


## Hava filtresi içindeki akış ve titreşim deseninin karşılaştırılması- deneysel çalışma

### Comparison between flow and vibration patterns in air filter-experimental study

Davut Erdem ŞAHİN<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bozok Üniversitesi, Yozgat, Türkiye.  
davut.sahin@bozok.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 10.04.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 20.12.2017

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2017.89656

Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Bu çalışmada, bir hava filtresi imal edilmiş ve filtre kâğıdı üzerinde sıcaklık ve titreşim büyüklüğü değişimi, ters darbeli temizleme yapılarak deneysel olarak tespit edilmiştir. Bu amaçla, sıkıştırılmış temiz ve kuru hava, akışa ters yönlü olarak filtreye doğru 10 ms süreyle 827 kPa sabit basınçla serbest bırakılmıştır. Filtre kâğıdının darbeli temizlenmesi için darbe mesafesi ve lüle etkisi, farklı lüle-filtre mesafeleri ve farklı lüle konumlarında deneysel olarak gözlemlenmiştir. Titreşim genliklerinin büyüklüğü ivme sensörleriyle, sıcaklık değişimleri ise termal kamera kullanılarak elde edilmiştir. Lülenin farklı konumlarda ve mesafelerde kullanımı, titreşim ve sıcaklık dağılımını desenlerini etkilemektedir. Deneylerin sonucunda en homojen titreşim ve sıcaklık dağılımının lülenin dikey konumunda olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Darbeli temizleme, Titreşim, Lüle etkisi, Hava filtresi, Akış deseni

#### Abstract

In this study, an air filter was manufactured and variation of temperature and vibration magnitude on filter paper were investigated experimentally by inverse pulse cleaning. For this purpose, compressed clean and dried air was released throughout in the inverse direction of the flow for 10 msec under 827 kPa constant pressure. The effect of nozzle and pulse distance for pulse cleaning of filter paper were observed experimentally under different nozzle-filter distance and different nozzle positions. The magnitude of vibrations and variation of temperature obtained using accelerometers and thermal camera respectively. The usage of nozzle within the different positions and distance effect vibration and temperature patterns. As a result of experimental study, it was determined the most homogeneous vibration and temperature distributions were at vertical position of nozzle.

**Keywords:** Pulse cleaning, Vibration, Nozzle effect, Air filter, Flow pattern

## 1 Giriş

Toz toplama teknolojisi katı yakıtlı enerji istasyonları, imalat sanayi ve çamurlu işlem yapan sektörler gibi endüstriyel alanlarda tanecik emisyonunu kontrol etmek için büyük önem taşır. Filtre temizleme işlemi, filtrenin uzun süren kullanımının ardından filtre kâğıdı üzerinde oluşan toz tabakasından kurtulup yeniden geçirgenliğini kazanmasıdır. Toz tanecikleri filtre üzerinde toplanırken filtre yüzeyi boyunca basınç düşüşü giderek artar. Söz konusu basınç bölgeleri ise homojen değildir [1]. Bu aşamada filtrenin istenen temizleme yeteneğini tekrar kazanması için filtre kâğıdı değiştirilmeli ya da temizlenmelidir. Filtre ömrü ve buna bağlı olarak temizleme kalitesi ekipmanların çalışmasını doğrudan etkiler. Etkili temizleme yöntemlerinden birisi, ters yönlü hava darbeli jet akışıyla yapılan temizlemedir. Bu yöntem, filtre kâğıdı üzerinde toplanan toz yükünden periyodik hava püskürtmesiyle tozu atmosfere ya da iş ortamına tekrar gönderir ve endüstride yaygın olarak kullanılır [2],[4]. Yöntem, sıcak gaz filtreleyen katı filtreler ve diğer fabrika filtreleri için de yaygın olarak kullanılmıştır [2].

