




Zeynep Aslı Oruç 
Çeksan Yol Süpürme Araçları
Mak. San. Tic. A. Ş.
İzmir

Volkan Açıkgöz 
Çeksan Yol Süpürme Araçları
Mak. San. Tic. A. Ş.
İzmir

Mutlu Biçici 
Çeksan Yol Süpürme Araçları
Mak. San. Tic. A. Ş.
İzmir

Vakumlu Bir Yol Süpürücünün Vakum Arabası Tasarımının Parçacık Toplama Verimliliğine Etkisinin İncelenmesi

Bu çalışmada, kompakt tip vakumlu bir yol süpürme aracına ait vakum arabasının (toz toplama kafası) hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile akış analizi ve parçacık hareketi analizi yapılarak gaz-katı etkileşimi incelenmiştir. Süpürücünün parçacık toplama verimliliğinin artırılmasına yönelik vakum arabası tasarımının geliştirme çalışması yapılmıştır. Mevcut ve geliştirilmiş tasarımın sayısal ve deneysel çalışması yapılarak karşılaştırılmıştır. 600 mm x 3000 mm'lik bir test düzeneğine 10 kg'lık kum eşit oranda yayılmıştır ve süpürücünün 6 km/h hız ile hareket ettiği durumdaki kum temizleme performansı incelenmiştir. Geliştirilmiş vakum arabasında %95 oranında süpürme verimliliği elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yol Süpürme Aracı, Vakum Arabası Tasarımı, Parçacık Hareketi Analizi, Yol Zemini Temizliği, Katı-Gaz Etkileşimi, Çevre Kirliliği

Makale Bilgisi:

Araştırma Makalesi

Gönderilme: 29.08.2022

Kabul: 20.10.2022

*Sorumlu Zeynep Aslı Oruç

Email: zeynepaslioruc@gmail.com

DOI: 10.56193/matim.1168205

Atf şekli/How to cite: Oruç Z. A., Açıkgöz V., Biçici M., Vakumlu Bir Yol Süpürücünün Vakum Arabası Tasarımının Parçacık Toplama Verimliliğine Etkisinin İncelenmesi. Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 2022; 20(2): 71-78.

GİRİŞ

Çevre kirliliği; artan dünya nüfusu ile beraber günümüzde insan sağlığı için önemli bir sorun haline gelmiştir [1]. Çevre kirliliğinin önüne geçmek ve yerleşim alanlarında hızlı ve verimli bir çevre temizliği sağlanması adına yol süpürme araçları kullanılmaktadır [2]. Yol süpürme araçlarından beklenen en önemli parametreler, temizleme verimliliğinin yüksek ve gürültü seviyesinin düşük olmasıdır. Süpürücünün temizleme verimliliğinin düşük olması, sokak zemininde bulunan çöp ve kumların tek seferde temizlenememesini ve süpürücünün aynı yollardan defalarca geçmesine sebep olur. Dizel motor ile çalışan süpürücülerin tükettiği yakıt miktarı ve çevreye yaydığı karbondioksit salınımı artar. Bu sebeple süpürücülerin çöp ve toz emme veriminin yüksek olması önem arz etmektedir.

Süpürücülerin vakum arabasının parçacık (kum, toz) emme performansının incelenmesi, literatürde önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir [3,4].

Yol süpürme araçları; emme fanı, ön fırça ve vakum arabası bulunduran sistemlerdir. Ön fırçalar, çöp veya kumları süpürerek, vakum arabasına doğru yönlendirir ve üzerinde bulunan santrifüj fanın yarattığı negatif basınç sayesinde vakum arabasının önünde biriken çöp ve parçacıklar emilerek çöp kazanına aktarılır. Havanın akış hızı ve basıncı, emme verimini doğrudan etkiler [2]. Endüstride ve literatürde, süpürücülerin vakum performansının ve vakum arabası tasarımının toz emme performansına etkisinin araştırılmasına ve tasarımın iyileştirilmesine yönelik çalışmalara odaklanılmıştır [3,5,6,7].

Süpürücülerin toz toplama performansının artırılmasına yönelik fanın emiş gücünü arttıracak tasarım iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilmektedir [4]. Ancak yalnızca fan sisteminin geliştirilmesi, süpürücünün verimliliğini arttırmayabilir. Vakum arabası, parçacık ve çöplerin etkileşime girdiği ilk bölgedir. Bu sebeple toz/kum toplama performansının artırılması için vakum arabasının tasarımı da yüksek önem arz etmektedir [5].



