

Endüstriyel Tip Elektro-Hidrolik Vakumlu Süpürücünün İmalatı

Emre Şahin

Mak. Yük. Müh.

Makina Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Ankara

Bilgin Kaftanoğlu

Prof.

İmalat Mühendisliği Bölümü
Atılım Üniversitesi

Ankara

Kahraman Albayrak

Prof.

Makina Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Ankara

Azmi Biçkes

Mak. Müh.

MÜSAN A.Ş.

Ankara

Ertuğrul Başeşme

Dr.

ODTÜ Teknokent

Ankara

Amaç, elektrikle çalışan, sağlıklı (sıfır emisyon ve gürültüsüz) ve çevre dostu bir aracın, üç boyutlu modelleme tekniği kullanılarak (CAD) yeniden tasarlanması ve üretilmesidir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) ve sonlu elemanlar analizleri yapılarak tasarım geliştirilmiştir. Bu makalede, gerekli güç ve mukavemet hesapları ile analizleri yapılan ve 3D (üç boyutlu katı model) tasarımı tamamlanan endüstriyel tip vakumlu süpürücü aracının imalatı sunulmaktadır.

Tüm alt sistemler, merkezi bir elektrik motoru tarafından tahrik edilen hidrolik sisteme ait hidrolik motorlar yardımıyla çalışmaktadır. Temizlik sistemi, mekanik ve vakumlu temizleme sistemlerini içermektedir. Çöpler, fırçalar ve bir elevatör sisteminin yardımıyla toplanıp çöp haznesine boşaltılırken, tozlar aracın üzerindeki iki fan yardımı ile emilmektedir. Tüm alt sistemlerin ayrı ayrı imalatları tamamlanmıştır ve süpürücü aracın şasesine montajları yapılmıştır. Bu proje, T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ve Müsan A.Ş. (Makina Üretim Sanayi ve Ticaret A.Ş.) tarafından desteklenmektedir.

Anahtar kelimeler: Vakumlu Cadde süpürücüsü, hidrolik, imalat, montaj, akışkan dinamiği.

1. GİRİŞ

Günümüzde vakumlu süpürücüler (sokak süpürücüleri) havaalanları, fabrikalar, ana cadde ya da sokak araları başta olmak üzere birçok alanda karşımıza çıkmaktadır.

Elektrikli-Vakumlu süpürücü araç, merkezi elektrik motoru ve bu motorun tahrik edeceği hidrostatik ve uç pompasından beslenen hidrolik motorlardan oluşacaktır.

Birçok endüstriyel tip vakumlu süpürücülerin aksine, yeni tasarım elektrik ve elektro-hidrolik kontrollü olacaktır. Yeni 'MÜSAN Vakumlu Süpürücünün' tüm temizleme sistemi hidrolik motorlardan (yürüme sistemini oluşturan hidrolik sistem de fırçasız DC elektrik motoru ile tahrik edilecektir) oluşacaktır ve bu sistemlerin gücü aracın ortasına yerleştirilen aküler ile sağlanacaktır.

Bu makalede endüstriyel tip elektro-hidrolik vakumlu süpürücünün alt sistemlerinin imalatı ve bu sistemlerin şaseye montajları anlatılmaktadır. Aracın tasarım amaçlarından biri de 'Etkin Temizleme Sistemi' olan bir araç üretilmesi olduğundan, bu amaca yönelik mekanik temizleme sistemi (Elevatör sistemi ve yan-alt koruyucu sacları ile fanların yerleşeceği

konstrüksiyon), çöp konteynırı ve kızaklı akü kaseti imal edilmiş ve şaseye montajı sağlanmıştır. Araç temizleme sisteminin önemli bir parçasını oluşturan 'Vakum (Fan) Sistemi' için ise, istenen basınç farkı, debi ve sağlanabilecek maksimum güç arasında optimum bir değere varılarak (bunun için CF Design akışkanlar dinamiği programı kullanılmış ve Punto Mühendislik'ten yardım alınmıştır), farklı özellikteki fanlar, imal edilen ikinci ve daha büyük bir test düzeneği üzerinde denenmiş ve istenen değerleri sağlayabilecek olan fanlar imal edilmiştir.

Süpürme esnasında silindirik ve çanak fırçaların yetersiz kaldığı ya da ulaşamadığı alanlardaki çöplerin yol ve kaldırım kenarlarından toplanabilmesi için vakum kol tasarlanmaktadır. Bu amaçla farklı çaplar ve uzunluktaki hortumlar için CFD analizleri yapılmıştır.

2. İMALATLAR

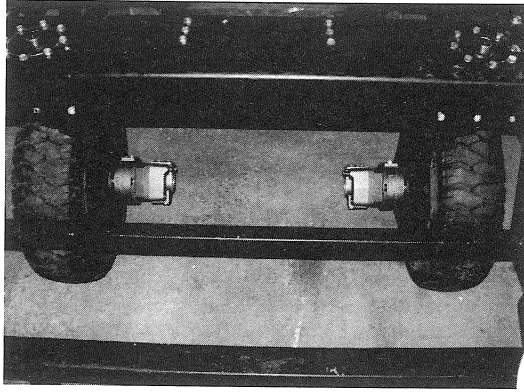
Vakumlu süpürücü aracın bütün alt sistemlerinin imalatları yapılmıştır ve şaseye montajları sağlanmıştır. Temizleme sistemi (elevatör ve fan grubu), çöp haznesi, akü kaseti, kabin ve fırça grubu imalatları tamamlanarak Şekil

1’de verilen şaseye yerleştirilmiştir. Şase St-37 malzemeli kutu profillerden imal edilmiştir.



