

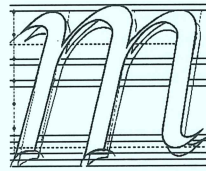
ISSN 1302-9487

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Cilt : 13

Sayı : 1

Mayıs 2012



matim

Makina Mühendisliği Bölümü
ODTÜ - ANKARA

Sahibi

Makina Tasarım ve İmalat Derneği adına Yönetim Kurulu Başkanı
Bilgin KAFTANOĞLU

ATILIM Üniversitesi

Yayın Kurulu

Metin AKKÖK
Can ÇOĞUN
İlhan KONUKSEVEN (SorumluYayınYönetmeni)

ODTÜ
ÇANKAYA Üniversitesi
ODTÜ

Danışma Kurulu

Tuna BALKAN
Besim BARANOĞLU
Erhan BUDAK
Serkan DAĞ
Melik DÖLEN
Hüseyin FİLİZ
Necdet GEREN
Mustafa İ. GÖKLER
Celalettin KARADOĞAN
İzzet ÖZDEMİR
Ferruh ÖZTÜRK
O. Selçuk YAŞI
Yiğit YAZICIOĞLU
Orhan YILDIRIM

ODTÜ
ATILIM Üniversitesi
Sabancı Üniversitesi
ODTÜ
ODTÜ
Gaziantep Üniversitesi
Çukurova Üniversitesi
ODTÜ
ATILIM Üniversitesi
ATILIM Üniversitesi
Uludağ Üniversitesi
ENVY A.Ş.
ODTÜ
ODTÜ

Yazışma Adresi, Telefon ve Faks

Makina Tasarım ve İmalat Derneği
Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi
ATILIM Üniversitesi
İncek, ANKARA
Tel : (312) 586 8860, 586 8368, Faks : (312) 586 8091
Web : <http://matim.atilim.edu.tr>
e-mail : matim@atilim.edu.tr

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Cilt: 13 Sayı: 1 Mayıs 2012

JOURNAL OF
MECHANICAL DESIGN
AND PRODUCTION

Vol: 13 No: 1 May. 2012

ISSN 1302-9487

TELİF HAKKI

Makina Tasarım ve İmalat Dergisinde yayımlanan bütün yazıların telif hakkı MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERNEĞİ'nindir. Yayımlanmış yazıların başka bir yerde tekrar yayımlanması, çoğaltılması ve dağıtılması, Yayın Kurulundan yazılı izin almak koşulu ile mümkündür. Makalelerdeki görüşlerden doğacak sorumluluk makale yazarına aittir.

ABONE KOŞULLARI

Yıllık abone bedeli gerçek kişiler için 10 TL, firma ve kuruluşlar için 40 TL, öğrenciler için 5 TL'dir. Abone olmak için aşağıda verilen banka hesabına abone bedelinin yatırılması ve açık adresiniz ile banka makbuzunun adresimize gönderilmesi yeterlidir.

TANITIM KOŞULLARI

Kuruluş ve ürünlerini tanıtmak isteyenler hazırlayacakları tanıtım yazı ve resim taslaklarını Derneğimiz'e göndererek saptanacak bir katkı karşılığında Dergi'de yayımlanmasını sağlayabilirler.

BANKA HESAP NUMARASI

T. İş Bankası, ODTÜ Şubesi
Hesap No: 4229 0235339
IBAN:
TR430006400000142290235339

DİZGİ

Hülya SEVER

BASKI

ODTÜ Basım İşliği

Yılda 2 sayı Mayıs ve Kasım aylarında yayımlanır.

İÇİNDEKİLER

ARAŞTIRMA, GELİŞTİRME VE UYGULAMA MAKALELERİ

- Kavramsal Tasarımda Zihin Haritalama ve Triz Kullanımı 1
Murat Mayda
H. Rıza Börklü Melda DEMİRBAŞ
- Endüstriyel Tip Elektro-Hidrolik Vakumlu Süpürünün Temizleme Sistemi Tasarımı, İmalatı ve Deneylelerinin Yapılması 16
Emre Şahin
Bilgin Kaftanoğlu
Kahraman Albayrak
Azmi Biçkes
Ertuğrul Beşeşme
- Endüstriyel Tip Elektro-Hidrolik Vakumlu Süpürücünün İmalat 27
Emre Şahin
Bilgin Kaftanoğlu
Kahraman Albayrak
Azmi Biçkes
Ertuğrul Beşeşme
- Karbon Nanotüp ile Gülendirilmiş Termoplastik Poliüretanın Mekanik Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi 37
Ediz Şavkın
Mehmet Hanifi Doğru
İbrahim Halil Güzelbey
- Plastik Enjeksiyonda Parça Yüzeyini İzleyen Soğutma Kanalları ile Parça Soğumasının analizi 46
Mehmet Emin Özmen
Merve Erdal

Sayın Okurlarımız,

Makina Tasarım ve İmalat Dergisi 1986 yılından bu yana özgün araştırmaları yayımlayan hakemli bir dergi olarak süreklilik kazanmıştır. 2001 yılında dergimize ISBN (ISBN1302-9487) numarası verilmiş, TÜBİTAK tarafından ulusal veri tabanına alınmış ve dergi basım adedi artırılarak Türkiye’de daha yaygın dağıtımı sağlanmıştır.

Yayın kurulumuz dergiye özgün çalışma ürünü, derleme veya bir bilgi ve tecrübe aktarımını sağlayacak makaleler bulmak konusunda katılımlarınızı beklemektedir. Ayrıca kitap tanıtımı, konu taraması ve sanayi kuruluşlarının etkinliklerini içeren yazılara da geçmişte olduğu gibi yer verilmektedir.

Dergimizi, endüstri ve akademik kuruluşlarımızın karşılıklı bilgi alışverişinde bulunduğu, teknik sorunları tartıştığı ortak bir forum haline getirmek için siz meslektaşlarımızın katkı ve önerilerini bekleriz.

Saygılarımızla,

Yayın Kurulu

Kavramsal Tasarımda Zihin Haritalama ve Triz Kullanımı

Murat Mayda
muratmayda@gazi.edu.tr

H. Rıza Börklü
Prof. Dr.

G.Ü. Teknoloji Fakültesi, İmalat
Mühendisliği 06500
Teknikokullar, ANKARA

Sistemik Tasarım tüm otoritelerce en çok bilinen ve kullanılan mühendislik tasarım yaklaşımıdır. Burada tasarım işlemi; ihtiyaç belirleme, kavramsal tasarım, şekil ve detay tasarımları olarak gelişir. Kavramsal tasarım bu işlemdeki en önemli aşamadır. Çünkü bu süreçte belirlenen çözümler, tüm tasarım işlemi ve dolayısı ile ürün maliyetini oldukça etkiler. Burada; temel problemler belirlenir, fonksiyon yapıları geliştirilir, çözüm ilkeleri aranır ve birleştirilir. İşlem, temel bir çözüm (kavram) ile son bulur. Bu işlemin uzun sürmesi ve yaratıcı çözümlerin zor bulunması bu alandaki başlıca sorunlar arasındadır. Teorik çalışmalar bu tür sorunların yaratıcı problem çözme yöntemleri ile giderilebileceğini göstermiş ve bunlardan zihin haritalama ile TRIZ (Yaratıcı Problem Çözme Teorisi) seçilmiştir. Zihin haritalama; bir konuyu zihinde kalıcı yapma ve yaratıcı düşünme sağlar. Dolayısı ile problemi daha iyi anlama ve çözmeyi kolaylaştırır. TRIZ ise yaratıcı, yenilikçi ve özgün problem çözme sağlar. Problemlere hızlı ve yenilik düzeyi yüksek tasarım çözümleri sunabilir. Bu çalışmada geliştirilen yaklaşım kavramsal tasarım işleminde zihin haritalama ve TRIZ yöntemlerinin birlikte kullanımını mümkün kılar. Burada TRIZ, problem belirleyici ve çözücü olarak kullanılmıştır. Zihin haritalama ise tasarımı daha kolay yapar. Böylece kısa sürede ve yaratıcılık düzeyi yüksek kavramsal tasarım çözümleri sağlayan bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşım basit bir delgeç tasarımında uygulanmış ve oldukça iyi / özgün bir çözüm bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Kavramsal tasarım, TRIZ, Yenilikçi tasarım, Zihin haritalama.

1. GİRİŞ

Genel manada tasarım; “bir nesnel amaç veya ihtiyacı karşılayacak çözümler geliştirme ve oluşturmada sarf edilen tüm düşünsel faaliyetler” olarak tanımlanabilir. İlgi ve hitap alanına göre farklılıklar arz edebilir. Yani tasarım, moda ve güzel sanatlardan somut mühendislik projesi ve mimari eserlere kadar geniş bir alanı kapsar. Geçen yüzyılın ilk yarısına kadar genelde bu işlem bir çizim ve sanat faaliyeti şeklinde algılanıyordu. Ancak II. Dünya Savaşı sonrası mühendislik alanında da olgunlaşmaya başlamış ve birçok yaklaşım ortaya çıkmıştır. Özellikle son çeyrek asırlık dönemde tasarım teori ve metodolojisi alanındaki çalışmalar büyük bir ivme kazanmıştır. Çünkü küresel rekabet koşulları firmaları her geçen gün daha faydalı, kaliteli, fonksiyonel ve iş yapma yeteneği yüksek ürünler ortaya koymaya zorlamaktadır. Bu durum ise ancak

tasarımcıların daha iyi eğitim alması yanında tasarım araç, gereç ve yazılımlarının yetenek ve kalitesine bağlıdır [1, 2, 3].

Tasarım bilimi ve metodolojisi bu alanda iki önemli konudur. Bunlardan tasarım bilimi teknik sistem oluşumlarını inceleme ve analizde bilimsel yöntemler kullanır. Tasarım metodolojisi ise tasarım bilimi, bilişsel psikoloji ve pratik bazı deneyimlere dayalı somut teknik sistem tasarlamaya etki eder. Yani tasarım bilimi teknik sistem ve geliştirilme mantıklarını anlamayı sağlarken; tasarım metodolojisi, bundan da faydalanarak nasıl daha iyi veya mükemmel tasarım yapılacağını kolaylaştırır. Bu bağlamda tasarım metodolojisi yeni bilgisayar destekli tasarım ve mühendislik sistemleri geliştirme ve kullanmaya da hitap eder.

Pahl ve Beitz'in Sistematiik Tasarım yaklaşımı mühendislik tasarım amaçlı tüm dünyadaki en mükemmel ve kapsamlı çalışma olarak kabul edilir [4, 5]. Burada tasarım işlemi; ihtiyaç belirleme, kavram oluşturma, şekillendirme ve detaylandırma şeklinde dört aşamada yapılır. Ayrıca bu işlemleri kolaylaştıracak / destekleyecek birçok tasarım ilke ve kuralı da önerilir. Tasarım işlemindeki en önemli aşamalardan biri kavram oluşturma veya kavramsal tasarım (KT) aşamasıdır. Çünkü burada belirlenen fikir ve stratejiler tüm tasarım işlemi ve dolayısı ile ürün maliyetini %70-80 oranda etkiler [6-8]. KT esnasında önce önemli problemler belirlenir ve sonra genel ve alt fonksiyonlar saptanır. İşlem; çözüm arama, birleştirme ve seçenek oluşturma ile sürer. Çözüm seçenekleri değerlendirilir ve bir veya birkaçı seçilir. Bu çözümler de sonraki aşamalarda daha fazla geliştirilir ve somut hale getirilir.

Son yıllarda KT alanında yoğun araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar genelde yeni tasarım çevre, temsil, yöntem, teori veya yaklaşımları geliştirmeyi amaçlar [9-13]. Yani bu çalışmalar; müşteri ihtiyaçlarını mühendislik parametrelerine aktarma, doğru ve hızlı karar verme, tasarım bilgisini yeniden kullanma vb. konular içerir. Böylece daha kolay / kaliteli tasarım yapma sağlayan yeni bilgisayar destekli sistemler geliştirilebilir. Bu olumlu gelişmelere rağmen KT'da halen önemli eksiklikler vardır. Örneğin; soyut tasarım sürecini kavrama ve uygulama zorluğu [1, 14], bu sürecin uzunluğu [2], endüstride daha az kabul görmesi [1, 3] vb. ifade edilebilir. Bu eksiklikler, klasik tasarım yerine yenilikçi bir tasarım anlayışı ile giderilebilir [3]. Bu amaçla da yaratıcı problem çözme yöntemleri kullanılabilir. Bu yöntemlere beyin fırtınası, zihin haritalama, TRIZ¹ (Yaratıcı Problem Çözme Teorisi) ve ASIT (İleri Sistematiik Yaratıcı Düşünme) örnek olarak gösterilebilir. Beyin fırtınası, genelde sezgisel olup, ekip halinde yaratıcı fikirler geliştirmeyi amaçlar. Sistematiik bir yol izlemekle birlikte yaratıcı çözüm garanti değildir. Çözüm bulma süresi uzun da olabilir. ASIT, TRIZ'i basitleştirme ve genelleştirmeyi amaçlar [15]. TRIZ kadar kapsamlı olmamakla birlikte kolay bir yöntemdir. Zihin haritalama; kelime, resim, sayı, renk, boyut vb. özellikler kullanarak bir konuyu zihinde kalıcı yapma ve yaratıcı düşünme sağlar. Doğrudan yaratıcı çözümler sunmadığında bile problemi daha iyi anlama ve çözmeyi kolaylaştırır. TRIZ ise yaratıcı, yenilikçi ve özgün problem çözme sağlar [16]. Problemlere hızlı ve yenilik düzeyi yüksek çözümler

¹ TRIZ, Rusça "Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch" ve İngilizce "Theory of Inventive Problem Solving" (TIPS) ifadelerinin kısaltılmış halidir ve genelde kaynaklarda "TRIZ" şeklinde yer alır.

sunabilir. Kolay öğrenilir ama TRIZ uzmanlığı için fazla tasarım tecrübesi gerekir. KT işleminde hız, zaman, yenilik, kavrama ve kolaylık gibi sorunlar yaşanmaktadır. Bunların üstesinden gelmede TRIZ (hız, zaman ve yenilik) ve zihin haritalama (kavrama ve kolaylık) kullanılabilir. Yukarıdaki diğer yöntemler kapsam itibarıyla yetersiz kalabilir.

Birçok otorite TRIZ'in önemini kabul etmiş ve mevcut yaratıcı yaklaşımlar içinde en güçlü ve sistematiik bir metodoloji olduğu vurgulanmıştır [17]. Bu kapsamda birçok akademik araştırma da yürütülmüştür [18-21]. TRIZ genelde problem çözücü olarak kullanılmış ama Kim [22], TRIZ'den problem belirleyici olarak ta faydalanmıştır. Kim, ileride oluşabilecek problemleri önceden saptayarak; tasarım, üretim ve bakım süresinin kısaltılabileceğini belirtmiştir.

Tasarım işleminde bilgi kullanma ve yeni bilgisayar destekli sistemler geliştirmede çeşitli TRIZ uygulamaları yapılmıştır. Örneğin bir çalışmada ileri bir TRIZ tabanlı teknik sistem ontolojisi geliştirilmiştir [23]. Bu çalışma özellikle patent sınıflandırmada çok yararlı olabilir. Benzer bir çalışmada ürün problemlerini çözecek ve bu bilgiyi yeniden kullanacak bir metodoloji geliştirilmiştir [24]. Bu yaklaşım QFD (Kalite Fonksiyon Dağılımı) ve TRIZ'i birlikte kullanmaktadır. Burada basit ürün problemleri kolayca çözülebilir. Diğer bir çalışmada [25], patent verilerinden çözüm bulacak bir yöntem geliştirilmiştir. Burada; metin çıkarımı, doğal dil işleme, dil dönüşüm ölçüt ve makine öğrenme yaklaşımlarından faydalanılmıştır. Örnek çalışmalarla yöntemin geçerliliği araştırılmış ve ortalama üstü (%73,38 ve %77,12) doğruluk elde edilmiştir. Öte yandan endüstriyel uygulamalarda çözüm bulma amaçlı bir çalışma yapılmıştır [26]. Burada bulanık AFP (Analitik Hiyerarşik Süreç) ve TRIZ birlikte kullanılmıştır. TRIZ araçlarından 40 prensip ve çelişki matrisine dayalı yenilikçi tasarım alternatifleri oluşturulmuştur. 40 prensibin kullanıldığı bir başka çalışmada fonksiyon tabanlı bir yaklaşım ortaya konmuştur [27]. Burada 40 prensip ve fonksiyonel temeller [28] ilişkilendirilmekte ve pratik yenilikçi çözüm bulma desteklenmektedir.

Akademik TRIZ çalışmaları genelde özel ve mevcut ürünleri geliştirme amaçlıdır. Bunlarda TRIZ daha çok doğrudan çözüm bulmada kullanılmıştır. Ancak TRIZ'e dayalı sistematiik, yenilikçi, güvenilir ve güçlü bir yaklaşım kaynaklarda rastlanmamıştır. Bunların yanı sıra problem belirleme ve çözüm oluşturmayı da destekleyecek bir yaklaşım geliştirilecektir.

Zihin haritalama yöntemi bireysel veya ekiple uygulanabilir. Genelde hiyerarşik ve rastgele zihin haritası şeklinde kullanılır. Bunlardan rastgele olanlar tasarımcıların yaratıcılık ve problem çözme kabiliyetlerini geliştirebilir [29]. Mühendislik eğitim veya tasarım işleminde zihin haritalama etkili olabilir. Örneğin endüstri mühendisliği uygulamalarına yönelik bir çalışmada [30]; çizgi, kelime ve resimleri birlikte kullanma; en fazla üç renk çeşidi ve ekip çalışmasının daha faydalı olacağı anlaşılmıştır. Benzer bir çalışma da mühendislik tasarım eğitiminde yapılmıştır [31]. Burada çeşitli öğrenci gruplarına küçük tasarım projelerine ait zihin haritaları hazırlanmıştır. Deneyime bağlı öğrencilerin proje yönetim yetenekleri artmış ve daha kaliteli zihin haritaları ortaya çıkmıştır. Son yıllarda bilgisayar ve kroki tabanlı birçok zihin haritalama aracı geliştirilmiştir. Ancak bu sistemler bazı grafik araçlarıyla sınırlıdır ve etkili bir zihin haritası oluşturmada bazen yetersiz kalabilmektedir. Bu sorun için bir grup araştırmacı tablet PC temelli ve kullanıcı merkezli bir sistem geliştirmiştir [32]. Bu sistemle daha yaratıcı ve özgün zihin haritası oluşturma ve düzenleme olasıdır. KT sürecinde zihin haritalama tek başına veya diğer yöntemlerle birlikte kullanılabilir. Böylece tasarım süresi oldukça azalabilir [33]. Örneğin hava araçları üreten bir firma, tasarım süresi 6 yıl olan bir projeyi zihin haritalama ile 6 ayda bitirmiştir [33]. Bir başka araştırmada ise beyin fırtınası, zihin haritalama, analogi ve bilgi temsilinden oluşan bilgi tabanlı bir sistem geliştirilmiştir [34]. Bu sistem web üzerinde uygulanmıştır. Böylece ağ üzerinde disiplinler arası çalışma, önemli ilişkileri giderme, yaratıcı çözümler bulma ve seçme vb. işlemler yapılabilir.

Bu çalışmada KT eksikleri ve yukarıda özetlenen kaynak araştırması doğrultusunda TRIZ ve zihin haritalama yöntemlerinin birlikte kullanılabilmesi, Pahl ve Beitz'in kavramsal tasarım aşamasını temel alan yenilikçi bir kavramsal tasarım işlemi geliştirmek amaçlanmıştır. Burada TRIZ hem problem belirleme hem de problem çözüme bir destek aracı olarak kullanılmıştır. Zihin haritalama ise tasarım sürecini daha kolay anlama, yürütme ve görsel bir çözüm geliştirme ortamı sunmada kullanılmıştır. Makale şu şekilde düzenlenmiştir: Önce TRIZ ve zihin haritalama hakkında genel bilgi verilmiştir. Sonra, TRIZ ve zihin haritalama yönteminin hangi KT adımlarında neden ve nasıl kullanılacağını gösteren bir yöntem açıklanmıştır. Arkasından bu yöntemin uygulanabilirliğini göstermek için basit bir tasarım örneği verilmiştir. Örnekte TRIZ ile kısa sürede yaratıcı çözümlere ulaşılmıştır. Zihin haritalama ile de daha görsel, kolay anlaşılır, bir tasarım süreci yönetilmiştir. Sonuç olarak TRIZ ve zihin haritalama desteği ile KT süreci kısalmış ve daha yenilikçi çözümler elde edilmiştir.

2. ZİHİN HARİTALAMA

Tony Buzan, yaratıcı düşünme ve beyin kodlama işlemine dayanan bu yöntemi 1960'lı yıllarda geliştirmiştir. Burada kelime, resim, sayı, renk, boyut vb. özellikler zihinde kalıcı şekilde ilişkilendirir. Böylece hem mevcut durumu daha iyi kavramayı hem de yaratıcı fikir keşfetmeyi sağlar. Zihin haritalama yöntemi [35]:

1. Genel zihin harita temasını sayfaya yerleştirme,
2. Alt temalar oluşturma,
3. Bunlara uygun anahtar kelime / resim kullanma,
4. Hatırlamayı kolaylaştıracak sembol ve yazılar ekleme,
5. Elemanları ilişkilendirecek görsel destek (renk, ok vb.) kullanma,
6. Yaratıcı açıdan mevcut ilişkileri yeniden düşünme şeklinde olur.

Yaratıcılığı ve kolay anlamayı desteklemesine karşın zihin haritalama yönteminde:

- Sistematik bir yol izlememe ve
- Standart tasarım çıktısı oluşturma, arşivleme ve yeniden kullanma güçlüğü vb. olumsuzluklar vardır.

Zihin haritalama yöntemi KT'yi bazı açılardan kolaylaştırabilir. Örneğin, karmaşık ve soyut KT işlemi daha basit ve görsel temalarla yürütülebilir. Böylece işlem daha somut ve kolay bir hale gelebilir. Ayrıca tasarımcı ve diğer katılımcıların (farklı disiplin, iş sahibi, müşteri vb.) tasarım problemi ve işlemini daha iyi kavramalarını sağlar. Bu durumda da disiplinler arası çalışma ortamı ve olanağı oluşur, tasarım kalitesi yükselebilir.

3. TRIZ

Altshuller, 1946'dan itibaren ileri mühendislik içerikli binlerce patent analiz ederek TRIZ'i geliştirmiştir [16]. TRIZ, uluslararası düzeyde patent bilgi ve tecrübelerine dayalı geliştirildiği için güvenilir ve yaratıcı bir problem çözme metodolojisi olarak kabul edilebilir. Uzun çalışmalar sonucu çeşitli TRIZ araçları ortaya çıkmıştır. Bu araçlar sadece teknik problem çözümünde değil aynı zamanda teknik sistemin yenilik seviyesini yükseltmede, kolay, çabuk ve etkin çözümler araştırma ve geliştirmede de kullanılabilir. Önemli TRIZ araçları şunlardır [16]: *Standart çözümler ve Madde-Alan (sufield) Analizi*, *ARIZ (Yaratıcı Problem Çözme Algoritması)*, *Özel Etikiler (fiziksel, kimyasal vb.) ve 40 Prensiptir. Standart çözümler*, teorik çözümleri sınıflandırmaya dayanır. *Madde-alan analizi*, problemleri bölgedeki iki madde ve arası alanı

(elektrik, mekanik, ısı vb.) analiz ederek problem kaynağını saptar ve standart çözümlerden faydalanarak bu problemlere çözüm arar. *Özel etkiler* fiziksel, kimyasal ve geometrik etkilerden oluşan ve doğrudan somut çözümler sunan bir listedir. *ARIZ*, zor ve karmaşık problemleri çözmeye kullanılan güçlü bir algoritmadır. Bilgi kaynağı olarak ideal problem çerçevesi, özel etkiler ve standart çözümlerden faydalanır.

TRIZ'in genel problem çözme işlemi Şekil 1'de verilen çerçevede olur. İşlem, çözülecek özel teknik bir problemi analizle başlar. Bu işlem çeşitli TRIZ yöntemleriyle yapılır. Bu yöntemler, çelişki analizi, madde-alan analizi ve ideallik yasası olarak üç gruba ayrılır. Bunlar uygulanınca özel teknik problem daha genel bir ifadeye dönüştürülür. Bu genel ifade teknik çelişki, fiziksel çelişki, madde-alan modeli veya ideal problem tarifi olabilir. Genel problem modeline en uygun genel çözüm prensibi veya ifadesi için TRIZ bilgi kaynaklarına başvurulur. Son olarak genel çözüm ifadesinden mevcut teknik probleme uygun özel çözüm ifadesi elde edilir. Bu işleme ait çözüm yeterli oluncaya kadar TRIZ döngüsü devam eder.

TRIZ'in en çok kullanılan ve ilk araçlarından biri 40 prensip ve çelişki matrisidir. Altshuller'in uzun sürede geliştirdiği 40 prensip, standart çözümlere benzemekle birlikte kapsamı daha geniştir. Mekanik çözümler yanında diğer alanlara da uyarlanabilir. 40 prensip Çizelge 1'de verilmiştir. Bu

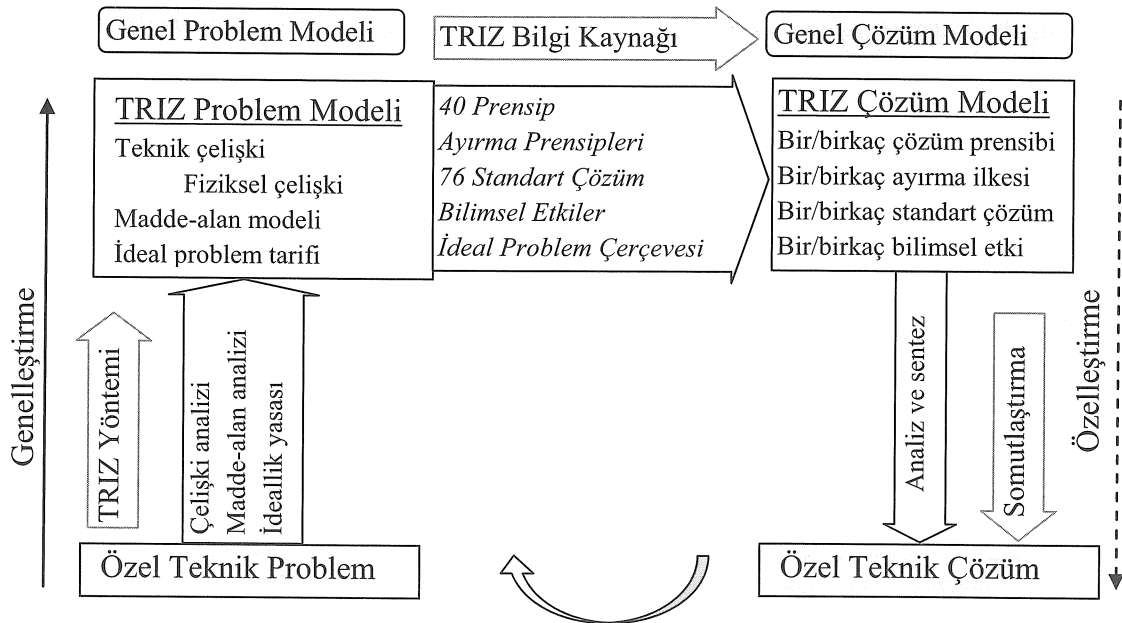
konuda daha ayrıntılı bilgi için [16] nolu kaynağa başvurulabilir.

40 prensip:

- Kolay ve pratik uygulanabilme,
- Diğer TRIZ araçlarına mesnet teşkil etme,
- Sadece mekanik değil elektrik, elektronik, sosyal vb. alana uygulanabilme,
- Problemlere genel yaklaşarak daha geniş çözüm uzayı sağlama gibi açılardan diğer TRIZ araçlarına göre avantajlar sağlamaktadır.

Buna karşın 40 prensip, ayrıntı içeren özel problemlere uygulamada yetersiz kalabilir. Böyle durumlarda madde-alan analizi, ARIZ veya standart çözümler daha etkili olacaktır. KT işleminde TRIZ araçlarından 40 prensibi uygulamanın nedeni:

- Bunun problemlere daha genel yaklaşması ve KT işleminin soyut olması (yani üst düzey bir tasarım işlemi) ve bu nedenle aralarında uyum sağlanabilme,
- Buradaki başlıkların fonksiyon tanımlarına yakın olması ve böylece çözüme daha hızlı gidilebilme,
- Kolay ve pratik uygulanması ile tasarım süresini önemli ölçüde kısaltılabilmektedir.



