki geri dönüşüm miktarının resmi verilerden fazla olduğu anlaşılmıştır. Fakat geri dönüşüm aktiviteleri, veri tutulmadan, malzemenin yıkım alanından direkt alınması şeklinde olduğundan gerçek miktara (orana) dair net bir veriye ulaşılamamıştır. Mevcut durumda inşaat atıkları için geri dönüşüm sayılabilecek uygulamalarda çevresel bilinçten çok ekonomik etkenler ön planda tutulmaktadır.

Çizelge 1. Türkiye'de hafriyat toprağı, inşaat/yıkıntı atıkları yönetimi ve kentsel dönüşüm süreci için yasal dayanaklar

Türkiye'de Hafriyat Toprağı, İnşaat/Yıkıntı Atıkları Yönetimi İçin Yasal Dayanaklar		Türkiye'de Kentsel Dönüşüm Süreci İçin Yasal Düzenlemeler	
Yıl	Yasal Dayanak İsmi	Yıl	Yasal Dayanak İsmi
1983	Çevre Kanunu	2001	Yapı Denetimi Hakkında Kanun
2004	Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği	2004	Büyükşehir Belediyesi Kanunu
2010	Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik	2005	Belediye Kanunu
2015	Atık Yönetimi Yönetmeliği	2012	Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun
2017	Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği	2017	Sürdürülebilirlik Performanslı Kentsel Dönüşüm Hakkında Yönetmelik Taslağı
2017	Yıkım İşlemleri ile Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği Taslağı		

Tehlikeli atık yönetimi açısından bakıldığında kentsel dönüşüm sürecinde olan ilçelerden, Ataşehir ve Kadıköy Belediyeleri önderliğinde binalarda yıkım öncesi asbest tespiti çalışmaları yapılmaktadır. Yıkılacak binada asbeste rastlanmışsa yetkili firma, asbest içeren yapı elemanının sökümü için gerekli izinleri almaktadır. İstanbul ilçe belediyelerinde uygulanan tehlikeli ve tehlikesiz atık denetim tutanağı onay süreci Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Tehlikeli ve tehlikesiz atık denetim tutanağı onay süreci

4.2. İstanbul'da İ&Y atığı miktarı

Bu çalışmada mevcut durumu anlayabilmek, kentsel dönüşüm öncesi ve sonrası arasındaki karşılaştırmayı yapabilmek amacıyla toplam İ&Y atık miktarları elde edilmeye çalışılmıştır. İ&Y atıklarıyla ilgili bilginin halen pek çok şehirde düzenli olarak tutulmadığı tespit edilmiştir. Atık verilerini düzenli tutan ilçelerin 2014 yılı ve sonrasında sistemli bir uygulamaya geçtiği görülmüştür.

Kentsel dönüşümün atık miktarında nasıl bir değişime yol açtığını gözleyebilmek için İstanbul'daki verilerin kullanılmasına karar verilmiş ve saha araştırmaları sonucu Çizelge 2 oluşturulmuştur. İSTAÇ sahaları tarafından kabul edilen atık miktarlarının toplam oluşan atığın %90-95'i olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle İSTAÇ ve İBB'nin raporladıkları değerler birbirinden farklıdır. Atık miktarının nasıl hesapladığını öğrenmek üzere ilçe belediyeleri ve sektörden yetkililerle görüşülmüştür. İstanbul'da İlçe Belediyeleri, Belediyeler İ&Y atık hacmi tahmininde Denklem 1'i kullanmaktadır.

$$V = Axhx0.33 \quad (1)$$

Burada;

V: Tahmin edilen İ&Y atık hacmi, m³

A: İ&Y atıklarının kapladığı alan, m²

h: İ&Y atık yığınının yüksekliği alan, m.

0.33: katsayısı (Denklem 2'deki 1/3 eşdeğeri)

Denklem 1'in literatürde ki karşılığı Zezhou Wu ve diğerlerinin, makalelerinde belirttiği Denklem 2'de gösterilmiştir.

Çevre Bakanlığı Kentsel Dönüşüm İl Müdürlüğü'nün belirttiği üzere Türkiye genel konut profilinde daire yükseklikleri 3-3,5 metre aralığında değişmektedir. Kat boşlukları gibi etkenler de göz önünde bulundurulduğunda (0,33 katsayısı) Denklem 1 elde edilmektedir. Gerçek moloz miktarı ve Denklem 1 sonuçları karşılaştırıldığında binde 3 ile binde 4 hata payıyla sonuçlar elde edilebilmektedir [24].

Çizelge 2. Yıllar içinde İstanbul'da oluşan hafriyat toprağı ve İ&Y atık miktarları

Yıl	İSTAÇ- atık miktarı (milyon ton)	İBB- atık miktarı (milyon ton)	İBB- atık miktarı (milyon m ³)	İSTAÇ/ İBB (ton/m ³)	İBB/İBB (ton/m ³)
2010	23,0	-	22,1	1,04	-
2011	28,0	47,7	28,0	0,99	1,70
2012	45,0	52,4	30,8	1,45	1,70
2013	62,0	65,5	38,5	1,61	1,70
2014	60,1	69,9	41,2	1,47	1,70
2015	70,0	74,9	44,1	1,59	1,70
2016	72,0	-	44,3	1,62	1,70
2017	83,4	-	53,2	1,56	-
Ort.	-	-	-	1.61	1.70

Yıllar içinde İstanbul'da oluşan hafriyat toprağı miktarları Çizelge 2'de gösterilmiştir. İSTAÇ ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nden (İBB) alınan veriler ve hesaplamalar sonucunda İstanbul'daki İ&Y atıklarının yoğunluğunun 1.61-1.70 ton/m³ aralığında olduğu anlaşılmıştır. Mevcut durumda İ&Y atıklarıyla ilgili ayrıntılı bir karakterizasyon çalışması bulunmamaktadır. İnşaatlarda kullanılan malzeme oranları düşünüldüğünde Türkiye'de ortalama %25-40 oranları arasında beton atık oluşması beklenmektedir fakat Çizelge 2'de hafriyat toprağı ve İ&Y miktarları beraber verildiğinden, net bir karakterizasyon yorumu yapılamamaktadır.

5. Süreç Boyunca Toplamda Oluşması Beklenen İ&Y Atık Miktarı

İnşaat sektöründe yaşanan gelişmeler ve atık yönetiminde son yıllarda ön plana çıkan sürdürülebilirlik gibi kavramlar, atık miktarı tayininde yeni metotların geliştirilmesine neden olmaktadır. Zezhou Wu ve diğerlerinin, yaptıkları araştırmada belirttikleri üzere dünyada İ&Y atıklarının miktarında 2008 yılından itibaren gözle görülür bir artış yaşanmaktadır [25]. Çalışmada İ&Y atıklarının oluşumu 3 tür altında toplanmıştır, bunlar bina inşaatı, yıkıntı işleri ve yol, köprü baraj gibi büyük ölçekli altyapı inşaatlarıdır. Bina inşaatlarında oluşan atık miktarı, teorik olarak inşaat sırasında kullanılan malzemenin %1-10 arasında değişmektedir [25]. Bu türde bir bilgi atık yönetim planı hazırlanırken kullanılmaktan öte, genel fikir verebilmesi açısından önemlidir. Yıkıntı işleri sırasında oluşan atık miktarı, inşaatla göre çok daha fazladır ve genellikle ikincil pazarda (hurda pazarı) alıcı bulabilmektedir. Baraj ve köprü yapımı gibi uzun soluklu işlerde atık miktarını hesaplamak ve takibini yapmak daha zordur, bu nedenle akademik çalışmalarda bu ölçekteki inşaatlara dair veri fazla bulunmamaktadır [25].

Atık miktarını hesaplayabilmek için, sahada direkt ölçüm ve saha dışında ölçüm yapılabildiği gibi teorik hesaplar da kullanılmaktadır. Sahada direkt ölçümle miktar hesabı, atık yığınlarının şekline göre hesaplamalarda ufak değişiklikler göstermektedir. İ&Y atıkları sahada piramit şeklinde veya dikdörtgen şeklinde yığınlar halinde geçici olarak depolanabilmektedir [26]. Denklem 2 ve Denklem 3'te yığınların şekillerine göre atık miktarı hesabı gösterilmektedir. Bu yöntemde birim yığın miktarı hesaplandıktan sonra, inşaat veya yıkıntı sırasında ortaya çıkan tahmini yığın sayısı ile çarpılarak toplam miktar hesaplanmaktadır.

Bunun için de piramit yığınlarında Denklem (2);

$$V = AxLxh \times 1/3 \quad (2)$$

V: Tahmin edilen İ&Y atık hacmi, m³

A: İ&Y atıklarının kapladığı alan, m²

L: Taban uzunluğu, m.

h: İ&Y atık yığınının yüksekliği alan, m.

Dikdörtgen yığınlarında ise Denklem (3);

$$V = AxLxh \quad (3)$$

V: Tahmin edilen İ&Y atık hacmi, m³

A: İ&Y atıklarının kapladığı alan, m²

L: Taban uzunluğu, m.

Saha dışında yapılacak ölçümler için en kolay yöntem kamyonlar aracılığıyla atık miktarını belirlemektir [25]. Saha içinde yapılan ölçüm gibi hem ağırlık hem hacim yöntemiyle atık miktarı hesaplanabilir. Atıkların depolanacağı sahalarda veya geri dönüşüm tesislerinde kantar varsa kamyonların darası çıkarılarak doğrudan atık miktarı hesaplanır, kantar yoksa kamyon hacimleri ile kamyon sayısı çarpılarak atık hacmi hesaplanabilmektedir.

Son yıllarda oluşan ve hala gelişmekte olan metotlardan biri hayat döngüsü analizidir. Bu metotta, tercihe göre binanın genel ömrü veya seçilen malzemenin ömrü göz önünde bulundurularak, atık yönetim planı tasarlanmaktadır. Bu yaklaşım sadece yıkıntı atıklarının miktarının hesaplanmasında kullanılabilir. Hayat döngüsü analizi, bugün ürün olarak üretilen malzemenin yarının atığı olduğu kabulüyle gelecekte oluşabilecek atık miktarı hesabının yapılmasına yardımcı olur [25].

Kentsel dönüşümün 20 yıl gibi uzun bir sürecini kapsamaması beklendiğinden, toplamda oluşacak atık miktarına dair verilerin mevcudiyeti önemlidir. Bu çalışmada geleceğe dönük İ&Y atık miktarı hesaplamaları için çeşitli varsayımlar yapılmıştır. Hesaplamalar sırasında ilçe belediyelerinin kullandığı yöntem ve İspanya’da gerçek ölçekli çalışmaların verilerinden yararlanılarak oluşturulan model kullanılmıştır. Her iki yöntemin hesabında ilçe alan verileri temel alınmıştır. Bina kat ortalama yüksekliği 3,5 m olduğu, sürecin 1/8’nin tamamlandığı ve yeni riskli ilan edilmeyeceği kabulü yapılmıştır. İlçe belediyeleri yönteminde İ&Y oranı %10 olduğu kabul edilirken, model İ&Y bileşenleriyle ilgili ayrıntılı kütüphaneye sahip olduğundan %10 kabulüne uygun değerler modele girilmiştir.