Şekil 1. Vakumlu Süpürücü Araç Şasesi (St-37)

Hidro-motorların ve teker grubunun (jant ve yengeç hareketi sağlayacak dişli ve hidrolik piston grubu) şaseye montajı Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 2. Hidromotorların Tekerlere Montajı

2.1 Temizleme Sistemi İmalatları

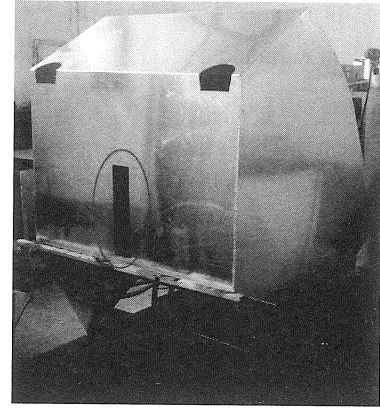
Elektro-hidrolik vakumlu süpürücünün temizleme sistemi temel olarak şu alt gruplardan oluşmaktadır: çöp haznesi, elevatör sistemi, fan (iki adet 400 mm çaplı santrifüj) sistemi ve fırçalar. Çalışma prensibi olarak elevatör sistemi (bant ve kanatlardan oluşan bir konveyör) süpürülen alandaki kutu kola, pet şişe, taş gibi görece daha ağır çöplerin kanatlar yardımıyla toplanıp çöp haznesine atılmasında kullanılırken; fan sistemi bu esnada oluşan tozların çekilmesinde kullanılır.

2.1.1. Çöp Haznesi

Çöp haznesi, alüminyum malzemeden imal edilmiştir. Hazne üzerinde hidrolik pistonun yerleşimi için bir yuva açılmıştır. Çöp haznesi devrildikten sonra boşaltma kapağının istenildiği zaman açılabilmesi için iki adet hidrolik piston kullanılacaktır. Çöp haznesi

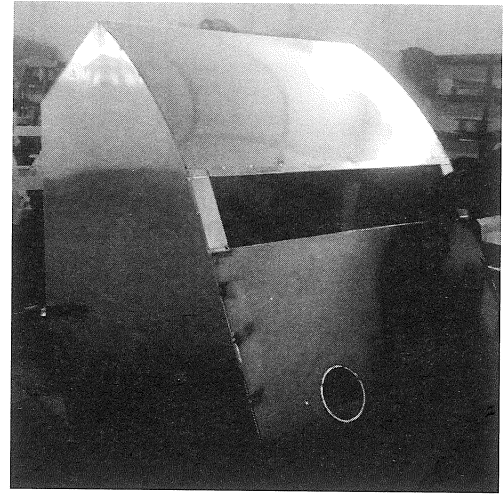
boşaldıktan sonra ve tekrar yerine otururken bu kapak hidrolik sistemle kapatılacak.

Hazne içerisinde bulunan iki adet filtre üzerine titreşimi sağlamak için 250 W fırçasız motor üzerine MÜSAN A.Ş. tarafından eksantrik imal edilmiştir ve montajı yapılmıştır.



Şekil 3. Çöp Haznesi (Al)

Elevatör sistemi tarafından zeminden kaldırılan çöpler santrifüj bir kuvvetle çöp haznesi üzerindeki bir açıklıktan içeriye atılmaktadır. Şekil 4’de verilen çöp haznesinin şaseye montajı Şekil 15’de görülebilir.



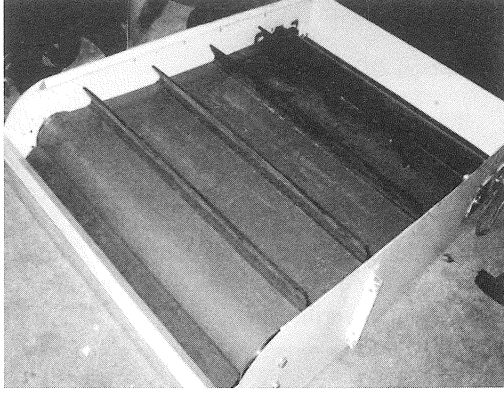
Şekil 4. Çöp Haznesi ve Elevatör Çöp Açıklığı

2.1.2. Elevatör Sistemi

Yeni tasarlanan araçta temizleme sistemi mekanik ve vakumlu temizleme sistemleri olarak ayrılabilir. Mekanik (Elevatör) sistemin araç üzerindeki temel amacı, belirli bir lineer hızla hareket eden kanatların büyük katı parçacıklarını toplamak ve santrifüj bir kuvvetle çöp haznesine atmaktır.

Büyük katı çöpler toplanırken, çöplerin çevreye dağılmasını önlemek ve tambur-bant-kanat sistemini muhafaza içerisine almak amacıyla Şekil 7 ve Şekil 8’de görüldüğü gibi saclar imal edilmiş ardından gerekli kaynaklı bağlantılar yapılarak elevatör sistemi oluşturulmuş ve şaseye monte edilmiştir.

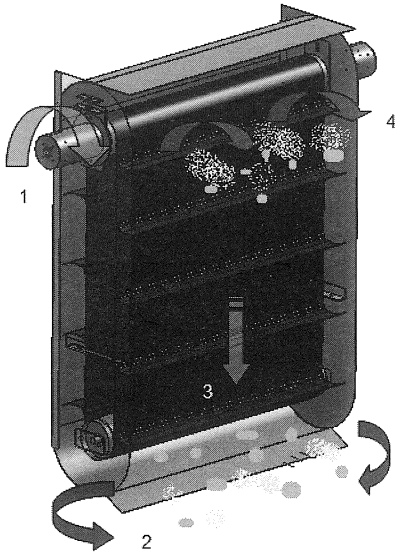
Şekil 5’de gösterilen koruyucu saclar içerisinde tambur-bant (kayış-kasnak) sistemi ve bant üzerine yerleştirilmiş kanatlar imal edilmiştir. Komple elevatör sistemi Şekil 5’de görüldüğü gibidir. Elevatör sisteminin şase üzerine montajı Şekil 15’de görülebilir.



Şekil 5. Elevatör Komple (Bant ve kanatlar ile)

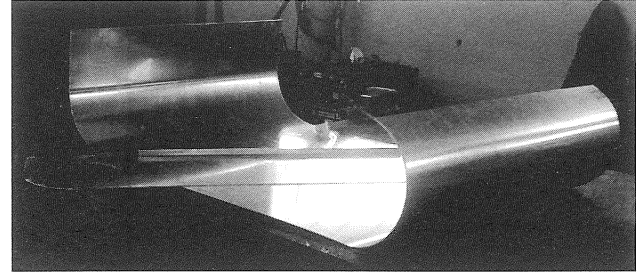
Elevatör sisteminin çalışma prensibi şu şekildedir:

1. Hidrolik motor tambura 50-60 d/d’da bir dönme sağlar.
2. Yan fırçalar ve ana fırça yardımıyla çöplerin kanatlar tarafından toplanması sağlanır.
3. Elevatör kanatları çöpleri toplar.
4. Sistemin bir periyodundan sonra çöpler çöp haznesine atılır ve fan sistemi de çıkan tozları emer.