Şekil 1. TRIZ ile genel problem çözme işlemi

Çizelge 1. TRIZ'de yer alan 40 prensip - [16]

1. Bölme / Parçalara ayırma	2. Ayırma, çıkarma, geri alma	3. Bölgesel kalite	4. Asimetri
5. Birleştirme	6. Çok amaçlılık	7. İç içe geçebilme	8. Ağırlık dengeleme
9. Önlem alma, hataları giderme	10. Ön eylem	11. Önceden güvenilirlik sağlama	12. Eş potansiyellilik
13. Eylemi tersten düşünme	14. Küresellik	15. Dinamiklik	16. Kısmi ve aşırı eylem
17. Yeni bir boyuta taşıma	18. Mekanik titreşim	19. Periyodik eylem	20. Faydalı eylemi sürdürme
21. Eylemi hızlı yapma	22. Zararı faydaya dönüştürme	23. Geri besleme	24. Ara eleman veya nesne kullanma
25. Kendi kendine hizmet	26. Kopyalama	27. İmha edilebilme (kullanıp atma)	28. Mekanik sistem yerine farklı sistem kullanma
29. Pnömatik / hidrolik konstrüksiyon	30. Esnek zar veya ince filmler	31. Gözenekli malzemeler	32. Renk değiştirme
33. Homojenlik	34. Parçaları çıkarma ve tekrar ele alma	35. Özellik dönüşümü (parametre değişikliği)	36. Hal değişimi
37. Isıl genişleme	38. Kuvvetli oksitlendirme / oksijen sağlama	39. Nötr (etkisiz, zararsız) çevre	40. Kompozit malzemeler

4. KAVRAMSAL TASARIMDA ZİHİN HARİTALAMA VE TRIZ KULLANIMI

KT, kapsamlı bir işlemdir ve burada teknik ve ekonomik açıdan önemli çözümler aranır. Bu süreç; problem saptama, fonksiyon oluşturma, çözüm bulma ve değerlendirme şeklinde dört aşamada yapılır. Genelde çözüm değerlendirme öncesi işlemler uzun ve zahmetli olmakta ve böylece endüstri çevrelerinde daha az kabul görmektedir [2]. Bu durumun nedenleri;

- ürünle ilgili problemlerin önceden saptama zorluğu,
- soyut ve sübjektif tekniklerle geniş çözüm uzayında doğru çözümü arama çabaları,
- bulunan çözümlerin yenilik seviyelerinin her zaman istenilen düzeyde olmaması
- bu adımlarda kullanılan nitel yöntem ve tekniklerin ispatının zor olması
- tüm bu soyut işlemlerin zor kavranması ve uygulanması olarak gösterilebilir [14].

Problem saptama, fonksiyon oluşturma ve çözüm bulma adımlarını geliştirmek verimli bir KT süreci için önemlidir. Çünkü burada saptanan yaratıcı problem, fonksiyon ve çözümler ne kadar etkili ise değerlendirme sonu seçilen çözüm de o kadar etkili olacaktır. Ayrıca yineleme sayısı da aynı oranda azalacaktır. Böylece zamandan da tasarruf edilecektir.

Bu çalışmada KT sürecinin geliştirilmesi gereken ilk üç adımı olan problem saptama, fonksiyon oluşturma ve çözüm bulma üzerinde durulmuştur. Çalışmanın genel amacı; yukarıda belirtilen sorunlara TRIZ ve zihin haritalama yöntemlerini birlikte kullanarak çözüm aramaktır. TRIZ ve zihin haritalama yönteminin hangi KT adımlarında kullanılabileceği bir soru ile saptanabilir. Bu soru: "TRIZ ve zihin haritalamanın KT sürecindeki rol ve kapsamı neler olabilir?". Bu soruya cevap bulmak için TRIZ ve zihin haritalama yöntemlerinin kapsam ve sınırlılıkları belirlenmeli, KT sürecindeki rolleri tartışılmalıdır.

TRIZ, bir problem çözme teorisi olarak bilinir. Çeşitli yöntemler ve güçlü patent bilgi tabanından oluşur. TRIZ kullanan bir uzman; problemleri bölgeye yoğunlaşabilir, çözüme ait yaratıcı fikirler edinebilir veya doğrudan hızlı çözümler üretebilir. Ancak bulunan TRIZ çözümleri müşteri, şirket ve ürünün diğer ihtiyaçlarını her zaman optimum şekilde karşılayamayabilir. Bu durumda TRIZ çözümlerini değerlendirecek bağımsız araçlara (seçim kartı, değerlendirme tablosu, değer analizi vb.) ihtiyaç duyulacaktır. Değerlendirme sonunda yetersiz bulunan TRIZ çözümleri yeniden geliştirilir ve değerlendirilir. Bu döngü sonunda amaca uygun çözüm bulma olasılığı artacaktır. Başka bir açıdan bakılırsa KT süreci sonucu elde edilen çözümlerin

TRIZ ile değerlendirilmesi etkili olmayabilir. Çünkü TRIZ çözüm değerlendirme değil problem çözme odaklı bir yaklaşımı takip etmektedir. Bir çözüm değerlendirme aracı, bağımsız ve değişken ihtiyaçları (iş, müşteri, ürün yaşam döngüsü ihtiyaçları vb.) dikkate alarak çalışmaktadır. TRIZ ise patent bilgisine bağlı kalır ve sabit prensiplerden oluşmaktadır. Sonuç olarak TRIZ, tasarım faaliyetinde sadece problemleri saptama ve çözmeye önemli katkılar sunabilir, çözüm değerlendirmede ise yetersiz kalabilir.

Zihin haritalama yöntemi herhangi bir problemi veya konuyu kavrama, analiz etme ve öğrenmede önemli katkılar sağlamaktadır. Model olarak insan düşünce sistemini örnek alır. Yazı, resim, ok ve bunların çeşitli şekilleriyle anlamsal ağlar kurarak insanların konuyu daha iyi kavraması, kapsamlı ve yaratıcı yaklaşmasını sağlar. Böylece zihin haritalama, KT sürecini yönetmede etkin bir şekilde kullanılabilir. Özellikle tasarım görevine uygun problem saptama, fonksiyonlar oluşturma, çözümler araştırma adımları ve bunla arası ilişkiler görsel zihin haritalarıyla desteklendiğinde tasarımcıya pek çok fayda sağlayabilir. Ancak zihin haritalama değerlendirme adımında kullanıldığında detaylı bir karar işlemi yapılamaz. Çünkü bir tasarım çözümünü değerlendirmek için çok fazla ölçüt gerekir. Bu ölçütlerle zihin haritalarının birlikte kullanımı karmaşık bir yapı oluşturabilir. Böyle bir yapı ise diğer değerlendirme araçlarına nazaran önemli bir üstünlük içermeyebilir.

TRIZ ve zihin haritalama ile KT'ye ait sorunların önemli bir kısmı giderilebilir. Bu sorunlar ve bunları çözmeye kullanılacak yöntemler aşağıda verilmiştir:

1. Problemleri önceden saptama - TRIZ (problem bulucu)
2. Yenilikçi çözümlere kısa sürede ulaşma - TRIZ (problem çözücü)
3. Tasarım sürecini kolay ve etkin yönetme - Zihin haritalama (görsel temsil edici)

Sistematiğin tasarımındaki KT işlem adımları ve bu işlemi geliştirmede kullanılan yöntemlerle ilişkili adımlar, Şekil 2'de gösterilmiştir. Buradaki iki adıma doğrudan TRIZ uygulanmıştır. Bunlar: önemli

problemleri belirleme ve alt fonksiyonlara çözüm arama adımlarıdır. Zihin haritalama ise problem, alt fonksiyon ve çözümlerin grafiksel temsiline kullanılmıştır.

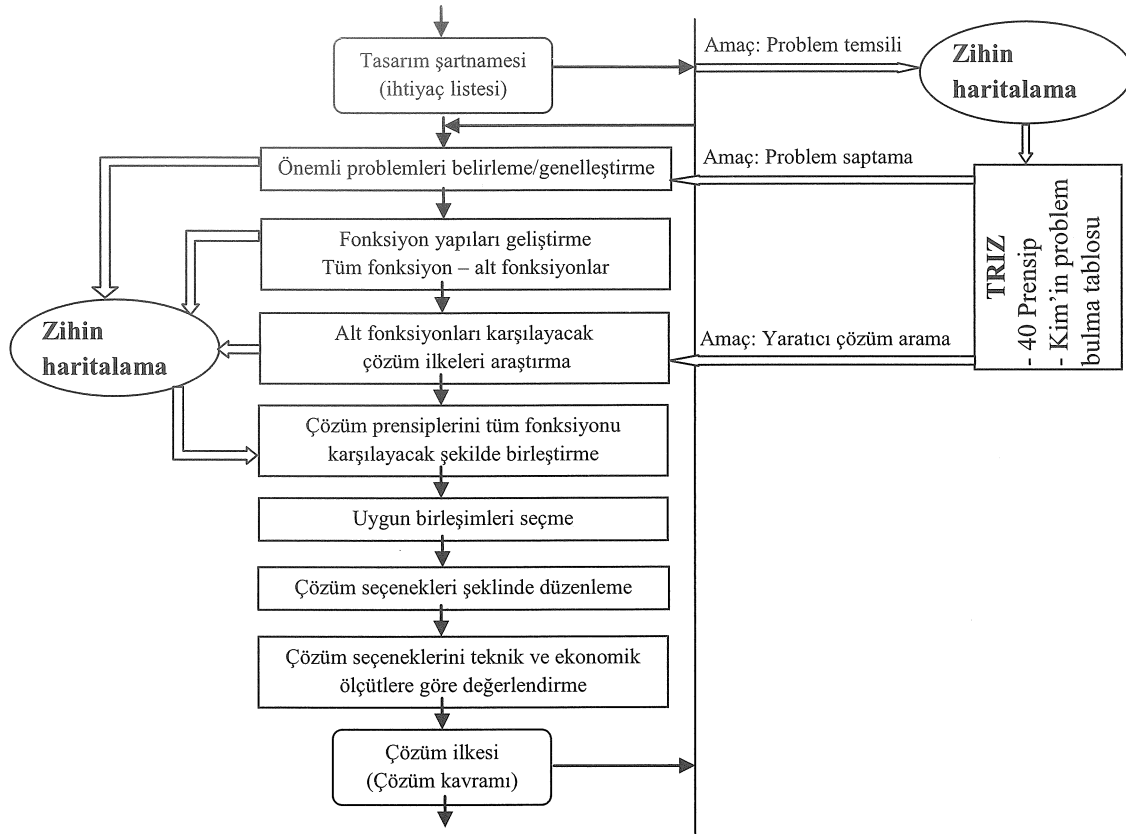
KT'nin değerlendirme adımı bu çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Çünkü:

- Değerlendirme işlemi üzerine yapılan araştırmalar tatminkâr bir düzeydedir.
- KT sorunları genelde değerlendirme öncesi oluşur.
- TRIZ ve zihin haritalama yöntemleri değerlendirmeye önemli katkı sağlayamayabilir.
- Tasarımcı yaratıcılık yeteneğini artırma genelde değerlendirme öncesi olabilir.

TRIZ ve zihin haritalama yöntemi ile geliştirilen yeni KT sürecinde değerlendirme aşamasına kadar olan işlem sırası şöyle olabilir:

1. Tasarım şartnamesindeki ihtiyaçları kapsayan genel problem başlıkları belirlenir.
2. Problem başlıklarından hareketle TRIZ ile daha detaylı problem tanımı yapılır (Çizelge 2'de verilen Kim'in [22] problem bulma çizelgesi kullanılır).
3. Problem başlıklarına uygun alt fonksiyonlar oluşturulur.
4. Alt fonksiyonlara TRIZ ile yaratıcı çözümler aranır (40 prensip kullanılır).
5. Bu çözümlerin yaratıcı problemleri karşılayıp karşılamadığını kontrol edilir.
6. Tüm bu işlemleri zihin haritalarıyla görselleştirilir.

Buraya kadar hızlı, yenilikçi ve yaratıcı bir kavramsal tasarım işleminin nasıl olabileceğine ait teorik analiz ve sentez yapılmıştır. Bu teorik çerçevenin uygulanabilirliği bir örnek tasarımla gösterilebilir. Böylece işlem somut bir şekilde anlaşılabilir. Burada basit bir örneğin seçilmesi daha faydalı olabilir ve bu yüzden delgeç seçilmiştir. Mevcut bir delgeç tasarımının yeni KT çerçevesi ile nasıl geliştirildiği sonraki bölümde ayrıntılı olarak gösterilecektir.



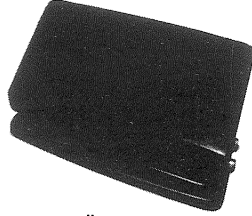
Şekil 2. KT işlemini [6] TRIZ ve Zihin haritalama yöntemleri ile destekleme

Çizelge 2. Kim'in problem bulma çizelgesi [22]

40 Prensip	Problem çözme yöntemi	Problem bulma kuralı
1, 2, 3	Böl/ayırıştır	Bölünmeme
5,6	Bölme/birleştir	Bölünme
7, 17, 9, 10, 11	Kaynak bul	Kaynak eksikliği
16, 21, 27, 34, 18, 28, 29, 34, 35, 36, 37, 38, 39	Verimliliği artır	Düşük verimlilik
15, 29, 30, 31	Dinamiklik veya esneklik sağla	Katı veya durağan
23	Geri bildirim artır	Yetersiz geri bildirim
23, 25	Kontrolü artır	Yetersiz kontrol
26, 32	Ölçümü artır	Yetersiz ölçüm
33	Homojenlik sağla	Farklı yapı
14, 15, 29, 30, 31, 40	Dayanımı artır	Yetersiz dayanım
21, 22	Zararı ortadan kaldır	Zararlı
24, 26	Dolaylı kullanım	Doğrudan kullanım
12, 13, 19, 20	Koşulu değiştir	Farklı koşul
4, 8	Asimetri, simetri	Denge, dengesizlik
1, 8, 25, 28, 29, 30, 31, 40	Ağırlığı azalt	Ağırlık

5. ÖRNEK ÇALIŞMA: DELGEÇ KAVRAMSAL TASARIMI

Delgeç, standart delik çapı ve aralık mesafesine göre kâğıt destesini (A4, A5 vb.) insan kuvvetiyle delen basit bir sistemdir. Ofislerde sıkça kullanılan örnek bir delgeç, Şekil 3'te gösterilmiştir. Burada amaç, mevcut bir delgeç sistemini yenilikçi açıdan tekrar geliştirerek özgünlük düzeyini yükseltme ve böylece bu yeni yaklaşımın faydalarını göstermektir.



Şekil 3. Örnek bir delgeç

Yenilikçi bakış açısıyla ideal bir delgeç tanımlamak gerektiğinde; "en az insan gücü kullanan, en az yer kaplayan, ergonomik, en ucuz, en hafif bir delgeç" tanımı yapılabilir.

5.1. Genel Problemleri Belirleme ve TRIZ ile Yaratıcı Çözümler Bulma

Delgeçe ait varsayılan genel problem tanımları ve ilgili problem başlıkları aşağıdaki olabilir.

- Kâğıt destesi en az insan kuvvetiyle delinmeli (kuvvet)
- En az 70 sayfayı bir defada delinmeli (kapasite)

- Delme işlemi öncesi kâğıt destesi kolaylıkla ortalanmalı (hizalama)
- Delme işlemi sonrası iz, çapak, katlanma olmamalı (iz, çapak)
- Kâğıt atıkları etrafa dağılmamalı ve kâğıt haznesi tam kapasite dolmalı (atıklar)

Genel problem tanımları artırılabilir ya da geliştirilebilir. Burada genel problem tanımları, beş ana problem başlığında (kuvvet, kapasite, hizalama, iz-çapak ve atıklar) toplanabilir. Bundan sonraki süreçte TRIZ kullanılarak çözüme yönelik yaratıcı problem veya çözüm tanımları aranır. Yaratıcı çözüm tanımları fonksiyonlara çözüm aramada tasarımcıyı doğrudan çözüme odaklamayı amaçlar. Böylece çözümlere hızlı bir şekilde ulaşılabilecektir. Kim'in problem bulma çizelgesine [22] göre delgeçe ait problem/çözüm bulma süreci Şekil 4'te verilmiştir.

Çözüm tanımı aranırken önce genel problem başlığına uygun problem kuralı aranır. Örneğin "hizalama" ve "iz" başlıklarına en uygun problem bulma kuralı "kaynak eksikliği" olabilir. Çünkü kaynak eksikliği, problemin olduğu noktadaki eksiklik veya olumsuzlukları yeni kaynaklarla önleme amaçlı bir kuraldır. Çizelgeye göre kaynak eksikliği kuralına göre "kaynak bul" çözümüne 7, 17, 9, 10, 11 nolu TRIZ prensipleri önerilir. Bunlardan 10. prensip seçilmiştir. Seçim yapılırken her TRIZ prensibinin çözülecek probleme uygunluğu tartışılır ve probleme en yakın olan prensip seçilir. Analiz ve seçim işlemi uzmanın TRIZ bilgi ve tecrübesine göre değişebilir.

40 Prensip	Problem çözme yöntemi	Problem bulma kuralı	
1, 2, 3	Böl/ayırıştır	Bölünmeme	
5,6	Bölme/birleştir	Bölünme	
7, 17, 9, 10, 11	Kaynak bul	Kaynak eksikliği	← Hizalama ve iz
16, 21, 27, 34, 18, 28, 29, 34, 35, 36, 37, 38, 39	Verimliliği artır	Düşük verimlilik	← Kapasite, iz ve çapak
15, 29, 30, 31	Dinamiklik veya esneklik sağla	Katı veya durağan	← Kuvvet
23	Geri bildirim artır	Yetersiz geri bildirim	
23, 25	Kontrolü artır	Yetersiz kontrol	
26, 32	Ölçümü artır	Yetersiz ölçüm	
33	Homojenlik sağla	Farklı yapı	
14, 15, 29, 30, 31, 40	Dayanımı artır	Yetersiz dayanım	
21, 22	Zararı ortadan kaldır	Zararlı	
24, 26	Dolaylı kullanım	Doğrudan kullanım	
12, 13, 19, 20	Koşulu değiştir	Farklı koşul	
4, 8	Asimetri, simetri	Denge, dengesizlik	← Atıklar
1, 8, 25, 28, 29, 30, 31, 40	Ağırlığı azalt	Ağırlık	

Şekil 4. Kim'in problem bulma çizelgesine [22] göre delgeçe yaratıcı problemler saptama

Aşağıda hizalama ve iz problemlerine 10. prensibe göre problem/çözüm tanımları yapılmıştır. Daha sonra diğer problem başlıklarında da aynı yolla TRIZ çözüm tanımları aranmıştır.

1) Hizalama ve iz problemlerine 10. prensibe göre çözüm arama:

10. Prensipten: Ön eylem

A- Bir nesneye, gerekli değişiklikleri tamamen veya kısmen önceden uygulamak.

B- En uygun konum ve hızda faaliyete geçecek şekilde nesnelere önceden yerleştirmek.

10. prensibe göre hizalama ve iz problemlerine en uygun çözüm tanımı şöyle yapılabilir: “Kâğıt destesi delinmeden önce kolay bir şekilde ortalanmalı ve deste sabitlenmelidir”. Böylece hızlı ve sarsıntısız bir delme işlemi yapılabilir. Kâğıtlarda daha az iz görülebilir.

2) Kapasite ve çapak problemlerine 16. ve 21. prensiplere göre çözüm arama:

16. Prensipten: Kısmi veya aşırı eylem

A- Arzulanan etkiye %100 ulaşmak zorsa bu etkiyi daha az veya fazla uygulamak.

16. prensip incelendiğinde kapasite problemlerine en uygun çözüm tanımı şöyle olabilir: “Kâğıt destesini delme işleminde yüksek kuvvete ihtiyaç vardır”. Yüksek kuvvet uygulayarak daha çok kâğıt delinebilir.

21. Eylemi hızlı yapma

A- Zararlı ve tehlikeli işlemleri çok yüksek hızlarda yapmak.

21. prensibe göre çapak problemlerine en uygun çözüm tanımı şöyle yapılabilir: “Delme işlemi hızlı yapılmalıdır”. Böylece çapakların delinmiş kâğıt üzerinde kalma ihtimali azalabilir.

3) Kuvvet problemlerine 15. prensibe göre çözüm arama:

15. Dinamiklik

A- Bir nesnenin veya dış ortamın karakteristikleri, operasyonun her aşamasında optimal performans sağlayacak şekilde değiştirilmelidir.

B- Nesne hareketli değilse hareketli veya tam tersi yapılmalıdır. Böylece değiştirilebilir hareket sağlanmalıdır.

C- Nesneyi, birbirine bağlı olarak pozisyonları değiştirebilen elemanlara ayırmak.

15. prensibe göre kuvvet problemlerine en uygun çözüm tanımı şöyle olabilir: “Kol mekanizması, en az insan kuvvetiyle en çok basma kuvveti oluşturabilmelidir”. Az insan kuvvetiyle daha çok kuvvet üretmede moment mesafesini uzatmak ilk akla gelen çözümdür.

4) Atık problemlerine 4. prensibe göre çözüm arama:

4. Asimetri

A- Simetrik biçimleri asimetrik biçimlerle değiştirmek.

B- Eğer bir nesne asimetrik ise asimetri derecesini artırmak.

4. prensibe göre atık problemlerine en uygun çözüm tanımı şöyle yapılabilir: “Atık haznesi kâğıt atıkların kayabileceği asimetrik eğimli bir yüzey içermelidir”. Bu yüzey sayesinde atıklar kolayca kayar ve hazne tamamen doluncaya kadar sistem tıkanmadan çalışabilir.

Çözüm ararken; eşleştirilen problem kuralları, TRIZ prensiplerinin seçimi ve çözüm tanımları tasarımcının tecrübesine göre değişebilir. Burada bulunan çözüm tanımları geliştirilebilir esnekliğine sahiptir. Yukarıda genel problem başlıklarına uygun 5 ayrı yaratıcı çözüm tanımı yapılmıştır. Bunlar aşağıda P1, P2, Pn şeklinde ifade edilebilir.

P1 Kâğıt destesi delinmeden önce kolay bir şekilde ortalanmalı ve deste sabitlenmelidir.

P2 Kâğıt destesini delme işleminde yüksek kuvvete ihtiyaç vardır.

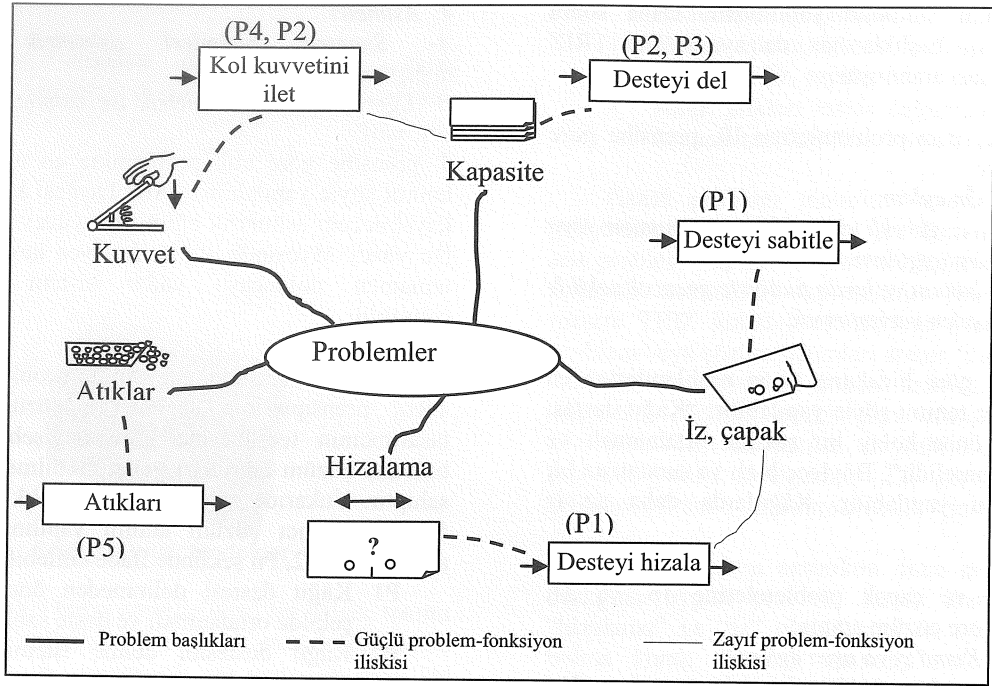
P3 Delme işlemi hızlı bir şekilde gerçekleştirilmelidir.

P4 Kol mekanizması, en az insan kuvvetiyle en çok basma kuvveti oluşturabilmelidir.

P5 Atık haznesi kâğıt atıklarının kayabileceği eğimli asimetrik bir yüzey içermelidir.

5.2. Problem Başlık, Çözüm Tanım ve Alt Fonksiyonları Zihin Haritasıyla Gösterme

Yaratıcı çözüm tanımları yapıldıktan sonra alt fonksiyonlar belirlenmelidir. Alt fonksiyonları belirlemede genel problemlerden faydalanılabilir. Tasarım sistemine ait temel problemlere dayalı alt fonksiyonlarla oluşturulan bir sistem daha yenilikçi ve çözüm odaklı olacaktır. Delgeç örneğinde alt fonksiyonlar genel problem başlıklarıyla ilişkilendirilerek belirlenmiştir. Delgeçe ait alt fonksiyonlar, ilişkili oldukları genel problem başlıkları ve yaratıcı çözüm tanımları, Şekil 5’te zihin haritasıyla gösterilmiştir. Örneğin, “kol kuvvetini ilet” fonksiyonu “kuvvet” problemini doğrudan, “kapasite” problemini ise dolaylı karşılamaktadır. Öte yandan “kol kuvvetini ilet” fonksiyonu, P4, P2 nolu çözüm tanımlarını da içermektedir. Özellikle çözüm tanımları doğrudan TRIZ çözümlerine işaret ettiği için alt fonksiyonlara çözüm arama adımında önemli kolaylıklar sağlayabilir. Diğer taraftan zihin haritasıyla KT adımlarını birbiriyle ilişkilendirmek yapılan tasarım faaliyetini daha iyi kavramayı sağlayacaktır.



Şekil 5. Problemler ve fonksiyonlar arası ilişkinin zihin haritası

5.3. Alt fonksiyonlara TRIZ ile Çözüm Arama ve Zihin Haritası ile Gösterme

Sıradaki işlem alt fonksiyonları karşılayan çözümleri bulmaktır. Burada çözüm bulma aracı olarak TRIZ'in 40 prensibi kullanılmıştır. Her fonksiyon için tüm prensipler tamamen taranmış, içlerinden uygunları seçilmiş ve en uygun prensiplere göre düşünülen çözüm kroki olarak çizilmiştir. Delgeç alt fonksiyonlarına bulunan çözümler Şekil 6'da zihin haritası ile gösterilmiştir. Burada çözümler krokiler halinde çizilmiştir. Ayrıca çözümlerin hangi TRIZ prensiplerine göre tasarlandığı belirtilmiştir.

Örnek olarak "desteyi hizala" alt fonksiyonuna çözümlerin TRIZ prensiplerine göre nasıl belirlendiği aşağıda açıklanmıştır.

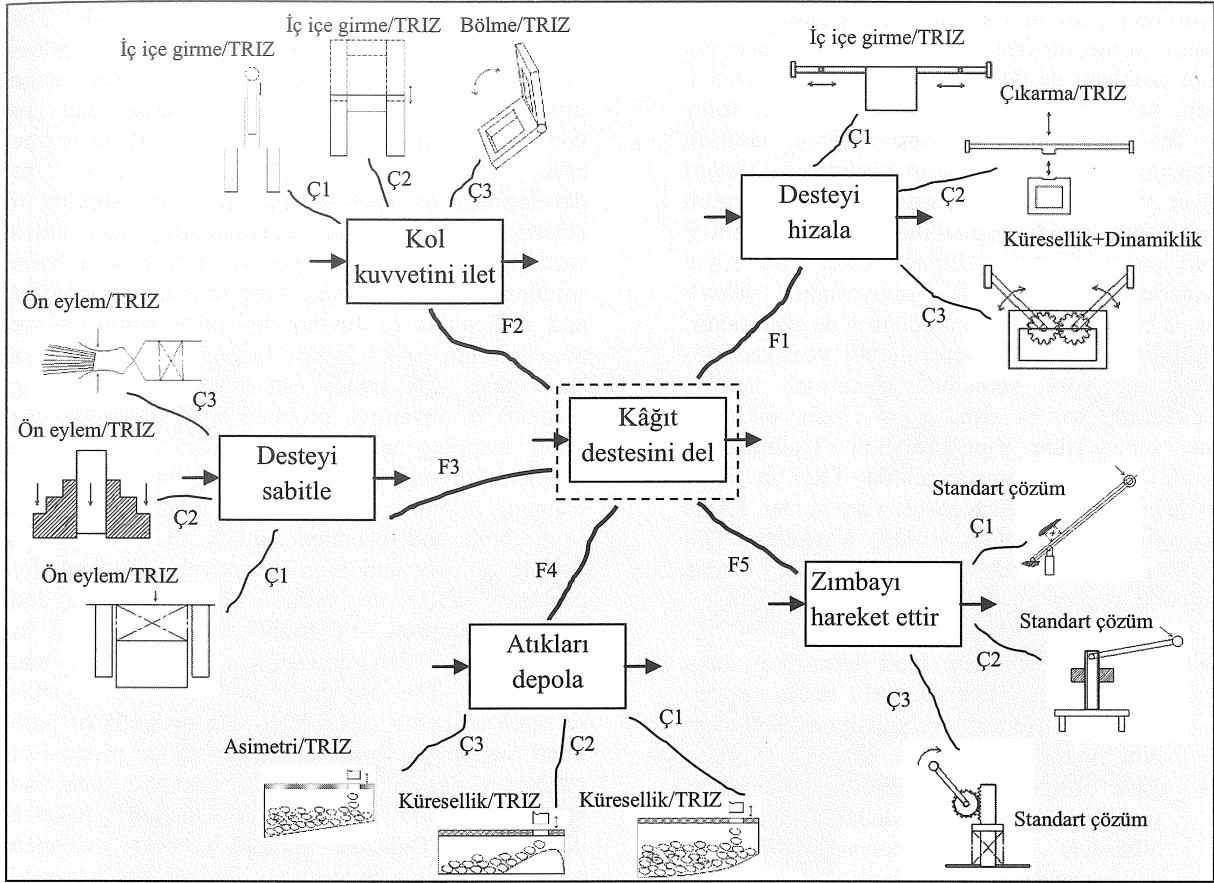
Çözüme ulaşmak için 40 prensibin tamamı ayrı ayrı incelenmiştir. İnceleme sonucunda dört prensibe dayalı üç çözüm alternatifi belirlenmiştir. Çözümlerden ikisi tek prensibe, birisi iki prensibe dayanır. Bu prensipler: *İç içe geçebilme*, *çıkarma*, *küresellik+dinamiklik* olabilir. Bu sayı artırılabilir ve birden fazla prensipten tek çözüm üretilebilir. Çözüm alternatifleri olarak:

- 1. çözümde, *iç içe geçme* prensibiyle iç içe girebilen ve uzayıp kısalabilen bir kâğıt ortalama çubuk veya mekanizması düşünülmüştür. Bu mekanizma A4, A5

veya standart olmayan değişken boyutlu kâğıtları bile ortalayabilir. Ayrıca kullanılmadığı zamanlarda küçültülerek sistemin daha az yer kaplaması sağlanır.