Her temizleme sonrasında bir miktar toz filtre kâğıdı üzerinde kalırken [9] filtreleme kalitesi, lüle çapı, lüle-filtre mesafesi, püskürtme süresi ve basıncına bağlıdır [1],[3],[10]. Ayrıca yüksek sıcaklıktaki hava jeti filtre boyunca ters yönde püskürtüldüğünde, yüzeyde çevreden daha yüksek bir sıcaklık oluşturur. Bu durum termal gerilimler oluşturup, filtre dayanımını zayıflatacağından yüksek sıcaklıktaki darbeleri

temizleme işlemlerinden kaçınmak gerekir. Buna karşın, hava sıcaklığının artması, havanın viskozitesini artırırken yoğunluğunu azaltır. Bu durum filtre yüzeyinde basınç düşüşünü artırır ve momentum etkisi meydana getirir [3]. Filtre kâğıdı boyunca hava akışını etkileyen diğer bir faktör; sürtünmedir. Daha yüksek sürtünme faktörü, konik filtrenin açık tarafından kapalı tarafına doğru daha düşük bir hava geçişi anlamına gelir [3].

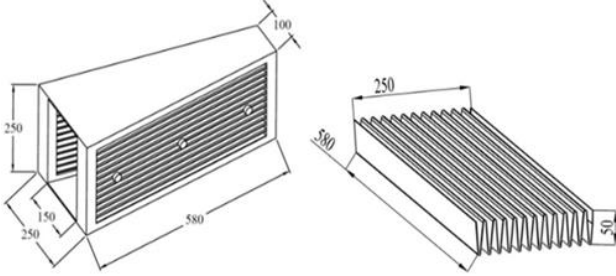
Fabrika tipi torba filtrelerin ters akışlı basınçlı havayla temizlenmesine dair pek çok deneysel çalışma [5]-[8] olmasına rağmen hava filtresi içindeki akış ve filtre kâğıdı yüzeyindeki titreşim ve termal desenleriyle ilgili bir veri yayınlanmamıştır. Filtre içindeki ters yönlü ani hava akışının homojen bir temizleme mekanizması gerçekleştirmesi, verimliliği ve dolayısıyla filtre ömrünü etkileyeceğinden; hava akış deseninin incelenmesi oldukça faydalı olacaktır.

Bu çalışmada, lüle konumu ve tipinin hava filtresi içindeki akış ve yüzeydeki titreşim desenlerinin nasıl olduğunu içeren deneysel bir çalışma sunulmuştur.

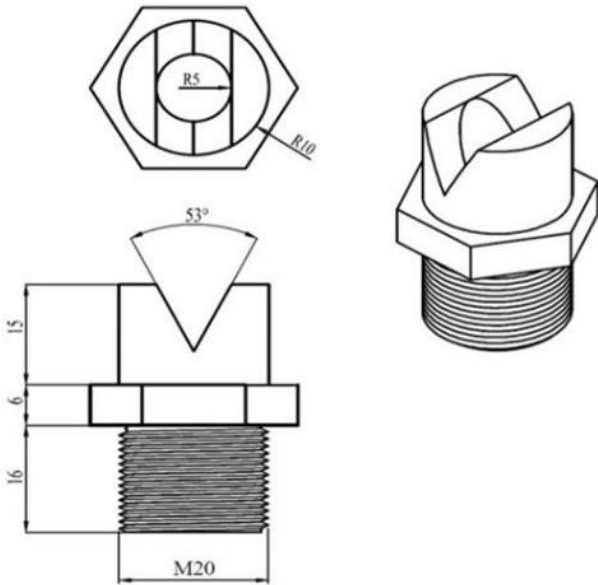
## 2 Deneysel yöntem

Ortalama 17µm çapında ve 2.6 kPa akış basınçlı gözeneklere sahip kağıt kullanılarak konik bir hava filtresi imal edilmiştir. Taşıyıcı şase, galvanizli saçtan imal edilmiş olup, filtre ve kâğıdının ölçüleri, Şekil 1'de gösterilmiştir. Deneylerde kullanılan pirinç lülenin ölçüleri ise Şekil 2'de gösterilmiştir.