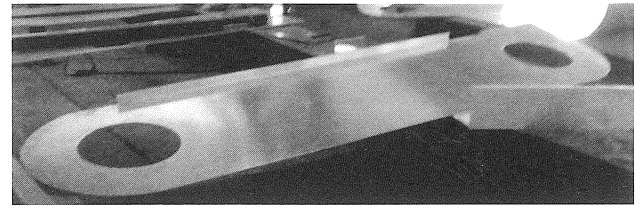


Şekil 6. Elevatör Sistemi Çalışma Prensibi

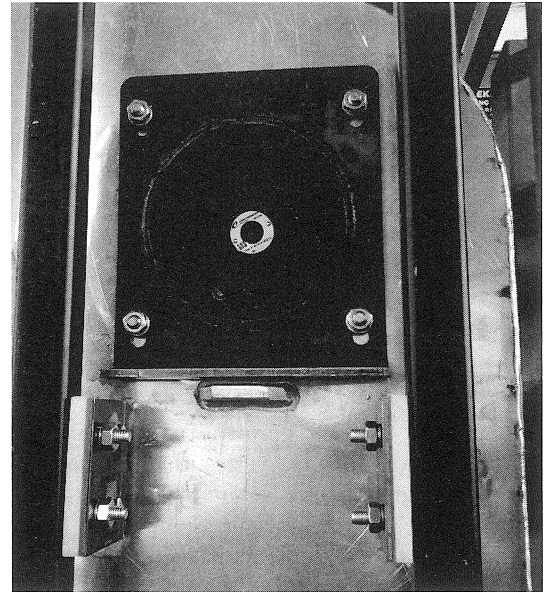
Araç hareket halindeyken, yol üzerindeki kasislerin sisteme zarar vermesini önlemek için gerektiğinde elevatörü indirip-kaldırmak için 15 cm stroklu bir hidrolik piston kullanılmıştır.



Şekil 7. Elevatör Koruyucu Sac (Al) Bükümü



Elevatör sisteminde hidrolik motor kullanılmıştır. Elevatör kaynaklanmış haliyle gövde ve yan sacları, bir flanş üzerine dört civata ile hidrolik motorun montajı Şekil 9’de verilmiştir.

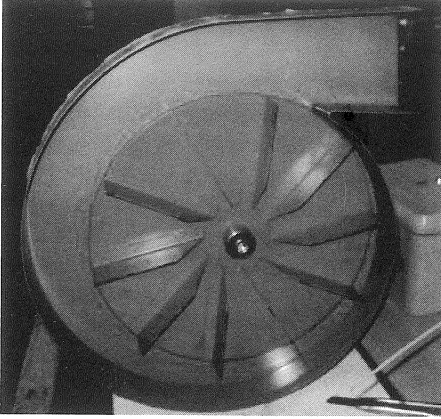


Şekil 9. Elevatör Sistemi ve Hidrolik Motor Montajı

2.1.3. Fan (Vakum) Sistemi

Tozların ve hafif kütleli çöplerin emilmesi için gereken hız değerleri doğrultusunda; CFD

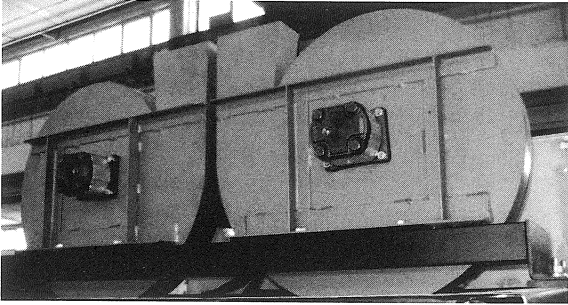
analizleri, sistem ve performans deneyleri ile belirlenen santrifüj fanlar (İki adet: 400 mm rotor çaplı, 10 kanat sayılı ve düz tip -backward-) fan sisteminde kullanılmaktadır. Rotorun salyangoza montajı Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Rotor ve Salyangoza Montajı

Fan seçimleri yapılırken gereken çalışma noktası (0.75 m³/s ve 2950 Pa) ve akülerin (dört seri, dört paralel 16 adet 12V ve 50Ah kuru tip) depoladığı enerji göz önünde bulundurularak optimum seçim gerçekleştirilmiştir.

Fan sisteminde, rotoru 3000 d/d çevirecek hidrolik motorlar kullanılmaktadır. İki fanın toplam gücü yaklaşık 4100 W değerindedir.



Şekil 11. Fan Grubu ve Hidrolik Motorlar

Şekil 11'de görülebileceği gibi, fanları süpürücü araç üzerine yerleştirmek amacıyla ve gerektiğinde grup olarak sökülüp takılması için 'fan montaj şasesi' düşünülmüştür. Fanlar bu şaseye L profiller ile aralarına lastik takozlar (titreşimi ve bunun yol açacağı ses düzeyini düşürmek için) konularak civatalar ile monte edilmiştir.

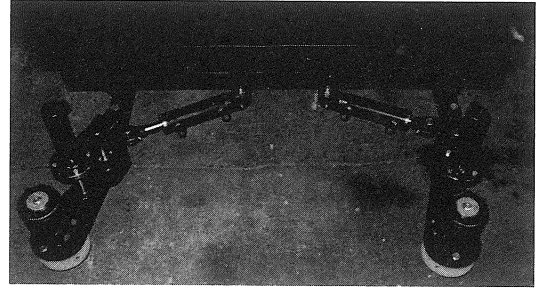
Şekil 11'de verilen paralel bağlı iki adet santrifüj fanın araç üzerinden kolayca sökülüp takılabilmesi dışında önemli bir tasarım değişikliği de fanların çöp haznesine bağlantısı ile ilgilidir. Tasarımın ilk aşamasında bir 'hava karışım kutusu' düşünülmüş ve fan emişleri bu kutuya bağlanmıştır. Ancak sistem

deneyleri ile de ispatlandığı gibi bu 'karışım kutusu' içerisinde vakum kaybı (kaçaklar ve dirençler sonucunda) oldukça fazla olmuştur. Bu sebepten ötürü fan emişleri doğrudan çöp haznesine (bkz. Şekil 4 dairesel kesikler) bağlanmıştır.