- 2. çözümde, çıkarma prensibiyle çıkarıp takılabilen bir kâğıt ortalama çubuğu düşünülmüştür. Kullanılmazsa, çıkarılır ve sistemin daha az yer kaplaması sağlanır.
- 3. çözümde, *küresellik* ve *dinamiklik* prensipleri birleştirilmiştir. Burada bir çark çiftine kollar bağlanmıştır. Bir kol döndüğünde diğeri de ters yönde döner ve kollar arası mesafe azalır artar. Böylece kâğıtlar kolayca ortalayabilir. Burada dönme hareketi *küresellik*, kolların birlikte hareketi *dinamiklik* prensibiyle açıklanabilir.

Diğer alt fonksiyonların çözümlerinde de aynı yol takip edilmiştir. Her alt fonksiyona en az üç çözüm bulunmuştur. Bu çözümler çoğaltılabilir veya geliştirilebilir niteliktedir. Burada her alt fonksiyon F1, F2, Fn; her çözüm ise Ç1, Ç2, Çn şeklinde gösterildiğinde 1. alt fonksiyonun 1. çözümü F1.Ç1 olarak ifade edilebilir. Bu tür kodlama türü özellikle bilgisayar destekli kavramsal tasarım çalışmalarında faydalı olabilir.



Şekil 6. Delgeç alt fonksiyonlarına ait çözümler ve zihin haritası ile gösterimi

Çözümlerin bir araya getirilmesiyle delgeç sistemi oluşturulacaktır. Örneğin F3.Ç1, F1.Ç1, F2.Ç3, F5.Ç3, F4.Ç1 örnek bir çözümler birleşimine ait sistemin katı modeli Şekil 7'de gösterilmiştir. Burada delgeç sistemi tam ve düşük kapasite çalışma halleriyle gösterilmiştir. Sonuç olarak yaratıcı problem çözme teknikleriyle yürütülen bir KT süreciyle:

- Basit bir tasarımda bile patent düzeyinde çözümlere hızlı ulaşılabildiği,
- Tasarım sürecinin kolay ve anlaşılır şekilde yönetilebildiği,
- Böylece tasarım süresinin kısaltılabildiği görülmüştür.

Kavramsal tasarım çözümleri nihai çözüm olmayıp tasarımcıyı kesin çözüme götürmeyi amaçlar. Burada bulunan çözümler, tasarım çözümüne ait ilke ve strateji kapsamlı fikirlerdir. Bu soyut ve düşünsel bulgular sonraki tasarım

aşamalarını etkiler ve yönlendirirler. Kavramsal çözümlerin isabet ve yaratıcılık düzeyine bağlı olarak ileri aşamalarda olası işlem döngüleri azalacaktır. Dolayısı ile kavramsal aşamada elde edilen bulgular tüm tasarım çözümleri üzerinde hayati bir yer ve öneme sahiptir.

6. SONUÇ

Kavramsal tasarım, mühendislik tasarım sürecindeki en önemli aşamalardan biridir. Çünkü burada belirlenen fikir ve kavramlar sonraki işlemler yanında ürünün kalitesini de doğrudan etkiler. Bu nedenle son yıllarda bu alanda yoğun araştırma çalışmaları yapılmıştır. Ancak, uzun işlem ve fikir bulma süresi, zor tasarım yönetimi ve hayati önemine rağmen endüstride rağbet görmemesi, çözümü gerekli konular arasındadır. Bu araştırma kapsamında bu tür sorunlar çözülmeye çalışılmış, bu amaçla zihin haritalama ve TRIZ yöntemleri kullanılmıştır. Burada Sistemik Tasarım yaklaşımındaki kavramsal tasarım işlemi esas alınmış ve diğer tekniklerle

birleştirilerek yeni bir yöntem elde edilmiştir. Ayrıca bu yeni yöntemin nasıl uygulanacağı örnek bir tasarım problemi ile de gösterilmiştir. İşlem sonucu; portatif, kolay kullanılan, yüksek kapasitede, kolay imal ve monte edilebilir bir delgeç tasarımı yapılmıştır. Bu tasarımın kesin performans testleri (malîyet, verim vb.) ancak şekillendirme ve ayrıntılı tasarım aşamalarında yapılabilir. Çünkü kavramsal tasarım sadece soyut çözümler sunar. Bu soyut çözümlerin mükemmellik seviyesinin yüksek olmasına bağlı olarak tasarım döngüsü de azalacaktır. Bu durum da genel maliyete olumlu yansıtacaktır. Böylece bu yeni yöntemle kavramsal tasarım problemlerini çözmek daha kolay, hızlı, etkin ve yaratıcı bir şekilde yapılabilecektir. Önümüzdeki dönemde yapılacak araştırmalarda TRIZ'in diğer araçlarla kullanımı incelenecektir. Yani bunlar; Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD), Birleşik Modelleme Dili (UML) ve Sistem Modelleme Dili (SysML) olarak belirtilebilir. Ayrıca bu alanda:

- Yenilikçi KT işlem modellerini yeni bilgi teknolojileri (semantik web, metin ve veri çıkarımı, kaos teori ve gelişim algoritmaları gibi) ile bütünleştirme ve
- Yeni bilgi teknolojileriyle bütünleşmiş yenilikçi KT işlem modellerini uygulayan bilgisayar destekli inovasyon araçları geliştirme de ele alınabilir.

THE USE OF MIND MAPPING AND TRIZ IN CONCEPTUAL DESIGN

The systematic design is an approach of engineering design which is the most known and used by all authorities. The design process here progress as the determination of requirements, conceptual

design, designs of embodiment and detail. The conceptual design is the most important stage in this process. Solutions obtained during this stage influence the whole design process and so considerably the costs of products. It involves: the establishment of fundamental problems, the development of function structures, the searching of solution principles, and the combining them into a working structure. The process ends with a basic solution (concept). Taking long time of this process and difficulties in finding inventive solutions are among major issues in this field. Theoretical works show that such issues can be tackled by using methods of inventive problem solving and so the mind mapping and TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving) are chosen among them. The mind mapping provides retaining knowledge permanently in the brain and inventive thinking. It also supports finding quickly and high inventively solutions for problems. TRIZ provides creative, inventive and original solutions for problems. Therefore it is possible to obtain design solutions quickly and inventively. The approach developed during this research makes it possible to use methods of both mind mapping and TRIZ together in the process of conceptual design. Here TRIZ is used as a finder and solver of problems while the mind mapping makes a design easier. Thus, the approach has been developed to support finding conceptual solutions which should be obtained in a short time and have a high inventive level. The approach has been applied in the design of a simple punch and found a very good and original solution.

Keywords: Conceptual design, TRIZ, Innovative design, Mind mapping.



Şekil 7. Örnek bir delgeç tasarım birleşimine ait katı modeller

6. KAYNAKLAR

- 1- Maria C. Yang, "Design Methods, Tools, and Outcome Measures: A Survey of Practitioners", ASME Conf. Proc. (2007), 217.
- 2- Birkhofer, H., "The Future of Design Methodology", London, UK: Springer; 1st Edition, (2011), p. 1-314.
- 3- T. Tomiyama, P. Gu, Y. Jin, D. Lutters, Ch. Kind, F. Kimura, Design methodologies: Industrial and educational applications, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 58(2) (2009), 543-565.
- 4- Xu, C., Computational Foundations For Computer Aided Conceptual Design of Multiple Interaction-State Mechatronic Devices, Doctoral Dissertation, USA, 2005.
- 5- Kurtoglu, T. , Tumer, I., Y. and Jensen, D., C., A functional failure reasoning methodology for evaluation of conceptual system architectures, Research in Eng. Design, 21(4) (2010), 209-234.
- 6- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. and Grote, K. H., Engineering Design – A Systematic Approach, Springer Verlag, 3. Baskı, London, UK , 2007.
- 7- Chong, Y., T., Chen, C.-H. and LeongRes , K.F., A heuristic-based approach to conceptual design, Research in Engineering Design, 20 (2009), 97–116.
- 8- Li, W., Li, Y., Wang, J. and Liu, X., The process model to aid innovation of products conceptual design, Expert Systems with Applications, 37 (2010), 3574–3587.
- 9- Chang, X., Sahin, A. and Terpenney, J., An ontology-based support for product conceptual design", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 24 (2008), 755–762.
- 10- Malak, R., Aughenbaugh J., M. and Paredis C., Multi-attribute utility analysis in set-based conceptual design, Computer-Aided Design, 41 (2009), 214-227.
- 11- Christophe, F., Bernard, A. and Coatanéa, É., RFBS: A model for knowledge representation of conceptual design, CIRP Annals – Manufacturing Technology, 59 (2010), 155–158.
- 12- Zhang, Z. and Chu, X., A new approach for conceptual design of product and maintenance, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 23: 7 (2010), 603 - 618.
- 13- Uflacker M. and Zeier, A., A semantic network approach to analyzing virtual team interactions in the early stages of conceptual design, Future Generation Com. Systems, 27 (2011), 88-99.
- 14- Badke-Schaub, P., Daalhuizen, J. and Roozenburg, N., "Towards a Designer-Centred Methodology: Descriptive Considerations and Prescriptive Reflections", In: The Future of Design Methodology book. ed. / Herbert Birkhofer. London, UK: Springer, (2011), 177-196.
- 15- Nakagawa, T., "Creative Problem-Solving Methodologies TRIZ/USIT: Overview of My 14 Years in Research, Education, and Promotion", The Bulletin of the Cultural and Natural Sciences, Osaka Gakuin University, 64 (2012), 1-5.
- 16- Genrich Altshuller, TRIZ keys to technical innovation, Technical Innovation Center, INC. WORCESTER, MA, 2005.
- 17- Kucharavy, D., Theoretical Grounding and Principles of TRIZ, INSA, Laboratory of Engineering Design, Graduate School of Science and Technology, Strasbourg, 2006.
- 18- Changqing, G., Creative conceptual design ideas can be gotten with TRIZ methodology, Proc. of the TRIZ Conference, School of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan, 2005.
- 19- Rantanen, K. and Domb, E., Simplified TRIZ: new problem-solving applications for engineers & manufacturing professionals, CRC Press, USA, (2002), 7-8.
- 20- Fresner, J., Jantschgi, J., Birkel, S., Barnthaler, J. and Krenn, C., The theory of inventive problem solving (TRIZ) as option generation tool within cleaner production projects, Journal of Cleaner Production, 18 (2010), 128–136.
- 21- Butdee, S. and Vignat, F., TRIZ method for light weight bus body structure design, Journal of achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 2, 31 (2008), 456-462.
- 22- Kim, I., 40 Principles as a Problem Finder, Technical Report, Korea, 2004.
- 23- Prickett, P. and Aparicio, I., The development of a modified TRIZ Technical System ontology, Computers in Industry, 63 (2012), 252–264.
- 24- Vezzetti, E., Moos, S., and Kretli, S., A product lifecycle management methodology for supporting knowledge reuse in the consumer packaged goods domain, Computer-Aided Design, 43 (2011), 1902–1911.
- 25- Li, Z., Tate, D., Lane, C. and Adams, C., A framework for automatic TRIZ level of invention estimation of patents using natural language processing, knowledge-transfer and patent citation metrics, Computer-Aided Design, 44 (2012), 987–1010.

- 26- Li, Te-S. and Huang, H.-H. Applying TRIZ and Fuzzy AHP to develop innovative design for automated manufacturing systems, *Expert Systems with Applications*, 36 (2009) 8302-8312.
- 27- Nix A., A., Sherrett B. and Stone R.B., A Function Based Approach to TRIZ, *ASME Conf. Proc.*, (2011), 285.
- 28- Hirtz, J. et al., A Functional Basis for Engineering Design: Reconciling and Evolving Previous Efforts, *Research in Engineering Design*, 13(2) (2002), 65-82.
- 29- Kokotovich, V., Problem analysis and thinking tools: an empirical study of non-hierarchical mind mapping, *Design Studies*, 29 (2008), 49-69.
- 30- Lin, C.-C. and Shih, D.-H., "Mind Mapping: A Creative Development in Industrial Engineering Education", *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 2009. *WiCom '09*, 5th International Conference on, vol., no., pp.1-4, 24-26 Sept. 2009.
- 31- Eggermont, M., Brennan, R. and Freiheit, T., "Improving A Capstone Design Course Through Mindmapping, *Advances in Engineering Education*", Volume 2, Number 1, Spring 2010.
- 32- Chik, V., Plimmer, B. and Hosking, J., "Intelligent mind-mapping", In *Proc. of the 19th Australasian conf. on Computer-Human Interaction: Entertaining User Interfaces (OZCHI '07)*. ACM, New York, NY, USA, (2007), 195-198.
- 33- Chen J., "The using of mind map in concept design", *Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design, CAID/CD 2008*, 9th Int. Conf. on, vol., no., 1034-1037 (2008), 22-25.
- 34- Salah F. and Abdalla, H., "A knowledge-based system for enhancing conceptual design", *Int. J. Computer Applications in Technology*, Vol. 40, 23-36 (2011), Nos. 1/2.
- 35- Buzan, T., *The Mindmap Book*, BBC Books, London, 1993.

Emre Şahin
Mak. Yük. Müh.
Makina Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Ankara

Bilgin Kaftanoğlu
Prof.
Üretim 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.
Punto Mühendislik
ODTÜ Teknokent
Ankara

Endüstriyel Tip Elektro-Hidrolik Vakumlu Süpürücünün Temizleme Sistemi tasarımı, İmalatı ve Deneylerinin Yapılması

Bu makalede, endüstriyel tip vakumlu süpürücü aracının tasarımı, analizi ve imalatı sunulmaktadır. Bu proje, T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ve Müsan A.Ş. (Makina Üretim Sanayi ve Ticaret A.Ş.) tarafından desteklenmektedir. Amaç, elektrikle çalışan, sağlıklı (sıfır emisyon ve gürültüsüz) ve çevre dostu bir aracın, üç boyutlu modelleme tekniği kullanılarak yeniden tasarlanması ve üretilmesidir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) ve sonlu elemanlar analizleri yapılarak tasarım geliştirilmiştir

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. Geliştirilen fanların performans karakteristiklerinin belirlenmesi için deney düzenekleri kurulmuş ve optimum sonuçlar elde etmek amacıyla deneyler yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Vakumlu Süpürücü, akışkan dinamiği, tasarım, imalat

1. GİRİŞ

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

Çevre dostu olan ve etkin bir temizleme sistemine sahip bir süpürücü tasarımı ve üretimi öncelikli amaçtır. Tasarım çalışmalarında Catia V5 ve SolidWorks 2009 yazılımlarından yararlanılmıştır. SAN-TEZ projesi kapsamında, bütün CFD çözümlerinde Punto Mühendislik'ten yardım alınmıştır. SAN-TEZ 00623.STZ.2010-1 proje numaralı "Elektrikli Vakumlu Temizlik Aracının Geliştirilmesi" isimli proje kapsamında, 00028.STZ.2007-1 numaralı projede tasarlanan aracın geliştirilmesi, yenilikçi eklerin yapılmış, imalat ve montajlar gerçekleştirilmiştir. Elektrikli-Vakumlu süpürücü araç, merkezi elektrik motoru ve bu motorun tahrik edeceği hidrostatik ve uç pompasından beslenen hidrolik motorlardan oluşacaktır. Hub-Motor bulunamaması sebebiyle bu aşamada elektro-hidrolik sistem tercih edilmiştir.

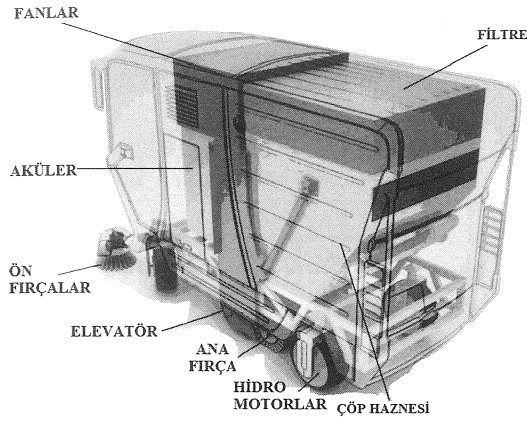
Süpürücü aracın temizleme sistemi mekanik ve vakumlu olarak tercih edilmiştir. Bu doğrultuda mekanik olarak elevatör sistemi tasarlanmış ve imal edilmiştir, vakum olarak ise iki adet 400 mm çaplarında radyal fanlar tasarlanmış ve imal edilmişlerdir. Bunun haricinde çöp haznesi, kabin gibi diğer kısımların da imalatları sağlanmış ve daha sonra sistem deneyleri gerçekleştirilmiştir.

00623.STZ.2010-1 numaralı proje kapsamında bütün bu yapılar yürütme sistemi (elektro-hidrolik) de dahil olmak üzere gözden geçirilecek ve aydınlatma, ergonomi ve yenilenebilir enerji (akü şarjı için) gibi seçenekler değerlendirilecektir.

2. TEMİZLEME SİSTEMİ

Temizleme sisteminde, vakumlu (fan sistemi) ve mekanik (elevatör sistemi) sistemleri birlikte kullanılacaktır. Çöp haznesi yaklaşık 1 m³ hacminindedir. Çöp haznesinin devrilmesi ve fırçaların yukarı aşağı hareketleri için hidrolik pistonlar kullanılmaktadır. Yeni tasarlanan araçta mekanik ve vakumlu temizleme sistemleri birlikte çalışmaktadır. Elevatör sisteminin amacı, büyük katı çöplerin

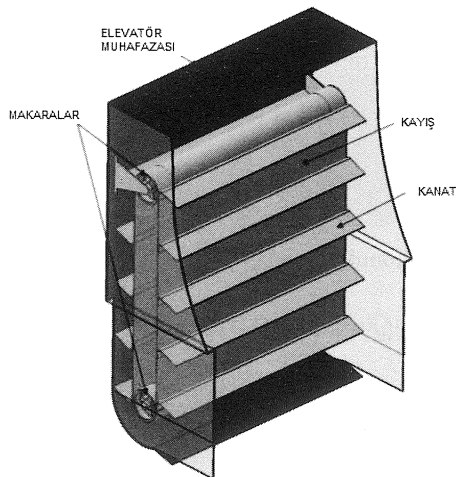
yerden kaldırılarak, belirli bir santrifüj kuvvetle çöp haznesine atılmasını sağlamaktır. Fan (Vakum) Sistemi ise mekanik çöp toplama işlemi sonucu oluşan tozların emilmesini sağlamaktadır.



Şekil 1. Alt sistemler (ExBxY=1250x3715x2200 mm)

2.1. Elevatör Sistemi

Temizleme Operasyonlarında, özellikle toz dışındaki ağır çöplerin yerden kaldırılarak cadde temizliğinin sağlanmasında elevatör sistemlerinin geniş bir kullanımı vardır. Elevatör sistemlerinin maden ocakları ve gıda üretimi gibi daha ağır yüklü uygulamalarında güç aktarımı için zincir-dişli mekanizmaları kullanılırken, ağır çevre şartlarında çalışmayacak cadde temizleme araçlarında ağırlık ve bakım şartları göz önünde bulundurulduğunda güç aktarımında kayış-kasnak mekanizmaları kullanılır. SAN-TEZ projesi kapsamında yeni tasarlanan araçta da toz dışındaki ağır çöplerin yerden kaldırılarak çöp haznesine atılması için bir elevatör sistemi tasarlanmıştır. Elevatör sistemi, makaralardan (tanburlar), kayışta (bant) ve kanatlardan oluşmaktadır. Kanatlar kayışın üstüne monte edilmiştir. Tüm sistem sızdırmazlık sağlamak amacıyla bir muhafaza içerisine alınarak kapatılmıştır.



Şekil 2. Elevatör Sistemi Elemanları

2.1.1. Kutup Uzaklığının (l) Belirlenmesi

Elevatörün kanatlarına toplanan çöplerin çöp haznesine dökülebilmesi için çöplerin belirli bir hızda kanattan ayrılması gerekir. Bunun dışında Kutup Uzaklığı (l), devir (rpm) ve kanat (kepçe) yarıçapı olarak tanımlanan bazı değerleri içine alan hesaplamalar yapılmıştır. Bu değerler Şekil 3'de verilmiştir.

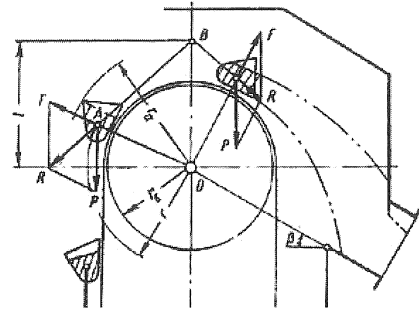
$$\frac{l}{r} = \frac{P}{F} = \frac{mg}{\frac{m}{r} \frac{v^2}{r}} \quad (1)$$

Buradan Kutup Uzaklığı (l):

$$l = g \frac{r^2}{v^2} = sbt \quad (2)$$

Ya da $n = \pi r n / 30$ yazılarak;

$$l = \frac{g r^2 30^2}{\pi^2 r^2 n^2} = \frac{895}{n^2} \quad (3)$$

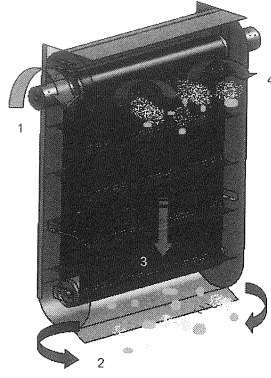


Şekil 3. Kutup Uzaklığının Belirlenmesi [1]

$l < r_b$ olduğu zaman ve kutup noktası kasnak çemberinin içine düşüyorsa santrifüj kuvvetin ağırlık kuvvetinden önemli ölçüde büyük bir değerde olduğunu ve kepçe içindeki bütün yük parçacıklarının kepçe dış duvarlarına doğru hareket ettiklerini; yani boşaltmanın santrifüj türden olduğu kanıtlanmıştır. $l > r_a$ olduğu zaman ağırlık kuvveti santrifüj kuvvetten büyüktür ve kepçeler ağırlıkla boşalır. $r_b < l \leq r_a$ ise boşaltma hem santrifüj hem de ağırlıklardır [1].

Şekil 4'de görüldüğü gibi:

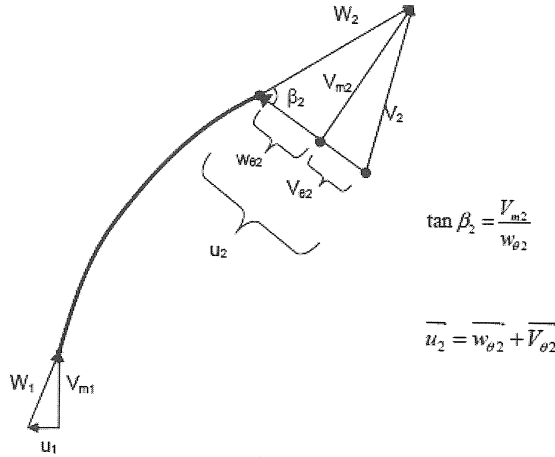
1. Hidrolik motoru 50-60 d/d'da bir dönme sağlar.
2. Yan fırçalar ve ana fırça yardımıyla çöplerin kanatlar tarafından toplanması sağlanır.
3. Elevatör kanatları çöpleri toplar.
4. Sistemin bir periyodundan sonra çöpler çöp haznesine atılır ve fan sistemi de çıkan tozları emer.



Şekil 4. Elevatör Çalışma Prensibi

2.2. Vakum (Fan) Sistemi

Yeni tasarlanan araçta kullanılmak üzere mevcut araçta kullanılmış santrifuj fan, gerek kanat tipi gerekse kanat sayısı olarak geliştirilmiş, analiz ve deneyleri gerçekleştirilmiştir. Mevcut araçta kullanılan fan, bunun haricinde farklı kanat tiplerindeki fanlar (düz ve eğik tip) da AMCA standardına göre üretilen deney düzeneklerinde test edilmiştir. Sonuç olarak, yapılan hesaplamalar, deneyler ve CFD analizleri neticesine göre, öngörülen sistem çalışma noktası ve güç tüketimi değerlerini optimize edecek şekilde iki adet 10 Kanatlı (Düz) fan üzerinde karar kılınmış ve diğer temizleme sistemlerinin de araca entegrasyonu ile beraber sistem deneyi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. Fan Kanatlarında Oluşan Hız Vektörleri

Tablo 1. Müsan Fan Karakteristik Verileri

KANAT GİRİŞ AÇISI	β_1	29.5
KANAT ÇIKIŞ AÇISI	β_2	26
GİRİŞ YARIÇAPI (mm)	R1	63.5
ÇIKIŞ YARIÇAPI (mm)	R2	122.85
KALINLIK (mm)	B	32

Kanat hızları $W_2, V_{m2}, u_2, V_{\theta 2}$ and $w_{\theta 2}$ olmak üzere (W : Bağıl hız, V_m : Ortalama Hız, u : Çevresel hız, bkz. Şekil 5)

Debi deneysel olarak da 3078 rpm'de, $Q=0.076 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak gözlenmiştir. Diğer veriler de Tablo 1'den alınarak kanat hızları aşağıdaki gibi hesaplanmış ve Tablo 2'de bütün sonuçlar karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Yeni tasarlanan araçta kullanılacak fanın kanat hızlarının belirlenmesinde ve benzeşim yapılmasında Tablo 2'deki sonuçlardan yararlanılmıştır.

$$N_1 = 3078 \text{ rpm}$$

$$V_m = \frac{Q}{2\pi R_2 B} \quad (4)$$

$$V_m = \frac{0.076}{6.28 \times 0.122 \times 0.032} \Rightarrow V_m = 3.08$$

$$u_2 = W_2 \times R_2 = \left(\frac{2\pi N}{60} \right) \times R_2 \Rightarrow u_2 = 39.57 \quad (5)$$

$$\tan \beta_2 = \frac{V_m}{w_{\theta 2}} \quad (6)$$

(6)'da değerler yerine konulursa:

$$\tan 26^\circ = 0.48 = \frac{V_m}{w_{\theta 2}}$$

$$w_{\theta 2} = 6.31$$

$$u_2 = w_{\theta 2} + V_{\theta 2} \quad (7)$$

$$V_{\theta 2} = 33.26$$

(6) ve (7) ile bulunan sonuçlar (8)'de yerine yazılırsa:

$$H = \frac{1}{g} \times u_2 \times V_{\theta 2} = \frac{1}{9.81} \times 39.57 \times 33.26 \Rightarrow \quad (8)$$

$$H = 134.16 \text{ m}$$

$$\Delta P = \rho g H = 1.2 \times 9.81 \times 134.16 \Rightarrow \quad (9)$$

$$\Delta P = 1.58 \text{ kPa}$$

(9) yerine konulduğunda:

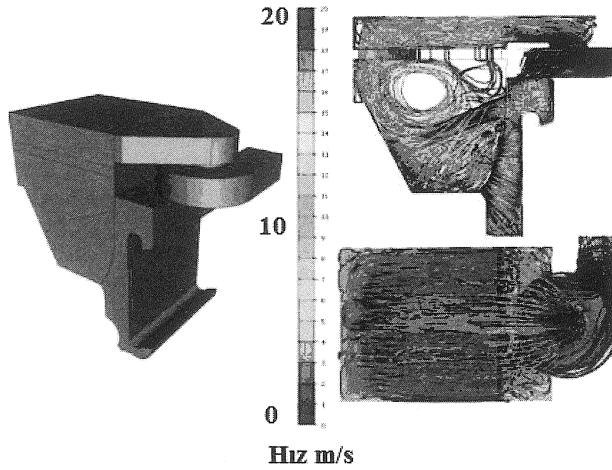
$$P_f = \Delta P \times Q = 1.58 \times 0.076 \Rightarrow P_f = 0.12 \text{ kW}$$

Tablo 2. Mevcut Müsan Fan Kanat Hızları

EĞİK KANATLI FAN KANAT HIZLARI (m/s)					
DEVİR rpm	V_{m2}	w_{θ}	u_2	V_{θ}	H (m)
3098	3.03	6.21	40.53	34.323	141.82
4926	4.62	9.47	64.45	54.98	361.17
6198	6.05	12.41	81.10	68.67	567.69
DÜZ KANATLI FAN KANAT HIZLARI (m/s)					
DEVİR rpm	V_{m2}	w_{θ}	u_2	V_{θ}	H (m)
3098	5.57	5.58	40.53	34.95	144.42
4926	9.95	9.96	64.45	54.49	357.97
6198	12.34	12.35	81.09	68.74	568.21

2.2.1 CFD Analizleri

CFD analizleri için Punto Mühendislik'ten yardım alınmıştır ve CF Design programı anlaşılır arayüzü ve işlem kolaylığı sağlaması sebebiyle tercih edilmiştir. Bu analizler belirli büyüklükteki katı parçaların kaldırılması için gerekli hızlar (10-15 m/s) için gerçekleştirilmiştir. 2.6 m³/s ve 900Pa civarında ihtiyaç duyulan debi ve basınç farkı değerleri güç gereksiniminin fazla olması nedeniyle optimize edilmiştir ve paralel bağlı, 3000 rpm'de dönen iki adet fan için toplam 0.76 m³/s debi ve yaklaşık 2000Pa basınç değerlerine düşürülmüştür.