Çizelge 3. İstanbul ilçelerinde 2017 yılı itibariyle kentsel dönüşüm sürecinde riskli alan ilan edilen, süreci tamamlanan ve devam eden alanlar

İlçe	İlan Edilen Riskli Alan (ha)	%75’inde bina bulunduğu kabulü (m ²)	K.D Sürecinde Biten Alan (m ²)	K.D Sürecinde Kalan Alan (m ²)
K.Çekmece	16,7	1248000	156000	1092000
Bağcılar	53,4	4005000	500625	3504375
Esenler	30,5	2290500	286313	2004188
G.O.P	392,9	29472000	3684000	25788000
Sultangazi	18,1	1356000	169500	1186500
Güngören	57,7	4328250	541031	3787219
Sarıyer	168,8	12660000	1582500	11077500
Beşiktaş	3,2	239250	29906	209344
Beyoğlu	12,2	918000	114750	803250
Zeytinburnu	30,1	2259000	282375	1976625
Üsküdar	1,8	132750	16594	116156
Kadıköy	134,2	10063500	1257938	8805563
Kartal	31,8	2388000	298500	2089500
Pendik	251,8	18886500	2360813	16525688
Tuzla	6,9	508500	63563	444938
Bayrampaşa	22,7	1702500	212813	1489688
Eyüp	26,0	1950000	243750	1706250
Ataşehir	1,8	135000	16875	118125
Başakşehir	35,0	2625000	328125	2296875

5.1. İstanbul’da ki İ&Y Atıklarının İlçe Belediyelerinin Yöntemiyle Hesaplanması

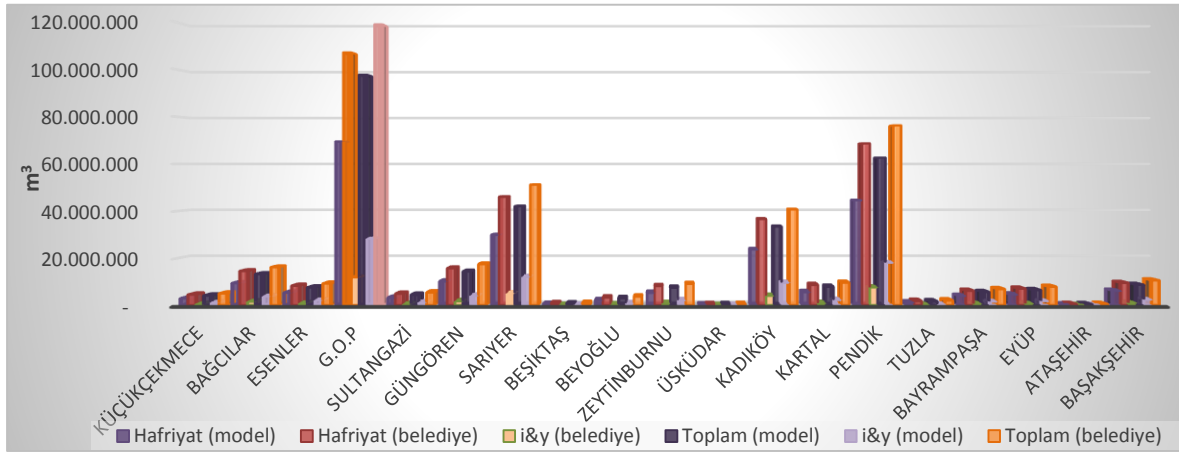
Kentsel dönüşüm sürecinde İstanbul’da oluşacak toplam atık miktarının hesaplanması için ilan edilen riskli alan bölgelerinden yararlanılmıştır. Resmi Gazete’den elde edilen riskli alan verileri; 6306 sayılı Kanun’un yürürlüğe girmesinden bu yana geçen altı yılda sürecin 1/8’nin tamamlandığı düşünülerek 7/8 sabit değeriyle çarpılmış ve Çizelge 3 oluşturulmuştur.

Oluşacak atık miktarının hesaplarında kullanılacak alanlar Tablo 3’te verilmiştir. Çevre İl Müdürlüğü, Gaziosmanpaşa, Ataşehir ve Kadıköy ilçe belediyeleriyle yapılan kişisel görüşmelerin ışığında bina kat yüksekliklerinin 3,5 metre olduğu ve bir binanın 4 katlı olduğu kabulü yapılmıştır. İBB ve İSTAÇ’tan alınan bilgiler doğrultusunda ve emniyetli tarafta kalınmak için hafriyat toprağı oranı %90 ve İ&Y oranı %10 olduğu kabul edilmiş ve ilgili değerler Denklem 1’de yerine konulmuştur. Süreç

sonunda toplamda oluşacak hafriyat toprağı ve İ&Y atığı miktarı toplamda yaklaşık olarak 392,8 milyon m³ olarak bulunmuştur.

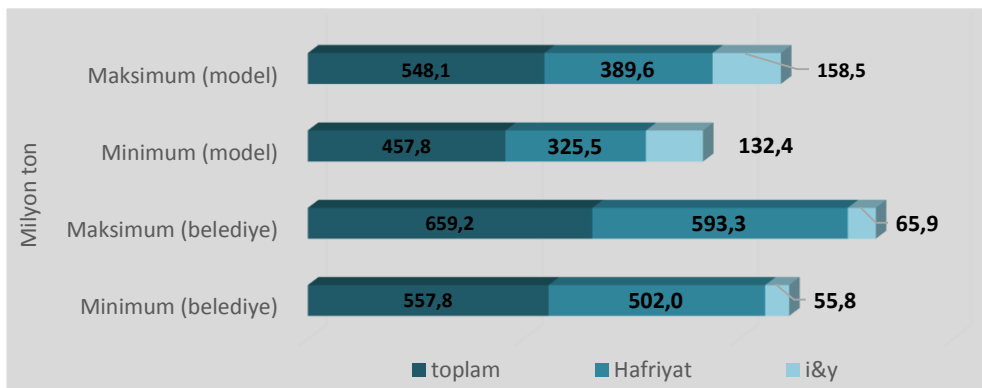
5.2. Literatür Çalışmasındaki Metotla Hesaplanması

İspanya'da 2009 yılında 100 bina üzerinde yapılan çalışma sonucunda yeni bina inşası ve yıkıntı süreçleri sırasında oluşan toplam atık miktarına, karakterizasyonuna ve birim alan başına çıkan atıklara dair model geliştirilmiştir [27]. Atık miktarının hesaplanabilmesi için ilçe belediyelerin kullandığı yöntemde olduğu gibi m² cinsinden alan ve bina yüksekliği bilgileri gerekmektedir. İstanbul için yapılacak hesaplarda; modelde belirtilen birim alan başına çıkan atık değeriyle kentsel dönüşüm süreci içine dahil edilen alanlar çarpılmıştır.



Şekil 3. İstanbul ilçelerinde kümülatif olarak oluşması beklenen atık miktarları

İlçe belediyelerinin yöntemi ve model kullanarak hesaplanan Şekil 3'te gösterilen hacimce atık miktarlarını ton cinsinden hesaplamak için atık yoğunluğu ile çarpılmıştır. Atık yoğunluğu değerleri için Tablo 2'de belirtilen 1,61 ton/m³ ve 1,70 ton/m³ değerleri alınmıştır. Oluşacak maksimum ve minimum atık miktarları ton cinsinden Şekil 4'te verilmiştir. Maksimum toplam hafriyat toprağı ve İ&Y atık miktarı yaklaşık 659,2 milyon ton olarak belediyelerin kullandığı yöntemde bulunmuştur.



Şekil 4. Kentsel dönüşüm süreci boyunca İstanbul'da toplam oluşması beklenen minimum ve maksimum atık miktarları

İki farklı yöntemle yapılan hesaplamalarda süreç boyunca toplamda oluşacak minimum atık miktarları arasında %18, maksimum atık miktarları arasında %17 fark olduğu görülmüştür. Hesaplamaların 20 yıllık zamanı kapsayan geniş bir süreç için yapıldığı düşünüldüğünde farkların kabul edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır.

6. Tartışma

Türkiye deprem bölgesinde bulunmasından, yani coğrafi konumunun getirdiği zorunluluklardan kentsel dönüşüm sürecine girmiş olarak gözüke de, başta İstanbul olmak üzere pek çok şehirde, daha öncede dönüşüm süreciyle ilgili girişimlerde bulunulmuştur. En köklü ve uzun sürece yayılan değişim deprem sonrası 2012 yılında, gelecek 20 yılı kapsamak üzere Van'da başlatılmıştır. İstanbul'un da içinde bulunduğu kentsel dönüşüm sürecinde, atık yönetimine gerekli önem verilmemektedir. Hafriyat toprağı ve İ&Y atığı miktarlarının kaydı düzenli tutulmamaktadır. Bu da atık yönetiminde mevcut durumun tespitini zorlaştırmaktadır.

Çalışma sırasında yapılan araştırmalarda en düzenli verilerin İstanbul şehrinde tutulduğu tespit edilmiştir. İstanbul'da Belgrad Ormanı ve şehir merkezinden uzak sayılabilecek noktalara kaçak dökümler devam etmektedir. Ayrıca hafriyat kamyonları, sonu yaralanmalara ve ölümlere kadar gidebilecek kazalara neden olmaktadır. İnşaatların istenilen hızla bitmemesinden dolayı 20 yıl sürmesi hedefiyle başlanan kentsel dönüşümün daha uzun yılları kapsayacağı düşünülmektedir. Geçen 6 yıllık süreçte dönüşüm kapsamındaki binaların 1/8'i yıkılıp yeniden yapılmıştır. Bu nedenle geriye kalan 7/8'lik kısım için en az 25 yıla daha ihtiyaç olduğu düşünülmektedir. İstanbul özelinde bakıldığında ise mevcut durumda yaklaşık 1295 hektarlık bölge riskli alan olarak ilan edilmiştir. Riskli alan bölgelerinin sadece %75'inde riskli yapılar olduğu, geriye kalan %25'lik bölgede yapılaşma olmadığı ve yeni riskli alan ilan edilmeyeceği gibi iyimser bir tablo kabul edilse bile, sadece İstanbul'da kentsel dönüşüm çalışmalarından dolayı 55-65 milyon ton yıkıntı atığı oluşması beklenmektedir. Bu miktara temel kazılarında oluşacak hafriyat toprağı da eklenirse 659 milyon ton atık oluşumu öngörülmektedir.