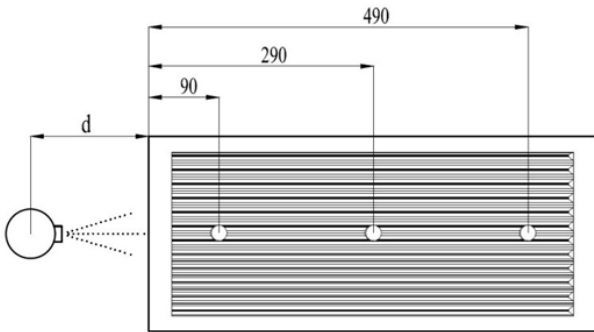
Filtre kağıdı üzerine yerleştirilmiş 3 adet B&K 4215 marka tek eksenli ivme ölçerle, Şekil 3'te gösterilen kağıt üzerindeki konumlarında, 30-150 mm aralığında ve 10 mm arttırılarak, ivme genlikleri; 1, 2 ve 3. kanallarda (1K,2K23K) ölçülmüş, elde edilen veriler PULSE 14.1 (ID: 7F5E9C6, Order No: 6537443) yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Deneyin tüm aşamalarında, filtre yüzeyindeki termal dalgalanmalardan en az oranda etkilenmesi için, kuru hava kullanılmıştır.



Şekil 1: Filtre ve kâğıdının ölçüleri.

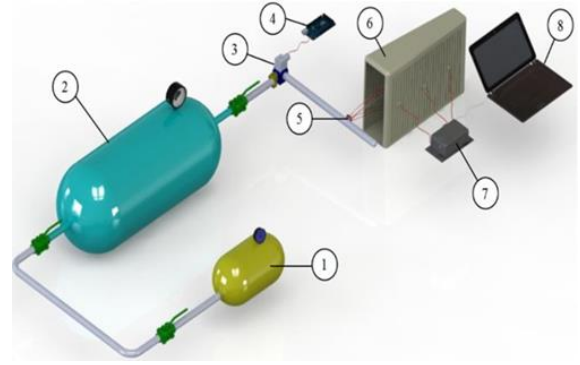


Şekil 2: Lüle ölçüleri.



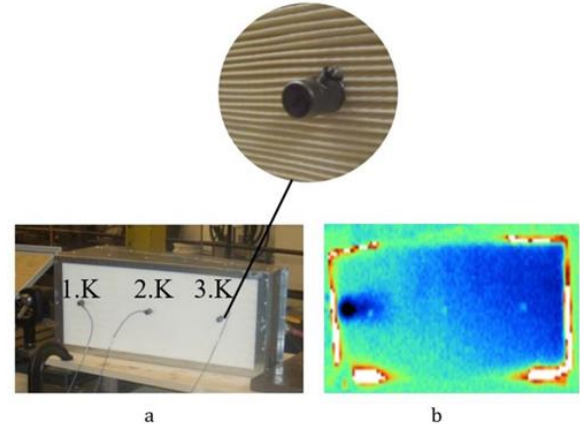
Şekil 3: Sensor konumları ve darbe mesafesi (d).

Şekil 4'te deneysel düzenek şematik olarak gösterilmiş olup burada basınçlı tüp ve basınç düzenleyicilerle sağlanan sabit basınçtaki kuru hava ön tankta depolanarak, tankın kapasitör olarak kullanımı sağlanır. Darbe aralıklar ve düresinin belirlenebildiği kontrol kartıyla zamanlaması belirlenen darbe, selenoid valf kullanılarak gerçekleştirilir. Sonunda hava, lüleden jet akışla filtre içine püskürtülür.



Şekil 4: Deneysel düzeneğin şematik bir görüntüsü.

827 kPa (120 psi) basınçla tankta depolanan basınçlı hava, bir kontrol birimiyle 4 s aralıklarla ve 10 ms süreliğinde, Şekil 5a'da görülen filtrenin içine doğru hava akışına ters yönde ani aralıklarla DN50 çaplı bir çelik borudan serbest bırakılmıştır. Bu işlem gerçekleştirilirken sırasıyla lülesiz ve lülenin düşey ve yatay olmak üzere iki farklı konumda, farklı lüle-filtre mesafelerinde filtre içindeki hava akışı görüntülenmiş bunu için ise Fluke Ti200 marka termal kamera kullanılmış ve termal tel yardımıyla filtre sınırları belirtilerek gözlemlenmiştir (Şekil 5b). Son olarak bir anemometre ile basınçlı havanın lüleden çıkış hızları, farklı mesafelerde ve lülenin kullanıldığı ve kullanılmadığı tüm durumlar için ölçülmüştür.



Şekil 5(a): İvmeölçerler ve (b): Termal görüntü.