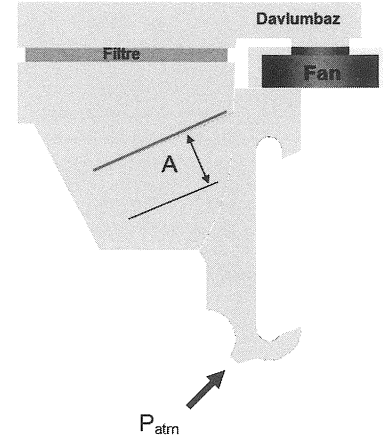


Şekil 6. Yeni Tasarım İçin CFD Analizi

$$A=0.207 \text{ m} \times 1.25 \text{ m} = 0.258 \text{ m}^2 \text{ (Bkz. Şekil 7)}$$

$V=10 \text{ m/s}$ durumunda gerekli hava debisi
 $Q=2.58 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir.

Fan debisi olarak, $Q_{fan}=2.6 \text{ m}^3/\text{s}$ kullanılmıştır.
 Fan hızı 1500 rpm olarak tanımlanmıştır. (CFD)



Şekil 7. Temizleme Sistemi Kesiti

Alt sistemlerin çalışmasını gözlemlemek ve özellikle fanların araç üzerindeki performansını (çalışma noktasını) belirlemek amacıyla performans ve sistem deneyleri yapılmıştır. Bunun için öncelikle 8, 10 ve 12 Kanatlı fan rotorları (düz tip) imal edilmiştir. Bu fanların performans deneyleri ikinci ve daha büyük bir deney düzeneği kurularak gerçekleştirilmiş, sistem deneyi için gerekli alt sistemlerin (elevatör, çöp haznesi ve filtre) imal edilip araç üzerine montajları sağlandıktan sonra sistem deneyi yapılmış ve ölçümler alınmıştır.

Mevcut araçta kullanılan ve yeni tasarlanan araçta kullanılacak fanların performans deneyleri kurulan deney düzeneğinde test edilmiştir. Düzenek üzerinden hız, basınç ve güç değerleri alınmış, performans (P-Q) eğrileri elde edilmiştir.

2.2.2. Yeni Deney Düzeneği İmalatı

Yeni üretilen fanların denemelerinde, kesit boyunca oluşacak hızların yüksek olacağı öngörüldüğünde, ölçüm cihazlarının kapasitesi göz önünde bulundurulduğunda ve üretilecek düzeneğin ileride daha büyük fanların denenmesine imkân verebilmesi istendiğinden, önceki düzeneğin yetersiz kalacağı düşünülmüştür. Aşağıdaki hesaplama sonucunda boru çapı belirlenmiş, ucuz ve temini kolay olması sebebiyle PVC malzeme tercih edilmiştir.

Boru kesiti alanlara ayrılmış ve dijital hız ölçer ile ölçülen değerler ile debi bulunmuştur. Kullanılan U manometre ile basınç ve güç sonuçlarına ulaşılmıştır. Debi, deney düzeneği borusunun yedi adet daire dilimine ayrılan kesitlerden

alınan hız ve alanların çarpılıp toplamlarının alınmasıyla elde edilmiştir.

V_n (n=1...7): n'deki dilimdeki hız

A_n (n=1...7): n' deki dilim alanı olmak

üzere:

$$\Sigma Q = V_1 A_1 + V_2 A_2 + V_3 A_3 + \dots + V_7 A_7 =$$

$$V_{13} A_{13} + V_{12} A_{12} + V_{11} A_{11} + \dots + V_7 A_7$$

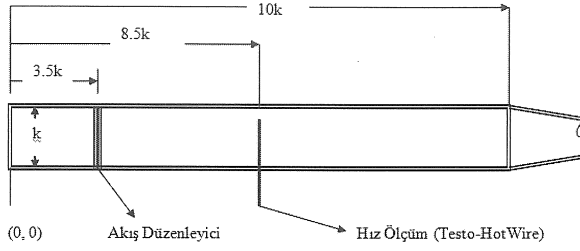
$$P_f = \Delta P * Q$$

k: orantı sabiti (çap)

AKIŞ DÜZENLEYİCİ: 3.5k

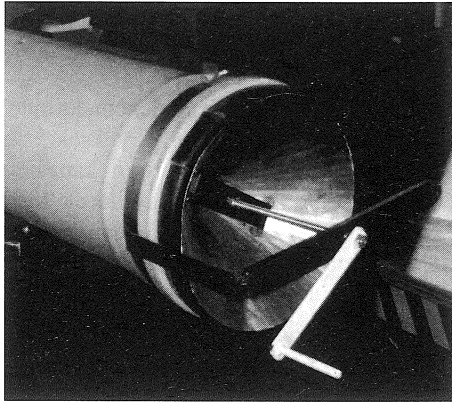
HIZ ÖLÇÜMÜ (PROB): 8.5k

KOMPLE BOY: 10k

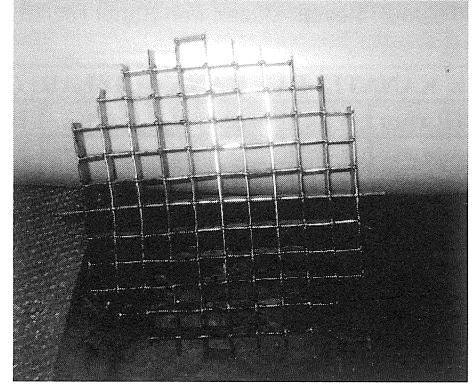


Şekil 8. Yeni Deneş Düzenegş Şematik Gösterimi[2]

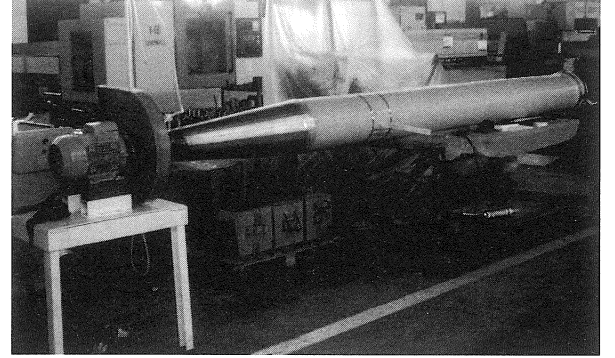
Boru çapına karar verildikten sonra AMCA standartlarına uygun olarak diğer boyutlar da belirlenmiş ve diğer parçalar da (akış düzenleyici, vana, prob sabitleyici) imal edilerek düzenek üzerine montajı yapılmıştır. Deneş düzenegş AMCA standartlarına göre tasarlanmış ve MÜSAN A.Ş. tarafından imal edilmiştir. Düzenek üzerinden AMCA standardına göre belirtilen noktalardan ölçüm cihazı probunun çapı büyüklüğünde delikler açılmış ve ölçümler alınmıştır.



Şekil 9. Akış Ayar Vanası

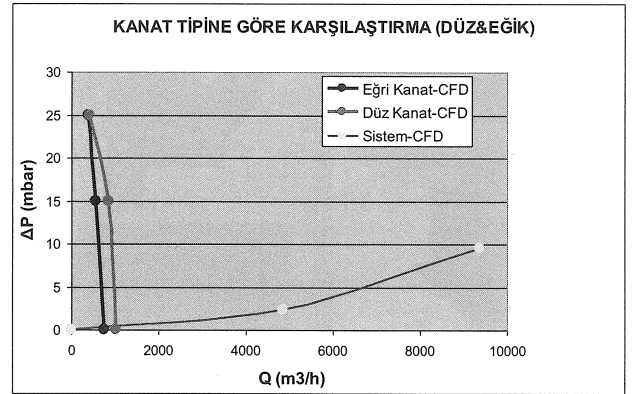


Şekil 10. Boru İÇerisine Yerleştilen Akış Düzenleyici



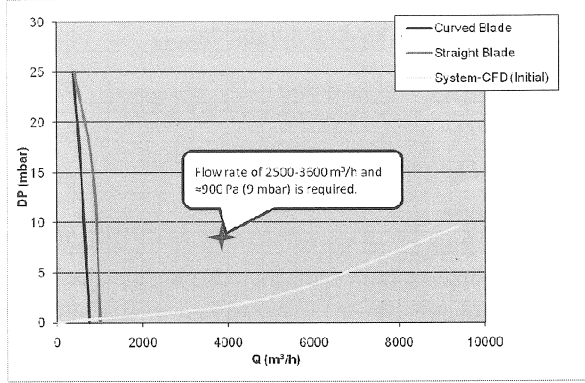
Şekil 11. Yeni Deneş Düzenegş Genel Görünüşü

Aşğıdaki şekilde de görüleceği gibi düz kanatlı fan (250 mm) eğik kanata göre daha iyi bir performans göstermektedir. Bu nedenle yeni araçta kullanılacak fanın düz kanatlı bir fan olması öngörülmüştür.



Şekil 12. Mevcut Fanların Performans Karakteristiği

Ancak, hesaplamalar ve CFD analizleri sonucunda çalışma noktasının Şekil 13’de işaretlenen noktada olması gerekmektedir. Bu sebepten farklı kanat sayılı (8, 10 ve 12) ve 400 mm çaplı yeni rotorlar imal edilmiş ve performans deneyleri yapılmıştır. Bunun sonucunda en uygun olanında karar kılınmıştır.

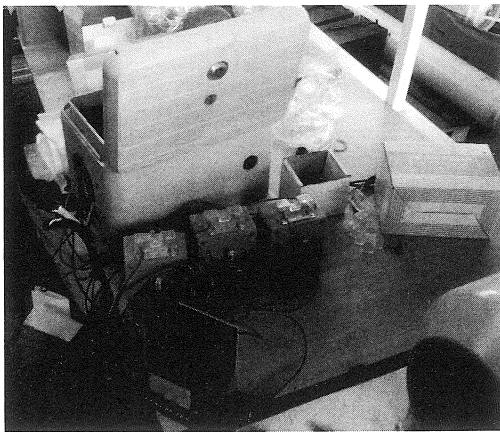


Şekil 13. Mevcut Fanlar ve Gereken Çalışma Noktası

2.2.3. Performans Deneyleri

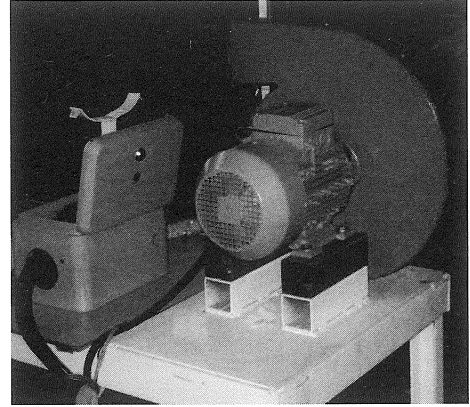
AMCA standartlarına göre kurulan deney düzeneğinde şekilde belirtilen noktalardan Hız, Sıcaklık ve Basınç Farkı değerleri ölçülmüştür. (Testo 435) Bunun dışında, önceki deneylerden farklı olarak aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi bir enerji analizörü sisteme dahil edilmiş ve motor üzerinden Devir, Volt, ve Amper değerleri almak yerine güç değerleri dijital olarak okunabilmektedir. Böylece daha sağlıklı ölçümler alınmış ve deneysel hatalar en aza indirilmiştir.

Mevcut Fan üzerinde 1000, 2000, 3000 ve 3600 rpm 'de yapılan deneylere ait debi, basınç farkı, verim, fan ve motor ait güç sonuçları hesaplanmıştır. Bu değerleri içeren Basınç-Debi ve Verim-Debi eğrileri çizilmiştir.



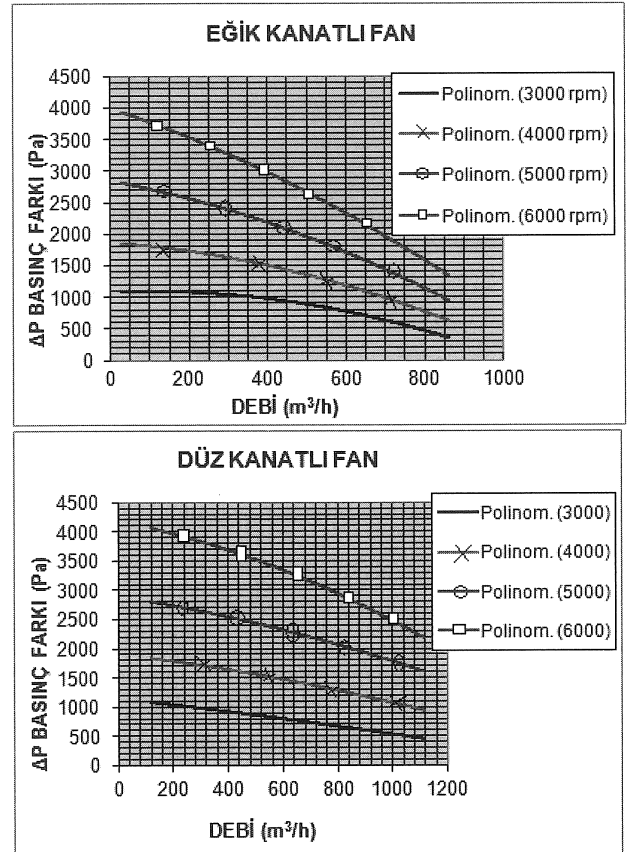
Şekil 14. Güç Ölçümleri İçin Enerji Analizörü

Şekil 15’de yeni üretilen fanın elektrik motoruna bağlanması ve invertör ile devir ayarı (frekans regülasyonu) görülmektedir.



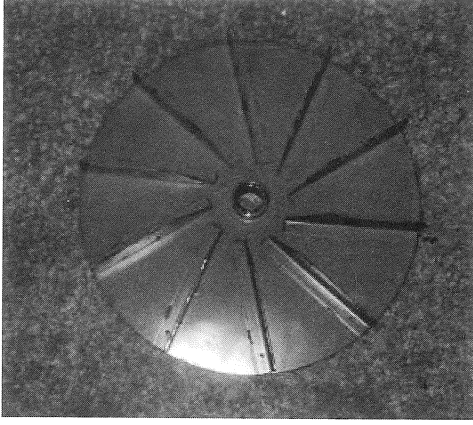
Şekil 15. Fanın Motora Bağlanması ve Hız Kontrolü

Mevcut fanların parametrelerini belirlemek ve gereken çalışma noktasına göre ne durumda olduklarını gözlemlemek için yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar ve buna ilişkin performans eğrileri Şekil 16’de verilmiştir.

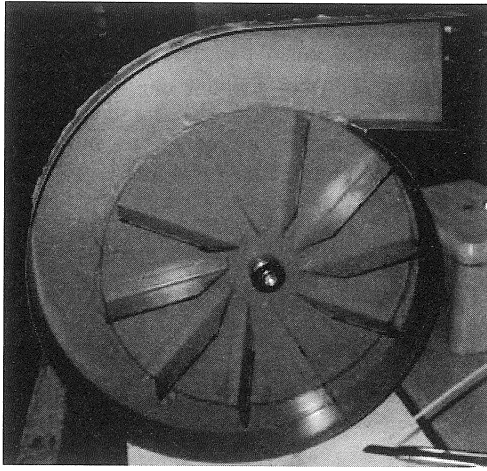


Şekil 16. Fanların Farklı Devirlerde Karşılaştırılması

400 mm çapında ve farklı kanat sayılarında rotorlar imal edilmiştir ve salyangoza montajı yapılmıştır.



Şekil 17. Fan Rotoru (400 mm)



Şekil 18. Rotorun Salyangoza Montajı (400 mm)

Rotor çapı belirlendikten sonra Tablo 3'de verilen değerler kullanılarak optimum kanat sayısı üzerinde çalışılmıştır[3]. Kanat sayısı (z) yaklaşık olarak 10 olarak hesaplandığından farklı kanat sayılarında (8, 10, 12) rotorlar imal edilmiştir ve çok sayıda ölçüm alınarak performans deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3. Rotor Parametreleri

Kanat Giriş Açısı (deg) β_1	45
Kanat Çıkış Açısı (deg) β_2	45
Giriş Yarıçapı (mm) R1	80
Çıkış Yarıçapı (mm) R2	190
Kanat Kalınlığı (mm) B	50

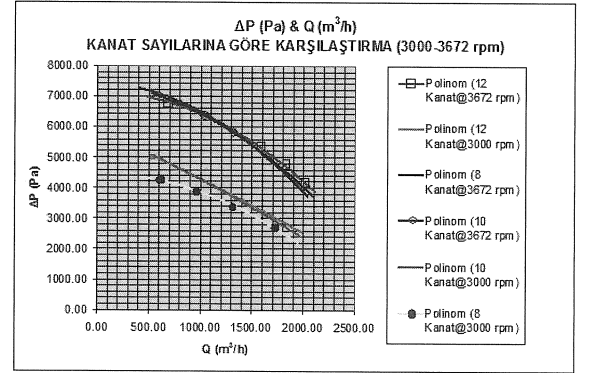
$$\frac{l}{a} = \frac{1.5(r_2 - r_1)}{t \sin \beta_2} = \frac{1.5(r_2 - r_1)z}{2r_2 \pi \sin \beta_2} = 2 \Rightarrow \quad (10)$$

$$z = \frac{4\pi}{1.5} \frac{\sin \beta_2}{\left(1 - \frac{r_1}{r_2}\right)} \approx 8.5 \frac{\sin \beta_2}{1 - \frac{r_1}{r_2}} \quad (11)$$

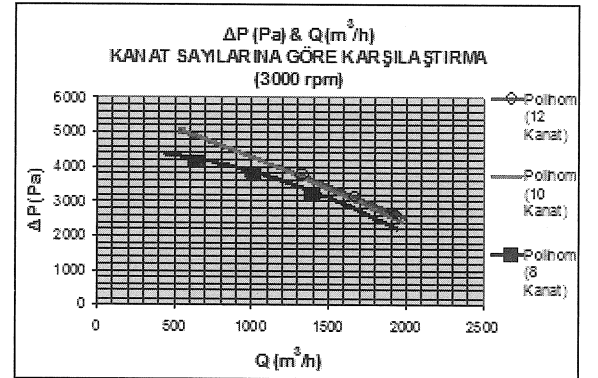
(10) ve (11) yerine konulduğunda:

$$z = \frac{8.5 \sin 45}{1 - \frac{D_1}{D_2}} = \frac{8.5 \times 0.707}{1 - \frac{160}{380}} \Rightarrow z \approx 10.38$$

Radyal fanlarda uygulanan bu formül [3], radyal olmayan (non-radial) ve düz kanatlı fan rotoru (400 mm) için de uygulanmıştır. Teorik olarak bir sonuca ulaşılsa da en gerçekçi sonuç deneyler sonucuna görülecektir. Farklı kanat sayılarının deneyler sonucunda karşılaştırılması Şekil 19 ve Şekil 20'de verilmiştir.



Şekil 19. Farklı Devirlerde Farklı Kanat Sayıları

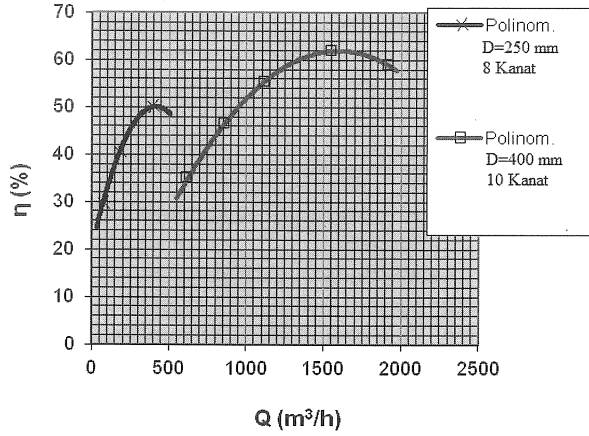


Şekil 20. 3000 rpm'de Farklı Kanat Sayıları

Kanat sayısı teorik olarak yaklaşık 10 olarak belirlenmiştir ve deneysel sonuçlar da bu sonucu doğrulamıştır. (10 Kanatlı fan, 8 Kanatlı fana göre üstün olduğu gözlenmiştir, 12 Kanat içinse belirgin bir fark gözlenmemiştir). Güç tüketimini

artırmasından ve diğer (ses, titreşim vb.) sebeplerden dolayı, fanın yüksek devirlerde çalıştırılması yerine, daha düşük devirlerde (maksimum 3000 d/d) iki adet fan kullanılmasına (paralel bağlama) karar verilmiştir. Fanların da üretilmesinden sonra, sistem üzerinde ölçümler almak üzere sistem deneyi yapılmıştır. Şekil 21’de görüldüğü gibi geliştirilen fanların verimi yaklaşık %65 dolaylarına çıkmıştır.

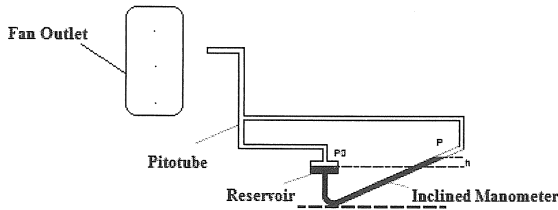
VERİM-DEBİ EĞRİLERİ (3000 RPM)



Şekil 21. Geliştirilmiş Olan Fanın Eski Fan ile Karşılaştırılması

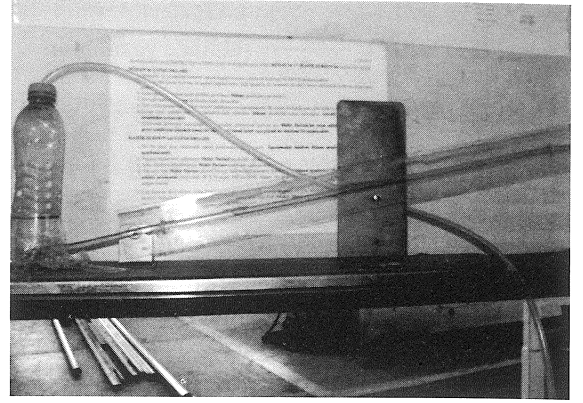
2.3. Sistem Deneyleri

Sistem deneyi için iki adet fanın çıkış ağzlarından şekilde görüldüğü gibi üç ayrı noktadan ölçüm alınmıştır. Hızlar 30 m/s’den fazla olduğundan hız&debi ölçümlerinde Testo dijital hızölçer yerine eğik manometre ve pitotüp tercih edilmiştir.

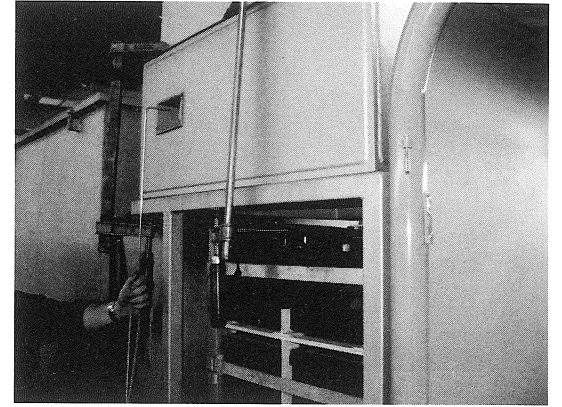


Şekil 22. Fan Çıkışından Ölçüm Alınması

Diğer alt sistemlerin imalatlarının tamamlanmasıyla ve araca montajı ile birlikte süpürücü araç sistem deneyi için hazır hale gelmiştir. Şekil 24’de görüldüğü gibi birinci sistem deneyinde (aynı prosedür ile fanlar emişe direk bağlanarak da ölçümler alınmıştır) fan montaj kutusundan hız ölçümleri alınmıştır. Bu iki sistem deneyinin karşılaştırılması Şekil 27’de verilmiştir.



Şekil 23. Eğik Manometre ve Pitotüp



Şekil 24. Pitotüp ile Ölçüm

Tablo 4. Sistem Deney Verileri

VERİLER (θ=11.5°)		
ELEVATOR ÇALIŞIYOR		
	FAN(1)	FAN(2)
P1 (mm)	500	500
P2 (mm)	530	530
P3 (mm)	490	490
ρ_w (kg/m ³)	1000	
ρ_{air} (kg/m ³)	1,2	
$\sin 11.5$	0,19	

2.3.1. Hız, Debi ve Basınç Hesapları

Eğik manometre için:

$$h = L \sin \theta \quad (12)$$

Ve dinamik olarak:

$$P_0 = P + \frac{\rho_{air} V^2}{2} \quad (13)$$

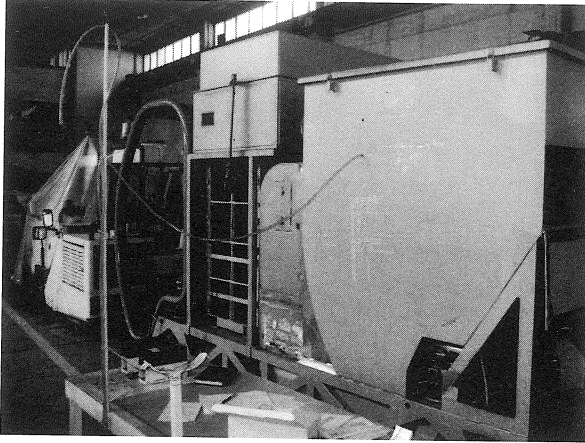
Burdan, (13) : $\Delta P = \frac{\rho_{air} V^2}{2}$ şeklinde yazılabilir.

(11) yerine yazılırsa:

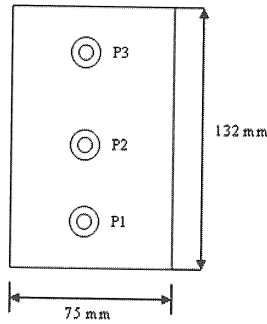
$$P_0 - P = \Delta P = \rho_w g h = \rho_w g L \sin \theta \quad (\theta=11,5^\circ)$$

Buradan çıkan hava hızı (V) hesaplanır.

$$V = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_{air}}} \Rightarrow V = \sqrt{\frac{2\rho_w g L \sin \theta}{\rho_{air}}} \quad (14)$$



Şekil 25. Sistem Deneyi Ölçümleri (U manometre)



Şekil 26. Fan Çıkışı Hız Ölçüm Noktaları

Şekil 26'de gösterildiği gibi fan çıkış ağzından üç ayrı noktadan (P1, P2 ve P3) hız ölçümleri yapılmış ve ortalama hız değeri debi ve basınç hesabında kullanılmıştır. Ortalama çıkış hızı Vave (m/s), çıkış alanı (0.0099 m²) ile çarpılarak debi bulunabilir.

$$Q = Ax(V_{ave1} + V_{ave2})$$

Vave1 : Fan(1)'nin ortalama hızı.

Vave2 : Fan(2)'nin ortalama hızı.