1. Çöp kazanı, 2. Vakum Arabası, 3. Ön fırçalar

Şekil 1. Yol süpürme aracı ekipmanları [8]

Şekil 1’de yol süpürme aracını oluşturan ekipmanlar gösterilmiştir [8]. Bu çalışmada aracın alt bölümünde bulunan, yoldaki kum ve çöplerle ilk etkileşime geçen vakum arabasının bir diğer deyişle toz toplama kafasının hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemiyle akış analizi ve parçacık analizi yapılmıştır. Vakum arabasındaki katı-gaz etkileşimi incelenmiştir. Mevcut durumdaki vakum arabasının tasarımında iyileştirme çalışması yapılarak kum toplama performansının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Deneysel veriler ile nümerik analiz sonuçlarının uyum içerisinde olduğu sonucuna varılmıştır.

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Y. Jin ve diğerleri, süpürücüde bulunan vakum arabasının (toz toplama ağız) genişliği, çıkış çapı ve süpürücü hızının toz toplama performansına etkisini araştırmıştır. Süpürücünün hareket hızının artması durumunda toz toplama ağzının giriş yüzeyi ile parçacıklar arasındaki bağıl hızın arttığını, parçacıkların yeterli kinetik enerji kazanmasını engellediğini ve toz parçacıklarının, vakum arabası içerisinde döküldüğünü incelemiştir. Dikdörtgen yapıda bir toz toplama ağız tasarımının genişliğini belirli aralıkta arttırmıştır ancak bu aralık ötesinde arttırdığı durumda toz parçacıklarının hava emiş borusuna aktarılmadığı ve parçacık toplamaya elverişli olmayan ters hava akışı elde etmiştir. Hava çıkış bölgesinde oluşan negatif basıncın toz emme verimliliği ile pozitif ilişkisi olduğu ancak aşırı yüksek negatif basınç oluşması durumunda yalnızca havanın akış hızının arttığı, toz emme verimliliğini arttırmadığı sonucuna varmıştır [3].

B. Wu ve diğerleri, yol süpürücünün vakum arabasının parçacık (kum) giderme performansının araştırılmasına yönelik sayısal ve deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. Parçacıkların temizlenme verimliliğinin düşük süpürücü hareket hızı veya daha yüksek basınç düşüşü ile arttığını ve aynı çalışma koşulları altında küçük boyutlu parçacıkların, büyük boyutlu parçacıklardan daha verimli temizlendiği sonucuna varmıştır. 2400 Pa basınç düşüşü altında 12 km/h’lik optimum süpürme hızı olduğunu elde etmiştir [5].

J. V. Fayzullayevich ve diğerleri, rejeneratif tip vakumlu üfleli bir süpürücünün toplama ağzının (vakum arabasının) parçacık emme performansını incelemiştir. k-ε türbülans modeli ve ayrık parçacık modeli kullanmıştır. Parçacık yapısı, süpürme hızı, basınç düşüşü, vakum arabası ile yol yüzeyi arasındaki mesafe gibi parametrelerin parçacık temizleme verimliliğine etkisini incelemiştir. Yol süpürme aracının hızıyla parçacık toplama verimliliğinin ters orantılı olduğunu gözlemlemiştir. 6-10 km/h’lik süpürme hızında parçacık toplama verimliliğinin %95 oranında olduğunu incelemiştir [6].

Y. Xi ve diğerleri, rejeneratif tip bir vakumlu üfleli yol süpürme aracının vakum ağız tasarımında; emiş borusu çapının, emiş borusunun eğim açısının ve vakum arabasının ön bölme eğim açısının değişiminin toz toplama verimliliği üzerine etkisini araştırmıştır. k-ε türbülans modelini kullanarak katı-gaz akışını incelemiştir. Parçacık boyutunun azalmasıyla akış hareketliliğinin arttığını ve emiş borusu çapının arttıkça toz toplama verimliliğinin arttığını gözlemlemiştir [7].

E. Şahin ve diğerleri, vakumlu (fan sistemi) ve mekanik (elevatör sistemi) sistemleri birlikte içeren bir süpürücü imalatı gerçekleştirmiştir. Süpürücüde vakum arabası bulunmamaktadır. Büyük hacimli çöpler elevatör sistemi ile temizlenirken ortama yayılan toz parçacıkları, fan sistemi sayesinde emiş borusu vasıtasıyla emilmektedir. Havanın fandan çıkışı esnasında parçacıkların insanlara zarar vermesini önlemek amacıyla, fan davlumbazının çıkış ağızlarını yukarı doğru konumlandırmıştır [9].

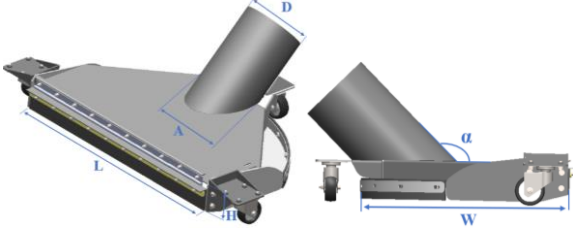
Literatür çalışmaları incelendiğinde genel olarak vakum arabasındaki emiş borusunun çapı, emiş borusuyla vakum arabası arasındaki eğim açısı, süpürücünün hareket hızı, parçacık büyüklüğü gibi parametreler incelenmiştir ve bu parametrelerin parçacık toplama performansına etkileri araştırılmıştır.