Fan grubuyla ilgili en önemli tasarım parametrelerinden bir diğeri de fanların konumlandırılması ile ilgilidir. Şekil 11'de görüleceği gibi fan çıkış ağzları yukarı doğru verilmiştir. Böylece hava ile beraber fan içine giren çakıl ya da küçük partiküllerin, havanın atılması esnasında operatöre ya da çevredeki insanlara zarar vermesi engellenmiş olacaktır.

2.1.4 Fırça Grubu İmalatı

Yeni tasarlanan araçta orta (ana) ve ön fırçalar olmak üzere iki fırça grubu bulunacaktır. Hidrolik motor ve pistonun kullanılacağı fırçalarda; ön fırça yanlardaki (kaldırım kenarları vb.) çöplere ulaşmak için kullanılırken, ana fırça süpürdüğü çöpleri elevatöre atacaktır. Şekil 16'da ön fırçanın şaseye montajı verilmiştir.

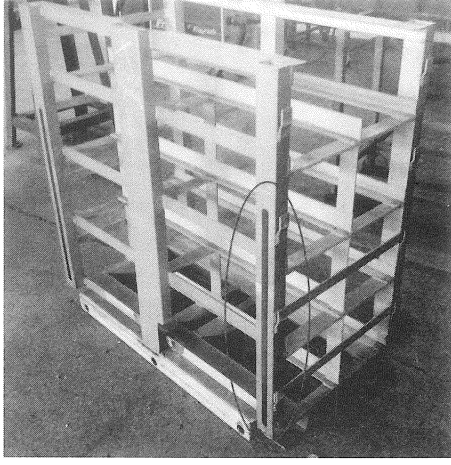


Şekil 12. Ön Fırça Grubu (Piston ve Motorlar ile)

Temizleme sistemi elemanları (elevatör, fan ve çöp haznesi ile fırça grupları) montaj-demontaj kolaylığı açısından ayrı alt sistemler olarak tasarlanıp imal edilmiştir. Dolayısıyla olası arıza ya da bakım durumlarında doğrudan ilgili sisteme müdahale edilebilecek ve gereken bakım, onarım ya da değişim işlemleri yapılabilir.

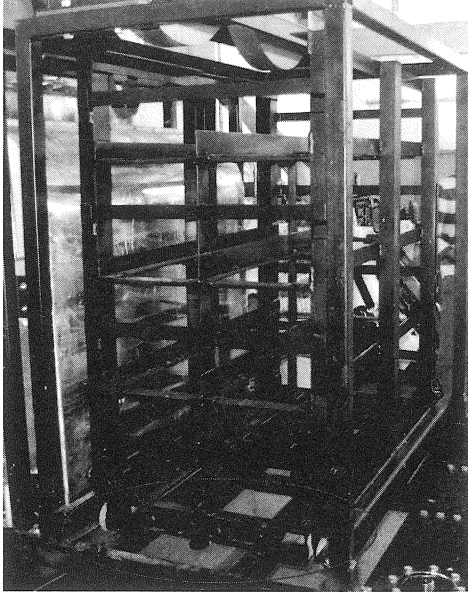
2.2 Rafli Akü Taşıyıcı İmalatı

Merkezi elektrik motorunu (15 kW, 48V DC) ve diğer elektriksel bağlantıları besleyecek enerji aracın ortasına yerleştirilecek aküler (16 adet, 50Ah) ile sağlanacaktır. Dört seri dört paralel olarak bağlanan akülerin yerleşimi için Şekil 13'de verilen rafli taşıyıcı sistem tasarlanmış ve Alüminyum profiller kullanılarak imal edilmiştir (Şekil 17).



Şekil 13. Aküler için Rafly Taşıyıcı İmalatı

Kutu profil içerisine yerleştirilen tekerler ve yuvalar ile rafly sistem operatör tarafından çekildiğinde, bu tekerler kendi ağırlığı ile yere düşecek ve operatörün akü grubunu yenileriyle değiştirmesi oldukça kolay olacaktır.

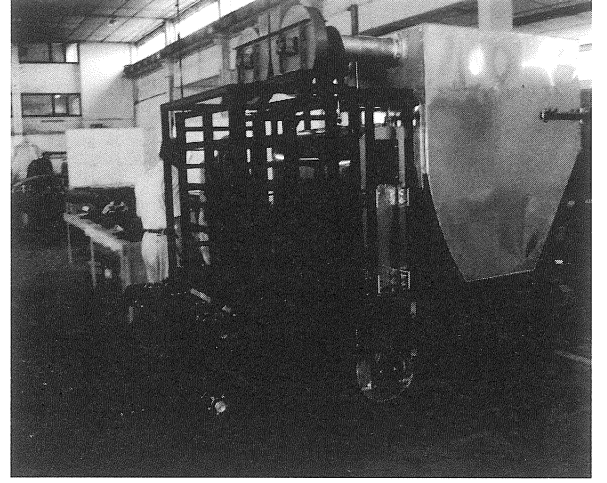


Şekil 14. Akü Taşıyıcısının Araca Yerleşimi

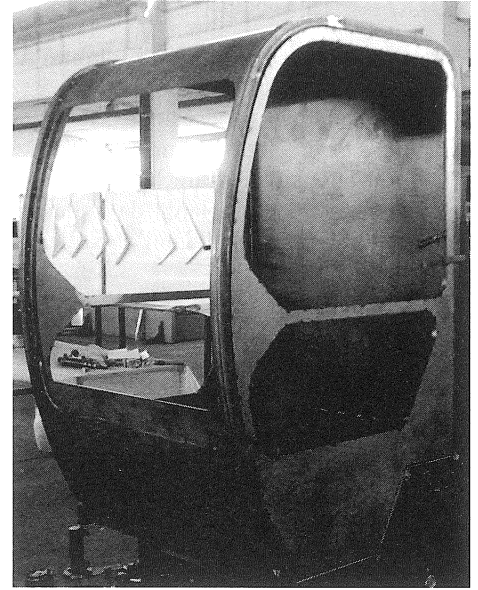
Kabin, dış giydirme ve diğer aksesuarlar imal edilmeden önce alt sistemlerin şaseye montajları ile elektro-hidrolik vakumlu süpürücü aracın genel görünüşü Şekil 15’de verildiği gibidir.