3000 rpm'de, iki adet Fan için iki ayrı konumda; (Elevatör çalıştırılmayarak, Elevatör çalışır durumda iken) hız, debi ve basınç sonuçları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 5. Sistem Deneyi Sonuç Tablosu

3000 rpm	ELEVATOR ÇALIŞIYOR	
	FAN(1)	FAN(2)
V _{ave} (m/s)	39,67	39,67
Q (m ³ /s)	0,785	
ΔP (Pa)	2109,15	

2.3.2. Sistem Karakteristiği ve Çalışma Noktası

Deneyler sonucunda elde edilen verilerden yararlanarak parabol sabiti (K) saptanır ve sistem eğrisi çizilir. Yine deneylerle belirlenmiş sonuçlar ile çizilen fan performans eğrilerinin kesiştiği nokta bize çalışma noktasını verir.

$$\Delta P = K * Q^2$$

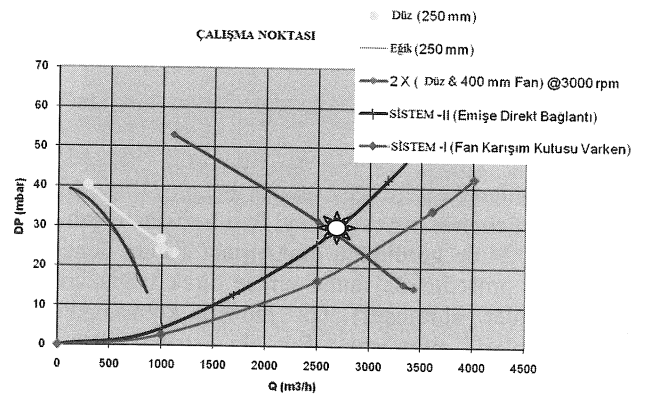
$$Q \text{ (m}^3\text{/h)} = 2827.51$$

$$\Delta P \text{ (Pa)} = 2109.15$$

$$K = 0.000264$$

Aynı metotlar kullanılarak iki fanın muhafazaya alındığı 'fan montaj kutusu' kayıpları artırabileceği nedeniyle kaldırılmış ve sistem deneyi tekrarlanmıştır.

Çıkan sonuçlara göre karşılaştırılması sistem eğrileri ve çalışma noktası aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

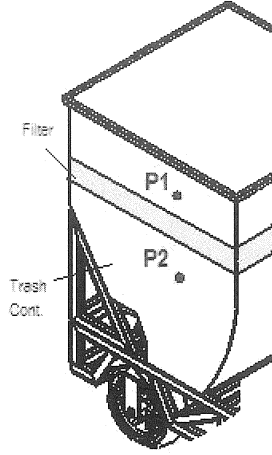


Şekil 27. Çalışma Noktası

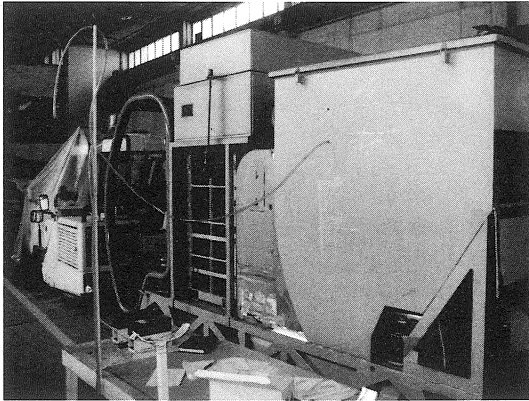
ÇALIŞMA NOKTASI: 0.74 m³/s (2650 m³/h) ve 2950 Pa (2.95 mbar) olarak belirlenmiştir.

2.3.3. Filtre Kayıp Katsayısı (FLC) Hesabı

Çöp haznesi yan sacında aşağıdaki şekilde görüleceği gibi filtre alt ve üstüne olmak üzere iki delik açılmıştır ve bu noktalardan U manometre yardımıyla basınç ölçümü alınmıştır. Aynı zamanda HotWire yardımıyla filtre alt ve üstündeki ortalama hızlar belirlenmiştir.



Şekil 28 Çöp Haznesi ve Ölçüm Noktaları



Şekil 29 Çöp Haznesi Ölçümleri

Şekil 28'de görülen noktalardan; P1 (Filtre Üstü) ve P2 (Filtre Altı) statik basınç ve ortalama hız değerleri okunmuştur. Buna göre deney verileri aşağıdaki gibidir:

P1 (Filtre Üstü) Noktasında:

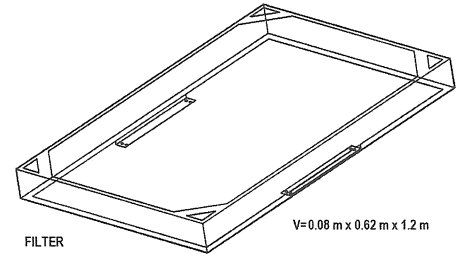
$\rho = 1000$ (kg/m³)
 $H = 50$ mm
 $P = 490.5$ Pa
 $V_{1\text{avg}} = 1.2$ m/s

P2 (Filtre Altı) Noktasında:

$\rho = 1000$ (kg/m³)
 $H = 48$ mm
 $P = 470.88$ Pa
 $V_{2\text{avg}} = 2.85$ m/s (Elevatör çalıştığından ötürü değişken olmakla beraber 1.7-3.5 m/s değerler okunmuştur)

Sonuç olarak; $\Delta P_{\text{static}} = 19.6$ Pa bulunur. Bu veriler kullanarak filtre kayıp katsayısı hesaplanabilir.

Sistemde iki adet filtre kullanılmaktadır.



Şekil 30 Filtre Boyutları

Ölçülen Hızlar:

$V_{\text{üst}} = 1.2$ m/s

$V_{\text{alt}} = 2.85$ m/s

$\Delta P = K \frac{\rho_{\text{air}} V^2}{2}$ yazılabilir. (K: Kayıp katsayısı)

$$\Delta P = K \frac{\rho_{\text{air}} (V_{\text{entr}}^2 - V_{\text{exit}}^2)}{2} \Rightarrow$$

$V_{\text{entr}} = 2.85$ m/s

$V_{\text{exit}} = 1.2$ m/s

$\Delta P = 19.6$ Pa

$$19.6 = K \frac{1.2 \times (2.85^2 - 1.2^2)}{2} \quad K = 4.87$$

3. SONUÇ

Yeni tasarlanan ve alt sistem imalatları tamamlanan elektro-hidrolik cadde süpürücüsü tamamen elektrik enerjisi kullanması nedeniyle çevre dostu bir araçtır. Aracın temel işlevi olan temizlik sistemi için elevatör ve fan sistemleri geliştirilmiş, gerek CFD analizleri gerekse performans ve sistem deneyleri ile sonuçlar gözden geçirilmiş ve sistemin

çalışma noktası belirlenmiştir. Diğer bütün alt sistem imalatlarının (elevatör kısımları, çöp haznesi, fan sistemi, kabin vb.) tamamlanmasıyla sistem deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sistem deneyleri kapsamında hız ve basınç ölçümleri alınarak 'Filtre Kayıp Katsayısı' da dâhil hesaplar yapılmıştır. Son aşama olarak aksesuar ve elektrik-elektronik bağlantıların tamamlanmasıyla beraber gerçek koşul (tozlu ortamda araç yürürken) denemeleri de yapılacak ve karşılaşılabilecek olası problemler gözden geçirilerek elektro-hidrolik süpürücü seri üretime hazır hale getirilecektir.

4. 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.

DESIGN OF CLEANING SYSTEM, MANUFACTURING AND EXPERIMENTATION OF AN INDUSTRIAL ELECRO-HYDRAULIC VACUUM SWEEPER

In this paper, design, analysis and manufacturing of an industrial vacuum sweeper is presented. This project is sponsored by the Turkish Ministry of Science, Industry and Technology and MUSAN Company (Machinery Manufacturing & Trade Co.). 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.

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. Fans are developed by extensive experimental testing, and optimal designs are developed based on experimental data.

Keywords: Vacuum sweeper, fluid dynamics, design, manufacturing

KAYNAKÇA

1. Gerdemeli İ, MAK534 Sürekli Transport Sistemler-Bölüm 7, İTÜ.
2. Improving Fan System Performance (a sourcebook for industry), The United States Department of Energy & Air Movement and Control Association International, 1989.
3. Eck B., Fans Design and Operation of Centrifugal, pg. 51, 1973.

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

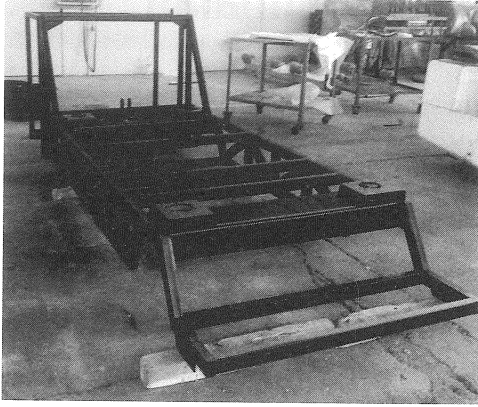
konstrüksiyon), çöp konteynırı ve kızaklı akü kaseti imal edilmiş ve şaseye montajı sağlanmıştır. Araç temizleme sisteminin önemli bir parçasını oluşturan 'Vakum (Fan) Sistemi' için ise, istenen basınç farkı, debi ve sağlanabilecek maksimum güç arasında optimum bir değere varılarak (bunun için CF Design 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

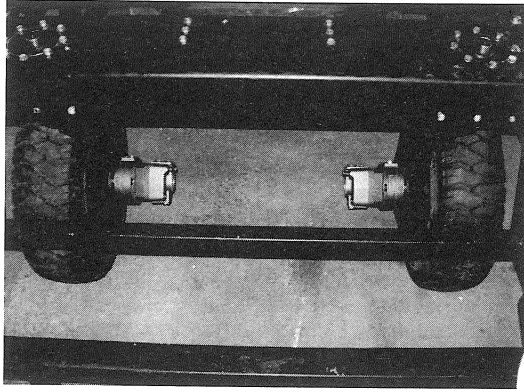
Vakumlu süpürücü aracın bütün alt sistemlerinin imalatları yapılmıştır ve şaseye montajları sağlanmıştır. Temizleme sistemi (elevatör ve fan grubu), çöp haznesi, akü kaseti, kabin ve fırça grubu imalatları tamamlanarak Şekil

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

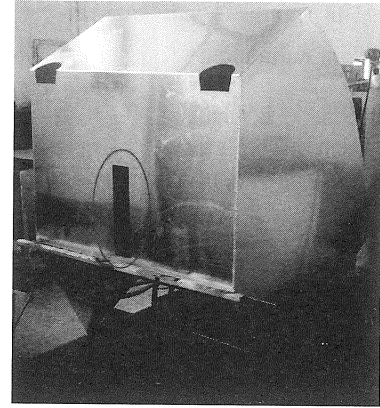
Elektro-hidrolik vakumlu süpürücünün temizleme sistemi temel olarak şu alt gruplardan oluşmaktadır: çöp haznesi, elevatör sistemi, fan (iki adet 400 mm çaplı santrifüj) sistemi ve fırçalar. Çalışma prensibi olarak elevatör sistemi (bant ve kanatlardan oluşan bir konveyör) süpürülen alandaki kutu kola, 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

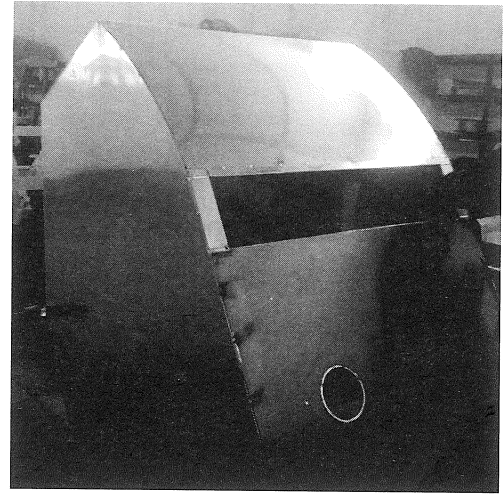
boşaldıktan sonra ve tekrar yerine otururken bu kapak hidrolik sistemle kapatılacak.

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.



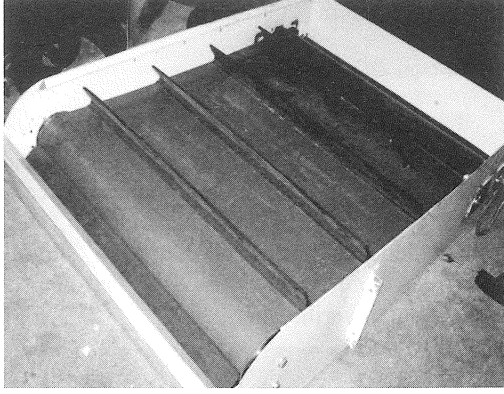
Şekil 4. Çöp Haznesi ve Elevatör Çöp Açıklığı

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.

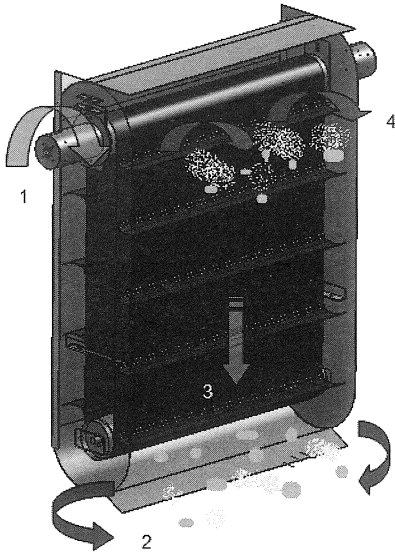
Şekil 5’de gösterilen koruyucu saclar içerisinde tambur-bant (kayış-kasnak) sistemi ve bant üzerine yerleştirilmiş kanatlar imal edilmiştir. Komple elevatör sistemi Şekil 5’de görüldüğü gibidir. Elevatör sisteminin şase üzerine montajı Şekil 15’de görülebilir.



Şekil 5. Elevatör Komple (Bant ve kanatlar ile)

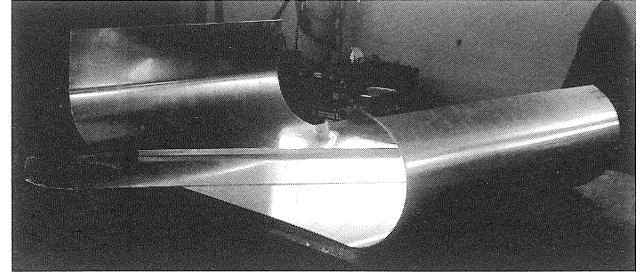
Elevatör sisteminin çalışma prensibi şu şekildedir:

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.

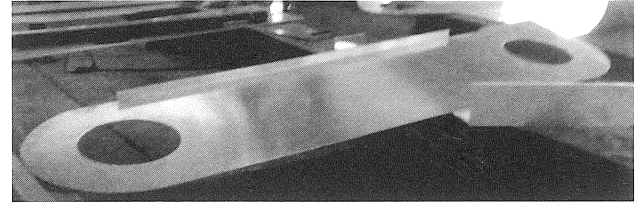


Şekil 6. Elevatör Sistemi Çalışma Prensibi

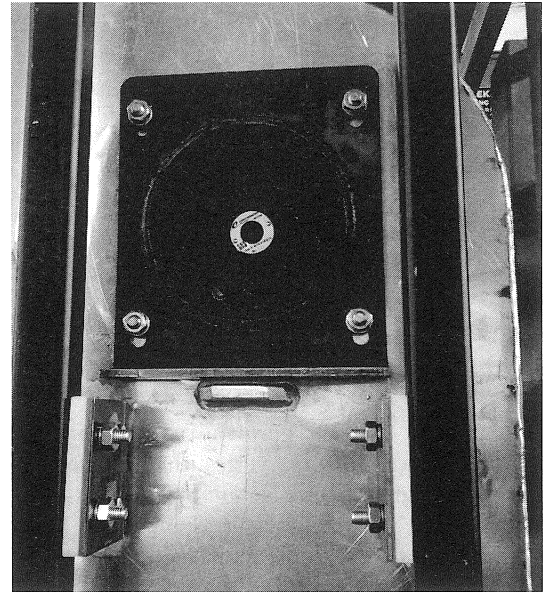
Araç hareket halindeyken, yol üzerindeki kasislerin sisteme zarar vermesini önlemek için gerektiğinde elevatörü indirip-kaldırmak için 15 cm stroklu bir hidrolik piston kullanılmıştır.



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.

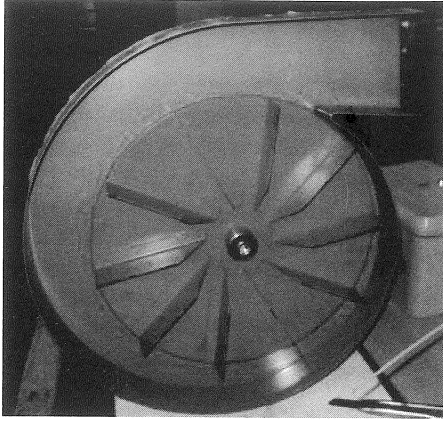


Şekil 9. Elevatör Sistemi ve Hidrolik Motor Montajı

2.1.3. Fan (Vakum) Sistemi

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

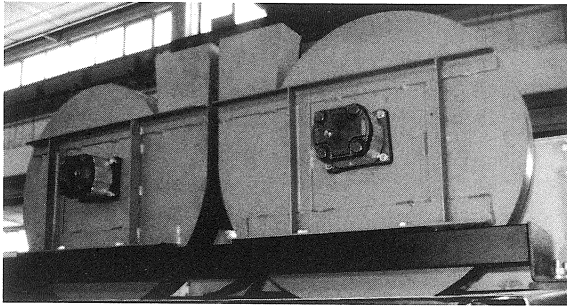
analizleri, sistem ve performans deneyleri ile belirlenen santrifüj fanlar (İki adet: 400 mm rotor çaplı, 10 kanat sayılı ve düz tip -backward-) fan sisteminde kullanılmaktadır. Rotorun salyangoza montajı Şekil 10'da verilmiştir.



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.

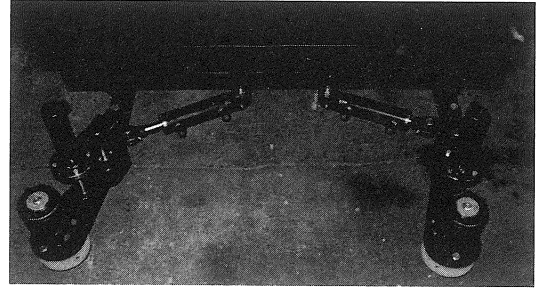
Şekil 11'de verilen paralel bağlı iki adet santrifüj fanın araç üzerinden kolayca sökülüp takılabilemesi dışında önemli bir tasarım değişikliği de fanların çöp haznesine bağlantısı ile ilgilidir. Tasarımın ilk aşamasında bir 'hava karışım kutusu' düşünülmüş ve fan emişleri bu kutuya bağlanmıştır. Ancak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

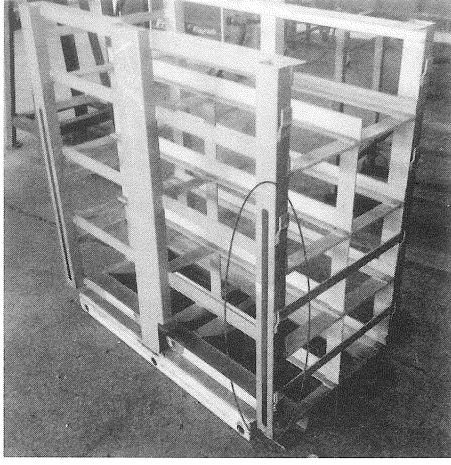


Şekil 12. Ön Fırça Grubu (Piston ve Motorlar ile)

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 yapılabilecektir.

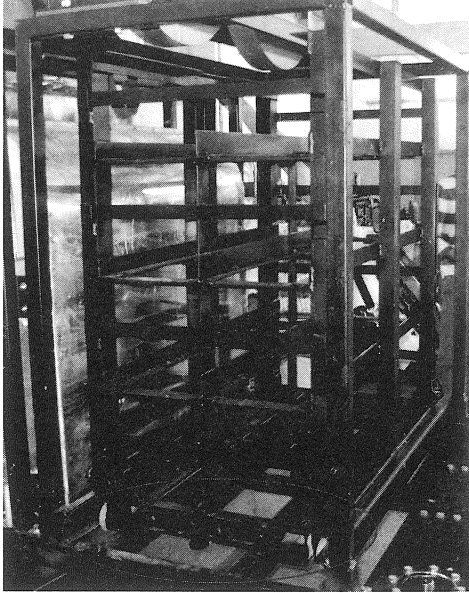
2.2 Rafli Akü Taşıyıcı İmalatı

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.

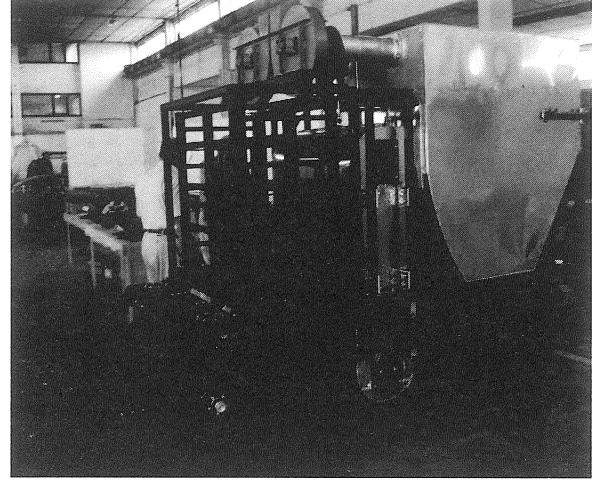


Şekil 14. Akü Taşıyıcısının Araca Yerleşimi

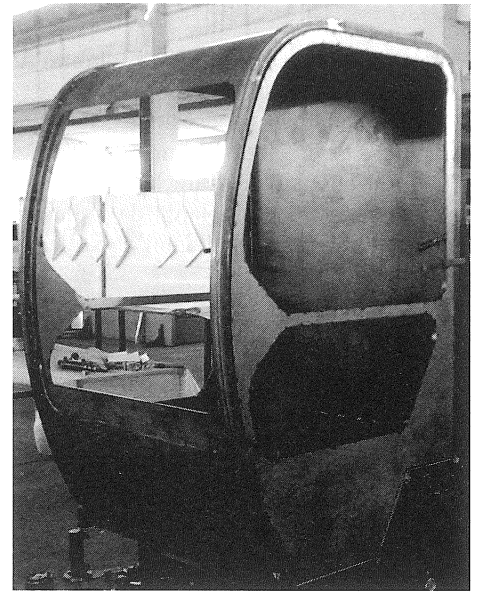
Kabin, dış giydirme ve diğer aksesuarlar imal edilmeden önce alt sistemlerin şaseye montajları ile elektro-hidrolik vakumlu süpürücü aracın genel görünüşü Şekil 15’de verildiği gibidir.

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

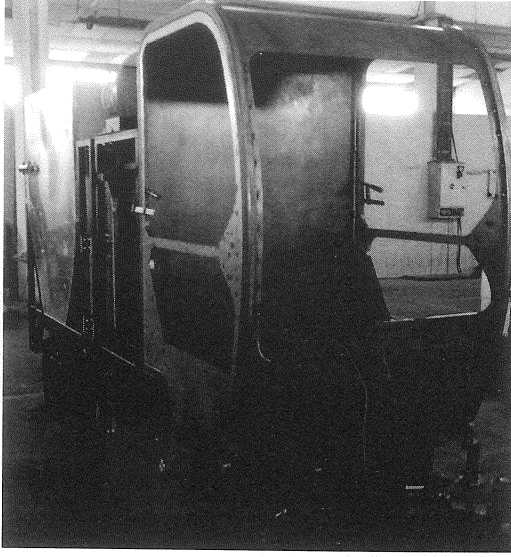


Şekil 16. Elektro-hidrolik Araç Kabini

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]

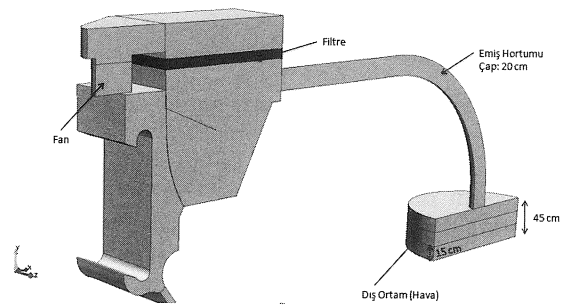


Şekil 20. Robot Kolu Elastik Hortum İle Kullanımı [4]

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.

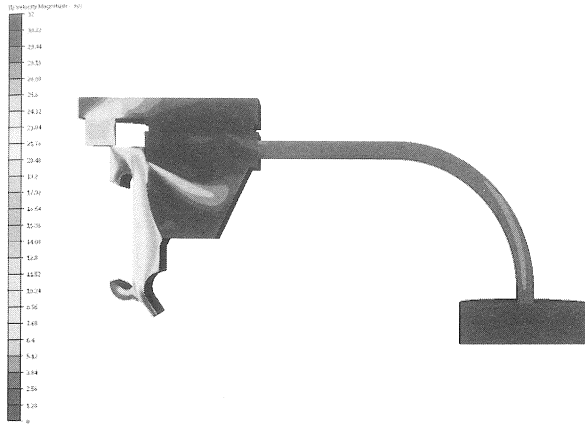
3.2. Vakum Hortumu CFD Analizleri

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.

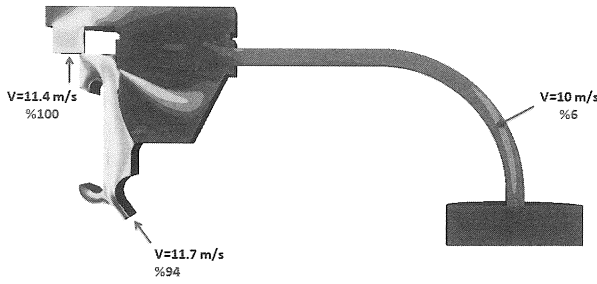


Şekil 21. Model Kesiti (Analiz Öncesi)

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

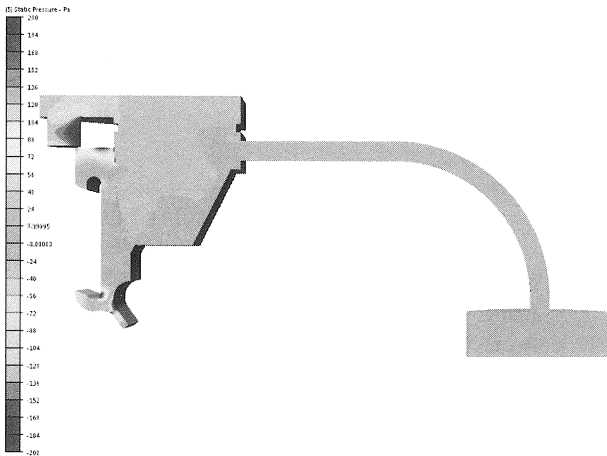


Şekil 22. Vakum Hortumu Hız Dağılımı (CFD)



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	1.20
	1	0.90	0.98
	2	0.85	0.98
	4	0.87	0.98
	8	0.99	0.98

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:

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

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:

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

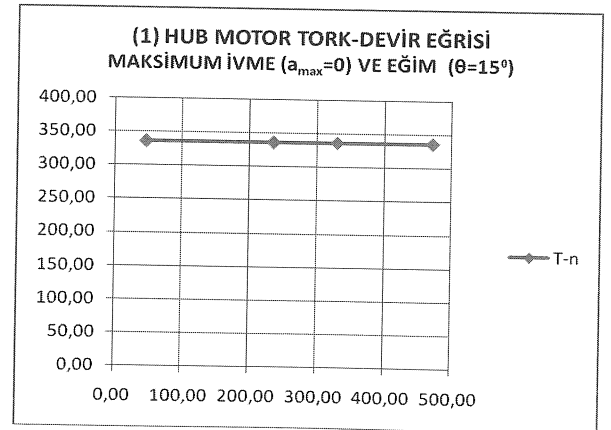
Araç tam dolu iken kütlesinin 2200 kg olduğu ve azami süpürme hızının 10 km/h olduğu varsayılmıştır. Yuvarlanma direnci katsayısı asfalt zemin için 0.018 [1] kabul edilmiştir. Tırmanılan açı 15° olarak belirlenmiştir. 25°C ve 100 kPa basınç için hava yoğunluğu $1,169 \text{ kg/m}^3$ [2] ve sürüklenme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

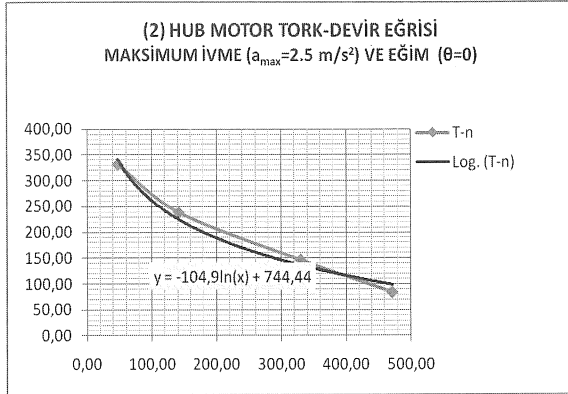


Şekil 27. Tork-Devir Eğrisi (1)

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.