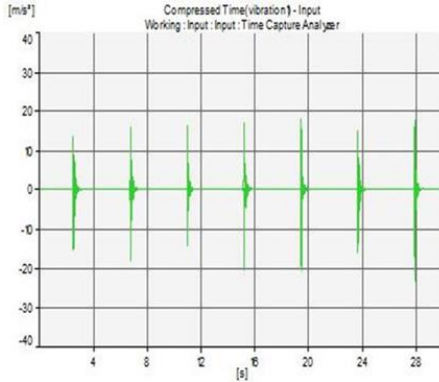
Deneyde kullanılan başlıca birimler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Deney düzeneği kısımları.

Parça No	Parça Adı
1	Basınçlı Tüp
2	Ön tank
3	Selenoid valf
4	Kontrol birimi
5	Lüle
6	Filtre
7	Veri kaydedici
8	Bilgisayar

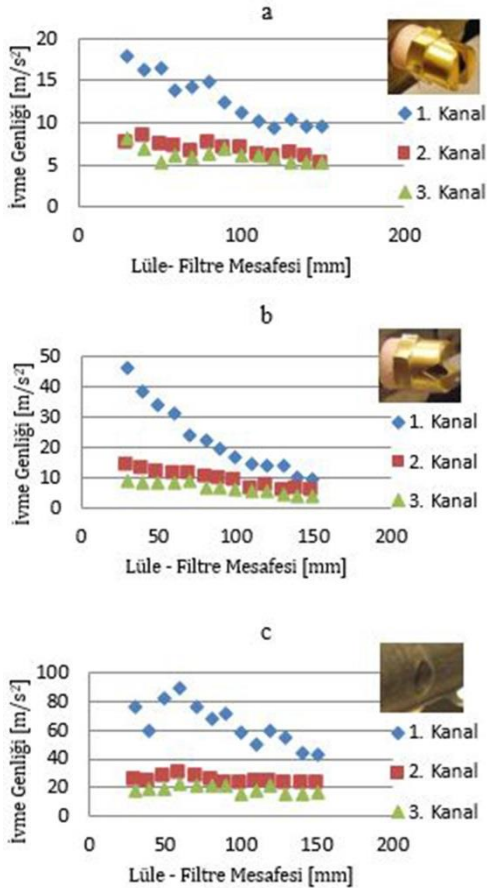
### 3 Deneysel bulgular

Basınçlı hava kaynağı ve hava filtresi arasındaki d mesafesine bağlı olarak, lüle kullanmadan ve lülenin iki farklı konumda filtre kağıdı üzerinde belirlenen 3 noktada oluşan anlık titreşim genlikleri, Şekil 6'da verilmiştir.



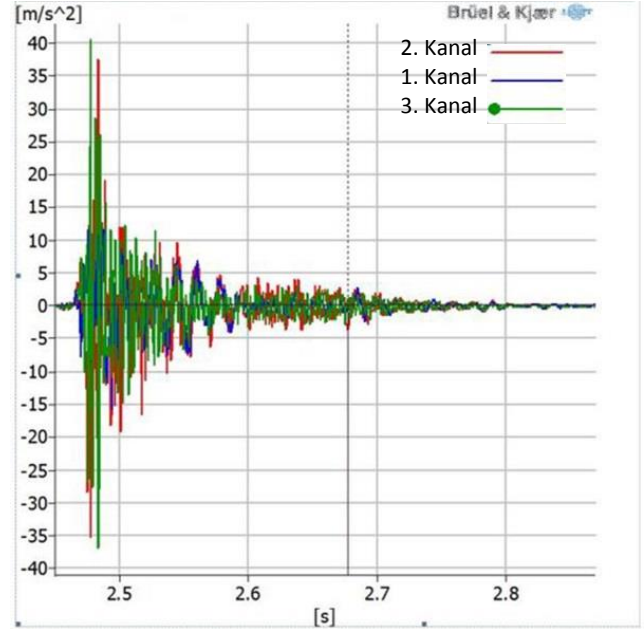
Şekil 6: Filtre kâğıdı üzerinde oluşan anlık titreşimin ivme genlikleri.