2.3 Kabin İmalatı

Kabin, 40x40 kutu profilden çelik malzeme kullanılarak imal edilmiştir ve süpürücü araç üzerine yerleşimi tamamlanmıştır. Prototip araçta çelik tercih edilmiştir; ancak ileride seri üretime geçilmesiyle beraber Al malzeme kullanılması düşünülmektedir.



Şekil 15. Kabin İmalatından Önce Genel Görünüş

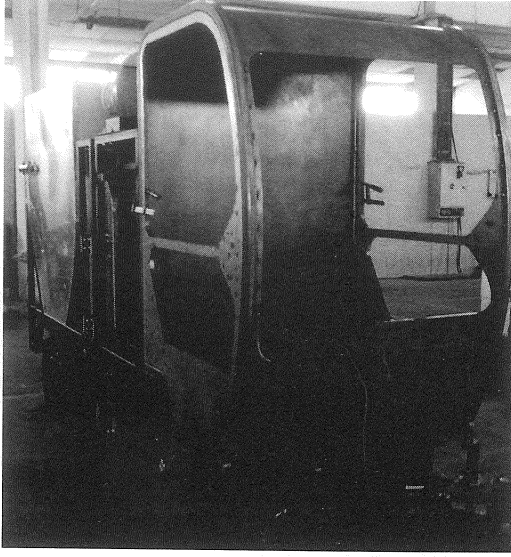


Şekil 16. Elektro-hidrolik Araç Kabini

Kabinde, cam yerine kırılma olasılığına karşı daha mukavim olması sebebiyle polikarbon malzeme tercih edilecektir. Ayrıca kabin bir menteşe yardımıyla öne doğru açılacak, böylece kabin altına konumlanmış elektriksel ya da hidrolik bağlantılara müdahale edilebilecektir.

3. VAKUM KOLU (HORTUMU) TASARIMI

Süpürme esnasında silindirik ve çanak fırçaların yetersiz kaldığı ya da ulaşamadığı alanlardaki çöplerin yol ve kaldırım kenarlarından toplanabilmesi için vakum kol tasarlanmaktadır. Bu amaçla önce benzer kullanımları içeren literatür taraması yapılmıştır. Daha sonra ise, farklı çaplar ve uzunluklar için CFD analizleri yapılmıştır.



Şekil 17. Kabinin Araca Montajı

3.1. Portatif Vakum Hortumunun Kullanım Alanları

CFD analizleri öncesinde, farklı kullanım şekilleri için incelemeler yapılmıştır. Bu vakum kolu, küçük ve orta büyüklükteki araçlarda kullanıldığı gibi büyük tonajlı süpürücü araçlarda da kullanılmaktadır. Vakum hortumlarının kullanım şekilleri aşağıda verildiği gibidir.



Şekil 18. Kabinin Araca Montajı [4]



Şekil 19. Farklı Modelde Vakum Kolu [4]

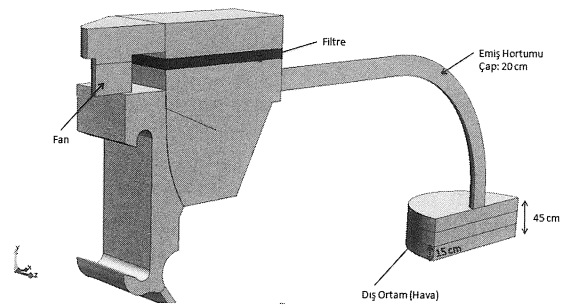


Şekil 20. Robot Kolu Elastik Hortum İle Kullanımı [4]

Yapılan incelemeler sonucunda, yeni tasarlanan Müsan VSM aracında kullanılacak vakum hortumunun, çöp haznesinin arka tarafına takılacak portatif (gerektiği takdirde takılıp sökülecek) bir elastik hortumdan oluşmasına karar verilmiştir. Bu elastik hortumun çapının ve uzunluğunun ne olacağını ve tam olarak haznenin neresinde konumlanacağını belirlemek üzere bir sonraki bölümde ayrıntılı şekilde verilen CFD analizleri gerçekleştirilmiştir.

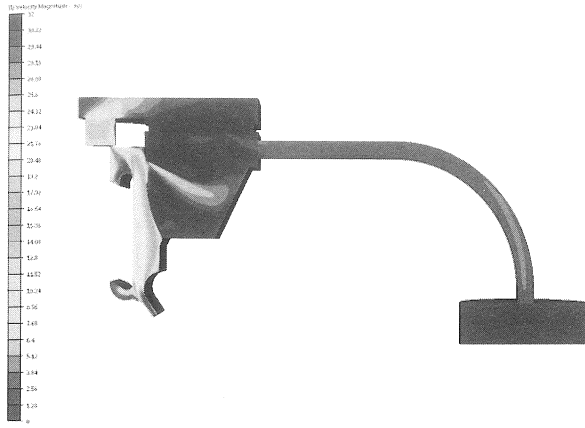
3.2. Vakum Hortumu CFD Analizleri

Emiş hortum çapı ve yerden çekiş yüksekliği gibi değerler değişken kabul edilerek elevatör açıklığı açık ve kapalı konumda iken farklı analizler gerçekleştirilmiştir. Performans ve sistem deneyleri sonucunda saptanmış fan eğrileri ve çalışma noktası gibi bilgiler de analiz sonuçlarıyla sentezlenerek çalışmalar yürütülmüştür.

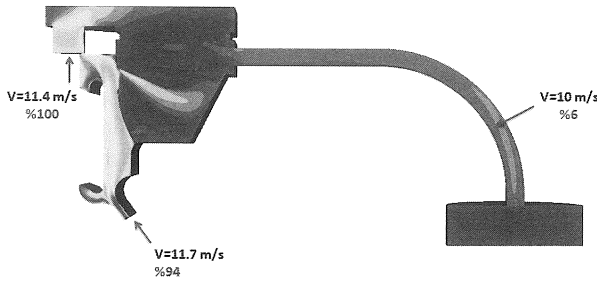


Şekil 21. Model Kesiti (Analiz Öncesi)

Yapılan analizler neticesinde hız dağılımı ve kritik noktalardaki hız değerleri Şekil 22 ve Şekil 23'de verildiği gibidir.