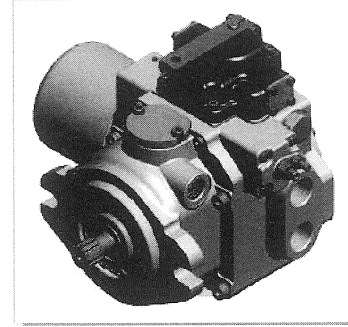
Şekil 29. Kullanılacak Hidromotor (x4)

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

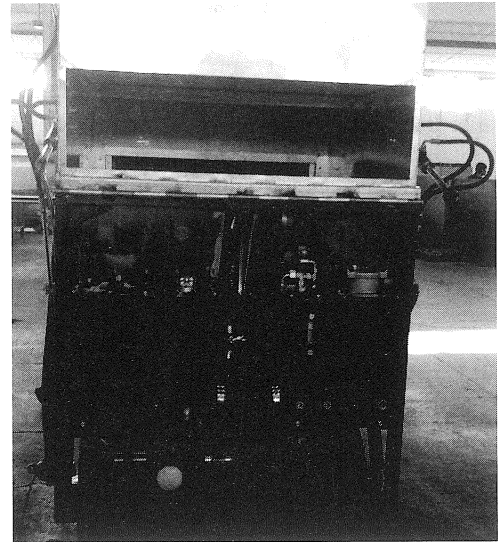
MOTOR	DEPLASMAN (cm^3/dev)	MAKS. DEVİR (rpm)	MAKS. TORK (Nm)	MAKS. GÜÇ (kW)
HR L130	125.7	596.5	375	23.4

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.

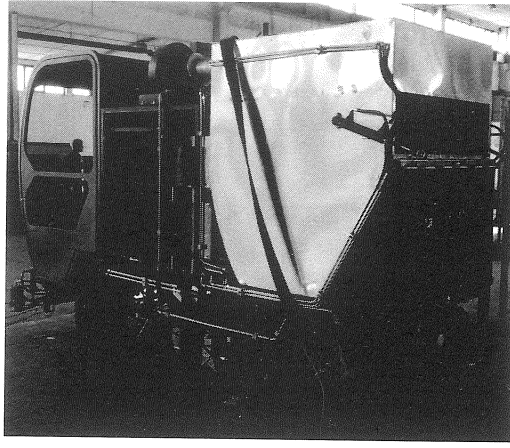


Şekil 30. Hidrostatik Pompa (MD10V-28 Samhydraulic)

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.

Ediz Şavkın
Mak. Müh.
Gaziantep Üniversitesi
Makine Mühendisliği Bölümü
Gaziantep

Mehmet Hanifi Doğru
Araş. Gör.
Gaziantep Üniversitesi
Makine Mühendisliği Bölümü
Gaziantep

**İbrahim Halil
Güzelbey**
Prof. Dr.
Gaziantep Üniversitesi
Makine Mühendisliği Bölümü
Gaziantep

Karbon Nanotüp ile Güçlendirilmiş Termoplastik Poliüretanın Mekanik Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi

Bu çalışmanın amacı çok katmanlı karbon nanotüp ve termoplastik poliüretan ile oluşturulan nanokompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesidir. Saf termoplastik poliüretan (TPU) ve farklı oranlarda karıştırılan çok katmanlı karbon nanotüp (MWCNT) – termoplastik poliüretan nanokompozitlerinin çekme özellikleri ölçülmüştür. Termoplastik poliüretan ve karbon nanotüpler plastik enjeksiyon makinesi tarafından karıştırılıp, standartlara uygun kalınlıkta şekillendirilmiştir. Oluşturulan levhalar CNC makinası ile uygun standartlara (ASTM-D412-C) göre kesilip çekme testi için deney numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan deney numuneleri çekme testi makinası ile çekilip sonuçlar değerlendirilmiştir. 1% oranında çok katmanlı karbon nanotüp içeren termoplastik poliüretan – çok katmanlı karbon nanotüp nanokompozitinin en iyi çekme özelliklerini gösterdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Termoplastik Poliüretan, Karbon Nanotüp, Plastik

GİRİŞ

Karbon nanotüpler (CNT) tek veya iç içe geçmiş grafen silindireler içeren kristal karbon nano yapılarıdır. Keşfedilmesinden bu yana teorik ve deneysel öngörüler, tek ve çok katmanlı nanotüplerin mükemmel elektriksel, ısı ve mekanik özellikleri olduğunu göstermiştir. Literatürde karbon nanotüp ve termoplastik poliüretan nanokompozitlerinin mekanik özellikleri hakkında yapılan çok fazla çalışma bulunmamaktadır.[1,2]

Çok-katmanlı karbon nanotüp (MWCNT) ile güçlendirilmiş poliüretan kompozit fiberleri çift vidalı ekstrüzyon metodu ile üretilmiştir. Poliüretanın kopma uzamasından feragat etmeden ağırlık olarak %9.3 nanotüp katılması ile elastizite modülü ve kopma gerilmesinde kayda değer bir gelişme sağlanmıştır. Yüzeydeki çatlaklar ve nanotüp dağılımını incelemek için elektron mikroskobu ve grafitleşme derecesini incelemek için de Raman tekniği kullanılmıştır. Sonuçlara göre poliüretan matrisinde karbon nanotüplerin homojen olarak dağıldığı, matris ve oksitlenmiş çok katmanlı nanotüplerin güçlü iç bağlarının kompozit fiberlerin mekanik özelliklerinin gelişmesinden sorumlu olduğu görülmüştür. [3]

Karbon nanotüpler bugüne kadar bilinen insan yapımı en sert ve güçlü malzeme olarak kabul edilir. Küçük boyutlarından dolayı bu nano yapıların mükemmel özelliklerinden, sadece düşük ağırlıklı mühendislik polimerleri ile oluşturulmuş matrisler içerisinde homojen olarak dağılması ile faydalanılabilir.[4]

Termoplastik poliüretanlar (TPU) sert ve yumuşak bölümlerden oluşan kopolimerlerdir. Sert ve yumuşak bölüm fazları, tipik olarak birkaç on nanometre uzunluğunda sert ve yumuşak alanlara sahip mikro yapılar oluşturmak için ayrılırlar. Qi ve Boyce' un yaptığı çalışmalar bu bölüm yapının deformasyon tarafından geliştirildiğini göstermiştir. Bu gelişimin, gecikme ve döngüsel yumuşamanın asıl kaynağı olduğu düşünülmektedir. Qi ve Boyce' un yaptığı çalışmada deneyler, lineer olmayan hiper elastik davranış, zamana bağımlılık ve yumuşama özellikleri gibi gerilme-gerinme özellikleri hakkında temel bir model sunulmuştur. Model termoplastik poliüretanın deformasyon sırasındaki morfolojik gözlemlere dayandırılmıştır.[5]

Ha ve grubunun [6] yaptığı çalışmada plastikleştirilmiş polivinil klorür (PVC) ve termoplastik poliüretan'ın karışımlarının kırılma tokluğu ve özellikleri araştırılmıştır. Ha ve grubunun çalışmasında shore sertlik değeri 70 ve 90 olan iki çeşit TPU kullanılmış ve kıyaslanmıştır. PVC/TPU90 ve PVC/TPU70 karışımları eritme yöntemi ile değişik ağırlık oranlarında (100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 50/50, 0/100) üretilmiştir. Kırılma tokluğu J-integral kullanılarak locus metodu ile araştırılmıştır. TPU ve plastikleştirilmiş PVC karışımında, çekme gerilimi, darbe mukavemeti, aşınma dayanımı ve ısı kararlılığında gelişme, elastizite modülü ve sertliğinde küçük bir düşüş gözlemlenmiştir.

Barick ve tripathy' nin yaptığı çalışmada çok katmanlı karbon nanotüpler (MWCNT) ve termoplastik poliüretan (TPU) nonokompozitleri önce eritme ve daha sonra enjeksiyon kalıplama metodu ile hazırlanmıştır. Yapılan spektroskopi çalışması nanokompoziti oluşturan TPU matrisi ve karbon nanotüpler arasında güçlü yüzeysel bağlar oluştuğunu göstermiştir. Mikroskopik gözlemler karbon nanotüplerin birkaç kümelenme dışında dağıldığını göstermiştir. Nanokompozitlerin mekanik özelliklerinin, karbon nanotüplerin TPU matrisi içerisinde dağılımı ile oldukça artmıştır.[7]

Xiong ve grubunun yaptığı çalışmada poliüretan-çok katmanlı karbon nanotüp elastomer nanokompoziti sentezlenmiş, kompozitin mikro yapısı taramalı elektron mikroskobu ve geçirmeli elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Isıl ve mekanik özellikler, termografimetrik analiz ve çekme testi ile karakterize edilmiştir. Karbon nanotüplerin poliüretan matris ile yaptığı kimyasal bağlantı Fourier kızıl ötesi dönüşüm spektroskopisi ile gözlemlenmiştir. Kompozit yapısı üzerinde yapılan çalışma ile birkaç kümelenme dışında iyi dağıldığı görülmüştür. Yapılan ısıl analiz sonuçları kompozitin camlaşma sıcaklığının yaklaşık 10 °C arttığını ve saf poliüretana göre ısıl kararlılığının gözle görülür bir biçimde arttığını göstermiştir. Mekanik özellikler üzerinde yapılan araştırmada ise ağırlık oranı %2 karbon nanotüp ile oluşturulan kompozitin çekme mukavemeti ve elastik modülünün gözle görülür biçimde arttığı gözlemlenmiştir.[8]

Tijing ve grubunun yaptığı çalışmada çok katmanlı karbon nanotüp/poliüretan kompozitleri elektrospinning ve döküm yöntemiyle hazırlanmıştır. Nano takviyelerin ve film kompozitlerin morfolojik özellikleri, ısıl özellikleri ve mekanik performansları karakterize edilmiş ve kıyaslanmıştır. Poliüretan filmleri poliüretan liflerden 9 kat daha dayanıklıdır. Çok katmanlı nanotüpler kompozit filmlerin çekme dayanımını ve nanotakviye modüllerini arttırmıştır. Kompozitin az miktarda çok katmanlı nanotüp eklenmesi ile ısıl bozunma davranışı gösterdiği bulunmuştur.[9]

Fernández-d'Arlas ve grubunun yaptığı çalışmada sert segmentteki poliüretan içerikli kompozitler analiz edilmiştir. Nanotüplerin yapısına göre hem yumuşak hem sert segment kristalleşmesi engellenmesine rağmen sert segmentteki poliüretanlarla nanotüplerin etkileşimi kabul edilebilir. Karbon nanotüplerde ağ yapılanması yapısal güçlendirme bakımından büyük önem taşımaktadır. Bu aşamada görülen sünekliğin azalması ise MWCNT içindeki sert bölge yapılanmalarının artışı ile doğru orantılıdır. PU içindeki sert ve yumuşak bölge oranı, MWCNT üzerine transfer edilecek gerilme değerini belirlemede büyük rol oynar. PU içindeki sert bölge yapılanmaları ise karbon nanotüp takviyesinde önemli etkilere sahiptir.

Bu etkiler farklı PU içyapısına bağlı olduğu kadar, farklı PU-MWCNT etkileşimine de bağlıdır.[10]

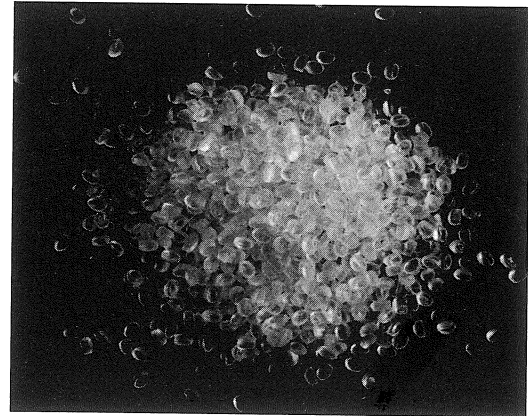
Bu çalışmada ise çok katmanlı karbon nanotüp ile termoplastik poliüretan malzemeden oluşturulmuş kompozit malzemenin malzeme özellikleri belirlenmiştir. Oluşturulan kompozitlerde, karbon nanotüp ağırlıkça 1%, 2% ve 5% olmak üzere 3 farklı oranda karıştırılmıştır. Oluşturulan kompozit malzemelere ve saf termoplastik poliüretan malzemeye çekme testi uygulanarak malzeme özellikleri tespit edilmiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMA

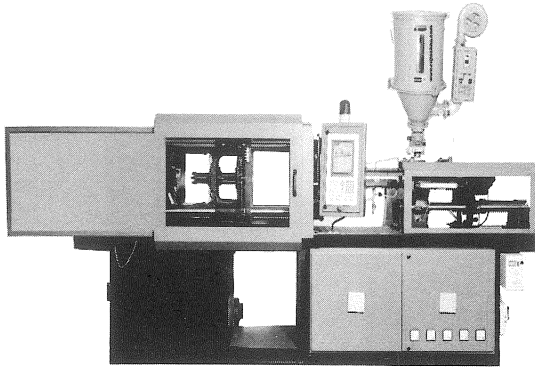
Bu projede kullanılan saflaştırılmış çok katmanlı karbon nanotüpler Çin'in Chengdu Organic Chemicals adlı firmasından temin edilmiştir. Kullanılan çok katmanlı karbon nanotüpler %95 ve üzeri saflığa sahiptir. Ayrıca bu projede kullanılan termoplastik poliüretanlar ise Almanya'nın BASF Chemicals Co. adlı şirketinden temin edilmiştir. Kullanılan çok katmanlı karbon nanotüp ve termoplastik poliüretanlar saf termoplastik poliüretan, %1, %2, %5 ağırlığı oranlarında olmak üzere dört çeşit malzeme hazırlanmıştır.



Şekil 1. Karbon Nanotüp

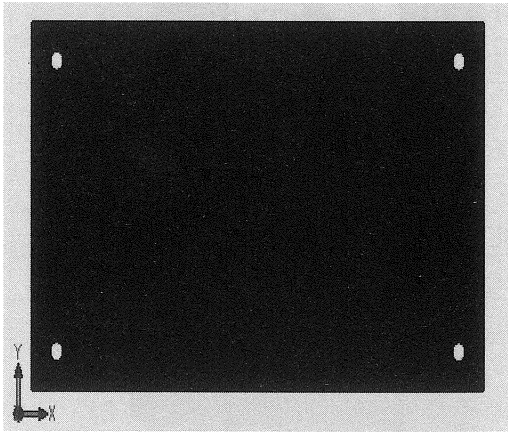


Şekil 2. Termoplastik Poliüretan Granülleri

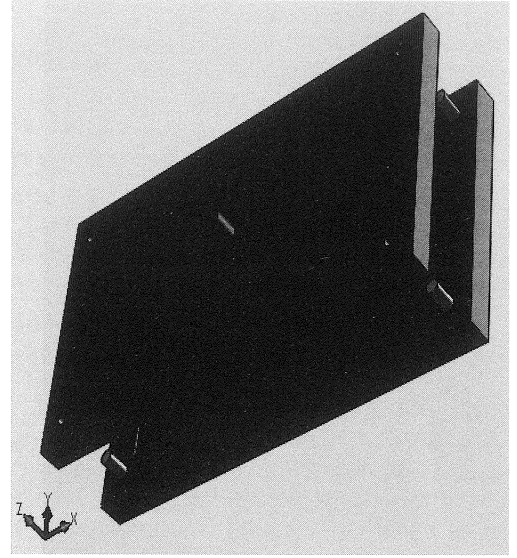


Şekil 3. Plastik Enjeksiyon Makinesi

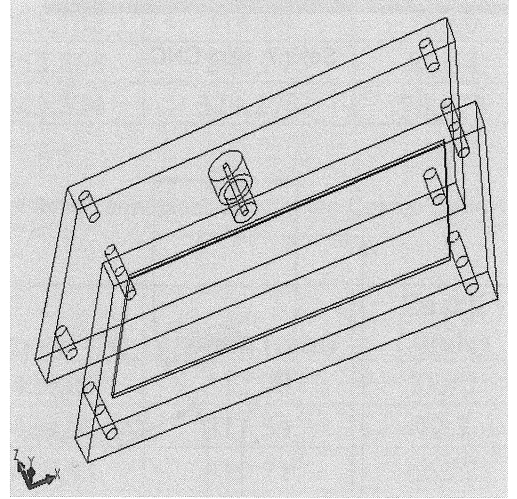
Termoplastik poliüretan'ın nemi hava sirkülasyonlu fırın içerisinde 100 °C'de 2 saat bekletilerek bertaraf edilmiştir. Termoplastik poliüretan içerisindeki çok katmanlı karbon nanotüp dağılımını elde etmek için eritme karıştırma işlemi uygulanmıştır. Yapılacak deneyler için 2.5 mm et kalınlığına sahip tabakalar plastik enjeksiyon döküm makinesinde üretilmiştir (Bkz Şekil 3). Plastik enjeksiyon için gerekli çelikten yapılmış kalıplar CNC tezgahında yapılan işlemler ile üretilmiştir. Üretilen bu kalıplar plastik enjeksiyon döküm makinesine yerleştirilmiştir (Bkz Şekil. 4, Şekil. 5 ve Şekil. 6). İlk olarak saf termoplastik poliüretana vida çapı 50 mm olan eritme enjeksiyon makinesi ile şekil verilmiştir. Bu işlemde vida hızı saniyede 55 dev/dak olarak yapılmıştır. Enjeksiyon makinesindeki ısıtma odaları 200 °C ve vidanın çıkış ağzındaki sıcaklık 220 °C olarak ayarlanmıştır. İlk olarak saf termoplastik poliüretan daha sonra sırasıyla 1%, 2%, 5% karışım oranlarında çok katmanlı karbon nanotüplü 30×13×2,5 santimetre ölçülerinde kompozit tabakalar üretilmiştir.



Şekil. 4 Plastik Enjeksiyon Kalıbı (Dişi)

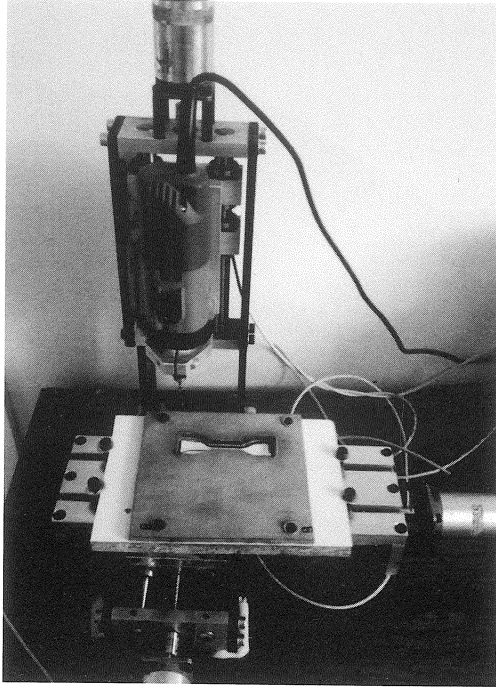


Şekil. 5 Plastik Enjeksiyon Kalıbı

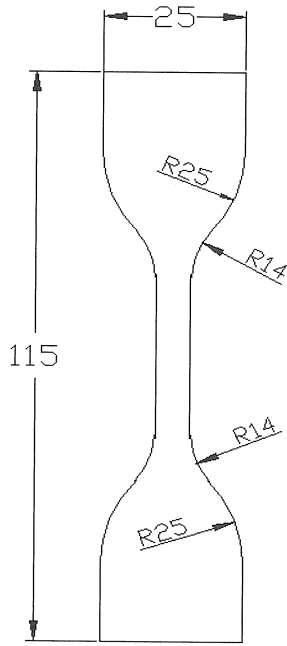


Şekil. 6 Plastik Enjeksiyon Kalıbı Detay

Üretilen tabakalar CNC tezgahında kesilmiştir (Bkz Şekil 7). Üretilen tabakaları CNC tezgahına yerleştirebilmek için tahtadan yapılmış bir tabaka tasarlanmıştır (Bkz Şekil 7). Daha düzgün ve pürüzsüz kenarlara sahip numuneler kesebilmek için kesim işlemi bu tabakadaki yolu izleyerek yapılmıştır. Kesme işlemi için plastiğe uygun kesme takımları kullanılmıştır. Tüm tabakalar ASTM D412-C'de standartlara uygun olarak kesilmiştir (Bkz Şekil 8).

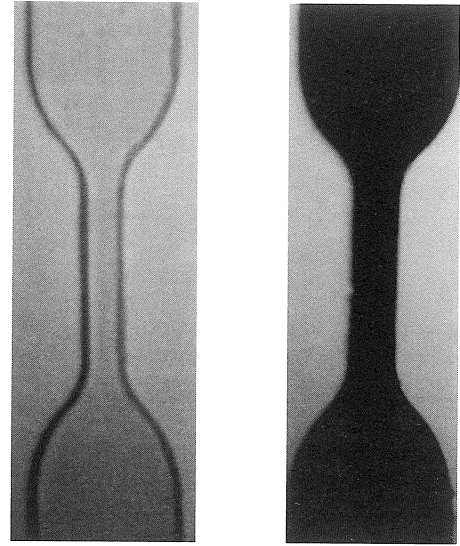


Şekil 7. Mini CNC



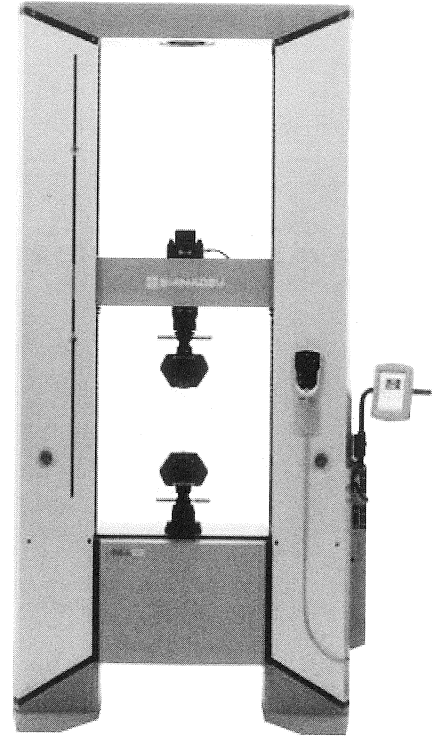
Şekil 8. ASTM D412-C Tipi

Kesim işleminden sonra tüm deney numuneleri sıcaklığı oda sıcaklığına düşene kadar bekletilmiştir.



Şekil 9. Deney Numunesi Şekil 10. Deney Numunesi

Son işlemde deney numuneleri çekme deneyine tabi tutulmuştur (Bkz Şekil 9 ve Şekil 10). Bu işlem için Shimadzu çekme makinesi kullanılmıştır (Bkz Şekil 11). Deney sonuçları olarak elde edilen gerinme, maksimum çekme gerilmesi, maksimum kuvvet, uzama ve enerji her malzeme türü için tablo 1, tablo 2, tablo 3 ve tablo 4'de detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 11. Shimadzu AG-X Çekme Test Cihazı

Tablo 1. Saf Termoplastik Poliüretan Çekme Deneyi Sonuçları

Deney No	Gerinme %	Gerilme (N/mm ²)	Kuvvet (N)	Uzama (mm)	Enerji (Joule)
1	836,46	29,57	494,95	368,04	99,17
2	800,66	27,28	458,29	352,30	85,23
3	748,64	25,61	460,53	344,37	87,09
4	820,65	24,85	469,07	369,29	98,13
5	710,37	26,15	439,26	333,87	78,09
6	1089,38	33,17	510	360,71	45,62
7	1005,6	29,87	429,48	321,79	75,80
8	1183,74	32,18	462,58	366,95	92,88
9	940,02	30,21	430,63	310,20	73,05
10	1193,48	33,8	481,65	358,04	96,27
11	749,35	25,92	356,34	239,79	45,93
12	914,12	30,42	418,329	283,37	62,25
13	1049,59	29,06	435,162	314,88	78,60
14	923,524	25,63	358,868	286,29	80,54
Ortalama	926,113	28,838	443,224	329,278	78,475

Tablo 2. Ağırlıkça 1% Çok Katlı Karbon Nanotüp İle Güçlendirilmiş Termoplastik Poliüretan Çekme Deneyi Sonuçları

Deney No	Gerinme %	Gerilme (N/mm ²)	Kuvvet (N)	Uzama (mm)	Enerji (Joule)
1	1078,6	30,98	426,01	312,79	71,12
2	1074,28	31,26	429,86	311,54	72,7
3	1000,68	34,88	409,93	310,21	66,27
4	1323,07	36,67	513,36	370,459	100,384
5	1166,52	32,55	447,61	326,62	77,67
6	1050,24	32,25	435,52	325,54	69,98
7	1094,31	33,47	426,72	328,29	74,17
8	1250,4	35,6	505,2	360,52	95,15
9	1033,77	30,37	417,61	299,79	69,36
10	1079,71	34,64	476,17	334,71	85,33
11	1175,42	35,21	484,09	352,62	92,57
12	1289,59	36,28	480,414	386,87	99,67
13	945,69	30,84	361,77	283,71	55,28
14	1123,57	34,57	456,33	359,542	89,4
Ortalama	1120,418	33,541	447,910	333,087	79,932

Tablo 3. Ağırlıkça 2% Çok Katmalı Karbon Nanotüp İle Güçlendirilmiş Termoplastik Poliüretan Çekme Deneyi Sonuçları

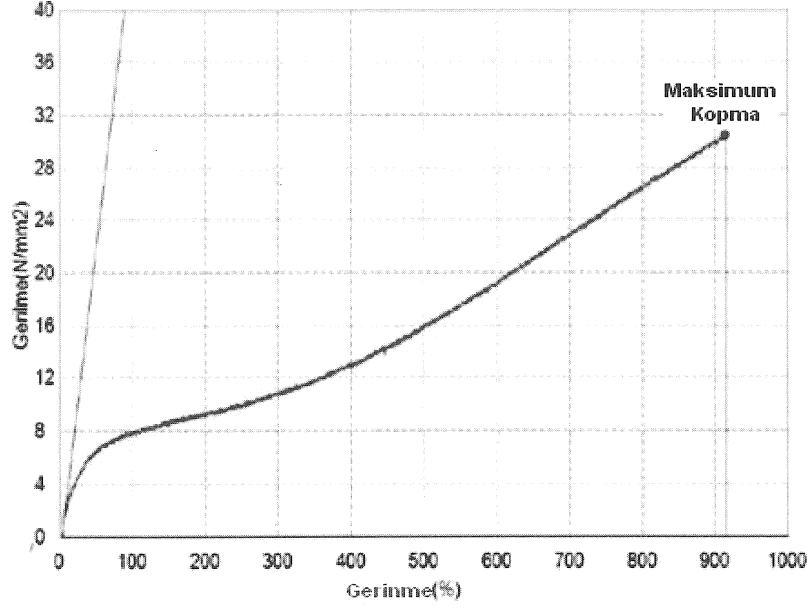
Deney No	Gerinme %	Gerilme (N/mm ²)	Kuvvet (N)	Uzama (mm)	Enerji (Joule)
1	884,22	29,15	400,93	291,79	62,36
2	1182,29	35,32	503,302	331,042	87,71
3	993,37	25,69	353,34	268,21	51,59
4	770,56	25,67	325,53	238,87	44,19
5	1152,83	32,58	448,04	322,79	79,32
6	1099,56	28,94	397,87	307,87	66,87
7	946,374	28,97	398,39	293,37	66,1
8	884,8	31,72	436,12	327,37	83,74
9	1019,42	31,24	429,67	316,1	73,95
10	983,71	31,72	490,99	325,29	88,55
11	1013,6	28,95	434,3	338,54	80,49
12	862,88	28,97	308,65	371,04	94,25
13	1217,64	31,56	473,4	365,29	88,69
14	1342,44	30,24	453,66	362,46	90,19
Ortalama	1025,264	30,051	418,157	318,574	75,571

Tablo 4. Ağırlıkça 5% Çok Katmalı Karbon Nanotüp İle Güçlendirilmiş Termoplastik Poliüretan Çekme Deneyi Sonuçları