Mevcut durumda İstanbul'da atıkların bertarafı genellikle eski maden bölgelerinde veya uygun topoğrafyaya sahip arazilerde depolamak suretiyle gerçekleştirilmektedir. Dolum için izin alan sahalar genellikle yaklaşık 1-1,5 yılda dolarak ömürlerini tamamlamaktadır. Artan atık miktarı ve atıkların nihai bertarafı için yer sıkıntısı sorunu incelendiğinde ülkemizde atık hiyerarşisi politikasının uygulanmasının bir tercih değil zorunluluk olduğu ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 4. Farklı ülkelerdeki atık depolama ücretleri ve geri dönüşüm oranları*

Ülke	İ&Y Atıkları Depolama Ücretleri	İ&Y Geri Dönüşüm Oranları
Hollanda	~ 205 \$/ton	%95
Avustralya	~ 102 \$/ton	>50
Hong Kong**	3.24 \$/ton, 12 \$/ton, 15 \$/ton	%87
Türkiye (İstanbul)	~ 33 \$/ton (1 dolar = 6.12 TL kur değeri kabul edilerek hesaplanmıştır.)	%5 (resmi veriler) ~ %20 (sektörden alınan bilgi)

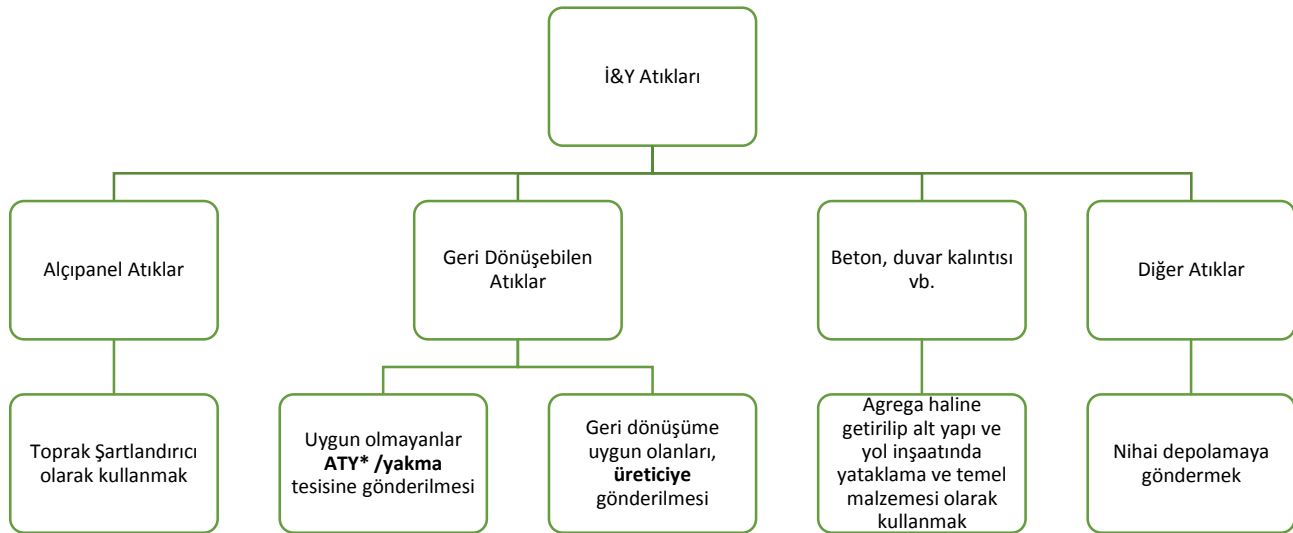
*Tablo ülkelerin Çevre Bakanlıkları ve Yerel Yönetimlerinden elde edilen veriler aracılığıyla yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

**Atıkta ki inert madde oranına göre değişmektedir.

İ&Y atıklarıyla ilgili yapılan akademik araştırmalar incelendiğinde ise; dünya genelinde ve Türkiye’de çalışmaların genellikle atık oluşumu, atıkların azaltılması, atıkların yeniden kullanımı ve atıkların geri kazanılması başlıkları üzerinde durduğu görülmektedir. İ&Y atıklarıyla ilgili akademik yayın yapan ülkelerden Hong Kong’un % 25-30, Amerika’nın % 12-14, Avustralya’nın % 8-9 Birleşik Krallık’ın % 7-8, Çin’in %4 ve Türkiye’nin % 0,5-0,6 katkısı olduğu görülmektedir [28]. Bu sonuçlardan akademik yayın sayısı ile İ&Y atıkları yönetimine verilen önemin ve elde edilen başarının doğru orantılı olduğu anlaşılmaktadır. Atık yönetimindeki başarı ile ilişkili olan bir başka konu ise Çizelge 4’te gösterilen İ&Y atıkları depolama ücretleridir.

Türkiye’de yeni inşa edilen binalarda asbest kullanımı yasaktır fakat kentsel dönüşüm ve yıkımlar genellikle 2000 yılından önce yapılan binalarda gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle İstanbul’da ilk olarak Ataşehir Belediyesinin başlattığı (Şekil 2) yıkım öncesi Tehlikeli Atık Tespiti tüm belediyelerde uygulanmalıdır.

İstanbul’da İ&Y atıklarının bileşen (beton, ahşap, cam vb.) oranlarına dair bir çalışma bulunmamaktadır. Bu yüzden kapsamlı bir atık hiyerarşisi politikası uygulanana kadar kısa vadede (ilk etapta) tehlikeli atıklar ayrıldıktan sonra alçıpanel, beton (agrega), tahta ve plastik atıkların geri kazanılması ve bunların dışında kalan bileşenlerin depolamaya (ileride yakma tesisinin kurulması durumunda yakmaya) gönderilmesi uygun olacaktır. Daha önce yapılan çalışmalarda yakmanın olumsuz çevresel etkilerinin düzenli depolamadan daha az olduğu tespit edilmiştir [6]. $\text{CaSO}_4(\text{H}_2\text{O})_2$ formülüne sahip alçının iki dayanıklı karton levha arasına dökülerek dondurulmasıyla elde edilen alçıpanel düzenli depolama tesislerinde de H_2S oluşumuna neden olmaktadır [29]. Alçıpanelin geri kazanımı için en uygun yöntemlerden biri toprak düzenleyici olarak kullanılmasıdır. Ayrıntılı atık karakterizasyon çalışması yapılan kadar Şekil 5’te gösterilen 4 ana başlıkta İ&Y atık yönetiminin kısa ve orta vadede uygulanabilir olduğu düşünülmektedir.



*ATY: Atıktan Türetilmiş Yakıt

Şekil 5. İ&Y atıkları için kısa ve orta vadede uygulanması önerilen atık yönetim planı

7. Sonuçlar ve Öneriler

•Bu çalışma İstanbul özelinde yapılmıştır. İleride ki çalışmalarda Türkiye genelinde İ&Y atıkları yönetim planı oluşturmak için araştırma yapılmalıdır.

•Atık yönetimini iyileştirebilmek için öncelikle neredeyiz sorusuna cevap verilmeli, mevcut durum gerçek olarak ortaya konulmalı bu kapsamda mevcut durumu yansıtan İ&Y atık karakterizasyonu yapılmalıdır.

•Yerel yönetimlerin ve sektörde ki paydaşların atıklara ve çevresel etkilerine dair veri tutma alışkanlığı geliştirilmelidir. Bu amaçla akademik kuruluşların desteğiyle, web tabanlı ulusal İ&Y atıkları platformu oluşturulmalıdır.

• ISO14041 standardı kapsamında “Yaşam Döngü Analizi” yapılabilen, hammadde temini, üretim, inşa, yıkım, bertaraf süreçlerinin tümü planlama aşamasında analiz edilebilmektedir ve olası çevresel etkilerin minimize edilebilmesi mümkün olabilmektedir. Sonuç olarak atık hiyerarşisindeki en çok istenen aşamaların (önleme/azaltma, tekrar kullanım, geri dönüşüm) uygulanabilirliği mümkün kılınabilmektedir. Bu doğrultuda atık hiyerarşisi sürecini destekleyen ve yaşam döngü analizini içeren akademik çalışmaların ve gerçek ölçek uygulamaların sayısı artırılmalıdır.

•Depolama ücretinin az olmasının geri dönüşüm faaliyetlerini (ve atık hiyerarşisi uygulamasını) yavaşlattığı görülmüştür. Depolama ücretleri ve yasal olmayan yollardan bertaraf etmenin cezaları artırılmalıdır. Geri kazanım faaliyetlerinin çevresel ve ekonomik sonuçları paralel olarak göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca geri dönüşüm aktiviteleri teşvik etmek için, geri dönüşüm sağlayan kişi ve kurumlara vergilerde indirim gibi teşvik uygulamaların geliştirilmelidir.

•Hurda pazarında değerli olan parçaların yanı sıra beton gibi, ikincil ürün olarak kullanılabilir malzemeler için standart oluşturulmalıdır.

•İ&Y atıkları taşınmasında, taşıyan atık sahiplerine ve atık taşıyıcısına cezai uygulama artmalıdır. Şöforlere özel eğitimler verilmelidir. Konu ile ilgili çalışan bürokrat, proje yapanlar, inşaat yapanlar, hafriyatçılar, yıkımcılar vs. eğitilmelidir.

Kaynaklar

- [1] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Atık Yönetimi Yönetmeliği; 2015.
- [2] Australian Government Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities. Construction and Demolition Waste Guide Recycling and Re-use Across the Supply Chain; 2011.
- [3] Maçın M. Çevre Dostu Binalar Derneği Sunumu. <https://www.construction21.org/company/h/turkish-green-building-councilcedbk.html>. (Erişim Tarihi: 12.02.2017)
- [4] European Commission, Service Contract On Management Of Construction And Demolition Waste Sr1-Final Report Task 2; 2013.
- [5] Manowong, E, Brockmann, C., Construction Waste Management in Newly Industrialized Countries. Civil Engineering Department, Bremen University of Applied Sciences, Bremen, Germany; (t.y.).
- [6] Huang B., Wang X., Kuac H., Geng Y., Bleis chwitz R., Ren J. Construction and Demolition Waste Demolition Waste Management in China Through The 3R Principle. Resources, Conservation&Recycling. 2018; 129:36–44.
- [7] European Commission. 2008/98/EC Waste and Repealing Certain Directives; 2008.
- [8] Peng C., Scorpio DE., Kibert C. J. Strategies For Successful Construction And Demolition Waste Recycling Operations. Construction Management and Economics, 15: 49-58.
- [9] Yıldız N., Türkiye'nin Avrupa Birliği'ne Uyum Sürecinde Çevre Politikalarının Karşılaştırılmalı Analizi. Trakya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Dergisi 2005;6(1): 164-173.
- [10] Salgın B., Çoşgun N. Kentsel Dönüşüm Uygulamalarında Yapısal Atık Sorunu ve Çözüme Yönelik Öneriler: Kayseri. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2018;7(1): 465-476.
- [11] T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Kentsel dönüşüm çalıştay sonuç raporu kitabı; 2014.

- [12] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Tarihçemiz. <http://csb.gov.tr/tarihcemiz-i-7012> (Erişim Tarihi: 06.10.2018)
- [13] Bilsel C., Cumhuriyet Dönemi İstanbul Planlama Raporları 1934-1995 <http://www.mimarlikdergisi.com/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=288&RecID=1662> (Erişim Tarihi: 10.09.2018.)
- [14] Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı (DOĞAKA), Afet Durumu ve Yerleşime Uygunluk. http://www.dogaka.gov.tr/Icerik/Dosya/www.dogaka.gov.tr_238_GN4B05YM_TR63_Bolgesinin_Afet_Durumu_ve_Yerlesime_Uygunlugu.pdf (Erişim Tarihi: 06.10.2018)
- [15] T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, İzmir Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü 2016: Niçin Kentsel Dönüşüm Yapıyoruz? <http://izmir.csb.gov.tr/kapsamli-kentsel-donusum-sunumu-i-5578>, (Erişim Tarihi: 11.06.2018)
- [16] Alaeddinoğlu F., Sargın S., Okudum R., 2016. Van Depremi ve Kentsel Nüfusta Mekânsal Farklılaşmalar. SDÜ Fen Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi, 2011;39: 133-149.
- [17] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Şehircilik Alanında Genel Durum, <http://sehirciliksurasi.csb.gov.tr/sehircilik-alaninda-genel-durum-i-271> (Erişim Tarihi: 17.02.2018)
- [18] Clark G, Moonen T. The Density Dividend: Solutions for Growing and Shrinking Cities-Case Study Istanbul. Urban Land Institute, London, United Kingdom; 2015.
- [19] <http://cevrekoruma.ibt.gov.tr/Hafriyat/Sayfalar/1/HafriyatTopragiInsaatveYikintiAtiklariKontrolu,ÇevreKorumaDaireBaşkanlığı> (Erişim Tarihi: 20.09.2018)
- [20] <http://www.ebelediye.info/roporl11taj/istac-a-s-hafriyat-atiklari-muduru-fatih-mehmet-karaca-istanbul-da-onumuzdeki-20-yillik-surecte-150-> (Erişim Tarihi: 12.06.2018)
- [21] Ölmez E, Yıldız Ş., İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Yönetimi ve Planlanan İstanbul Modeli Kent Yönetimi”, İnsan ve Çevre Sorunları 2008 Sempozyumu, İstanbul, 2-6 Kasım 2008.
- [22] Kılıç M., Trafikteki Sürücü Görüş Alanlarının İncelenmesi ve İyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü; 2010.
- [23] T.C Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Orman Kanunu; 1956.
- [24] Çevre Bakanlığı Kentsel Dönüşüm İl Müdürlüğü, Kişisel Görüşme, 2017.
- [25] Wu Z, Yu ATW, Shen L, Liu G. Quantifying Construction and Demolition Waste: an Analytical Review. Waste Management. 2009; 34 (9):1683-1692.
- [26] Zainun NY, Othman W., 2015. Quantification and Mapping of Construction Waste Generation in Parit Raja. Applied Mechanics and Materials, 774: 1032-1036.
- [27] Solís-Guzmán J, Marrero M, Montes-Delgado M. V., Ramírez-de-Arellano A. A Spanish Model For Quantification And Management Of Construction Waste. Waste Management. 2009; 29(9): 2542–2548.
- [28] Lu W, Yuan H. A Framework For Understanding Waste Management Studies in Construction, Waste Management, , 2011; 31(6): 1252–1260.
- [29] EPA. Best Management Practices to Prevent and Control Hydrogen Sulfide and Reduced Sulfur Compound Emissions at Landfills That Dispose of Gypsum; 2014.