Grafiklerin hepsinde basınçlı havanın çıkış noktasına en yakın olan titreşim kanalında en büyük ve en uzak noktadaki kanalda en düşük genlikler olduğu görülmüştür. 1. Kanalda tespit edilen genliklerin, diğer kanallarla karşılaştırıldığında, dikkat çekici büyüklükte farklı olduğu belirlenmiştir. Genliklerin büyüklüğünün sırasıyla lüle kullanılmadığı (Şekil 7c), lülenin yatay kullanıldığı (Şekil 7b) ve lülenin dikey kullanıldığı (Şekil 7a) durumlarda mesafeye ters orantılı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, lülenin kullanılmadığı durumda 1. Kanaldaki, genlik değişimlerinde dalgalanma tespit edilmiştir. Lüle kullanımı titreşim genliğini düşürmüştür.



Şekil 7: Lülenin dik. (a): Yatay, (b): ve kullanılmadığı, (c): Durumlarda filtre kâğıdı üzerinde oluşan titreşimin ivme genlikleri.

Şekil 8'de filtre kâğıdı üzerine yerleştirilmiş üç sensöre ait bir darbe sonucu oluşan titreşim zaman serileri gösterilmiştir. Genlik değerleri yüksek çözünürlükte elde edildiğinden yaklaşık değerleri dikkate alınarak, logaritmik azalma hesabı için ardışık iki genliğin  $x_1=40.696$  m/s<sup>2</sup> ve  $x_2=28$  m/s<sup>2</sup>, ayrıca sönümlü sistemin periyodunun  $\tau_d = 0.8$  s olduğu görülmektedir.



Şekil 8: Filtre kâğıdı üzerinde oluşan anlık titreşimin ivme genliklerinden birer tanesi.

Bu durumda logaritmik azalma:

$$\delta = \ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right) = \ln\left(\frac{40.696}{28}\right) = 0.3740 = \frac{2\pi}{\sqrt{1-\xi^2}} \quad (1)$$

eşitliğinden sönüm oranı  $\xi = 0.0588$  olarak hesaplanır. Zayıf sönümlü bu sistemin doğal frekansı ise:

$$\omega_n = \frac{2\pi}{\tau_d \sqrt{1-\xi^2}} = 7.8775 \text{ rd/s} \quad (2)$$

olarak elde edilir.

Kritik sönümle sabiti,

$$c_c = 2m\omega_n = c(0.02)(7.8775) = 0.3151 \text{ Ns/m} \quad (3)$$

sönüm sabiti,

$$c = \xi c_c = (0.0588)(0.3151) = 0.0185 \text{ Ns/m} \quad (4)$$

ve yay sabiti ise,

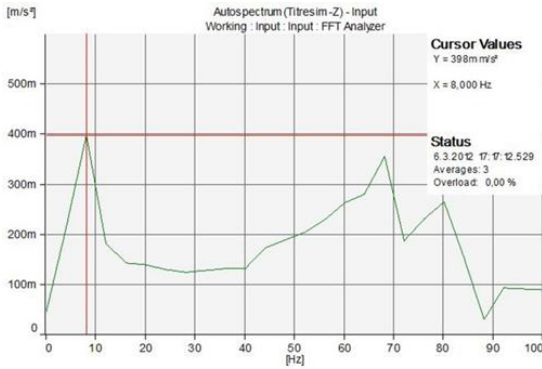
$$k = m\omega_n^2 = (0.02)(7.8775)^2 = 1.24 \text{ N/m} \quad (5)$$

olarak elde edilir.

Şekil 9'da çekiç deneyi düzeneği gösterilmiştir. Filtre kâğıdı yüzeyine yerleştirilen üç eksenli bir ivmeölçer yerleştirilmiş olup, burada sadece "Z" eksenini boyunca olan FFT analizi ve ilk üç doğal frekans değeri görülmektedir (Şekil 10).