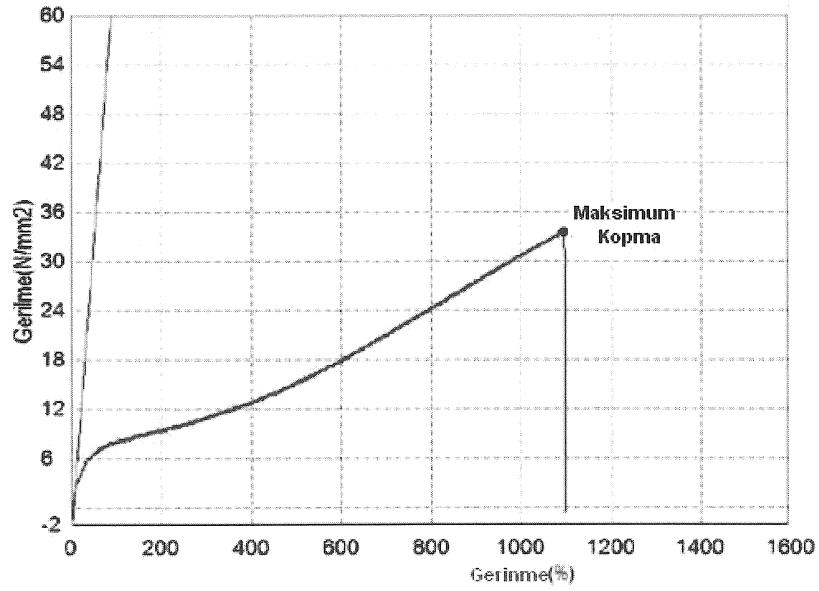
Deney No	Gerinme %	Gerilme (N/mm ²)	Kuvvet (N)	Uzama (mm)	Enerji (Joule)
1	1068,95	25,36	380,325	331,37	71,67
2	886,55	27,43	411,41	310,3	69,15
3	806,32	23,16	347,42	249,96	47,91
4	776,04	24,94	374,22	279,37	56,52
5	692,58	19,46	291,97	221,62	38,25
6	940,19	25,03	375,56	291,45	59,63
7	772,18	19,7	295,49	239,37	41,64
8	948,24	22,45	336,83	246,54	46,59
9	882,12	25,15	377,32	273,46	54,5
10	993,67	22,66	340,03	268,29	51,66
11	991,2	17,28	259,16	267,63	46,45
12	1061,77	24,43	366,5	297,29	59,2
13	984,62	23,45	351,85	285,54	55,36
14	833,19	19,78	251,67	249,96	37,31
Ortalama	889,826	22,877	339,983	272,296	52,56

Tablo 5. Tüm Çekme Deneyi Sonuçlarının Kıyaslanması

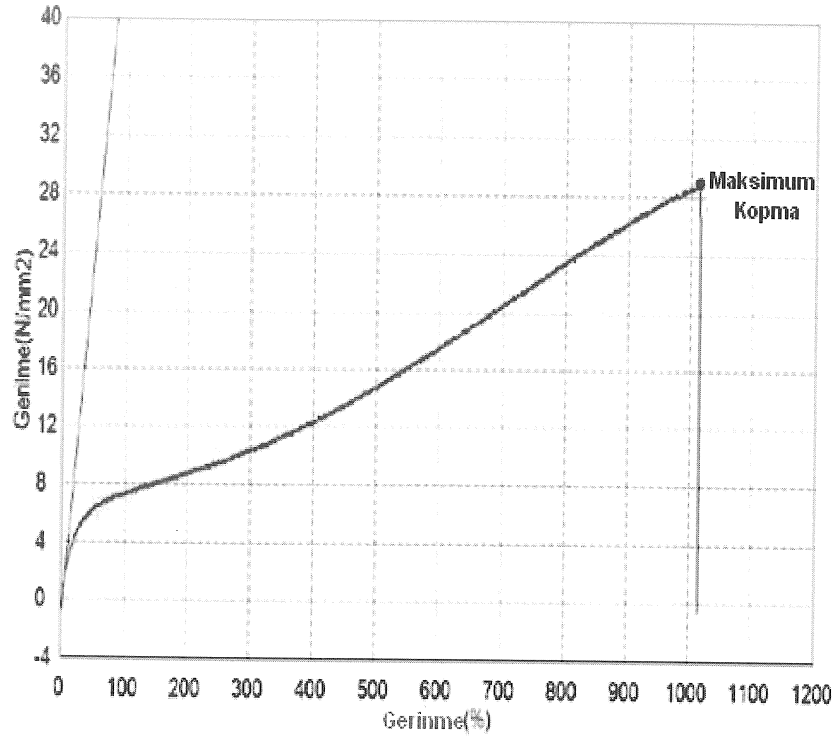
Malzeme	Gerinme %	Gerilme (N/mm ²)	Kuvvet (N)	Uzama (mm)	Enerji (Joule)
TPU	925,113	28,838	443,224	329,278	78,475
1%	1120,418	33,541	447,910	333,087	79,932
2%	1025,26	30,510	418,157	318,570	75,57
5%	889,826	22,877	339,983	272,296	52,56



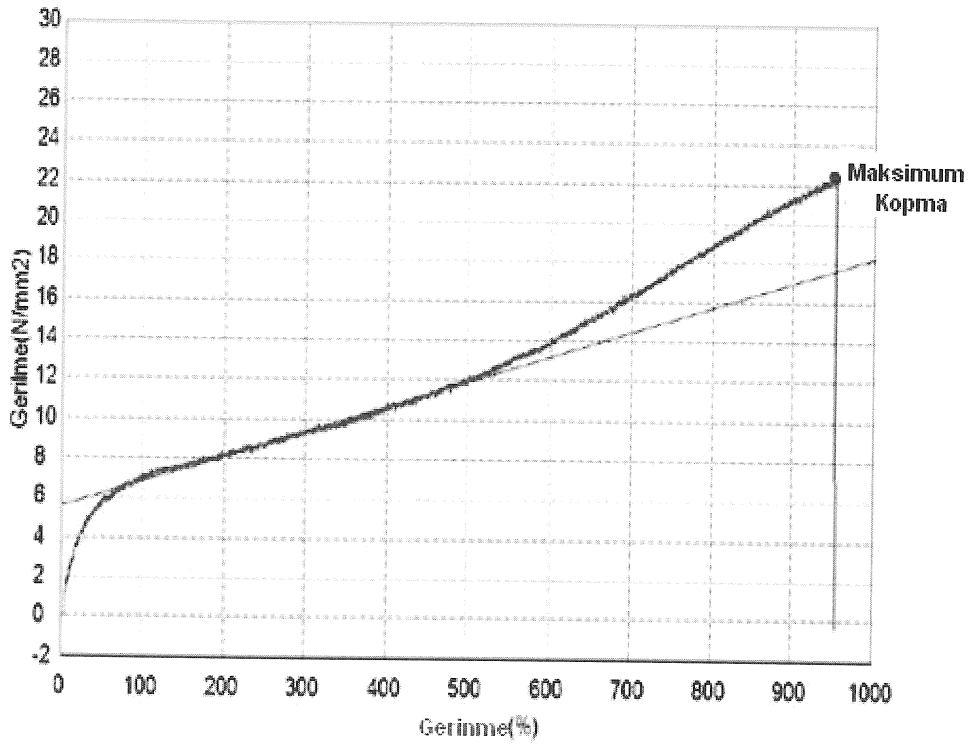
Şekil 12. Saf Termoplastik Gerilme-Gerinme Grafiği



Şekil 13. Ağırlıkça 1% Çok Katmalı Karbon Nanotüp İle Güçlendirilmiş Termoplastik Poliüretan Gerilme-Gerinme Grafiği



Şekil 14. Ağırlıkça 2% Çok Katmalı Karbon Nanotüp İle Güçlendirilmiş Termoplastik Poliüretan Gerilme-Gerinme Grafiği



Şekil 15. Ağırlıkça 5% Çok Katmalı Karbon Nanotüp İle Güçlendirilmiş Termoplastik Poliüretan Gerilme-Gerinme Grafiği.

SONUÇ

Bu çalışmanın amacı takviye olarak çok katmanlı karbon nanotüp ve matris olarak termoplastik poliüretan kullanılarak nanokompozit oluşturulduğunda, farklı oranlarda nanotüp kullanımının termoplastik poliüretanın çekme özellikleri üzerinde nasıl bir etki yaptığını incelemektir.

Uygulanan yöntem ve testler sonucunda çok katmanlı karbon nanotüp'ün termoplastik poliüretan ile 1% oranında karışımı ile elde edilen nanokompozitin en iyi çekme özelliklerini verdiği görülmüştür.

Gerilme-gerinme grafiğinin altında kalan alan malzemenin tokluğu vermektedir. Kompozit oluşturulduğunda maddenin tokluğu nanokompozitteki karbon nanotüp oranının artması ile doğru orantılı olarak artmaya başladığı fakat nanotüp yüzdesi 1%'den 5%'e arttırıldığında tokluğun azalmaya başladığı görülmüştür (Bkz Şekil 12, Şekil 13, Şekil 14, Şekil 15).

Tokluğun artışı ile yeni oluşan kompozit malzemenin ani yüklemelere karşı enerji emilim yeteneğinin arttığı gözlenmiştir.

Experimental Calculation of Mechanical Behavior of Reinforced Carbon Nanotube Thermo Plastic Polyurethane

The aim of this study is to examine the impact of the ratio of multi-walled carbon nanotubes on the tensile properties of thermoplastic polyurethane. The tensile properties have been measured on various material ratios for pure thermoplastic polyurethane (TPU) and reinforced thermoplastic polyurethane with different ratios of multi-walled carbon nanotubes (MWCNT). Thermoplastic polyurethanes and multi-walled carbon nanotubes have been composed with plastic injection machine. The sheets, which have been produced by injection molding, have been cut by computer numeric control machine (CNC) to form the shape of the specimen standards (ASTM-D12-C) for tensile testing. The specimens have been tested by the tensile test machine. It has been found that 1% weight percent ratio of the TPU nanocomposite has the best tensile properties.

Keywords: Thermoplastic Polyurethane, Carbon Nanotube, Plastic Injection.

KAYNAKÇA

1. Iijima S., "Helical microtubules of graphitic carbon." *Nature* 1991;354:56-8.
2. A. Hernandez-Perez , F. Aviles , A. May-Pat , A. Valadez-Gonzalez, P.J. Herrera-Franco , P. Bartolo-Perez," Effective properties of multiwalled carbon nanotube/epoxycomposites using two

- different tubes", *Composites Science and Technology* 68 (2008) 1422-1431.
3. Wei Chen , Xiaoming Tao, Yuyang Liu, "Carbon nanotube-reinforced polyurethane composite fibers " , *Composites Science and Technology* 66 (2006) 3029-3034.
4. Zdenko Spitalskya, Dimitrios Tasisb, Konstantinos Papagelis, Costas Galiotis, "Carbon nanotube-polymer composites: Chemistry, processing, mechanical and electrical properties", *Progress in Polymer Science* 35 (2010) 357-401.
5. H.J. Qi, M.C. Boyce, "Stress-strain behavior of thermoplastic polyurethanes", *Mechanics of Materials* 37 (2005) 817-839.
6. Chang-Sik Ha, Yiyeon Kim, Won-Ki Lee, Won-Jei Cho and Youngkyoo Kim, "Fracture toughness and properties of plasticized PVC and thermoplastic polyurethane blends", *Polymer* Vol. 39 No. 20, pp. 4765-4772, 1998.
7. Aruna Kumar Barick and Deba Kumar Tripathy, Preparation, characterization and properties of acid functionalized multi-walled carbon nanotube reinforced thermoplastic polyurethane nanocomposites, *Materials Science and Engineering B* 176 (2011) 1435-1447.
8. Jiawen Xiong, Zhen Zheng, Xiumin Qin, Ming Li, Huiqing Li, Xinling Wang, "The thermal and mechanical properties of a polyurethane/multi-walled carbon nanotube composite", *Carbon* 44 (2006) 2701-2707.
9. Leonard D. Tijing, Chan-Hee Park, Woo Lim Choi, Michael Tom G. Ruelo, Altangerel Amarjargal, Hem Raj Pant, Ik-Tae Im, Cheol Sang Kim, "Characterization and mechanical performance comparison of multiwalled carbon nanotube/polyurethane composites fabricated by electrospinning and solution casting" , *Composites: Part B* (2012), 10.1016/j.compositesb.2012.02.015.
10. Borja Fernández-d'Arlas, Umar Khan, Lorena Rueda, Jonathan N. Coleman, Iñaki Mondragon, Maria A. Corcuera, Arantxa Eceiza , "Influence of hard segment content and nature on polyurethane/multiwalled carbon nanotube composites", *Composites Science and Technology* 71 (2011) 1030-1038.

Mehmet Emin Özmen

Makine Y. Mühendisi

FNSS Savunma Sistemleri A.Ş.
Konya Yolu 8. km
Oğulbey Köyü Mevkii
Gölbaşı
06830 Ankara

Merve Erdal

Yrd. Doç. Dr.

Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Makine Mühendisliği Bölümü
06800 Ankara

Plastik Enjeksiyonda Parça Yüzeyini İzleyen Soğutma Kanalları İle Parça Soğumasının Analizi

Bu makalede, plastik enjeksiyonla imalat sırasında, parça şeklini izleyen (konformal) soğutma kanallarının kullanılmasının, parça ve üretim süreci üzerindeki etkileri sanal ortamda, bir bilgisayar benzetim programı (Moldflow) kullanılarak incelenmiştir. Bu bağlamda, yarım silindirik kabuk şeklindeki bir parça üretiminde düz (geleneksel) ve konformal soğutma kanalları kullanımının etkileri karşılaştırılmış, parçanın sıcaklık değişimi, donma süresi ve soğuma kalitesi gibi çeşitli özellikler incelenmiştir. Çalışmada aynı zamanda gerçek üretim verileri kullanılarak, bir buzdolabı rafının plastik enjeksiyonu sırasında konformal soğutma kanallı kalıp ve düz kanallı kalıp kullanımı benzetimi yapılmıştır. Bu analizde amaç, konformal kanallı kalıp kullanılarak çevrim süresinin, parçanın yüzey görüntü kalitesi bozulmadan azaltılmasıdır. Yapılan benzetimlerde konformal soğutma kanalları olan kalıpla üretilen parçaların düz soğutma kanalları olan kalıpla üretilen parçalara göre, parça yüzey kalitesi bozulmadan, çevrim süresinin önemli ölçüde düştüğü gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Plastik Enjeksiyon, Parça Şeklini İzleyen (Konformal) Soğutma Kanalları, Moldflow

TERİMLEME

p	basınç
S	akışkanlık (fluidity)
T	sıcaklık
x, y	kalıp kovuğu düzlemsel koordinatları
z	kalıp kovuk kalınlığı koordinatı
u	x yönündeki plastik akış hızı
\bar{u}	kovuk kalınlığı boyunca ortalanmış, x yönündeki plastik akış hızı
v	y yönündeki plastik akış hızı
\bar{v}	kovuk kalınlığı boyunca ortalanmış, y yönündeki plastik akış hızı
μ	plastik viskozitesi
ϕ	viskoz disipasyon

1. GİRİŞ

Plastik enjeksiyon, ince cidarlı, karmaşık şekle sahip orta büyüklükte plastik ürünlerin üretiminde en yaygın olarak kullanılan üretim tekniğidir [1]. Bu yöntemde, eriyik sıcak plastik, ürün şeklini verecek kalıp kovuğuna enjekte edilir, basınç altındayken kalıbın içine açılmış soğutma kanalları yardımıyla soğutularak katılaşır ve ürün halini alır. Plastik enjeksiyonda çevrim süresi parçanın maliyetini ve kalitesini belirleyen en önemli etkenlerden biridir. Bu bağlamda çevrim süresini parça yüzey kalitesini bozmadan düşürmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazılarında proses

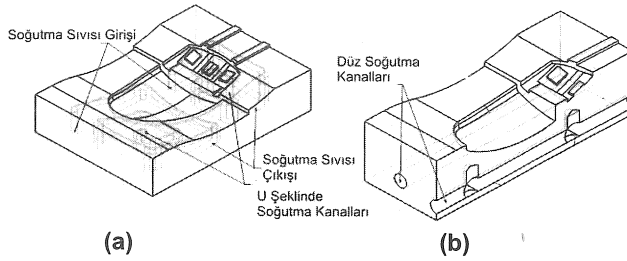
değişkenleriyle oynanarak düzgün bir soğuma sağlanarak soğuma süresi düşürülmeye çalışılmıştır.

Ji-Zhao Liang [2] soğuma sıvısı tarafından parçadan maksimum ısıyı alacak düz soğuma sistemi geliştirmeye çalışmıştır. Bu kapsamda tek yönden ısı iletimi sağlayacak bir sistem geliştirmiştir ve çeşitli proses değişkenleri (soğutma kanalı çapı, soğutma kanalları arasındaki mesafe ve soğuma kanallarının kalıp yüzeyine olan uzaklığı) optimize edilmiştir. Natti [3] düzgün kalıp yüzey sıcaklığı dağılımı elde etmek için benzer bir çalışma yapmıştır. Mathey [4] "T" ve "L" şeklindeki parçaların zamana bağlı ısı transferini sınır elemanları yöntemine dayanarak analiz etmiştir ve kalıp içinde soğutma kanalları için en uygun yeri belirlemiştir.

Bu çalışmaların yanı sıra yakın zamanda karmaşık geometrisi olan parçaların yüzey şeklini izleyen (konformal) soğutma kanallarına sahip kalıplar üretimi için lazer sinterleme yöntemi kullanılmış [5], hızlı prototipleme yöntemlerinin konformal soğutma kanallarına sahip kalıp üretiminde kullanımı incelenmiştir [6].

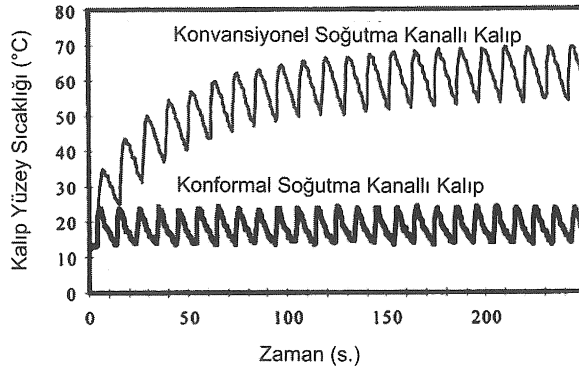
Karmaşık şekilli parçalara uygun kalıp için için U şeklinde soğutma kanalları frezeleme yöntemiyle üretilmiştir [7,8]. U şeklinde soğutma kanalları olan kalıpla düz soğutma kanalları olan kalıp karşılaştırılmış (Şekil 1), U şeklinde soğutma

kanalları olan kalıbın sıcaklık dağılımı daha düzgün bulunmuştur. Ancak U şeklinde soğutma kanallarında dolaşan suyun basıncının düz soğutma kanallarındaki suya göre daha fazla düştüğü gözlemlenmiştir. Bu da soğutma suyunu pompalamak için tüketilen enerjinin U şeklinde soğutma kanalları için daha fazla olduğuna işaret etmiştir.



Şekil 1 a) U şeklinde soğutma kanalları olan kalıp
b) Düz soğutma kanalları olan kalıp [7]

Karmaşık soğutma kanal konfigürasyonlarının normal yöntemlerle üretilmesi zordur. Bu yüzden hızlı prototipleme yöntemleri konformal soğutma kanallarına sahip kalıpları üretmek için uygulanmıştır. Lazer sinterleme yönteminin yanı sıra, Sachs [9], "3 Boyutlu Damlatma" (3-D printing) yöntemi ile, bağlayıcı maddeyle karıştırılmış çelik tozlarının bir püskürtücü ağızdan katman katman serilerek birleşmesi sonucu imal ettiği kalıpta, parça yüzeyini izleyen soğutma kanallarını oluşturmuştur. Sachs parça yüzeyini takip eden soğutma kanallarının düzgün bir sıcaklık dağılımına ilk çevrimden itibaren ulaşıldığını, düz soğutma kanallarında ise birkaç çevrimden sonra ulaşıldığını göstermiştir (Şekil 2).



Şekil 2 Düz soğutma kanallarına sahip kalıp ile konformal soğutma kanallarına sahip kalıbın birbirini takip eden çevrimler süresince yüzey sıcaklık dağılımının karşılaştırılması [9]

Bu makalede Moldflow programı kullanılarak parça yüzeyini izleyen (konformal) soğutma kanallarının, üretim süreci içindeki etkileri araştırılmıştır. Düz ve parça yüzeyini izleyen

(konformal) soğutma kanallarının proses üzerindeki etkisi, yarım silindir kabuk şekilli bir parça için üretim benzetimleri yapılarak incelenmiştir. Bunun yanı sıra, bir buzdolabı rafının düz soğutma kanalları kullanılarak yapılan gerçek üretim süreci, aynı sürecin parça yüzeyini izleyen soğutma kanalları kullanılarak yapılan benzetimi sonucundaki verilerle karşılaştırılmıştır.

2. PLASTİK ENJEKSİYON SÜRECİNDE KALIP İÇİ AKIŞ DENKLEMLERİ

Plastik enjeksiyonda kalıp içindeki akışın incelenmesi, istenilen parça kalitesini verecek süreç parametrelerinin belirlenmesi ve kalıp tasarımı (kaç kapıdan enjeksiyon yapılacağı, kapıların ve hava çıkışlarının konumlandırılması, vb.) için önemlidir. Kalıp içindeki üretim süreci temel olarak bir akış-ısı transferi problemidir. Ticari ya da ticari olmayan plastik enjeksiyon bilgisayar programları, kalıp içi akış-ısı transferi ve sonrasında soğutma kanalları yardımıyla plastiğin soğuyarak katılaşması süreçlerini modelleyerek, kullanıcıya üretim/kalıp tasarımı ile ilgili önemli bulgular verebilir. Kullanılan matematiksel modellerde, kalıp kovuğu kalınlıklarının, diğer parça boyutlarına göre çok küçük olması, kalınlık boyunca akış hızının ihmal edilmesine ve iç basıncın sadece düzlem koordinatlarına göre değişmesini öngörür. Bu nedenle, kovuk içinde akışın ön cephesi (ve kalınlıkların değiştiği durumlar) dışında kalıp içi akış 2-boyutlu kabul edilir ve Hele-Shaw yaklaşımı kullanılarak formüle edilir [10,11]. Bu yaklaşımda kalınlık yönündeki hız değişimi ortalanarak akış problemi, kalınlıktan bağımsız çözülür. Kullanılan formüller kütle, momentum ve enerji korunumunun bu yaklaşıma göre basitleştirilmiş halleridir. Kalıp kovuğunun düzlemsel koordinatları (x, y) yönündeki ortalama hızları, momentum denkleminin kalınlık boyunca $(z$ yönü) integralinin alınmasıyla aşağıdaki gibi ifade edilir.

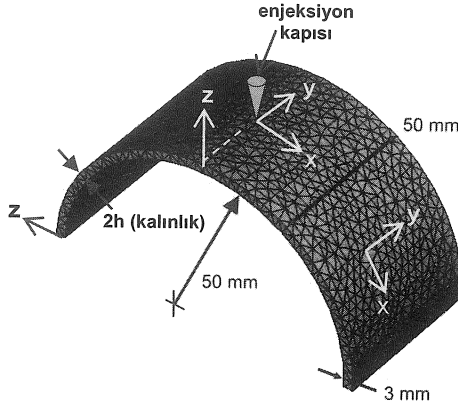
$$\bar{u} = -\frac{S}{2h} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (1.a)$$

$$\bar{v} = -\frac{S}{2h} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (1.b)$$

Bu denklemlerde h , kovuk kalınlığının yarısıdır. Kovuk içindeki koordinat sistemi, Şekil 3'te bir örnek parça üzerinde gösterilmiştir. Akış sırasındaki plastik basıncı, p ve \bar{u} , \bar{v} hızları sadece düzlemsel koordinatlara (x, y) bağlıdır. Akışkanlık (ya da akıcılık) olarak adlandırılan S parametresi ("fluidity"), eriyik plastiğin viskozitesine (μ) bağlı olarak aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$S = \int_0^h \frac{z^2}{\mu} dz \quad (2)$$

Plastik viskozitesi Newtonian olmayıp, kullanılan plastik çeşidinin reolojik davranış özelliklerine uygun formülasyonlarla ifade edilebilir. Akışkanlık tanımı, hem Newtonian, hem de Newtonian olmayan davranış özelliklerine sahip akışkanlar için geçerlidir.



Şekil 3 Yarım silindirik kabuk geometrisi ve kovuk içinde düzlemsel (x, y) ve kalınlık (z) yönündeki koordinatların gösterimi

Momentum korunumu (Denklem 1), kütle korunumuyla birleştirilerek basınç için aşağıdaki Laplace denklemi elde edilir.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(S \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(S \frac{\partial p}{\partial y} \right) = 0 \quad (3)$$

Kovuğun plastikte dolu alanındaki sınır koşulları, 2-boyutlu akış senaryoları için bilinmektedir. Akış cephesi boyunca (sıkışma olmadığı sürece) basınç atmosferik alınır:

$$p_{\text{akış cephesi}} = 0 \quad (4.a)$$

Plastiğin kovuk yan duvarlarıyla temas ettiği bölgelerde, duvara dik hız, sıfır alınır. Bu nedenle, basıncın duvara dik yöndeki (n koordinatı) türevi sıfırdır:

$$\left. \frac{\partial p}{\partial n} \right|_{\text{duvar}} = 0 \quad (4.b)$$

Enjeksiyon kapısında, basınç tanımlanmıştır (bilinmektedir):

$$p_{\text{kapı}} = P_0 \quad (4.c)$$

Plastik enjeksiyon sırasında kovuk içi plastik akış alanındaki basınç dağılımı, her zaman anı için,

Denklem (3)'ün, sınır koşulları (Denklem (4)) uygulanarak çözülmesiyle bulunur. Akış cephesi, bu bölgede Denklem (1) kullanılarak hesaplanan ortalama hızlarla, sayısal çözüm sırasında uygun bir zaman arttırımı kullanılarak ilerletilir. Böylece kalıbın içi tamamen dolana kadar akış cephesi ilerlemesi ve basınç dağılımları bulunabilir.

Kalıp içi akış, çok kısa olan çevrim süresince hızlı bir soğuma olduğu için sıcaklıktan bağımsız olmayabilir. Plastik viskozitesinin (ve akışkanlığın) nitelendirilmesi, sıcaklığa bağlı olarak ifade edilebilir. Bu da, Denklem (1) ve (3)'ün çözülebilmesi için sıcaklığın bulunmasını gerektirir. Kalıp içi plastik akış için enerji korunumu, zamana bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \phi \quad (5)$$

Bu denklemde ϕ viskoz disipasyonu ifade etmektedir. Viskoz disipasyon, akışkanın viskozitesi ve kayma hızı dağılımına bağlıdır. Enjeksiyon sırasında plastik viskozitesi ve (plastik çok küçük bir aralıktan geçtiği için) kayma hızlarının yüksek olması sonucu, bu terim enerji korunumunda ihmal edilmez. Plastiğin kalıpla temas ettiği en büyük alanın, kovuğun düzlemsel (x - y düzlemi) duvarları olması ve plastiğin, kalıp duvarlarına temasıyla kondüksiyon tipi ısı iletimiyle soğuması nedeniyle, sıcaklığın en hızlı değiştiği yön kovuk kalınlığı (z koordinatı) boyuncadır. Denklem (5)'teki hızlar, kalınlık boyunca ortalanmamıştır ve ortalama hızlarla aralarındaki ilişki aşağıdaki gibidir:

$$\bar{u} = \frac{1}{h} \int_0^h u dz \quad (6.a)$$

$$\bar{v} = \frac{1}{h} \int_0^h v dz \quad (6.b)$$

Denklem (3)'ün çözülmesiyle elde edilen basınç dağılımı, plastik enjeksiyon için aşağıdaki şekilde basitleştirilmiş momentum denklemi kullanılarak u, v hızları bulunabilir.

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (7.a)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (7.b)$$

Bulunan hızlar, Denklem (5)'te sıcaklığın çözümünü için kullanılır. Sıcaklık dağılımı, viskozite ve akışkanlığı ihmal edilemeyecek düzeyde

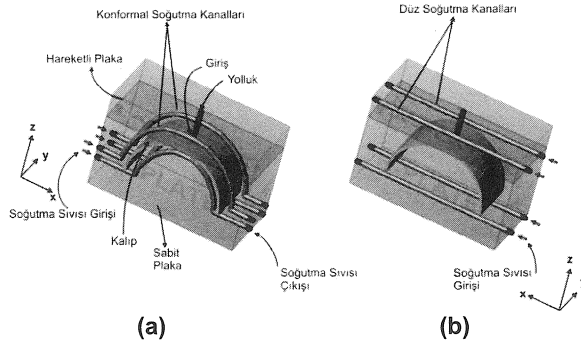
değiştiriyorsa, momentum ve enerji denklemlerinin birlikte çözülmesi gerekir.

Denklem (5)'in sıcaklık için çözülebilmesi için sınır koşulu olarak kovuk duvarlarının sıcaklığının bilinmesi gerekir. Bu sıcaklıklar, kovuk duvarlarından soğutma kanallarının iç yüzeyine kadar olan konduktif ısı iletimi ve kanallarda akan soğutucu sıvının (su) bu ıyı konvektif ısı iletimi yoluyla alıp kalıp dışına taşımasının analiziyle bulunur. Bu analizdeki ısı transferi problemi, kalıp ve soğutma kanalları şekilsel olarak karmaşık olduğu için, sayısal yöntemlerle çözülebilir.

3. KONVANSİYONEL VE KONFORMAL SOĞUTMA KANALLI KALIPLARDA KARMAŞIK ŞEKLİ PARÇA ENJEKSİYONUNUN BENZETİMİ

Önceki bölümde sunulan matematiksel enjeksiyon modelini temel alan ticari yazılımlardan birisi de Moldflow programıdır. Bu bölümde, Moldflow kullanılarak yarım silindir kabuk şeklinde bir parçanın iki tip soğutma kanalı için enjeksiyon benzetimi yapılmıştır. Bu analizde amaç düz ve konformal soğutma kanallarının, parça üzerinde etkisini incelemek ve karşılaştırmaktır. Enjeksiyon benzetimi yapılan yarım silindir kabuk şekilli ürün geometrisi, Şekil 3'te gösterilmiştir.