PERLİTTEN ÜRETİLEN FİLTRELERİN İS PARTİKÜLLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Hüseyin TURHAN¹, Erkan YÜKSEL^{2*}

¹ Fırat Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Elazığ, 23100, Türkiye

² Fırat Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Elazığ, 23100, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmanın amacı perlit kullanılarak oluşturulan filtrenin emisyon değerleri üzerindeki etkisini incelemektir. Araştırma sonucunda duman koyuluk (islilik) oranının yük miktarıyla doğru orantılı bir şekilde arttığı, dizel partikül filtrelerinde genişletilmiş perlitin Ford Focus marka araçta kullanılan orijinal filtreye oranla duman koyuluk oranını daha düşük düzeyde azalttığı ve sıcaklık değerleriyle doğru orantılı olarak filtreleme özelliğinin arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dizel, emisyon, dizel partikül filtresi, duman

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF FILTERS PRODUCED BY PERLITE ON THE PARTICULARS OF BUSINESS

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate the effect of converters generated by using perlite on emission values. As a result of the research, the rate of smoke darkness increased in proportion to the amount of load, it has been found that expanded perlite in diesel particulate filters reduces the smoke darkness (occupancy) ratio lower compared to the original converter used in Ford Focus brand and the filtering feature increases in proportion to the temperature values.

Keywords: Diesel, emission, diesel particul filters, fume

1. Giriş

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte ülkemizde ve dünyada her yıl trafiğe çıkan motorlu taşıtların sayısı artış göstermektedir. Trafike çıkan motorlu taşıt sayısının artması doğaya salınan zararlı gazların miktarının ve hava kirliliği gibi çevre sorunlarının da artmasını beraberinde getirmektedir. Motorlu taşıtların neden olduğu çevre kirliliğinin en önemli sebebinin egzoz emisyonları oluşturmaktadır. İçten yanmalı motorlarda yakıtın yanması sonucunda açığa çıkan zararlı gazların ve partiküllerin egzozdan atılarak atmosfere karışması hava kirliliğine ve çevresel sorunlara neden olmakta ve insan sağlığına zarar vermektedir [1].

* e-posta: erkanyuksel01@hotmail.com.tr

İçten yanmalı motorlarda kullanılan hidrokarbon içerikli yakıtların yanması sonucunda azotoksit (NO_x), yanmamış hidrokarbon (HC), karbonmonoksit (CO) ve partikül maddeler (PM) açığa çıkmaktadır. Hidrokarbon içerikli yakıtlar ideal koşullarda yandıkları durumlarda zararlı gaz çıkışı ve partikül madde oluşumu düşük düzeyde ortaya çıkmaktadır. İçten yanmalı motorlarda ideal şartlarda yanma gerçekleşemediğinden dolayı zararlı gaz çıkışı ve partikül oluşumunun gerçekleşmesi kaçınılmaz bir durumdur. Zengin karışımlarla yanmanın meydana geldiği benzinli motorlarda hidrokarbon ve karbonmonoksit oluşumu, benzinli motorlar kadar zengin olmayan karışımlarla meydana gelen dizel motorlarda ise partikül madde ve azotoksit oluşumu daha fazla gerçekleşmektedir [2].

Son yıllarda ülkemizde ve dünyada benzin fiyatlarının artması, dizel araçların yüksek tork değerine sahip olmaları, düşük yakıt tüketimi gibi etkenler tüketiciyi dizel araç tercihine yönlendirmiştir. İçten yanmalı dizel motorlarda yakıtın yanması sonucunda karbonmonoksit (CO), kükürtlü bileşikler, azotoksit türleri (NO_x), hidrokarbon (HC), aldehitler ve partikül madde açığa çıkmaktadır [3].

Yanma olayı sırasında yeterli miktarda hava ile reaksiyona giremeyen karbon (C), karbonmonoksit oluşumuna neden olmaktadır. Fakir karışımlar ile çalışan dizel motorlarda karbonmonoksit oluşumu düzeyi düşüktür. İçten yanmalı motorlarda yanma olayı sonucunda yanma odası sıcaklığının 1800 K'in üzerine çıkması nedeniyle havanın birleşiminde bulunan azot ve oksijenin kimyasal reaksiyona girmesi sonucunda azot oksitler (NO_x) oluşmaktadır. İçten yanmalı motorlarda yakıtın bir kısmının yanmaması ya da yakıtın buharlaşması sonucunda hidrokarbon (HC) oluşumu meydana gelir. Yine hidrokarbon içerikli yakıtlardaki hidrokarbonların eksik yanmaları aldehit oluşumuna neden olmaktadır. Yanma olayı sonucunda açığa çıkan yanmayan yakıt, yağ, nitrat, sülfat, is ve metaller partikül maddeleri oluşturmaktadır [4].

Motorlu taşıt egzoz emisyonlarını azaltma konusunda farklı malzemelerin kullanımıyla ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır [1-3]. Bu çalışmanın amacı ekonomik ve uzun ömürlü dizel partikül filtresi üretimi gerçekleştirmektir. Bu amaçla perlit kullanılarak üretilen filtre ile 2005 model Ford Focus marka dizel yakıtlı araca ait filtrenin is emisyon değerleri karşılaştırılmıştır. Perlitin hafif olması, kullanışlılığı, sıcaklığa dayanıklılığı, malzeme temininin kolay olması ve ekonomik açıdan uygun olması dizel partikül filtrelerinde kullanılabilirliği açısından oldukça önemli avantajlar sağlamaktadır. Son yıllarda artan motorlu araç ve taşıt sayısına bağlı olarak egzozlardan çıkan zararlı gazlardan dolayı ciddi şekilde çevreyi kirletmekte ve zarar vermektedir. Çevreyi abluka altına alan zararlı gazlar, gerek insan sağlığı açısından gerekse iş güvenliği açısından ciddi şekilde sorunlar teşkil etmektedir. Bu çalışmanın sonucunda bu zararlı gazların genişletilmiş belirli boyutlardaki perlit taşlarının kalıp halinde egzozlara yerleştirilmesi, egzozlardan çıkan zararlı gazları minimum seviye indirmek ve iş güvenliği açısından solunan gaz ve duman yönünden oluşabilecek meslek hastalıklarını alt limitlere çekmek açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmanın, çevreyi koruma çalışmaları ile iş güvenliği açısından belirli ölçüde yapılan çalışmalara katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

2. Materyal ve Metod

2.1. Amaç

Çalışmanın asıl amacı perlit kullanılarak üretilen filtrelerin gerek özel sektör açısından gerekse kullanıcılar açısından hem ekonomik hem de dayanıklılık ve uzun ömürlülük açısından değerlendirilmesidir. Perlitin özelliği gereği hafif, kullanışlı, sıcaklığa dayanıklı, rezervinin kolay bulunabilirliği ve ekonomik açıdan birçok konuda avantaj sağlaması perlitin marka dizel partikül filtrelerinde kullanılabilirliğini arttırmaktadır. Ülkemizde son yıllarda artan motorlu araç ve taşıt sayısına bağlı olarak araç egzozlarından dışarı atılan zararlı emisyon gazları ciddi şekilde çevreyi kirletmekte ve zarar vermektedir. Egzoz emisyon gazları hem insan sağlığı açısından hem de iş

güvenliği açısından ciddi problemler açığa çıkarmaktadır. Bu çalışma ile açığa çıkan bu zararlı gazların 2005 model Ford Focus marka aracın filtresi içerisinde genişletilmiş belirli boyutlardaki perlitin kalıp haline getirilerek egzozlara yerleştirilmesi ile egzozlardan çıkan zararlı gazları minimum seviye indirilmesi amaçlanırken, iş güvenliği açısından da solunan gaz ve dumanın oluşturduğu meslek hastalıklarını önlemek de araştırmanın bir diğer amacını oluşturmaktadır. Bu çalışmanın günümüzde çevrenin korunması ve iş güvenliği açısından belirli ölçüde yapılan çalışmalara katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

2.2. Kullanılan Malzemeler

2.2.1. Perlit

Genleştirilen perlit üretici firmadan satın alınarak boyutlarına göre ayrılmıştır. Genleştirilen perlitin genişletilmesi işlemi özel fırınlarda gerçekleştirilebilir bir işlem olması nedeniyle genişletilmiş perlit satın alma yoluyla temin edilmiştir. Genleştirilmiş perlit taşlarının birbirine bağlayıcılığı açısından partikül boyutlarına göre epoksi vb. malzemeler kullanılarak perlit preslenerek kalıplar haline getirilmiştir.



Şekil 1. Genleştirilmiş perlit numuneleri

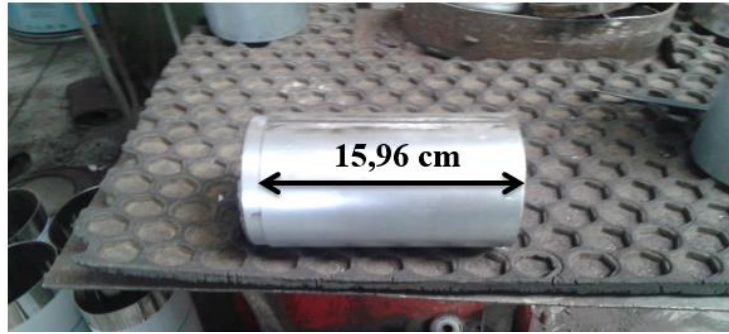
2.3. Yöntem

Partikül filtresi yapımında kullanılmak üzere sac levhalar kullanılmıştır. Plaka halindeki sac levhalar MVD marka hidrolik giyotin kullanılarak istenilen ebatlarda kesilmiştir.

Uygun ebatlarda kesimi tamamlanan 12 mm kalınlığındaki sac levhalar filtre dış kılıfı, filtre iç kılıfı, ızgara ve kapakların yapımında kullanılmıştır. Öncelikle filtre malzemesinin içerisine konulacağı 17 cm uzunluk ve 10,5 cm çapındaki filtre iç kılıfından 1 adet hazırlanmıştır.