Bu çalışmada, vakumlu bir yol süpürme aracının vakum arabası tasarımının kum toplama verimliliğine etkisi incelenmiştir. Vakum arabası çıkışına yerleştirilen emiş borusunun, vakum arabasına bağlantı şeklinde iyileştirmeler yapılarak toz toplama verimliliği artırılmıştır ve deneysel veriler ile sayısal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

FİZİKSEL MODEL

Bu çalışma kapsamında geliştirilmesi hedeflenen vakum arabasının katı modeli Şekil 2’de bulunmaktadır. Vakum ağız tasarımında; makine boyutları, fırçaların süpürme genişliği vb. parametreler önemli olduğundan dolayı yeni

tasarımlar yapılırken vakum arabasının genel en ve boy ölçüleri değiştirilmemiştir.



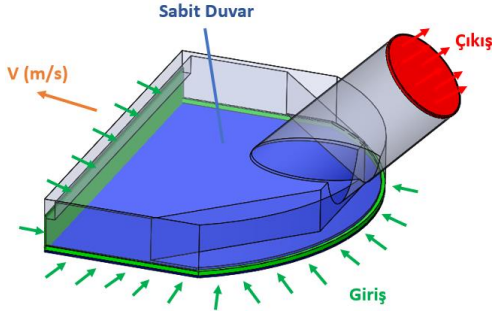
Şekil 2. Mevcut vakum arabası

Tablo 1’de mevcut vakum arabasının (Şekil 2) ölçüleri bulunmaktadır. Emiş borusu vakum arabasına 135° açı ile montajlanmıştır ve emiş borusunun çapı ile vakum arabasına bağlantı genişliği 200 mm’dir. Vakum arabasının genel ölçüleri 810 x 560 x 104 mm’dir.

Tablo 1. Mevcut vakum arabasının ölçüleri

Boru çapı	D	200 mm
Boru-vakum arabası bağlantı genişliği	A	200 mm
Vakum arabası uzunluğu	L	810 mm
Vakum arabası genişliği	W	560 mm
Vakum arabası yüksekliği	H	104 mm
Borunun eğim açısı	α	135°

Vakum arabası için sınır şartlarının gösterimi Şekil 3’teki gibidir.



Şekil 3. Sınır şartlarının gösterimi

Kum toplama işlemini simüle etmek için çeşitli varsayımlar (Şekil 3) yapılmıştır.

- 1) Süpürme esnasında vakum arabası V hızı ile ileri doğru hareket etmektedir.
- 2) Sabit duvar, hareketsizdir ve yol zeminini temsil etmektedir.
- 3) Giriş, atmosfere açıktır. Hava ve kumların vakum arabasına giriş yaptığı kısımdır.
- 4) Çıkış, fanın vakum etkisinin tanımlandığı ve kumların çöp haznesine aktarıldığı kısımdır.

MATEMATİKSEL MODEL

Hava akışı yörüngeleri, uygun matematiksel modeller kullanılarak hesaplamalı akışkanlar mekaniği (HAD) yöntemi kullanılarak simüle edilebilir. Reynolds ortalamalı Navier – Stokes denklemleri (RANS) sıvı akışı için zaman ortalamalı hareket denklemleridir. Vakum arabasından geçen hava akışı, sıkıştırılmaz ve sürekli akış olarak göz önüne alındığından dolayı denklemler aşağıdaki gibi yazılabilir [5].

Süreklilik Denklemi:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

Momentum Denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \tau_{ij} \right) + \rho g_i \quad (2)$$

Denklem 1 ve 2’deki u_i ve g_i sırasıyla, x_i koordinatı boyunca hava akış hızı ve yerçekimi ivmesidir. ρ hava yoğunluğu, P basıncı, μ viskozitesidir ve $\tau_{ij} = -\rho u'_i u'_j$ türbülanslı dalgalanmanın etkisi olan Reynolds stresidir.

Literatüre göre, yol süpürme araçlarında vakum arabasının toz toplama performansının incelenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda, k-ε türbülans modeli yaygın olarak kullanılmaktadır [6,7]. Bu bilgiler kapsamında ve hava akışının türbülanslı hareketini doğru şekilde tanımlama amacıyla sonlu elemanlar analizlerinde k-ε türbülans modeli kullanılmıştır.

Türbülanslı akışın enerji transfer denklemi aşağıdaki gibidir [6].

$$\rho \frac{dk}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\epsilon_m}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \epsilon \quad (3)$$

Denklem 3’te; k türbülanslı kinetik enerji, σ_k türbülanslı kinetik enerjinin Prandtl-Schmidt sayısı, ϵ türbülanslı kinetik enerji yayılımı, G_k ise türbülanslı kinetik enerjinin ürünüdür.