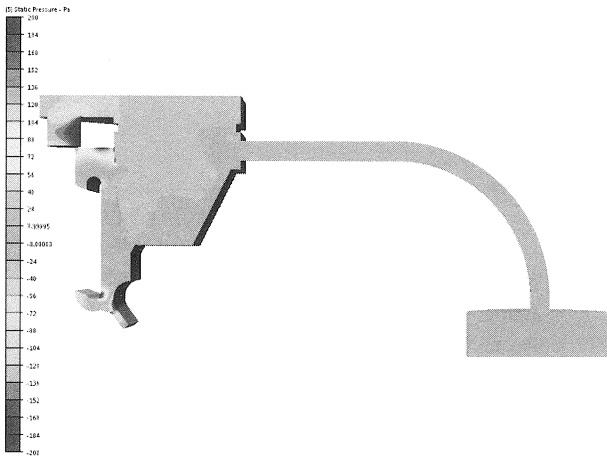


Şekil 22. Vakum Hortumu Hız Dağılımı (CFD)



Şekil 23. Kritik Noktalardaki Hızlar (CFD)

Temizleme sistemi (çöp haznesi, elevatör, fan grubu) ve portatif vakum hortumu kesiti boyunca basınç dağılımı Şekil 24'de verildiği gibidir.



Şekil 24. Basınç Dağılımı (CFD)

3.3. Emiş Kuvveti ve Sürüklenme (Drag) Katsayısı Hesabı

Emiş hortumuyla çekilecek çöpler için fanların debisinin yeterli olup olmadığının anlaşılabilmesi için boş bir kutu kola referans alınarak teorik hesaplar yapılmıştır. Sınır katman (Boundary Layer) teorisi esasına dayanmaktadır. Bir nesnenin şekline göre onun

bir akışkanla teması sırasında, üzerine etkiyen sürüklenme (drag) kuvveti katsayısı vardır. Bu katsayı, nesnenin yüzey alanı ve hız ile bir denkleme sokularak toplam sürüklenme (drag) bulunabilir. Bu amaçla detaylı gösterildiği gibi sürüklenme (drag) kuvveti ve katsayısı (C_D) gibi değerler hesaplanmıştır. Bu değerlerden de yararlanılarak analiz gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho U^2 A} \quad (1)$$

L: Emilecek nesnenin boyu
D: Nesne çapı olduğundan,

(1). kullanılarak aşağıdaki sonuçlara (L/D ve C_D) ulaşılır:

Tablo 1. Sürüklenme Katsayısı (C_D) ve L/D Değeri

Short cylinder, laminar flow:	C_D based on frontal area								
	L/D :	1	2	3	5	10	20	40	∞
C_D :	0.64	0.68	0.72	0.74	0.82	0.91	0.98	1.20	

Body	Ratio	C_D based on frontal area	
		Flat-faced cylinder:	Round
Flat-faced cylinder:	L/D 0.5	1.15	
	1	0.90	
	2	0.85	
	4	0.87	
	8	0.99	

3.4. Boş ve Dolu Hortum İçin Hız Değerleri

CF Design programı kullanılarak yapılan analiz sonucunda elevatör açıklığı açık ve kapalı konumlarda iken ulaşılan hız değerleri aşağıdaki gibidir:

	C_D	0,85	C_D	0,68	
ρ	kg/m ³	1,2	ρ	kg/m ³	1,2
Dia	mm	65	Dia	mm	65
Dia	m	0,065	Dia	m	0,065
V	m/s	11,18	L	mm	120
A	m ²	0,00332	L	m	0,12
F_D	N	0,23	V	m/s	13,3
m	g	15	A	m ²	0,0078
W	N	0,15	F_D	N	0,56
			m	g	15
			W	N	0,15

Şekil 25. Hız Değerleri (Elevatör kapağı: Açık)

	C_D	0,85	C_D	0,68	
ρ	kg/m ³	1,2	ρ	kg/m ³	1,2
Dia	mm	65	Dia	mm	65
Dia	m	0,065	Dia	m	0,065
V	m/s	30,18	L	mm	120
A	m ²	0,00332	L	m	0,12
F_D	N	3,54	V	m/s	35,9
m (max)	g	157	A	m ²	0,0078
m	g	15	F_D	N	4,10
W	N	0,15	m (max)	g	316
			m	g	15
			W	N	0,15

Şekil 26 Hız Değerleri (Elevatör kapağı: Kapalı)

4. ELEKTRO-HİDROLİK SİSTEM

Bu sistemde kullanılan hidrolik üniteleri besleyen hidrostatik ve uç pompalar merkezi bir elektrik motoru (48V DC, 15 Kw) tarafından tahrik edilecektir.

Sistem akülerden enerji alacak, 48V DC motor tarafından tahrik edilecek, hidrostatik ve iki adet uç pompasının sağlayacağı güç ile tekerleklerde ve hareketli aksamlarda hidrolik motor ve hidrolik pistonlar kullanılacaktır.

4.1 Tork-Devir Hesapları

Aracın hızı ve taşıyacağı maksimum yük göz önünde bulundurularak yürüme motorlarının sahip olması gereken tork ve devir değerleri hesaplanmıştır. İki farklı durumda Tork-Devir hesapları yapılmış ve iki ayrı tabloda gösterilmiştir.

Aracın yürümesini sağlayacak olan hidro-motorların güç gereksinimi, yapılan güç hesaplamaları sonucu belirlenmiştir.

Tahrik için gerekli olan gücün hesaplanabilmesi için araç tarafından uygulanabilecek toplam kuvveti bilmek gereklidir.