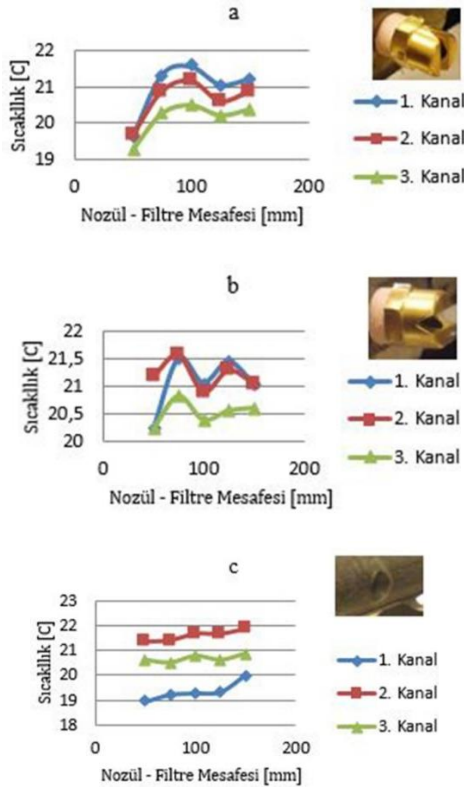


Şekil 9: Filtre kâğıdının FFT analizi için çekici deney düzeneği.



Şekil 10: Filtre kâğıdı FFT analizi.

Şekil 11'da lüle-filtre mesafesine bağlı olarak, farklı lüle konumlarında ve lüle kullanmadan, kâğıt üzerinde ivmeölçerlerin buldukları noktalarda, mesafeye ters orantılı olarak artan bir sıcaklık değişimi görülmektedir.

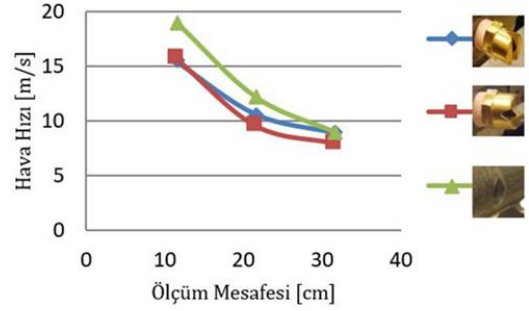


Şekil 11: Lülenin dik. (a): Yatay, (b): ve kullanılmadığı, (c): Durumlarda filtre kâğıdı üzerindeki sıcaklık değişimleri.

Tüm durumlarda filtre kâğıdı üzerinde sıcaklık dağılımı 19-22 °C bandında kalmıştır. Lüle filtreden uzaklaştıkça lülenin tüm konumlarında ve tüm ölçüm noktalarında sıcaklığın arttığı ve sıcaklık farklılıklarının azaldığı görülmüştür. Lülenin dikey konumunda (Şekil 11a) daha az değişen bir sıcaklık dalgalanması olurken, yatay (Şekil 11 b) kullanımında ki değişimlerin daha keskin olduğu görülmüştür. Diğer taraftan, lüle kullanıldığında ölçüm noktalarında sıcaklık değerleri yakın olurken, lülesiz durumda ölçüm noktaları arasındaki sıcaklık farklı dikkat çekicidir (Şekil 11c).

Lülenin her iki konumunda ve lülesiz durumda; darbe havasının hızı, mesafeye ters orantılı olarak azaldığı, ancak lüle kullanmadan elde edilen hava akışının yakın mesafede daha hızlı olduğu ve uzaklaştıkça farkın kapandığı belirlenmiş, lülenin her iki konumunda ise, hava çıkış hızının yakın oranlarda değiştiği tespit edilmiştir (Şekil 12).

Lülenin her iki durumu karşılaştırıldığında Şekil 11'da mavi çizgiyle gösterilen eğrinin daha doğrusal olduğu ve bu durumun titreşim genliklerinin karakterine de benze şekilde etki ettiği (Şekil 6a) görülmüştür.



Şekil 12: Farklı çıkış şartlarında darbe havasındaki hız değişimleri.

Filtre kâğıdı yüzeyindeki en dengeli sıcaklık dağılımının lüle dikey konumunda iken, buna karşın en dalgalı yapının ise lüle yatay ve lülesiz olduğu durumlarda olduğu gözlemlenmiştir.