Türbülanslı akış enerjisinin dağılıma oranı iletim denklemi şu şekildedir:

$$\rho \frac{d\epsilon}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\epsilon_m}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} G_k - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (4)$$

Denklem 4’te $G_k = -\rho u'_i u'_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$, türbülanslı kinetik enerjidir ve $\sigma_k = 1.0$, $C_{1\epsilon} = 1.44$, $C_{2\epsilon} = 1.92$ sabit değerlere sahiptir.

HAREKET TEORİSİ

Parçacıklar için hareket denklemleri

Kum taneciklerinin harekete başlayabilmesi için belirli bir hava akış hızına sahip olması ve kinetik enerji kazanması gerekmektedir [5,6].

Newton'un ikinci yasasına dayanan kuvvetler dengesi Denklem 5'teki gibi yazılabilir.

$$m_p \frac{du_p}{dt} = F_d + F_g + F_s \quad (5)$$

Denklem 5'te; m_p parçacık kütlesi, u_p parçacık hızı, F_d birim parçacık kütlesi başına sürüklenme kuvveti, F_g yer çekimi kuvveti ve F_s parçacık kaldırma kuvvetidir. F_d , Denklem 6'daki gibi yazılabilir.

$$F_d = \frac{18\mu C_D Re}{\rho_p d_p^2 24} m_p (u - U_p) \quad (6)$$

Denklem 6'da U sıvı faz hızı, U_p parçacık hızı, ρ_p parçacık yoğunluğu, d_p parçacık çapı, CD sürüklenme katsayısı ve Re göreceli Reynolds sayısıdır ve denklem 7'deki gibi hesaplanır.

$$Re = \frac{\rho_p d_p |U_p - U|}{\mu} \quad (7)$$

Yer çekimi kuvveti (F_g) şu şekilde yazılabilir.

$$F_g = m_p (1 - \rho/\rho_g) g \quad (8)$$

Denklem 8'de g yerçekimi ivmesidir.

Sürüklenme katsayısı C_D , denklem 9'daki gibi hesaplanır.

$$C_D = (2.25 Re^{-0.31} + 0.36 Re^{0.06})^{2.45} \quad (9)$$

Parçacık kaldırma kuvveti (F_s) denklem 10'daki gibi hesaplanır.

$$F_s = \frac{2Kv^{0.5}\rho d_{ij}}{\rho_p d_p (d_{ik} d_{kl})^{0.25}} (U - U_p) \quad (10)$$

Denklem 10'da $K=2.594$ ve v kinematik viskozitedir. d_{ij} deformasyon tensörüdür.

Havanın kum taneciğine karşı yoğunluk oranı çok küçük olduğundan dolayı parçacık üzerindeki sanal kütle kuvveti ve Basset kuvveti gibi diğer kuvvetler ihmal edilebilir [5].

NÜMERİK ANALİZ

Hesaplama akışkanlar dinamiği (HAD) analizleri, lisanslı Solidworks – Flow Simulation 2021 programında gerçekleştirilmiştir. Vakum arabasının katı modeli, HAD analizine uygun bir şekilde modellenmiştir.

Sınır şartları

Sınır şartları (Şekil 3) değerleri, Flow Simulation programına aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

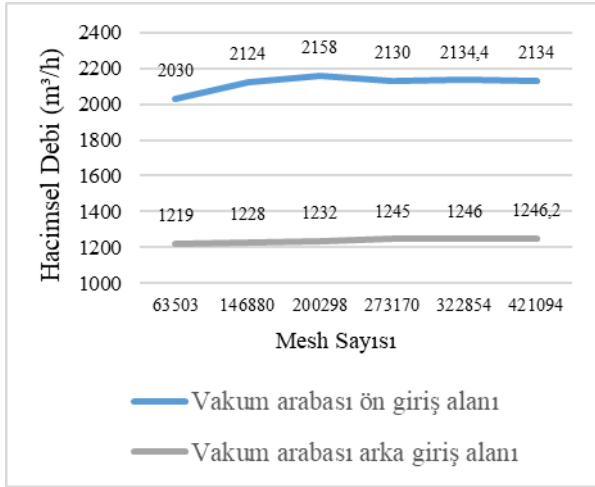
- Giriş: Havanın vakum arabası içerisine girdiği kısımdır. Vakum arabası çevresel olarak atmosfere açık olduğundan dolayı; 101325 Pa sabit basınç değeri tanımlanmıştır.
- Çıkış: Hava ve kumların çöp haznesi içerisine aktarılması amacıyla geçiş yaptığı kısımdır. Fanın emiş debisi, hortum ucundan anemometre ile ölçülmüş ve 7000 m³/h hesaplanmıştır. Bu sebeple analizlerde, çıkış kısmına 7000 m³/h'lik debi değeri tanımlanmıştır.
- Sabit Duvar: Yer zeminini temsil etmektedir. Sınır koşulu olarak hareketsiz duvar özelliği tanımlanmıştır.
- Süpürücünün Hareket Yönü: Süpürücünün hızı (V) 6 km/h olarak tanımlanmıştır ve hareket yönü Şekil 3'teki gibidir.