Toplam kuvvet aşağıdaki gibi bulunmuştur:

$$F_T = F_r + F_g + F_a + m \times a_{\max} \quad (2)$$

(2)'de verilen formülde araç tarafından uygulanabilecek toplam kuvvet (F_T), yuvarlanma direnci (F_r), meyil direnci (F_g), hava direnci (F_a), aracın azami ivmesi (a_{\max}), aracın azami çalışma hızı (V_{\max}) olmak üzere:

$$F_r = f_r \times W \quad (3)$$

İle hesaplanmıştır. Burada:

f_r : Yuvarlanma direnci katsayısı
 W : Aracın ağırlığı (W)
 θ : Tırmanılan açı olmak üzere,
 Meyil direnci (F_g) aşağıda verilen formülle (4) hesaplanır.

$$F_g = W \times \sin \theta \quad (4)$$

ρ : Hava yoğunluğu [kg/m^3]

C_d : Sürüklenme direnci katsayısı

A_f : Aracın kesit alanı

V_{air} : Aracın havaya göre bağlı hızı aracın azami hızına eşit alınmıştır [m/s] olmak üzere, hava direnci kuvveti (F_a) şu şekilde hesaplanır:

$$F_a = 1/2 \times \rho \times C_d \times A_f \times V_{\text{air}}^2 \quad (5)$$

aracın kütlesi (m) olmak üzere

$F = m \times a_{\max}$ İle hesaplanarak (2)'de yerine konulur. Dolayısıyla araca etkiyen toplam kuvvet(2) şu şekilde yazılabilir:

$$F_T = (f_r \times W) + (W \times \sin \theta) + (1/2 \times \rho \times C_d \times A_f \times V_{\text{air}}^2) + (m \times a_{\max})$$

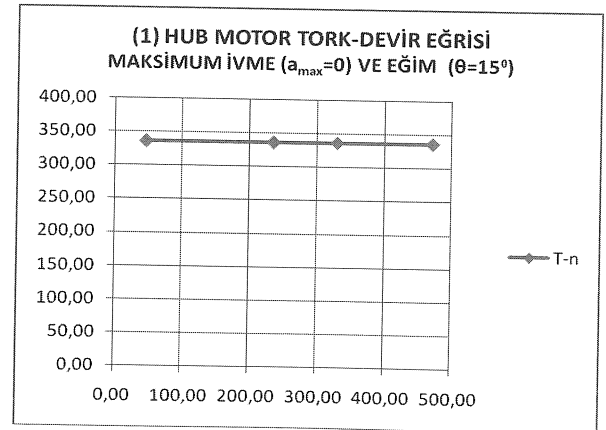
Araç tam dolu iken kütlesinin 2200 kg olduğu ve azami süpürme hızının 10 km/h olduğu varsayılmıştır. Yuvarlanma direnci katsayısı asfalt zemin için 0.018 [1] kabul edilmiştir. Tırmanılan açı 15° olarak belirlenmiştir. 25°C ve 100 kPa basınç için hava yoğunluğu $1,169 \text{ kg/m}^3$ [2] ve sürüklenme katsayısı 0,3 [3] olarak varsayılmıştır. Aracın güç gereksinimi (6) ile hesaplanır:

$$P_e = F_T \times V_{\max} \quad (6)$$

Veriler kullanılarak T-N grafikleri elde edilmiştir. Birinci ve ikinci durumda verilen; $a_{\max}=0$, $\theta=15^\circ$ durumu ile $a_{\max}=2.5 \text{ m/s}^2$, $\theta=0$ durumlarından elde edildiği şekliyle $T_{\max}=330 \text{ Nm}$ civarındadır.

Tablo 2. Sonuç Tablosu ($a_{\max}=0$ ve $\theta=15^\circ$)

V_{\max} (km/h)	TOPLAM KUVVET	GÜÇ (W)	TORK (Nm)	DEVİR (rpm)
1	5974	1659,5	336	47,2
5	5974	8297,3	336	235
7	5974	11616,2	336	330,3
10	5974	16594,6	336	471,8

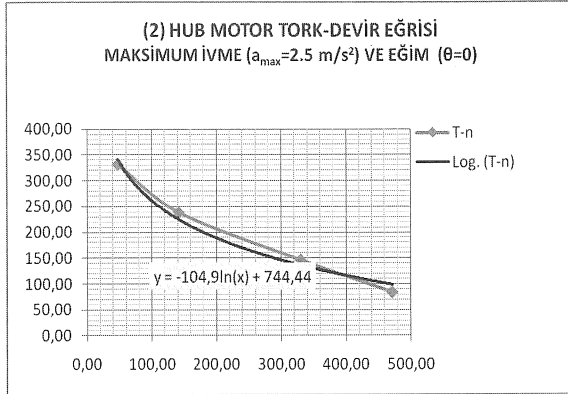


Şekil 27. Tork-Devir Eğrisi (1)

Tablo 3. Sonuç Tablosu ($a_{max}=2.5 \text{ m/s}^2$, $\theta=0$)

V_{max} (km/h)	TOPLAM KUVVET	GÜÇ (W)	TORK (Nm)	DEVİR (rpm)
1	5893,5	1637,1	331,5	47,2
3	4242,7	3535,6	238,6	141,5
7	2592	5040	145,8	330,3
10	1491,5	4143	84	471,8

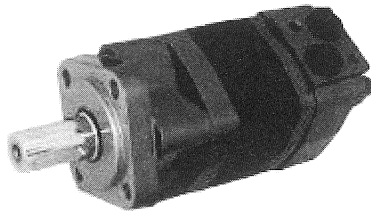
Süpürücü aracın yokuş yukarı da süpürme yapacağı göz önünde bulundurularak, tork ve devir hesabı 15^0 eğim için de yapılmıştır. Bununla ilgili Tork-Devir eğrisi Şekil 28'de verilmiştir.



Şekil 28. Tork-Devir Eğrisi (2)

4.2. Hidrolik Ekipmanlar

Yürüyüş motorlarına ait minimum tork, devir ve güç değerleri belirlendikten sonra buna uygun hidrostatik pompa, bu pompayı tahrik edecek elektrik motoru ve diğer alt sistemleri besleyecek hidrolik ekipmanlar (uç pompa, motorlar) belirlenmiştir.