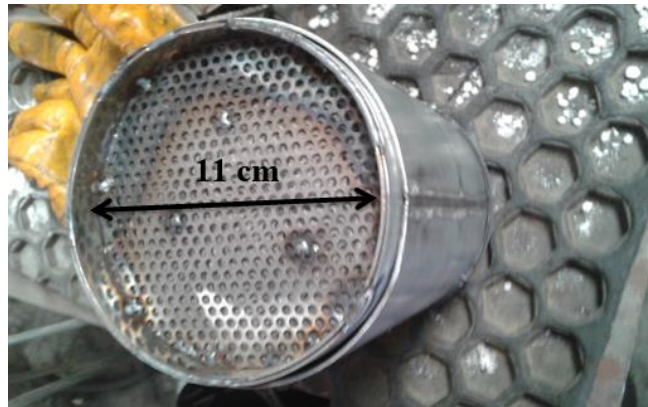


Şekil 2. Filtre iç kılıfı ebatları Filtre iç kılıfının üstü 15,96 cm uzunluk ve 11,25 cm çaplı filtre dış kılıfı ile sarılmıştır.



Şekil 3. Filtre dış kılıfı

Filtre iç kılıfının bir ucu 3mm delikli ve 11 cm çaplı ızgara ile bir ucu kaynak ile birleştirilmiştir.



Şekil 4. Delikli ızgara

Filtrenin 3 mm delikli ızgara ile kapatılan ucu, filtrenin kılıfı yapımında kullanılan sac kullanılarak imal edilen kapak kapatılarak kaynak ile birleştirilmiştir.



Şekil 5. Filtre uç kapağı

Bir ucuna ızgara ve kapak montajı yapılan filtrenin içerisine perlit ilave edilerek diğer uçlarına da 3 mm delikli ızgara montajı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. Filtre malzemesi doldurulan filtrenin iki ucunun kapakla kapatılması

Yapımı tamamlanan filtre siyah renge boyanarak sistem montajına uygun hale getirilmiştir.



Şekil 7. Boyama işlemi sonrasında elde edilen filtre

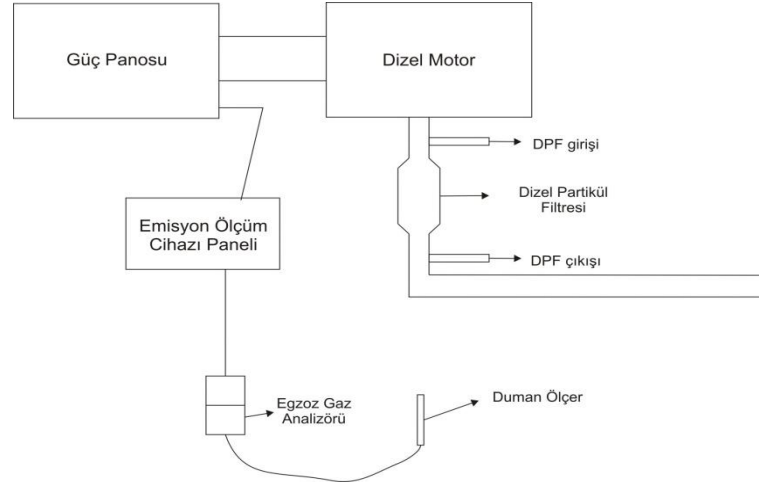
Perlit kullanılarak hazırlanan filtrenin emisyon değerleri üzerine olan etkilerini ölçmek amacıyla dizel motor ünitesine flanş kullanılarak montajı gerçekleştirilmiştir.

2.3.1. Dizel Motor Deney Seti

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan 2 silindirli ve V tipi dizel motora sahip jeneratör, 230/400 V alternatör ve çalıştırma ve kontrol ekipmanları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan Aksa APD 12EM marka jeneratöre ait teknik veriler Çizelge 1’de verilmiştir. Gaz emisyon değerlerinin ölçülmesi amacıyla Çukurova Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği’nde bulunan MRU Air Fair Optrans 1600 marka garaj tipi analiz cihazı kullanılmıştır. Araştırmada emisyon ölçümüne başlanmadan önce yapılan her bir test için ilgili filtre kullanılarak motor kararlı hale gelinceye kadar bir süre çalıştırılmıştır. Motor kararlı çalışma şartlarına ulaştığında her bir filtre ile 3000 dev/dk sabit hızda 1 kW, 2kW ve 3kW güç çıkışlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışma esnasında ortamın nem ve sıcaklık değerleri dijital cihazlar ile ölçülüp kontrol altına alınmıştır.

Çizelge 1. Deney motorunun teknik özellikleri

Marka ve Model	APD-12EM
Maksimum Standby Güç	3000 dev/dk’da 13,2 kW [18 HP]
Soğutma Sistemi	Su soğutmalı
Hava Emme Sistemi	Doğal emişli
Çap x strok (mm)	80 x 79
Silindir sayısı	2 Silindirli, V Tipi
Püskürtme sistemi	Direkt
Sıkıştırma oranı	18:1
Egzoz Gaz Sıcaklığı (°C) (Katalog Değeri)	600



Şekil 8. Deney düzeneği

Egzoz emisyon ölçümlerinde ve duman koyuluğunu ölçmek amacıyla MRU Air Fair Optrans 1600 marka gaz ölçüm cihazı kullanılmış olup cihaz hassasiyeti ile ilgili bilgiler Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. MRU Air Fair Optrans 1600 gaz analiz cihazına ait teknik değerler

Emisyon Gazı	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
CO	%0-10	%0,01 hacim
CO ₂	%0-20	%0,1 hacim
HC	0-20000 ppm	1 ppm
NO _x	0-5000 ppm	1 ppm
O ₂	%0-20	%0,01 hacim
Duman Koyuluğu (İslilik)	%0-99,9	%0,01

2.4. Perlit Kullanılan Filtreye Ait Duman Koyuluğu (İslilik) Miktarının Karşılaştırılması

Genleştirilmiş perlit kullanılarak oluşturulan filtrenin 3000 dev/dk sabit devirde 1 kW, 2 kW ve 3 kW yükler altında, motorun kararlı çalışma şartlarına ulaşmasından sonra 30 sn beklenecek duman koyuluğu oranları ölçülmüştür (Şekil 9).

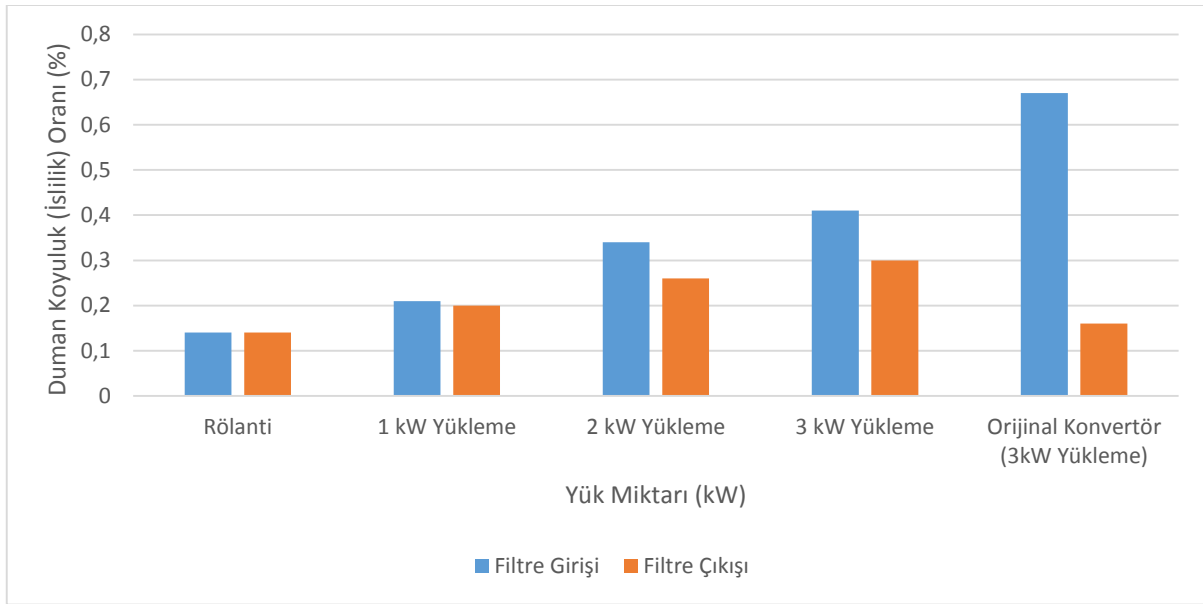


Şekil 9. Filtrenin DPF girişinde ölçüm yapma

Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen ışık absorpsiyon katsayısı (K) ve duman koyuluğu oranları (N) değerleri Şekil 10 ve Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Filtrenin farklı yükler altındaki duman koyuluğu oranı

Dizel Motor Yük Miktarı	Ölçüm Değerleri	Filtre Girişi	Filtre Çıkışı
Rölanti	K (1/m): N (%):	0,032 0,14	0,025 0,14
1 kW Yükleme	K (1/m): N (%):	0,049 0,21	0,063 0,20
2 kW Yükleme	K (1/m): N (%):	0,075 0,34	0,063 0,26
3 kW Yükleme	K (1/m): N (%):	0,090 0,41	0,051 0,30
APD-12EM Jeneratör motorunun teknik özelliklerine göre orijinal filtre ölçüm sonuçları (3 kW Yükleme)	K (1/m): N (%):	0,061 0,67	0,039 0,16



Şekil 10. DPF girişindeki ölçüm noktaları

Şekil 10'da verilen grafikte sabit devir ve farklı yük miktarlarında ölçülen duman koyuluğu oranları görülmektedir. Genleştirilmiş perlit ile yapılan filtrede motorun rölanti durumunda duman koyulu oranının partikül filtresi girişinde ve çıkışında aynı olduğu, motor yük miktarı arttıkça genleştirilmiş perlit kullanılarak oluşturulan filtrede duman koyulu oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Motorun 3 kW'lık yük altında oluşturduğu egzoz gazının islilik oranının %50 oranında düştüğü tespit edilmiştir. Genleştirilmiş perlit kullanılarak oluşturulan filtrenin motor yük oranı arttıkça duman koyulu oranının azaldığı yapılan araştırma sonucunda tespit edildiği söylenebilir. Motor yük miktarı arttıkça duman koyulu oranının azalmasının sebebi egzoz sıcaklığının artması olduğu söylenebilir. 2005 yılı üretimi Ford model araç orijinal filtresinin 3kW'lık yük altında oluşturduğu egzoz gazının islilik oranının yaklaşık %77 oranında düşüş olduğu ve bu değer

genleştirilmiş perlit ile yapılan filtreye göre daha yüksek bir değer olduğu araştırma sonucunda tespit edilmiştir.

Araştırmada yük miktarı ile duman koyulu oranının ters orantılı olduğu yapılan deneyler sonucunda tespit edilmiştir. Bu durumun sebebinin yük miktarının artmasının egzoz sıcaklığını artırması olduğu söylenebilir. Egzoz sıcaklık düzeyinin artması yakıtın yanma verimini artırarak duman koyuluk oranını azaltmaktadır. Motor rölantide çalışırken genleştirilmiş perlit kullanılan filtrede duman koyuluk oranının değişmediği tespit edilmiştir. Bu durum genleştirilmiş perlitin düşük egzoz sıcaklıklarında daha iyi filtreleme özelliğine sahip olduğunu göstermektedir. 1 kW'lık yük değerinde duman koyulu oranının perlit kullanılarak yapılan filtrede bu oranın sabit kaldığı tespit edilmiştir. 2 kW'lık yük değerinde perlit kullanılarak üretilen filtrenin duman koyulu oranını azalttığı araştırma sonucunda tespit edilmiştir. 3 kW'lık yük değerinde perlit kullanılarak üretilen filtrenin duman koyulu oranını azalttığı araştırma sonucunda tespit edilmiştir.