Ağdan bağımsızlık çalışması

Sonlu elemanlar analizi sonuçlarının doğru yorumlanabilmesi ve gerçeğe yakın sonuçlar alınabilmesi için ağ (mesh) yapısının kaliteli olması gerekmektedir. Ancak çok sık mesh atmak her zaman kaliteli ağ yapısı elde edileceği anlamına gelmez. Mesh sayısının gereğinden fazla olması, analizlerin uzun sürede çözümlenmesine sebep olup, zaman kaybı yaratmaktadır [10].

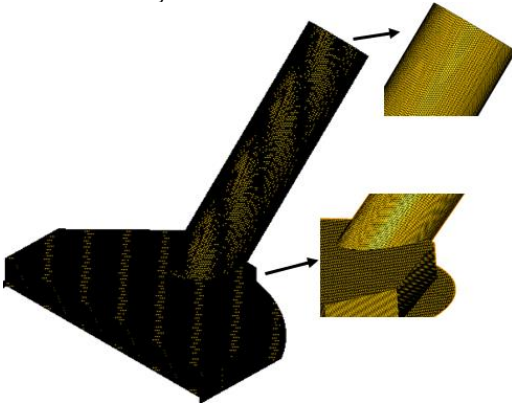
Bu çalışmada ağ yapısı Flow Simulation programında oluşturulmuştur. Ağdan bağımsız noktayı elde edebilmek amacıyla, mesh sayısı yaklaşık %20 ila %30 oranında artırılarak çözümler yapılmıştır ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonucun değişmeden aynı kaldığı, ağdan bağımsız nokta tespit edilmiştir ve bu noktadan itibaren mesh sayısı arttırılsa bile sonuç değişmemiştir. Böylelikle yapılan nümerik çalışmanın aynı koşullarda tekrarlanabilir olduğu sağlanmıştır.

Mevcut vakum arabası için yapılan ağdan bağımsızlık çalışmasının, mesh yakınsama grafiği Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Mesh yakınsama grafiği

Mesh yakınsama grafiği (Şekil 4) incelendiğinde, mesh sayısının 322.854 ve 421.094 olduğu değerlerde mevcut vakum arabasının ön giriş alanındaki hava debisi değerinin 2134 m³/h, arka giriş alanındaki hava debisi değerinin 1246 m³/h olduğu görülmektedir. Böylelikle mevcut vakum arabasının ağdan bağımsız noktasının, 322.854 adet mesh (eleman) sayısına ulaştığı andaki nokta olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 5. Ağ yapısı

Mesh sayısının 421.094 olduğu; mevcut vakum arabası tasarımının ağ yapısı Şekil 5'teki gibidir.

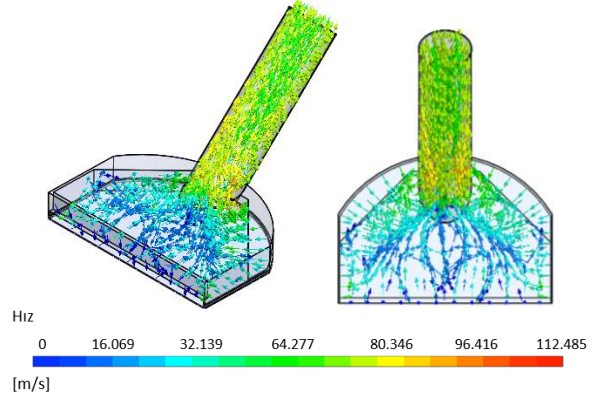
Nümerik analiz çıktıları

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi

Öncelikle mevcut vakum arabasının Solidworks-Flow Simulation programında HAD analizi yapılmıştır ve havanın akış yönü, hacimsel

debisi ve basınç dağılımları incelenmiştir. HAD analizinde k-ε türbülans modeli kullanılmıştır.