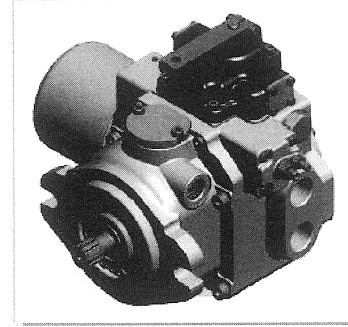
Şekil 29. Kullanılacak Hidromotor (x4)

Her bir tekerde kullanılacak olan, ön ve arka iki teker arasına yerleştirilmiş bir hidrolik piston ile de $0-180^0$ arası kontrol edilebilecek (şoför mahalinden PLC ile hidromotorlara verilen yağ miktarı ayarlanabilecek; yengeç ve diğer hareketler sağlanabilecek) hidromotorların genel özellikleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Hidromotorun Genel Özellikleri

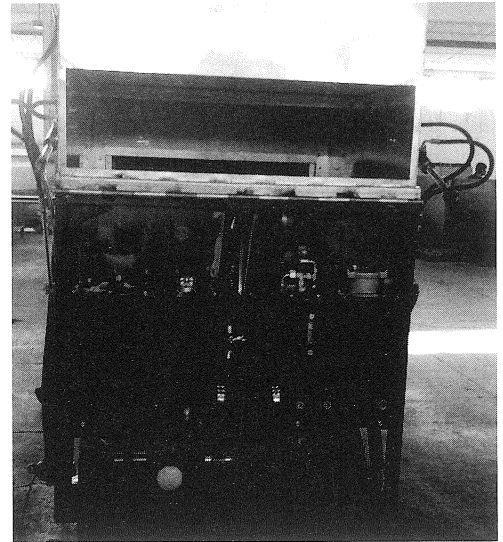
MOTOR	DEPLASMAN (cm^3/dev)	MAKS. DEVİR (rpm)	MAKS. TORK (Nm)	MAKS. GÜÇ (kW)
HR L130	125.7	596.5	375	23.4

Merkezi bir elektrik motoru (48V DC, 15 kW) tarafından tahrik edilecek ve hidromotorları (yürüme sistemi) besleyecek hidrostatik pompa maksimum $25 \text{ cm}^3/\text{devir}$ deplasmanlı ve maksimum 3600 rpm devirlidir. Elektrik motoru pompayı 2000 rpm'de çevirecektir.

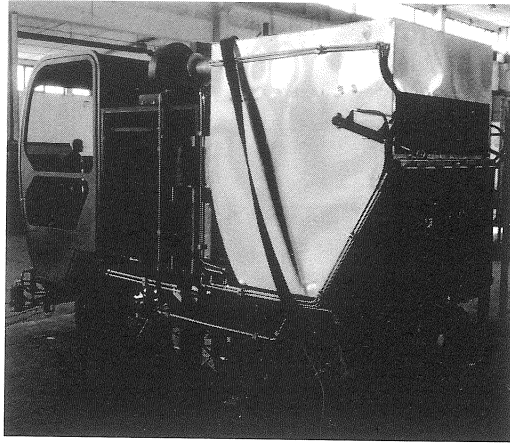


Şekil 30. Hidrostatik Pompa (MD10V-28 Samhydraulic)

Bütün alt sistemlerin imalatlarının tamamlanmasıyla ve şaseye montajlarıyla beraber hidrolik motor montajları ve hidrolik bağlantılar da tamamlanmıştır. Yağ tankı, motor ve pompa gibi temel hidrolik kısımlar Şekil 31'de görüleceği gibi araç arkasında bulunan boşluğa yerleştirilmiştir.



Şekil 31. Hidrostatik Pompa ve Yağ Tankı



Şekil 32. Hidrolik Bağlantılar ve Genel Görünüş

5. SONUÇ

SAN-TEZ projesi kapsamında, ODTÜ ve MÜSAN A.Ş. işbirliği ile tasarlanan ve alt sistemlerinin imalatı tamamlanmış olan elektro-hidrolik vakumlu süpürücünün hidrolik bağlantıları da tamamlanmıştır. Prototip süpürücü aracın üretiminin tamamlanmasında son aşama iç ve dış aydınlatma, ısıtma ve dış giydirme gibi aksesuarların araca entegresidir. Bu çalışmaların da bitirilmesiyle beraber elektro-hidrolik vakumlu süpürücünün (Müsan VSM 080) ilk denemeleri gerçek koşullarda yapılacaktır. Elektrik enerjisi kullanmasından dolayı çevre dostu olan yeni araç, yenilenebilir enerjinin yükselmekte olduğu 21. yüzyıl dünyasında yerli ve yurtdışı temizlikaracı sektörü ve sanayisi bakımından yükselen bir değerdir.

6. TEŞEKKÜR

Bu araştırma projesi, T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından SAN-TEZ 000285.STZ.2007-1 ve 00623.STZ.2010-1 numaralı projeler kapsamında desteklenmektedir. Yazarlar, T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na, MÜSAN A.Ş.'ye ve mensubu oldukları kurumlara ve bu kurumlarda çalışan personele sağladıkları destek için şükranlarını sunarlar.

MANUFACTURING OF AN INDUSTRIAL TYPE ELECTRO-HYDRAULIC VACUUM SWEEPER

The purpose of the project is to produce an environmentally friendly electrical powered sweeper with zero emission and minimum noise using three dimensional solid modeling (CAD). Computational Fluid Dynamics (CFD) and Finite Element Analysis have also been used to improve the design. In this paper, required power and strength analyses, 3-D design using solid modeling and manufacturing of an industrial vacuum sweeper is presented.

All subsystems are powered by hydraulic motors driven by a central hydraulic pump energized by a DC motor. Cleaning system comprises of mechanical and vacuum systems. Solid wastes are collected by brushes and transported to the container by an elevator, whereas dust is vacuumed by two fans located on top of the container. Different subsystems are manufactured and assembled on the chassis of the sweeper vehicle. This project is sponsored by the Turkish Ministry of Science, Industry and Technology and MUSAN Company (Machinery Manufacturing & Trade Co.).

Keywords: Vacuum street sweeper, fluid dynamics, hydraulic, manufacturing, assembly.

KAYNAKÇA

1. Jazar, R. N., Vehicle dynamics: theory and application, Springer, 2008.
2. Sonntag, R. E., Borgnakke C., Van Wylen G. J., Fundamentals of Thermodynamics, John Wiley and Sons, Inc., 1998.
3. Wong, J. Y., Theory of Ground Vehicles, John Wiley & Sons, Inc., 2001.
4. MADVAC CN100 Kataloğu & Web Site, http://www.madvac.com/content/cn100_parking_lot_sweeper.php, son ziyaret: 10 Eylül 2009.