3. Sonuçlar

Sonuç olarak dizel partikül filtrelerinde genleştirilmiş perlit kullanımı duman koyuluk (islilik) oranını önemli ölçüde azalttığı ve sıcaklık değerleriyle doğru orantılı olarak filtreleme özelliğini arttığı söylenebilir. APD-12EM jeneratör motorunun teknik özelliklerine göre Ford Focus marka araçta kullanılan filtrede duman koyulu oranındaki azalmanın perlit kullanılarak üretilen filtreye oranla daha yüksek düzeyde olduğu araştırma sonucunda tespit edilmiştir. Filtreleme özelliğine sahip olan farklı malzemelerin dizel partikül filtrelerinde kullanılması çevre kirliliğinin azaltılmasında önemli rol oynayabilir. Araştırmada ham perlit ile bir filtre yapılarak ham perlitin duman koyulu oranı üzerindeki etkisi araştırılabilir.

Kaynaklar

- [1] Ayhan V., 2009. Bir Dizel Motoruna Buhar Enjeksiyonunun NOx ve İş Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi, Doktora Tezi, Sakarya.
- [2] Soruşbay C., 2015. Egzoz Gazları Emisyonu Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makine Mühendisliği, İstanbul.
- [3] Keskin A., Sağıroğlu S., 2010. Dizel Motorlarından Kaynaklanan Egzoz Emisyonları ve Kontrol Yöntemleri. Mühendis ve Makina, Cilt 51 (606).
- [4] Keskin A., Sağıroğlu S., 2009. Dizel Motorlarından Partikül Madde Emisyon Kontrolü ve Gelişmeler. 5. Uluslararası Teknolojiler Sempozyumu, Karabük.

GIDA LABORATUVARLARINDA KULLANILAN YÖNTEMLERİN LABORATUVAR AKREDİTASYONU

Fatma HEPSAĞ*

* Korkut Ata University, School of Applied Sciences, Food Technology Department, Kadirli, 80750 Osmaniye, Türkiye

ÖZET

Genel olarak akreditasyon; laboratuvarların, muayene ve belgelendirme kuruluşlarının ulusal ve uluslararası kabul görmüş teknik kriterlere göre akreditasyon uygunluk değerlendirme kuruluşlarınca değerlendirilmesi, dolayısıyla bu değerlendirmeler sonucunda düzenledikleri uygunluk teyit belgelerinin (deney ve muayene raporları, kalibrasyon sertifikaları, yönetim sistemi belgeleri, ürün belgeleri, personel belgeleri vb) güvenilirliğini ve geçerliliğini desteklemek ve düzenli aralıklarla denetlenmesi amacıyla oluşturulmuş bir kalite altyapısıdır. Bu kapsamda yapılan denetlemeler ISO 17025'e göre laboratuvar, ürün (hizmet), sistem ve personel olmak üzere dört ana başlık altında gerçekleştirilir. Akreditasyon kapsamında, yapılan tüm analizlerin sonuçlarının güvenilir olduğu ve doğruluğunun da yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Ülkemizde gıda üretimi ve dağıtımında resmi veya özel kontrol kurumlarının akreditasyona verdiği öneme bağlı olarak toplam gıda güvenliğinde belirgin bir yükselme kaydedilebilecektir. Bu çalışma içerisinde akreditasyon ve akreditasyona ait tanımlar özetlenecektir.

Anahtar Kelimeler: Akreditasyon, Gıda, Laboratuvar, ISO 17025

LABORATORY ACCREDITATION OF METHODS IN FOOD LABORATORIES

ABSTRACT

Accreditation in general; evaluation of laboratories, inspection and certification bodies by accreditation conformity assessment bodies according to national and internationally accepted technical criteria, and therefore, the reliability of such certificates as a result of these evaluations (test and inspection reports, calibration certificates, management system documents, product documents, personnel documents, is a quality infrastructure designed to support its validity and periodically. In this context, audits are carried out under four main headings: laboratory, product (service), system and personnel according to ISO 17025. Within the scope of accreditation, it is observed that the results of all analyzes are reliable and high. In food production and distribution in our country, a significant increase in total food reliability can be recorded depending on the importance given to accreditation by public or private control institutions. The definitions of accreditation and accreditation will be summarized in this study.

Keywords: Accreditation, Food, Laboratory, ISO 17025

1. Giriş

Dünyanın her yerinde laboratuvarların teknik yeterliliği, akreditasyon sistemlerinin yardımıyla tespit edilmektedir. Akreditasyon, test sonuçları ve raporlarının ulusal ve uluslararası kabul edilirliliğe sahip olmasına, hem ulusal hem de uluslararası yüksek saygınlığı ifade etmesine, müşteri portföyünün ve hizmet verilebilecek alanların artmasına, test yöntemlerinin standart hale gelmesine, laboratuvarda iş düzeninin sağlanmasına ve izlenebilirlik kavramının kurumsallaşmasına olanak sağlar [1]. Analiz

* e-posta: fatmahepsag@osmaniye.edu.tr

sonuçlarının kalite kontrolü için, hem rutin çalışmaların doğal bir parçası olarak ve analiz sonuçlarının kesinliğini ve güvenilirliğini sürekli takip etmek adına “iç kalite kontrol çalışmaları” yapılır, hem de laboratuvarın uygulamış olduğu bu kalite kontrol çalışmalarının etkinliğini ve analiz sonuçlarının doğruluğunu görmek adına “dış kalite kontrol (yeterlik testleri) çalışmaları” uygulanır. Kalite kontrol çalışmalarından elde edilen veriler, personel, metot ve laboratuvar etkinliğinin izleme ve uygun olmayan noktaların belirlenmesi veya öngörülmesi amacıyla kalite kontrol grafiklerine aktarılır, sonuçların gözden geçirilmesi için istatistiksel testler uygulanır. Bu veriler doğrultusunda farklı kontrol sistemleri için limitler belirlenir ve analizlerin kesinliği ve güvenilirliğini sağlamak için limitler aşıldığında laboratuvar tarafından düzeltici faaliyet başlatılır [2]. Akredite bir laboratuvarın vermiş olduğu deney raporu ve sertifikalar saygınlık ve müşterilere güvenilirliğin göstergesi olduğu için, bu çalışma içerisinde akreditasyon ve akreditasyona ait tanımlar özetlenecektir.

2. Akreditasyon İçin Gerekli Şartlar

2.1. Kalite Kontrol Metotlarının Seçimi

Her muayene ve analiz metodunun ve kullanılan cihazların performans kontrolü için uygulanacak iç kontrol yöntemi, analiz metotlarının nitelikleri, kullanılan cihazların teknik özellikleri, analiz edilen numunenin nitelikleri, uygun olan kontrol numunelerinin nitelikleri (özellikle homojenitenin ve stabilitenin temin edilebilmesi), metotların kullanım sıklığı, metotların süresi ve maliyetleri, yasal mevzuat zorunluluklar göz önüne alınarak, laboratuvar tarafından analizler için aşağıdaki parametrelerden bir veya birden fazla kalite kontrol parametresi seçilebilir. Tüm kalite kontrol çalışmaları, kabul kriterlerine göre değerlendirilir ve uygunsuzluk durumunda düzeltici önleyici faaliyet başlatılarak uygunsuzluğun ortadan kaldırılması sağlanır. İç ve dış kontrol yönteminin elemanları olarak, kontrol analizlerinin cinsi ve nispeti, kontrol numunelerinin cinsi ve hazırlanması, uygun olan kalite kontrol kartların cinsi ve kontrol analizlerinin sıklığı belirlenerek uygulanır [2,3].

2.2. Kalite Kontrol Numuneleri

Çalışmalarda kullanılacak olan kalite kontrol numunelerin taşınması gereken başlıca özellikler belirtilmiştir. Homojen olmalı, analiz için uygun matris ve konsantrasyonda olmalı, analiz için analitik çalışma aralığı için uygun olmalı, uzun süreli çalışmalar yapılabilecek miktarda ve stabilite de olmalı, numune stabil kalması için uygun koşullarda gerekli önlemler alınarak (nem almaması, azot ile kapatılması) depolanmalı, son kullanma tarihi uzun süreli çalışmalar için uygun olmalı, analiz için numuneden örnek alındığı zaman numunede herhangi bir değişiklik olmamalı, (örneğin uçucu bileşimlerin numuneden analizi sırasında buharlaşması) [3].

2.3. Kontrol Numunelerinin Hazırlanması

Metot kontrol numunesi olarak; referans numune, sertifikalı referans materyal, kontrol numunesi, yeterlilik numunesi (daha önceden çalışılmış, sonucu bilinen), standart ilave edilmiş matris veya doğal kontamine numune kullanılabilir. Genelde, materyalin toplam miktarının, en az 20 kontrol analiz için yeterli olması tercih edilmelidir [3].

1. Referans numune, sertifikalı referans materyaller metot kontrol numuneleri olarak kullanılmak üzere Eurochem, FAPAS, Bipea veya benzeri ulusal veya uluslararası alanda kabul gören firmalardan temin edilen analiz sonucu tam olarak belirlenmiş ve belirsizliği bulunan numune tedarik edilir. Analizi yapılan numunenin sertifikasında yer alan sınırlar dahilinde olup olmadığına bakılarak sonuç değerlendirilir. Numunelerin saklama koşullarına göre uygun ortamda etiketlenerek saklanır ve metot kontrol numunesi olarak kullanılır [3,4].

2. Sertifikalı referans materyal olarak tedarik edilemiyorsa stabil bir numune oluşturulup değeri belirlenebileceği gibi, her çalışmada içeriği bilinen yada analiti içermeyen bir numune içerisine anlık aranan analit belirlenen derişimde eklenerek de numune oluşturulabilir. Bu amaçla, rutin analizde kullanılan veya piyasadan tedarik edilen matrikslerin kontrol numunesi olarak kullanılması halinde belirlenen numuneden hazırlanan analiz miktarlarından, rastgele test porsiyonları alınarak ilgili standart çalışma yöntemine göre analiz edilir ve homojenizasyon testi yapılır. Analiz sonunda eğer aranan analiti içermiyorsa spike (sertifikalı referans madde) çalışmalarında kullanılmak üzere direk kullanılır. Bu durum analizin ihtiyacına göre belirlenir. Eğer aranan analiti içeriyorsa bu kontrol numuneleri %10'u (ancak en az 6 adet) ile rutin şekilde analiz yapılarak hem homojenite kontrol edilir; hem de içerdiği analit miktarı belirlenir. Analiz sonucunda her hangi bir farklılık olup olmadığı David, Grubbs, Fisher, Cochran, t testi v.b istatistiksel testler ile kontrol edilir. İstatistiksel test sonucu uygun sonuçlar değerlendirilerek hazırlanan kontrol numuneleri, numunelerin saklama koşullarına göre uygun ortamda üzerine hazırlama tarihi, hazırlayan kişinin adı, soyadı yazılarak saklanır ve metot kontrol numunesi olarak kullanılır. Doğal kontamine numunelerin içerdiği analit konsantrasyonunun kalite kontrol çalışmalarında direk kullanılabilceği gibi analiz yönteminin ihtiyacına göre üzerine spike yapılarakta kullanılabilir [4].