Mevcut vakum arabasının analiz sonuçları Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Mevcut tasarımda hava akış yörüngeleri

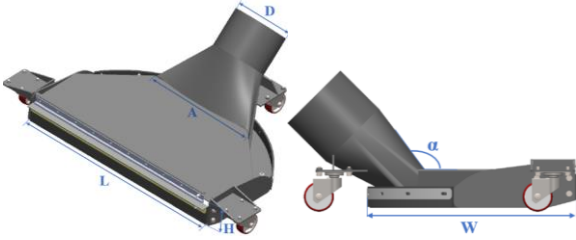
Vakum arabasının içerisine giren havanın hacimsel debisinin büyüklüğü (Q) ve hava yörüngeleri incelenmiştir. Vakum arabasının giriş kısmındaki hava debisi 1246 m³/h, arka giriş kısmındaki (emiş borusu- vakum arabası bağlantı noktasının arkası) hava debisi 2134 m³/h olarak hesaplanmıştır. Hava yörüngeleri incelendiğinde, boru ile vakum arabasının bağlantı kısmında havanın hareketinin düzensizleştiği görülmüştür. Vakum arabası kenarlarından emilen havanın bir kısmı arka kısımda bulunan (Şekil 6) köşelere çarpmakta ve düzensiz, türbülanslı bir hava hareketi oluşturmaktadır.

Mevcut vakum arabasının kullanıldığı süpürücülerde taş, şişe vb. büyük hacimli çöpler, çöp haznesine aktarılmaktadır ancak kum, toz gibi küçük parçacıklar vakum arabasının arka kısmında birirmektedir. Bu durum, verimsiz bir süpürme işlemine ve kumların yollarda ince bir iz gibi toz yığınları oluşturmaya sebep olmaktadır. Bu sebeple vakum arabası ile boru bağlantı kısmının birleşim yeri genişliği artırılarak arka kısımda biriken kumları temizleyebilecek yeni bir tasarım çalışması yapılmıştır.

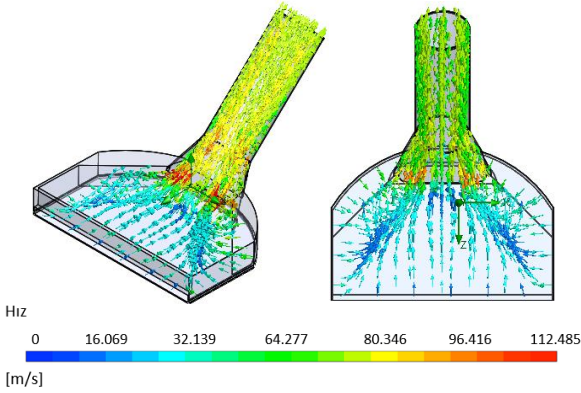
Geliştirilmiş vakum arabası tasarımında, mevcut vakum arabasının dış ölçüleri ve boru çapı boyutları korunmuştur. Yalnızca emiş borusunun vakum ağzına bağlantısının eni (A) genişletilmiştir (Tablo 1). Emiş borusu-vakum arabası bağlantısı eni (A) 200 mm'den 365 mm'ye arttırılmıştır. Yeni tasarım görselleri Şekil 7'deki gibidir.

Geliştirilmiş vakum arabasının HAD analizi hava akış yörüngeleri Şekil 8'de gösterildiği gibidir. Vakum arabasının giriş kısmındaki hava debisi 1356 m³/h, arka giriş kısmındaki (emiş borusu- vakum

arabası bağlantı noktasının arkası) hava debisi 2405 m³/h olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7. Geliştirilmiş vakum arabası izometrik görünüşü



Şekil 8. Geliştirilmiş vakum arabası hava akış yörüngeleri

Geniş bağlantı ölçüsü sayesinde vakum arabasının iç kısmında biriken kum tanecikleri emilecek ve tanecikler kinetik enerji kazanarak hareketlenecektir.

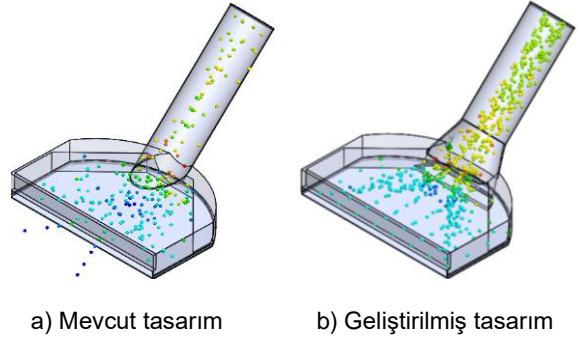
Parçacık analizi

Katı-gaz etkileşimini incelemek ve kumların vakum arabası içerisindeki yörüngesi ile vakum arabası içerisinde bulunma süresini incelemek amacıyla parçacık analizi yapılmıştır. Parçacık olarak kum tanımlanmıştır. Kumun çapı 0.5 mm ve yoğunluğu 1.3 gr/cm³'tür.

Her iki tasarımın da parçacık analizi yapılmıştır ve parçacıkların vakum arabası içerisindeki dağılımları Şekil 9'da verilmiştir.