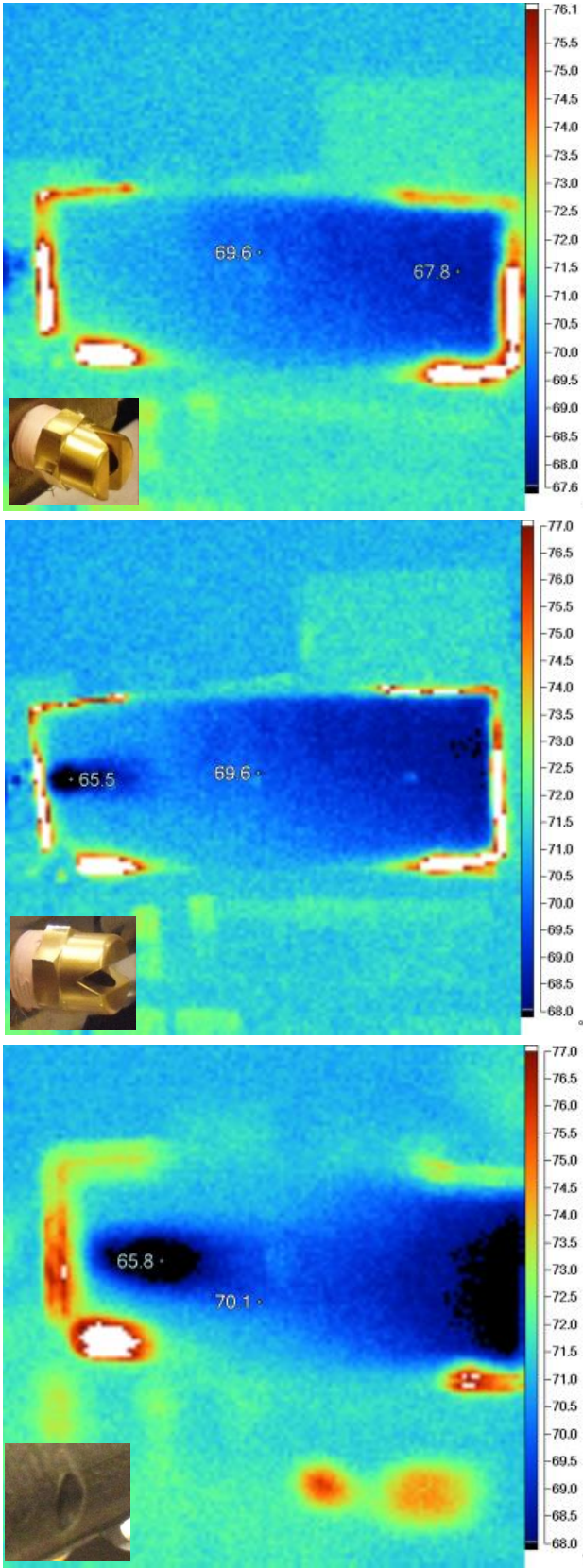
Şekil 13'te lülenin iki konumu (Şekil 13a-b) ve lülesiz olduğu (Şekil 13c) durumlarda, 50 mm lüle-filtre mesafesinde iken, termal kamerayla tespit edilen filtre içindeki hava akışı ve sıcaklık dağılımı görülmektedir. Desenler arasındaki fark, diğer mesafelerde de benzerlik göstermiş, çok yer kapladığından bu çalışmada yer verilmemiştir. Ayrıca, kamera görüntülerinde sıcaklık ölçeği Fahrenheit olup, grafiklerde dönüşüm yapılmıştır.

Filtre sonunun daima soğuk olması, filtrenin konik tasarımından kaynaklanmaktadır (Şekil 1). Koniklik, havanın filtre sonunda yoğunlaşmasına sebep olmuştur.

#### 4 Tartışma ve Sonuçlar

Havanın düşük sıcaklıkta olması yüksek yoğunluk ve düşük viskozite anlamına gelir [10]. Dolayısıyla bu etkilere yüksek hızın da eklenmesiyle, filtre yüzeyine çarpan havanın momentumu artar. Dolayısıyla 1. ölçüm noktasında yüksek titreşim genliklerinin gözlemlenmesi beklenen bir sonuçtur.

Lüle kullanımı filtre kâğıdı üzerindeki titreşim genliklerini düşürmüştür. Bunun nedeni lülenin kendisinin akışa karşı direnç göstermesidir. Lülesiz durumda hava akışı filtreye doğrudan olarak girmesi, hava debisini düşürmüştür ayrıca kâğıdın hemen dış yüzeyine taşmış ve dolayısıyla kâğıt yüzeyde sıcaklık artışına neden olmuştur.