3. Aranılan analiti içeren veya bazı ampirik yöntemlerde (kül, protein vb) metotlar için analiz metodunda belirtildiği şekilde rutin analizler ve numune hazırlama işlemi yapılır. Numunenin homojen olması ve iyi stabiliteye sahip olması durumunda, numune uygun miktarda hazırlanarak bir kaç laboratuvarın katılacağı bir laboratuvarlar arası karşılaştırma testi planlanır. Bunun için en az 3 laboratuvar, her laboratuvarda en az 2 analiz çalışması planlanmalıdır. Sonuçlar uygun bir karşılaştırma testi ile istatistiki olarak (z testi ile) karşılaştırılır. İstatistiksel testler sonucunda homojen bir numune olması ve laboratuvar sonuçlarının dağılımının normal olması durumunda numune kalite kontrol numunesi olarak kullanılır.

4. Gerçeklik çalışması yapılamayan (ampirik yöntemler gibi) metotlar için analiz metodunda belirtildiği şekilde rutin analizler ve numune hazırlama işlemi yapılır. Bu analizler tekrarlanabilirlik veya tekrar üretilebilirlik çalışmasında kullanılabilir [5].

2.4. Kalitatif Kimyasal Analizlerde Kalite Kontrol Yöntemleri

Kimyasal analizlerde kalite kontrolü sağlamak amacı ile belirlenmiş olan başlıca kalite kontrol parametreleri aşağıda verilmektedir. Burada belirtilmeyen analiz metot gereksinimine özgü kontrol yöntemleri laboratuvarın kalite yönetim sisteminde belirtilmelidir. Gerekli görüldüğü durumlarda analiz metodu kalite kontrol parametresi, hedef değeri, kabul kriteri ve periyodu laboratuvar tarafından belirlenebilir [5].

2.4.1. Tekrarlanabilirlik Kontrolü

Tekrarlanabilirlik, söz konusu analiz parametresinin, sertifikalı referans materyal, yeterlilik numunesi (daha önceden çalışılmış, sonucu bilinen), kirletilmiş numune, rutin laboratuvar numunesinin, aynı analist, aynı metot ve cihazlar kullanılarak, aynı günde yapılan en az 2 paralel çalışmalarıdır. Yapılan tekrarlanabilirlik çalışmaları kayıt altına alınır. Gerçeklik (geri kazanım) çalışması yapılamayan analizler için (ampirik yöntemler), kalite kontrol parametrelerinin her biri için paralel çalışma tavsiye edilir [6].

2.4.2. Değerlendirme

Validasyonu/verifikasyonu tamamlanan kantitatif analizlerde ilgili validasyon talimatında belirtilen tekrarlanabilirlik limiti kadar fark olmalıdır. Yasal mevzuat veya çalışma gruplarının belirlemiş olduğu bir tekrarlanabilirlik limiti varsa belirtilen limite göre uygunluğa bakılır.

Validasyon/verifikasyon çalışması tamamlanmış metot içinde geçen tekrarlanabilirlik değerini karşılayıp karşılamadığı kontrol edilir. $r = 2.77 \times Sr$, $Sr =$ Validasyon/verifikasyon talimatında veya standart çalışma yöntemi içerisinde yer alan değer, uygun olmayan durumlarda aşağıda verilen çalışmalardan bir veya bir kaçını yapılır ve kontrol edilir, uygunsuzluğun devam etmesi durumunda düzeltici faaliyet başlatılır ve sebep analizi yapılır. Aynı personel, aynı koşullarda analizi tekrarlar; aynı personel, farklı kalite kontrol parametresiyle; farklı yetkin personel, aynı kalite kontrol parametresi; aynı numune farklı analiz yöntemi ile; farklı yetkin personel, farklı kalite kontrol parametresi çalışarak kontrol yapılabilir [4,5,6].

2.4.3. Tekrar üretilebilirlik Kontrolü

Söz konusu analiz parametresinin sertifikalı referans materyal, yeterlilik numunesi (daha önceden çalışılmış, sonucu bilinen), kirletilmiş numune, rutin laboratuvar numunesi ile laboratuvar içi tekrar üretilebilirlik yapılan çalışmalardır. Yapılan tekrar üretilebilirlik kontrolü çalışmaları metot kontrol numunesi ile belirli periyotlarla yapılır ve yapılan çalışmalar kayıt altına alınır. Kalite kontrol grafiği için yapılan çalışmalar farklı gün, farklı personel veya cihazda yapılmış ise tekrar üretilebilirlik olarak kullanılabilir. Yapılan bu çalışmalar kalite kontrol grafiklerine işlenerek takibi yapılır [4,5,6].

2.4.4. Değerlendirme

Validasyonu/verifikasyon tamamlanan analizlerde ilgili validasyon talimatında belirtilen tekrar üretilebilirlik limiti kadar fark olmalıdır. Validasyon/verifikasyon çalışması tamamlanmamış metot içinde geçen tekrar üretilebilirlik değerini karşılayıp karşılamadığı kontrol edilir. $R=2.77 \times Sr$, $Sr=$ Validasyon/verifikasyon talimatında veya standart çalışma yöntemi içerisinde yer alan değer. Hiçbir karşılaştırma değeri olmayan çalışmalarda $R=2(1-\log C) \cdot X$. $2.83 C= (1 = 100 \text{ g}/100 \text{ g}; 0.001 = 1000 \text{ mg}/\text{kg})$, $X=$ ortalama konsantrasyon uygun olmayan durumlarda laboratuvar, aşağıda verilen çalışmalardan bir veya bir kaçını yapar ve kontrol eder, uygunsuzluğun devam etmesi durumunda düzeltici faaliyet başlatılır ve sebep analizi yapar [4,5,6].

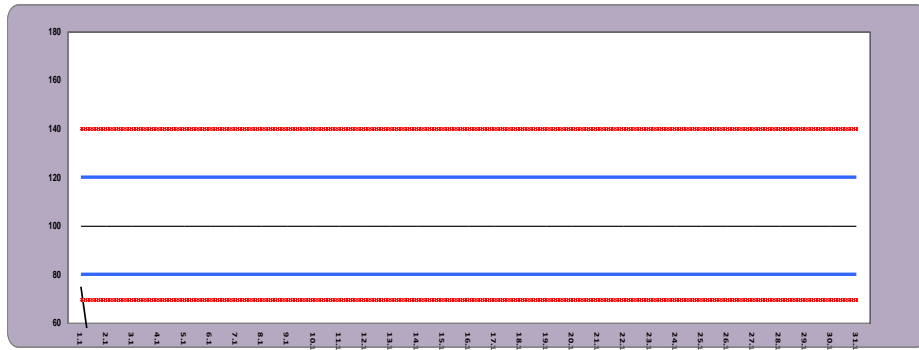
2.4.5. Gerçeklik (Doğruluk) Kontrolü

Söz konusu analizin kalite kontrolü sertifikalı referans malzeme, yeterlilik numunesi (daha önceden çalışılmış, sonucu olan), kirletme yöntemi ile (belli bir seviyede, temiz numune içine ekleme), doğal kontamine kontrol numunesi ile (daha önceden çalışılmış, sonucu olan) olarak hazırlanan metot kontrol numunesi ile belirli periyotlarla yapılır veya yapılan çalışmalar kayıt altına alınır. Gerçeklik çalışması tekrar üretilebilirlik çalışmasını içerecek şekilde yapılabilir. Gerçeklik çalışması her batch'de (bir defada alınan miktar) veya 10 numunede bir yapılması tavsiye edilir. Validasyon/verifikasyon raporu tamamlanmış analizler için validasyon/verifikasyon raporunda belirtilen geri kazanıma göre veya eğer referans metot içerisinde geri kazanım limitleri verildiyse veya yasal mevzuat kriteri var ise limit olarak kullanılır. Metodda, yasal mevzuatlarda, kalite kontrol kartlarında veya validasyon/verifikasyon çalışmasıyla tamamlanmamış analizler için herhangi bir geri kazanım limiti yoksa kimyasal ve fiziksel analizlerde validasyon/verifikasyon talimatında yer alan konsantrasyonuna göre limitler içinde olup olmadığı kontrol edilir. Gerçeklik çalışması sertifikalı referans malzeme veya yeterlilik testi numunesinde kullanılmış ise gerçek değer olarak hedef değer kullanılır ve analiz sonucunun sertifikada verilen değerler arasında olup olmadığı kontrol edilir. Uygun olmayan durumlarda laboratuvar, aşağıda verilen

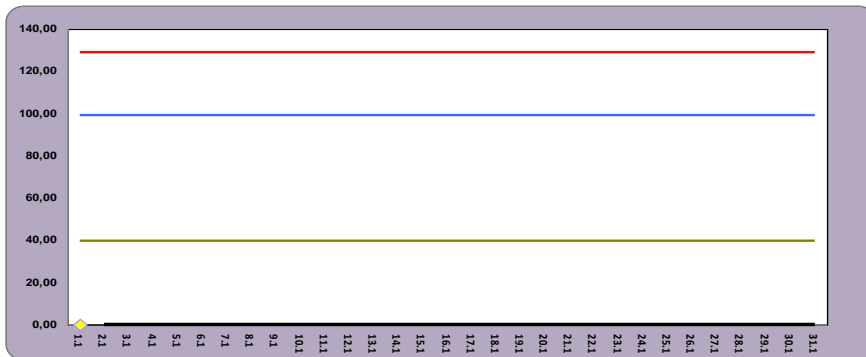
çalışmalardan bir veya bir kaçını yapar ve kontrol eder, uygunsuzluğun devam etmesi durumunda düzeltici faaliyet başlatır ve sebep analizi yapar [5,6].

2.5. Kalite Kontrol Kartlarının Kullanımı

Kalite kontrol grafiği (QC Chart) oluşturulması, ilgili metot talimatına göre yetkili personel, belirlenen periyot ve belirlenen paralel sayısı ile ölçüm yapılarak matrisin gerçek tespit edilen veya verilen kabul edilebilir değeri ve %95 güven aralığında ($k=2$ için) alt ve üst güven sınırları ($2s$ ve $3s$ değerleri) ile QC Chart oluşturulur. Belirlenen periyotlarda kalite kontrol numunesi analize alınarak sonucun alt ve üst güven sınırları içerisinde olup olmadığına bakılır. Yapılan kontrol sonuçlarının grafiksel dökümü için X Chart, R Chart gibi kalite kontrol şemalarından uygun olan kullanılır. Grafik üzerinde alt/üst kontrol limitleri ($-3s$, $+3s$), alt/üst uyarı limitleri ($-2s$, $+2s$) ve ölçümler işaretlenir. QC grafiğinin seçimi, R Chart grafiği, geri kazanım/hedef değer, tekrarlanabilirlik ve tekrar üretilebilirliğin olması durumunda ve paralel yapılan çalışmalarda kullanılır. R Chart ise grafiği geri kazanım/hedef değer ve tekrar üretilebilirliğin olması durumunda kullanılır (paralel çalışma olmayan). Eğer analizde geri kazanım veya hedef değer yapılamıyorsa bu durumda analiz paralel çalışma imkanı sağlıyorsa rutin analiz sonuçları paralel kabul edilir ve X Chart grafiği tutulur [5].



Şekil 2. X-bar Chart(Örnek)



Şekil 3. R- Chart (Örnek)

Kalite Kontrol Grafiği (QC Chart) değerlendirmesi: X ve R Chart grafikleri otomatik olarak renklere göre değerlendirme yapmaktadır. Sonuçlar beklenen, ortalama (hedef) değerler arasındaysa çalışmalar rutin şekilde yürütülür ve elde edilen verilerle metot performansı “Uygun” sınırlar içerisinde denir.