0.5 mm çapa sahip kum parçacıklarının vakum arabası içerisindeki hareketi incelenmiştir (Şekil 9). Mevcut vakum arabasında (Şekil 9.a) kumların vakum arabası dışına çıktığı gözlemlenmiştir. Mevcut vakum arabasının içerisinden geçen hava yörüngeleri (Şekil 6) incelendiğinde, boru ile vakum arabası bağlantısının bulunduğu kısımdaki havanın arka kısımda sıkışması sebebi vakum arabasının

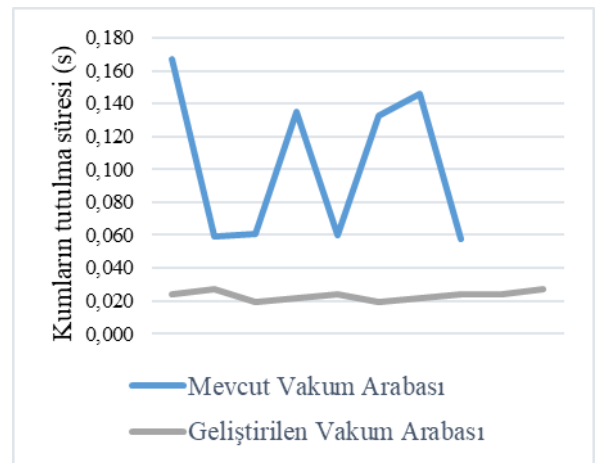
içerisinde türbülanslı akış oluştuğu ve vakum arabasının önünde bulunan açıklıktan giren havanın düzensizleştiği gözlemlenmiştir. Vakum arabası içerisinde oluşan türbülanslı hava sebebi ile zeminde bulunan kum taneciklerinin tamamının emilmeyip; bir miktarının vakum arabası dışına çıktığı, bir miktarının ise vakum arabasının arka kısmında biriktiği görülmüştür.



Şekil 9. Kum hareket yörüngeleri

Geliştirilmiş tasarımda, vakum arabası içerisine giren havanın laminar akışa sahip olduğu ve köşelere çarpmadan düzgün bir şekilde çıkış kısmına doğru hareket ettiği incelenmiştir (Şekil 8). Parçacık analizinde ise kum parçacıklarının, vakum arabası dışına çıkmadan tamamının emilerek vakum arabası çıkış kısmına aktarıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 9.b).

Her iki tasarımın parçacık toplama verimliliğinin karşılaştırılması amacıyla, zemine 10 adet 0.5 mm çapına sahip kum tanımlanmıştır ve kum taneciklerinin vakum arabasında bulunma süreleri (çıkış kısmına kaç saniye içerisinde ulaştığı) incelenmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Kumların vakum arabasında tutulma süresi

Mevcut vakum arabasında ve geliştirilmiş vakum arabasında kum parçacıklarının vakum arabası

içerisinde tutulma süresi Solidworks – Flow Simulation programında parçacık çalışması yöntemi ile hesaplanmıştır. Geliştirilen vakum arabasında kumların vakum arabası içerisinde tutulma süresi daha düşüktür (Şekil 10). Bu durum, geliştirilmiş vakum arabasının temizleme verimliliğinin daha fazla olduğunu göstermektedir.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmada 75 kW motor gücüne ve 2 m³ çöp haznesi kapasitesine sahip kompakt tip bir yol süpürme aracı kullanılmıştır (Şekil 1). Şekil 11’de bulunan her iki vakum arabası tasarımı da süpürücüye montajlanıp trafiğe kapalı bir alanda test edilmiştir.

Şekil 11’de mevcut ve geliştirilmiş vakum arabası tasarımları mevcuttur. Her iki vakum arabası süpürücüye montajlanarak aynı şartlar altında testleri gerçekleştirilmiştir.



a) Mevcut tasarım b) Geliştirilmiş tasarım

Şekil 11. Vakum arabası görselleri

Deneysel düzeneği Şekil 12’deki gibi hazırlanmış olup, 600 mm x 3000 mm’lik bir alana 10 kg’lık ince kum yayılmıştır.



Şekil 12. Deneysel düzeneği

Deneysel çalışmada kabul edilen veriler şu şekildedir:

- Süpürücünün hızı sabit 6 km/h’tir.
- Fanın devri 3000 dev/dk’dır.

- Deneysel çalışmada yalnızca vakum arabasının emiş performansının gözlemlenmesi hedeflendiği için fırçalar devreye sokulmamıştır.
- Vakum arabası ile zemin arasında 10 mm’lik bir yükseklik bulunmaktadır.