Şekil 13: Lülenin dik. (a): Yatay, (b): ve kullanılmadığı, (c): Durumlarda filtre kâğıdı içerisinde görülen sıcaklık bölgeleri.

Lülenin farklı konumlarda kullanımı titreşim desenlerini etkilemektedir. Düşey konumda kullanımı, titreşim genliğinde en az değişime neden olmuştur. Diğer taraftan lülenin farklı konumlarda kullanımı, sıcaklık dağılımını da etkilemektedir. Lüle, düşey konumu kâğıt üzerinde daha homojen bir sıcaklık dağılımına neden olmuştur.

Lülenin dik olduğu ve lülesiz durumlarda ve bazı mesafelerde (80 cm ve 130 cm) titreşim genliklerinde ani çıkışlar gözlenmiştir. Bu dalgalanmaların sebebi bu mesafelerdeki hava basıncının filtre kâğıdının rezonans frekansını tetiklemesi olabilir. Lüle-filtre mesafesine bağlı olarak kâğıt iç yüzeyinde oluşan hava basıncının, filtrenin konik olan geometrisi de dikkate alınarak, dağılımı hesaplanabilir. Ayrıca, kâğıt yüzeyindeki dağılımının termal gerilmeleri periyodik olarak boşalttığı düşünülebilir.

Titreşim genlikleri, basınçlı havanın hızıyla, dolayısıyla jet mesafesiyle ters orantılıdır. 30 cm lüle mesafesinde, her üç durumda hava jeti merkezinde hız farkı azalmıştır.

Bu deneysel çalışma, yapılacak analitik ya da sayısal bir çalışmaya ve filtre tasarımına, filtre kâğıdı yüzeyindeki sıcaklık ve titreşim genlikleri arasındaki ilişkiyi vurgulamak açısından, yardımcı olacak nitelikte olup, lülenin düşey konumunda kâğıt yüzeyinde en az termal gerilmelere sebep olacağını ve bunun sonucunda filtrenin ömrünü arttıracaklarını göstermiştir.

## 5 Kaynaklar

- [1] Li-Ming L, Da-Ren C, David YHP. "Experimental study of plated fabric cartridges in a pulse-jet cleaned dust collector". *Powder Technology*, 197, 141-149, 2010.
- [2] Xiao-qing Dang X, Pang M, Li X, Zhang J, Li Q. "Discussion on influencing factors of the pulse-jet performance of fabric filter". International Conference on Electric Technology and Civil Engineering, Lushan, China, 22-24 April 2011.
- [3] Chuah TG, Seville JPK, Withers CJ. "Numerical modelling of reverse pulse cleaning on rigid ceramic filters". *The Institution of Engineers*, 60(1), 27-33, 2005.
- [4] Simon X, Chazelet S, Thomas D, Bemer D, Regnier R. "Experimental study of pulse-jet cleaning of bag filters supported by rigid rings". *Powder Technology*, 172(2) , 67-81, 2007.
- [5] Choi JH, Seo YG, Cung JW. "Experimental study on the nozzle effect of the pulse cleaning for the ceramic filter candle". *Powder Technology*, 114(1-3) , 129-135, 2001.
- [6] Krammer G, Kavouras A, Anzel A. "Optimization of Pulse cleaning frequency during bag filter operation". *Chemical Engineering and Technology*, 26(9), 951-955, 2003.
- [7] Huacang C, Liang Y, Joo-Hong C, Zhongli J. "Optimization of nozzle design for pulse cleaning of ceramic filter". *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 16(2), 306-313, 2008.
- [8] Saleem M, Krammer G, Ijaz A. "Effect of operating parameters on stability of jet pulsed bag filter-an experimental study". *10<sup>th</sup> World Filtration Congress*, Leipzig, Germany, 14-18 April 2008.
- [9] Chuah TG, Withers CJ, Seville JPK. "Prediction and measurement of the pressure and velocity distributions in cylindrical and tapered rigid ceramic filters". *Separation and Purification Technology*, 40, 47-60, 2004.
- [10] Çengel AY, Cimbala JM. *Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamalar*. İkinci baskı. İzmir, Türkiye, Güven, 2008.