Grafiğin değerlendirmesi yapılırken, sonuçların herhangi bir sistem hatası ve araştırma gerekli durumlarında “kontrol dışı (uygun değil)” kabul edilir. Bu durumlarda Uygunsuzlukların Kontrolü Prosedürü ‘ne göre hareket edilir [5].

8 fark $< 1,13s$ parametresinde görülmesi durumu, validasyon çalışmaları sonucu elde edilen standart sapmalara rutin kontrollerde uyulduğunu göstermekle beraber, standart sapma değerinin daha da daraltılabileceğini gösterir. Yasal mevzuat, çalışma gurubu, metot veya müşteri talep ettiği belirsizlik değerinin karşılanmadığı durumda laboratuvar tarafından standart sapma değerinin daraltılıp daraltılamayacağı irdelenir ve uygun görülmesi durumunda değer değiştirilir. * Kontrol limiti dışına çıktığında, * Ortalama sonucun alt ya da üstünde yer alan yedi ardışık sonuç, * Artış gösteren yedi ardışık sonuç, * Azalış gösteren yedi ardışık sonuç, * Ardışık 3 sonucun uyarı limitinin dışında kontrol limitinin altında yer alması.

Çizelge1: Yasal mevzuat, çalışma gurubu, metot veya müşteri talep ettiği belirsizlik değerinin karşılanmadığı durumda laboratuvar tarafından standart sapma değerinin daraltılıp daraltılamayacağını irdelendiği control limit değerleri [5]

Kontrol limiti dışında	X- Chart Grafiğinde metodun geri kazanımın ve hedef değerden sapmalarının takibi
7 Artışık sonuç $>$ ort	
7 ardışık sonuç $<$ ort	
3 değer $2s$ dışında	
7 yükselen değer	
7 düşen değer	
Fark $> 3,69s$	R-Chart Grafiğinin kullanımı ile metodun tekrar üretilebilirlik kriterlerinin takibi.
Fark $> 2,77s$	
8 fark $< 1,13s$	
Fark $> 3,69s$	R-Chart Grafiğinin kullanımı ile metodun tekrarlanabilirlik kriterlerinin takibi.
Fark $> 2,77s$	
8 fark $< 1,13s$	

Yukarıda belirtilen olumsuzlukların meydana gelmesi durumunda, QC sonuçlarının kabul edilebilir mi yoksa kabul edilemez mi olduğunun tartışması yürütülmelidir. QC için kullanılan numune, yeniden çalışılır. Eğer uygunsuzluk devam ederse batch’deki (bir defada alınan miktar) numuneler

raporlanamaz. Araştırma sonucunda gerekirse önceki QC'ler irdelenir ve hatanın kaynaklandığı yer tesbit edilir ve bu tespit edilen yerden sonraki analizlere devam edilir veya hata için uygunsuzluk başlatılır. Tüm uygunsuzlukların giderilmesi durumunda tekrar analiz başlatılır. Uygun olmayan sonuçlar için laboratuvar, Düzeltici faaliyet başlatır ve sebep araştırması yapar. Aynı kişi, QC tekrarı; farklı yetkin kişi, aynı numune ile; farklı numune ile; çalışılarak kontrol yapılabilir [5].

2.6. Yeterlilik Testleri ve Laboratuvarlar Arası Karşılaştırma

Analizlerimizin kalitesini ulusal ve uluslar arası düzeyde karşılaştırmak için, yeterlilik testlerine tabi tutmak gerekir. Yeterlilik Testi (YT, PT); Laboratuvarlar arası karşılaştırmalar yoluyla katılımcı performansının önceden belirlenmiş kriterlere göre değerlendirilmesidir. Laboratuvar yeterlilik testi veya laboratuvarlar arası karşılaştırma testleri, yıllık olarak planlanır ve sonuçlarıyla ilgili kayıtlar tutulur [6].

Yasal mevzuat gereği, Akredite olan ve/veya sık yapılan analizler için, senede en az dört yılda bir kere güvenilir bir kuruluş (örn. FAPAS/FEPAS, EUPT, IRMM) tarafından düzenlenmiş yeterlilik testine katılır. Yeterlilik testi bulunmadığı durumlarda, laboratuvarlar arası karşılaştırma yapılır. *Laboratuvar yılın başında veya bir önceki yılın sonunda yeterlilik testi katılım planı oluşturur. Laboratuvar katılım planı düzenli olarak gözden geçirilmeli ve ihtiyaca göre güncellenmelidir. Gerek görüldüğü durumlarda plansız yeterlilik testlerine katılabilir. *Laboratuvar yeterlilik testi ile ilgili tüm işlemlerin dokümantasyonunu yapar ve kayıtlarını tutar. *Yeterlilik testinin sonuçları, yayımlandıktan hemen sonra alınan performans, laboratuvar tarafından değerlendirilir ve z-skor içinde olup olmadığı kontrol edilir. Eğer sonuçlar z-skor aralığında değil ise düzeltici faaliyet uygulanır. Kabul kriteri olarak kalitatif analizlerde, $-2 \leq z \leq +2$ ise laboratuvar sonuçları ile yeterlilik testindeki atanan değerler arasındaki fark, %95 güvenle istatistiksel olarak önemsizdir ve laboratuvarın sapması kontrol altındadır. Kantitatif analizlerde ise tespit edildi veya edilmedi şeklinde değerlendirilir [6].

Ulusal yeterlilik testleri: Koruma Kontrol Genel Müdürlüğü (KKGGM) veya benzeri resmi kurumlar tarafından düzenlenmiş zorunlu olan veya olmayan ulusal yeterlik testlerine katılabilir. Yapılacak işlemler önceki uluslar arası yeterlik testleri için tarif edilmiş işlemlerin aynısıdır.

Laboratuvarlar Arası Karşılaştırma (LAK); Yukarıda belirtilen programların mevcut olmadığı ve alternatif kalite kontrol yöntemlerinin uygulanmasının mümkün olmadığı durumlarda, bu tür programlara katılabilir. Bunun için en az 3 laboratuvar, her laboratuvarda en az 2 analiz çalışması planlanmalıdır. Sonuçlar uygun bir karşılaştırma testi ile istatistiki olarak (z testi ile) karşılaştırılır. Uygun olmayan durumlarda laboratuvar, düzeltici faaliyet başlatır ve sebep analizi yapar. Ayrıca aynı analit için seri halde girilen yeterlilik testleri sonuçları da aşağıdaki eşitlik kullanılarak değerlendirilebilir.

$$S_{z,rs} = \frac{\sum z}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

$S_{z,rs}$: Yeni hesaplanmış z skoru, z: Aynı analit, aynı matriks veya aynı metot için her bir yeterlilik testinde elde edilmiş z değerleri, n: z değerlerinin sayısı[5,6,7].

2.7. Kantitatif Kimyasal Analizlerde Kalite Kontrol Yöntemleri

Tespit edildi/edilmedi veya var/yok olarak, analiz edilen numunelerde, kalite parametresi olarak metoda veya yasal mevzuatlarda kalite parametresi verilmiş ise o parametreler geçerlidir. Eğer bir parametre verilmemiş ise rutin numune iki paralel çalışılır, iki paralel arasında uyum olması durumunda analiz sonucu raporlanır, iki paralel çalışma arasında fark varsa analiz tekrarlanır. Kantitatif analiz metodu kirletme yapmaya uygun ise 10 numunede bir kirletme çalışması yapılarak rutin analiz metodu uygulanır. Kirletme sonucunda aranan analit veya madde tespit edilmesi durumunda, rutin numune

çalışmaya devam edilir. Yapılan çalışmalar kayıt altına alınır. Yapılan çalışma uygun olmaması durumunda düzeltici faaliyet başlatılır, geçmişteki 10 numune irdelenir [6,7,8].

2.8. Fiziksel Analizlerde Kalite Kontrol Yöntemleri

Yabancı madde, bozuk dane, kırık dane vb. görsel olarak yapılabilen analizlerde, kalite parametresi olarak metod veya yasal mevzuatlardaki parametreler göz önünde bulundurulur. Eğer bir parametre verilmemiş ise rutin numune 20 numunede bir paralel çalışılır, iki paralel arasında uyum olması durumunda analiz sonucu raporlanır, iki paralel çalışma arasında fark varsa analiz tekrarlanır ve yapılan çalışma kayıt altına alınır [9,10].

3. Sonuçlar

Güvenilir gıdalara ulaşmak günümüzde önemi gittikçe artan konuların başında gelmektedir. Genel bir anlatımla gıda güvenliği, gıdalarda bulunma veya oluşma olasılığı olan tehlike ve risklerin elimine edilmesi veya azaltılması, başka bir deyişle tüketici sağlığının güvence altına alınmasıdır. Bu güvencenin sağlanması ise üretimden tüketime uzanan gıda zincirinde uygulanan gıda kontrol sistemleri ile etkin denetim ve güvenli laboratuvar hizmetlerine bağlıdır. Bu bağlamda tüketici ile birlikte, ithalat ve ihracat da göz önüne alındığında ülkemizde gıda analiz sonuçlarının güvenilirliğine ve kalitesine olan ihtiyaç açık bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Bir analitik metodun uygulanması, numune almadan başlayarak sonuç elde edilinceye kadar süren kapsamlı bir süreçtir. Bu süreçte, kullanılan test tekniğinden veya metodundan bağımsız olarak verilerin ve sonuçların kalitesine ve güvenilirliğine odaklanan bir yönetim sistemi kurulması ve izlenmesi önemlidir. Bunu sağlamanın yollarından biri de akreditasyondur. Akreditasyon sayesinde personel kalitesi sürekli geliştirilecek, kullanılan ekipmanların, metodların, çevre şartlarının sürekli izlenmesi sağlanacak ve sürekli iyileştirme çalışmaları ile güvenilir test sonuçları garanti edilebilecektir. Böylece daha etkin bir gıda kontrol sistemi ve güvenilir sonuç veren laboratuvar hizmetleri oluşturularak, gıda güvenliği alanındaki şüphelerin ve kamu oyunda oluşan bilgi kirliliğinin önüne geçilebilecektir.

Kaynaklar

- [1] Anonim, 2005a. Mikrobiyoloji laboratuvarları-nın akreditasyonu-“TS EN ISO/IEC 17025 Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği İçin Genel Şartlar” standardının uygulanması rehberi. ICS 01.020; 01.120. Türk Standartları Enstitüsü Türkiye.
- [2] Anonim, 2011. Internal Quality Control ‘TR 569 Edition 4, 2011-11’.
- [3] Anonim, 2014. ISO 7870-1 Control charts ‘Second edition, 2014-02-01’.
- [4] Anonim, 2013. ISO 7870-2 Control charts ‘Shewhart control charts’ ‘First edition, 2013-04-01’.
- [5] Anonim, 2003. TSE 5822 ISO 5725-6 Ölçme Metodlarının ve Sonuçlarının Doğruluğu (Gerçeklik ve Kesinlik) ‘Nisan 2003’.
- [6] Anonim, 2009a. Nordic Committee on Food Analysis (NMKL) Procedure No.4. Validation of chemical analytical methods. N-0106, Norway.
- [7] SANCO, FVO Inspection Reports, France, Germany, United Kingdom, Ireland, <http://europa.eu.int/comm/food/inspections/>.
- [8] European Commission, 2003, Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on Official Feed and Food Controls, COM (2003), 52 Final, 2003/ 0030 (COD), Brussels.
- [9] TS EN ISO/IEC 17025, 2012. “Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği İçin Genel Şartlar,” TSE, Ankara.
- [10] ISO/IEC 17025, 2005. “General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories,” ISO, Switzerland.