10 kg’lık kum test alanına döküldükten sonra araç 6 km/h’lik yürüyüş hızı ve 3000 dev/dk’lık fan devri ile test alanının tam ortasından geçmiştir. Daha sonrasında vakum arabasının emiş yapmadığı kumlar bir poşet içerisine toplanarak, tartılmıştır. Süpürme verimliliği (η) denklem 11’de bulunan formül ile hesaplanmıştır.

$$\% \eta = \frac{(\text{Toplam kum (kg)} - \text{Yerdeki kum (kg)})}{\text{Toplam kum (kg)}} \times 100 \quad (11)$$

Deneysel çalışması sonunda yerde kalan kum miktarı 0.5 kg’dır. Bu sebeple;

$$\% \eta = \frac{10 - 0.5}{10} \times 100 \rightarrow \%95 \text{ performansta bir süpürme işlemi gerçekleştirilmiştir.}$$

Aynı koşullar altında mevcut vakum arabası için yerde kalan kum miktarı 1.2 kg’dır. Verimliliği ise %88’dir. Bu çalışma ile beraber vakum arabası tasarımının performansı %8 artırılmıştır.

SONUÇ

Bu çalışmada temizleme performansı %88 olan bir süpürücünün vakum arabası tasarımı geliştirilmiştir ve süpürme verimliliği %95’e çıkarılmıştır.

Deneysel çalışmada her iki vakum arabası tasarımı da aynı süpürücüye montajlanmış ve aynı koşullarda kum emme kapasitesi incelenmiştir.

Bu çalışmada emiş borusunun, vakum arabasına olan bağlantı şeklinin toz toplama performansına etkisi araştırılmıştır. Emiş hortumu, vakum arabasına geniş açıdan bağlandığı için ve vakum arabasının arka kısmı, boru bağlantısı ile birleşik olması sebebi ile kum parçacıkları vakum arabası altında birikmeden daha verimli bir şekilde temizlenmiştir. Vakum arabası ile emiş borusu bağlantısı arasındaki genişliğin artması ile süpürücünün temizleme performansı artmaktadır.

Parçacık analizi sonuçlarına göre geliştirilmiş tipteki vakum arabasında; 0.5 mm’lik kum parçacıklarının vakum arabası içerisinde bulunma süresi daha düşüktür. Bu durum, emiş borusu bağlantısının geniş açıdan vakum arabasına bağlanması ile beraber parçacık toplama verimliliğini de beraberinde getirmiştir.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SUCTION MOUTH DESIGN ON PARTICLE COLLECTION EFFICIENCY OF A VACUUM ROAD SWEEPER

In this study, the gas-solid interaction of the suction mouth (dust collection head) of a compact type vacuum road sweeper was investigated by performing flow analysis and particle motion analysis with computational fluid dynamics method. A development study of the suction mouth design was carried out to increase the particle collection efficiency of the sweeper. Numerical and experimental studies of the existing and improved design were made and compared. 10 kg of sand was evenly spread on a 600 mm x 3000 mm test setup and the sand cleaning performance was investigated when the sweeper was moving at a speed of 6 km/h. Sweeping efficiency of 95% was achieved in the improved suction mouth.

Keywords: Road Sweeper, Vacuum Trolley Design, Particle Movement Analysis, Road Surface Cleaning, Solid-Gas Interaction, Environmental Pollution

TEŞEKKÜR

Yazarlar, Çeksan Yol Süpürme Araçları Mak. San. ve Tic. A. Ş.'ye prototip imalatının ve deneylerin yapılması için sağlanan olanaklar için teşekkür ederler.

KAYNAKÇA

1. Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., Bezirtzoglou, E., "Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review," *Frontiers Public Health*, Volume 8, Article 14, February 2020.
2. Yee, C., "Road Surface Pollution and Street Sweeping," *Environmental Sciences*, May 2005.
3. Jin, Y., Jiabao, P., Hejin, A., Lujun, Z., "Relationship between flow field characteristics and dust collection efficiency of sweeper suction port," *The Journal of Engineering*, Page 389-400, 2022.

4. Hammaz, S., "Yüksek Emişli, Düşük Gürültülü Kompakt Bir Yol ve Kaldırım Süpürme Aracının Geliştirilmesi," Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
5. Wu, B., Men, J., Chen, J., "Numerical study on particle removal performance of pickup head for a street vacuum sweeper," *Powder Technology*, 2010.
6. Fayzullayevich, J. V., Tan, G., Alex, F. J., Wu, Y., Agyeman, P. K., "Numerical Study of Factors Affecting Particle Suction Efficiency of Pick-Up Head of a Regenerative Air Vacuum," *Processes*, Volume 10, Page 1252, 2022.
7. Xi, Y., Zhang, Y., Zhang, X. ve Dai, Y., "Enhancement of particle collection efficiency considering the structural interplay: particle motion characteristics analysis," 2020.
8. Web Sitesi:
<https://ceksanmakina.com/product/citymouse>
9. Şahin, E., Kaftanoğlu, B., Albayrak, K., Biçkes, A., Başeşme, E., "Endüstriyel Tip Elektro-Hidrolik Vakumlu Süpürücünün İmalatı," *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, Cilt 13, Sayı 1, Sayfa 27-36, Mayıs 2012.
10. Sadrehaghighi, I., "Mesh Sensitivity & Mesh Independence Study," 2021.