Şekil 4'te yarım silindir kabuk için (a) konformal soğutma kanalları olan kalıp ve (b) düz soğutma kanalları olan kalıp gösterilmiştir. İki tip kalıpta da, soğutma kanalları kalıbın her iki kısmında da (sabit ve hareketli) yer almaktadır. Konformal kanallar, parça yüzey profilini izleyecek şekilde açılmış, düz kanallar ise parça şeklinden bağımsız olarak tek bir eksen boyunca açılmıştır.



Şekil 4 a) Konformal soğutma kanalları olan kapalı kalıp, b) Düz soğutma kanalları olan kapalı kalıp

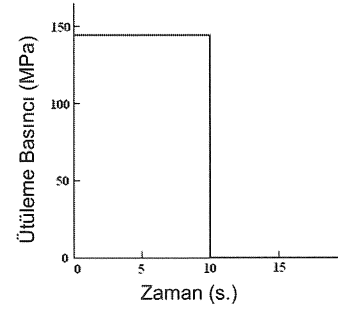
Bu kanal yapıları arasında bir karşılaştırma yapabilmek için, Tablo 1 de görüldüğü gibi süreç parametreleri, parça ve kalıp malzemesi, her iki tip kalıp için aynı şekilde verilmiştir. Çevrim içinde enjeksiyonu takip eden süreçte, ürünün istenilen

ölçülerde olması ve çöküntü, yamulma, eğilme gibi hataların en aza indirilebilmesi için, eriyik plastik bir süre daha yüksek basınçta tutulmaya devam edilir. Bu sürece ütleme denir. Şekil 5'te yapılan benzetim sırasında yarım silindir kabuk için kullanılan ütleme basıncı gösteriliyor. Ütleme sürecini, soğuma süreci takip eder. Plastik enjeksiyonun bir çevriminde yer alan en uzun süreç olan bu süreçte plastik soğuyarak katılaşır. Benzetim sırasında üretimin (çevrimin) sonlandırılma kriteri, parçanın kalıp açıldıktan sonraki donma yüzdesine göre ayarlanmıştır (% 100).

Tablo 1 Yarım kabuk üretimi benzetiminde kullanılan proses değişkenleri

Kalıp Malzemesi	Thyroplast 2738 (DIN 1.2738)
Ürün Malzemesi (plastik)	Polystyrol 165H
Soğutma Kanalındaki Suyun Debisi	7 l/dak
Soğutma Kanalındaki Suyun Giriş Sıcaklığı	20 °C
Kalıbın İlk Sıcaklığı	40 °C
Erimiş Polimerin İlk Sıcaklığı	230 °C

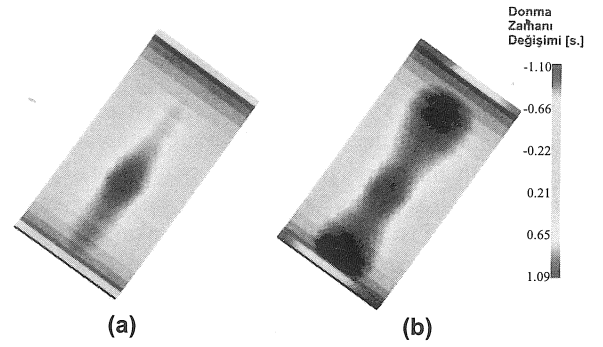
Ütleme Basıncı vs. Zaman



Şekil 5 Yarım silindir kabuk üretiminde ütleme basıncı

Şekil 6, Moldflow ile yapılan analiz sonucu elde edilen soğuma kalitesi sonuçlarını göstermektedir. Soğuma kalitesi, ısının parçadan ne derece düzgün alındığının göstergesidir. Şekil 6.b'de sarı ile görülen bölgede (düz soğutma kanallı kalıp), ısı diğer bölgelerdeki kadar hızlı ve eşit miktarda alınmamıştır. Bu sonuçlar "yüzey sıcaklığı değişimi" ve "donma zamanı değişimi"ne bağlıdır. Şekil 7 parçanın ortalama çevrim sıcaklığından ne kadar sapıp gösteren "yüzey sıcaklığı değişimi" sonuçlarını göstermektedir. Buna göre düz kanallı kalıpta, kabuğun orta kısmı ve kenarları arasındaki ortalama sıcaklık farkı, konformal kanallı kalıba göre önemli ölçüde fazladır. Konformal kanallı kalıpta, kanallar yüzey profilini izlediği için bu fark çok daha küçüktür. Sıcaklığın parça üzerinde önemli farklılıklar göstermesi, soğuma ve katılaşmanın (donmanın) da daha düzensiz/homojen olmayan bir şekilde gerçekleşmesini yol açmaktadır. Bu etkiler,

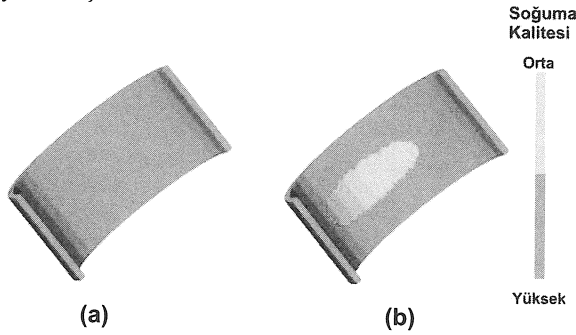
Şekil 8’de görülebilir. Şekil 8’deki “donma zamanı değişimi” plastiğin herhangi bir bölgedeki donma süresinin tüm parçanın ortalama donma süresine göre sapmasını göstermektedir. Düz kanallı kalıpta üretilen parçada, donma zamanı ve yüzey sıcaklığının çevrim ortalama değerlerinden önemli derecede saptığı (konformal kanallı kalıba göre) görülmektedir. Ancak, Şekil 8.a’da konformal kanallı kalıpta üretilen parça için, parçanın orta bölgesinin, diğer bölgelere göre belirgin bir şekilde daha geç donduğu gözlenmektedir. Bunun sebebi, bu bölgenin (düz kanallı kalıpta olduğu gibi) enjeksiyon kapısını içermesi ve enjeksiyon kapısının hava sıkışması olan bölgeler dışında, enjeksiyonun sonuna kadar en sıcak bölge olmasıdır. Buna rağmen, konformal kanallı kalıpta yapılan üretimde donma sıcaklığı farkının yüksek olduğu bölge, düz kanallı kalıba göre daha küçük bir alandadır. Şekil 7.a’da da görüldüğü gibi, konformal soğutma kanallarıyla yapılan üretimde soğutma kanalları parçanın üzerinden ısıyı, düz kanallı kalıba göre daha homojen almaktadır. Tablo 2’deki sonuçlar, konformal kanallarla soğutulan parçadaki soğuma süresinin, düz kanallarla soğutulan parçaya göre önemli miktarda azaldığını göstermektedir. Bu sonuç toplam çevrim süresine de yansımıştır.



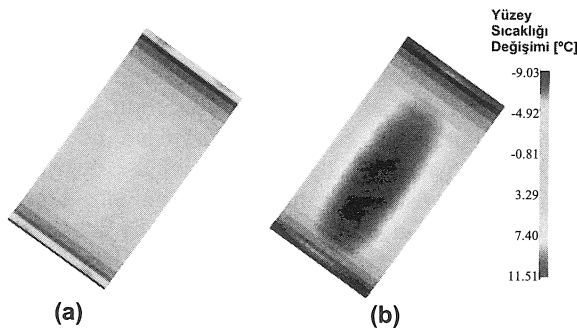
Şekil 8 Donma Zamanı Değişimi: (a) Konformal soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim (b) Düz soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim

Tablo 2 Benzetim Sonuçları

	Düz Soğutma Kanalları	Konformal Soğutma Kanalları
Çevrim Süresi (s)	21.68	16.42
Soğuma Süresi (s)	9.2	3.95

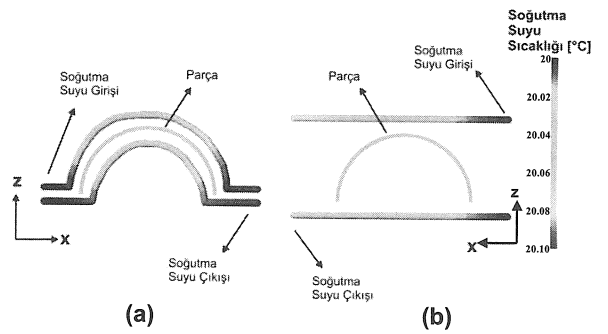


Şekil 6 Soğuma Kalitesi: (a) Konformal soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim (b) Düz soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim

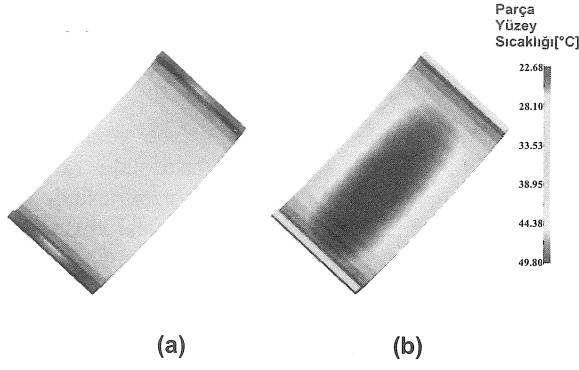


Şekil 7 Yüzey Sıcaklığı Değişimi: (a) Konformal soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim (b) Düz soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim

Şekil 9’da soğutma kanallarındaki suyun parçayla ısı alışverişini sırasındaki sıcaklığının değişimi gösteriliyor. Konformal soğutma kanalları daha verimli bir soğuma sağladığı için parçadan alınan ısı düz soğutma kanallarının aldığı ısıya göre daha fazladır. Bu yüzden konformal soğutma kanallarında soğutma suyundaki sıcaklık artışının düz soğutma kanallarındaki soğutma suyunun sıcaklık artışına göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Şekil 10’da konformal soğutma kanalları ile soğutulan parçanın kalıptan çıktığında yüzey sıcaklığı dağılımının, düz soğutma kanalları ile soğutulan parçaya göre daha az farklılık gösterdiği, değer olarak da daha düşük olduğu görülebilir.

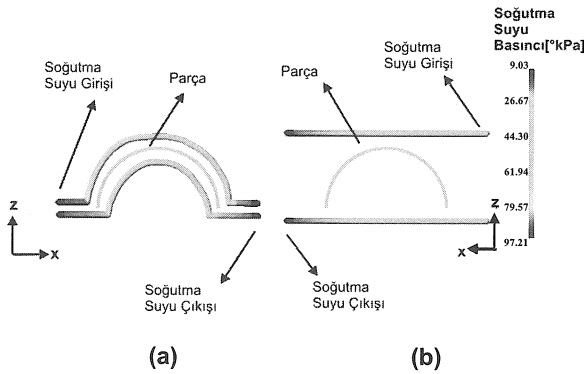


Şekil 9 Soğutma Suyu Sıcaklığı: (a) Konformal soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim (b) Düz soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim



Şekil 10 Çevrim Sonunda Parça Yüzey Sıcaklığı: (a) Konformal soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim (b) Düz soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim

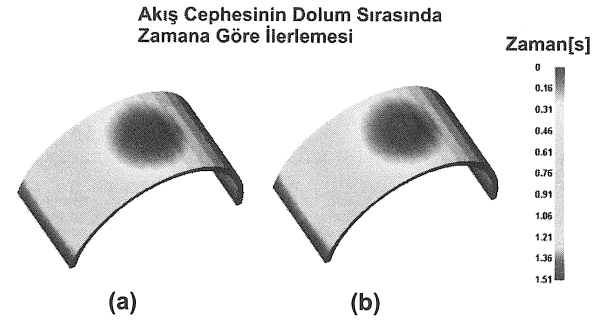
Şekil 11'de her iki tip soğutma kanalı konfigürasyonu için, kanallar boyunca suyun basınç değişimi görülmektedir. Konformal kanallardaki soğutma suyu basınç düşüşünün, düz kanallardakine göre yaklaşık iki kat daha fazla olduğu gösteriliyor. Bu da konformal kanallardaki soğutma suyunu pompalamak için gereken enerjinin düz kanallardaki soğutma suyunu pompalamak için gereken enerjiden daha fazla olacağına işaret etmektedir. Özellikle parça şeklinin karmaşıklığının artmasıyla, konformal kanal uzunluğu ve döngüleri de artacak, bu durum basıncın daha da fazla düşmesine neden olacaktır.



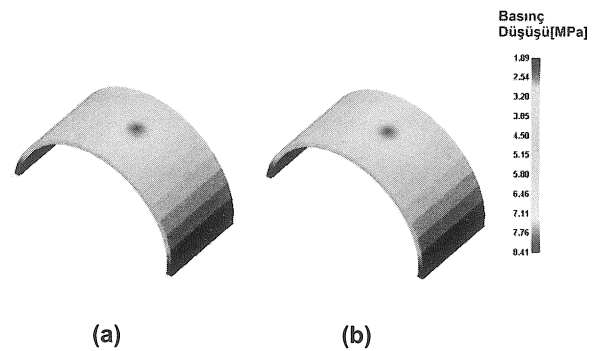
Şekil 11 Soğutma Suyu Basıncı: (a) Konformal soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim (b) Düz soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim

Şekil 12'de kovuk içinde her noktanın hangi zamanda doldurulduğu gösterilmektedir. Şekil 13'te kalıbın doldurulduğu andaki basınç dağılımının, kapıdaki basınca göre farkı gösterilmektedir. En büyük basınç farkı, beklenildiği gibi akış cephesinin son geldiği kabuğun uç bölgelerinde görülmektedir. Bu iki şekil, soğutma kanalı tipinin akış cephesi ilerlemesi, dolun basıncı ve dolun zamanı üzerinde önemli bir etkisi olmadığını göstermektedir. Ancak, Şekil 13'te çok net gözükmesine de konformal

kanallı kalıp için gereken basınç yaklaşık 0.08 MPa kadar fazladır. Şekil 14'te iki tip soğutma kanalı için, dolun anında parça içinde oluşan donma katmanı yüzdesi gösterilmektedir. Kalıp içinde dolun sürerken, polimerin kalıp duvarlarına temas ettiği yüzeylerde bir donma katmanı oluşturur. Donma katmanı yüzdesi, kalıpta erimiş polimerin dolun anında oluşturduğu donma katmanının polimerin aktığı alana olan oranıdır. Kalıpta donma katmanı ne kadar kalın olursa enjekte edilen erimiş polimerin akabileceği alan o kadar dar olur. Erimiş polimerin dar bir alandan geçerek kalıbı doldurması daha zordur. Şekil 14'te konformal kanallı kalıptaki polimerin donma katmanı yüzdesinin (daha verimli soğutulduğu için) biraz daha fazla olduğu gösteriliyor. Bu tip kalıptaki erimiş polimerin enjeksiyon basıncının bir miktar daha fazla olması, polimer sıcaklığının düşük olması sonucu (Şekil 7) oluşan daha yüksek viskozite ve daha küçük akış alanı (daha yüksek donma katmanı yüzdesi) ile açıklanabilir.



Şekil 12 Kalıp içinde Akış Cephesinin Dolun Sırasında Zamana Göre İlerlemesi: (a) Konformal soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim (b) Düz soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim

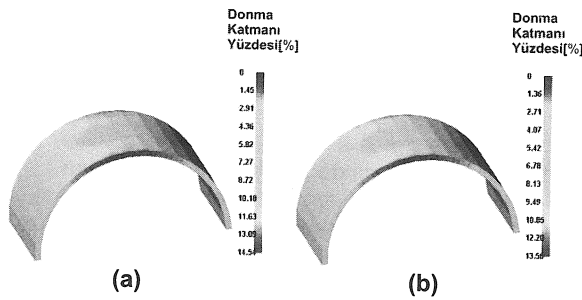


Şekil 13 Basıncın Düşüşü: (a) Konformal soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim (b) Düz soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim

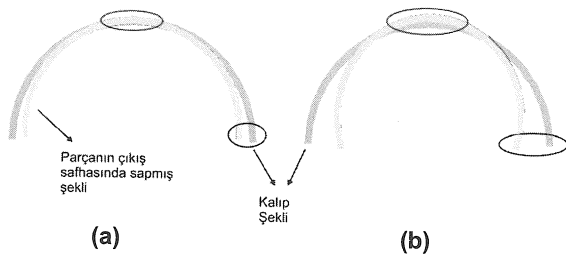
Parçanın soğuması sırasında, kalıp ile parça arasındaki sıcaklık farkının düzgün bir dağılım göstermemesi sonucu oluşan ısıl stresler, parçanın burkulmasına yol açabilir, parçanın görünümünü ve özelliklerini etkiler [12]. Tablo 3'te, iki tip soğutma kanalı için kalıptaki sıcaklıklar gösterilmiştir. Kalıp sıcaklıkları, konformal kanallı kalıpta daha küçüktür. Özellikle ortalama sıcaklık oldukça düşüktür. Şekil 10'daki sıcaklık dağılımları da gözönüne alındığında, düz tip soğutma kanallı üretim sonucu parçadaki sıcaklık dağılımının daha az değişken olması sonucu ısıl streslerin parça üzerindeki etkisinin daha küçük olması beklenmektedir. Şekil 15'te, iki tip kalıp için üretilen parçalarda ısıl strese bağlı sapma (soğuma sonrası) gösterilmiştir. Buna göre düz kanallı kalıpta üretilen parçanın tasarlanan haline göre sapsınının daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Tablo 3 Düz ve konformal soğutma kanal tiplerinde kalıp sıcaklığı

	Düz Soğutma Kanallı Kalıp	Konformal Soğutma Kanallı Kalıp
Minimum kalıp sıcaklığı (°C)	26.7	21.24
Maksimum kalıp sıcaklığı (°C)	50.18	41.48
Ortalama kalıp sıcaklığı (°C)	38.2	24.55



Şekil 14 Donma Katmanı Yüzdesi: (a) Konformal soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim (b) Düz soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim

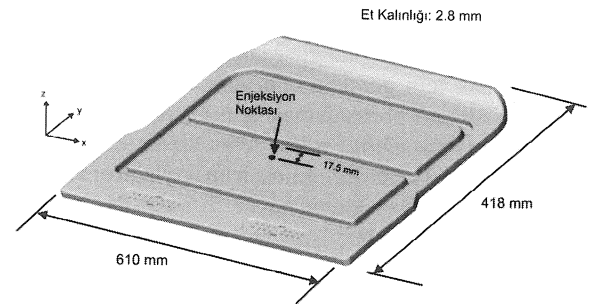


Şekil 15 Parçanın kalıptan çıkış safhasında ısıl strese göre sapsınının: (a) Konformal soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim (b) Düz soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim.

4. GERÇEK İMALAT ÖRNEĞİ: BİR BUZDOLABI RAFININ PLASTİK ENJEKSİYON İLE ÜRETİMİNİN MOLDFLOW KULLANILARAK BENZETİMİ

Bu kısımda, plastik enjeksiyon yöntemi ile seri üretimi gerçekleştirilen bir buzdolabı rafının, mevcut çevrim süresinin (58 s) - yüzey kalitesinde bir düşüş yaşanmaması şartıyla - düşürülmesi amacıyla, Moldflow'la enjeksiyon benzetimi yapılmış, uygun süreç/kalıp parametreleri araştırılmıştır. Benzetimlerde, gerçek imalattan alınan veriler kullanılmıştır (Arçelik).

Şekil 16'da benzetimde kullanılan buzdolabı rafının şekli ve boyutları verilmiştir. Parçanın et kalınlığı, her yerde 2.8 mm'dir. Enjeksiyon tek bir noktadan gerçekleştirilmiştir. Tablo 4, buzdolabı rafının üretiminde kullanılan plastik ve kalıp malzeme bilgilerini, süreç parametrelerini ve üretim sonucu elde edilen verileri göstermektedir.



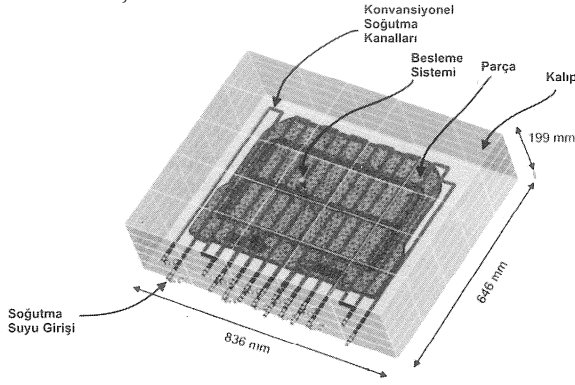
Şekil 16 İmalatı gerçekleştirilen buzdolabı rafı geometrisi

Tablo 4 Buzdolabı rafının plastik enjeksiyonla üretimi sürecinde proses değişkenleri

Kalıp Malzemesi	Thyoplast 2738 (DIN 1.2738)
Parça Malzemesi	Polystyrol 165H
Soğutma Suyunun Debisi	5 l/min
Soğutma Suyu Giriş Sıcaklığı	22 °C
Enjeksiyon Basıncı	80 MPa
Başlangıç Kalıp Sıcaklığı	40 °C
Başlangıç Erimiş Polimer Sıcaklığı	230 °C
Enjeksiyon süresi	3.05 s
Ütuleme Zamanı	10 s
Soğuma Süresi	41 s
Çevrim Süresi	58 s

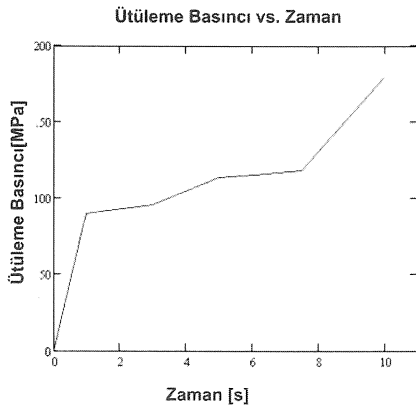
Şekil 17'de, gerçekleştirilen buzdolabı raf üretiminde kullanılan düz soğutma kanallarına sahip kalıbın tasarımı gösterilmiştir. Soğutma sıvısı olarak saf su kullanılmıştır. Soğutma kanalları arasındaki mesafe, soğutma kanallarının çapının 1.5 katı olarak alınmıştır. Soğutma kanallarının uzunluğu 1.5 m'yi geçmeyecek şekilde tasarlanmıştır. Kalıp yüzeyi ve

soğutma kanalları arasındaki mesafe, soğutma kanallarının çapının 3 katını geçmeyecek şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 17 Buzdolabı rafının mevcut üretiminde kullanılan kalıbın yapısı

Buzdolabı rafının gerçekte uygulanmakta olan üretim süreci, Tablo 4 teki değişkenlere göre ve Şekil 18’de verilen ütüleme basıncına göre gerçekleştirilmektedir. Mevcut üretim süreciyle ilgili elde edilen veriler arasında soğutma suyunun debisi ve giriş sıcaklığı bulunmamaktadır. Bu değişkenler deneme yanılma yöntemiyle Moldflow benzetimi yapılarak bulunmuş; parçanın mevcut üretimde kalıptan çıktığı zamanki bilinen yüzey sıcaklığı Moldflow benzetimiyle elde edilene kadar bu iki parametre değiştirilmiştir.

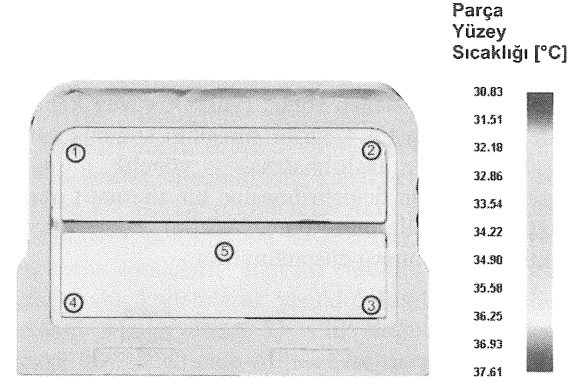


Şekil 18 Buzdolabı rafının mevcut üretiminde, ütüleme basıncı-zaman grafiği

Mevcut üretimde parçanın kalıptan çıktıktan sonraki yüzey sıcaklığı beş noktadan ölçülmüştür (enjeksiyon noktası da dahil) ve bu veriler Tablo 5’te verilmiştir. Bu sonuçlar, benzetim sonucu elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Moldflow’un verdiği en büyük hata değeri (% 12) enjeksiyon noktasında görülmüştür. Şekil 19’da, Moldflow ile bulunan buzdolabı rafı yüzeyinin sıcaklığının, kalıptan çıkış sırasındaki dağılımları gösterilmiştir.

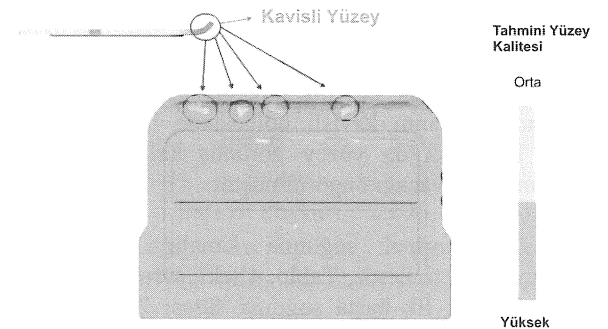
Tablo 5 Parça yüzeyinin üzerindeki 5 ayrı nokta için çevrim sonu sıcaklıkları: Mevcut üretim verilerinin, Moldflow üretim benzetimi sonuçlarıyla karşılaştırılması

Ölçüm/bildirim noktaları	1	2	3	4	5
Mevcut üretimde parçanın ölçülen yüzey sıcaklığı (°C)	35.5	34.2	34.8	35	41
Mevcut üretimin Moldflow’la benzetiminden elde edilen parça yüzey sıcaklığı (°C)	35	36	35.2	35.7	36
Hata (%)	-1.4	5.2	1.5	1.4	-12



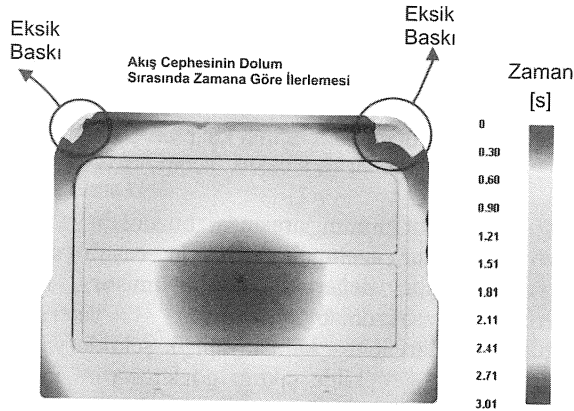
Şekil 19 Moldflow ile yapılan mevcut üretim benzetiminde buzdolabı rafının kalıptan çıkış yüzey sıcaklığı dağılımı ve sıcaklık ölçüm noktaları

Mevcut üretim sırasında, buzdolabı rafının çevrim süresini azaltmak amacıyla çeşitli süreç parametrelerinin değerleri değiştirilmiştir. Bazı çevrimlerde, buzdolabı raflarının - yeterince soğutulmadıkları için - kalıba yapışık şekilde ya da kalıptan kırılmış şekilde çıktığı gözlenmiştir. Tablo 4’teki tüm parametreler aynı alınarak sadece soğuma süresi 41’den 33 saniyeye düşürüldüğü üretim sürecinde üretilen rafların kavisli bölgelerinde yüzey kalitesinin daha kötüleştiği gözlenmiştir. Bu üretimin Moldflow kullanılarak benzetimi yapıldığında, gerçekte gözlenen kavisli bölgelerdeki düşük yüzey kalitesi, benzetim sonuçlarında da gözlenmiştir (Şekil 20).



Şekil 20 Soğuma zamanının süreç parametrelerinin değiştirilmesiyle düşürülmesi sonucu modellenen raf yüzey kalitesi

Mevcut üretimde, yine soğuma süresini düşürmek için, bir alternatif olarak erimiş polimer 230 °C yerine 200 °C sıcaklıkla kalıba verilmiştir. Bu denemede düşük sıcaklıktaki polimerin viskozitesi yüksek olduğu için, polimerin kalıba dolumu daha yüksek enjeksiyon basıncı gerektirmiştir. Bu yüzden, enjeksiyon basıncı yüzde 10 oranında artırılmıştır (80 MPa dan 88 MPa). Diğer parametreler, Tablo 4'teki gibi bırakılmıştır. Bu denemede üretilen parçaların, kavisli bölgelerinin uçları dolmamış şekilde (eksik baskı) çıktığı gözlenmiştir. Üretim aynı şartlarda Moldflow'da benetimi yapılmış ve eksik baskı benzetiminde de görülmüştür (Şekil 21). Süreç parametreleriyle oynanarak yapılan üretim denemelerinde (ve benzetimlerinde) çevrim süresi düşürülse bile istenen sonuç (yüksek yüzey kalitesi) elde edilememiştir. Çevrim süresinin soğuma süresi düşürülerek azaltılmasına yönelik süreç parametrelerinin değiştirilmesine bir alternatif olarak soğutma kanallarının, parça şeklini takip edecek şekilde tasarlanması düşünülmüştür.

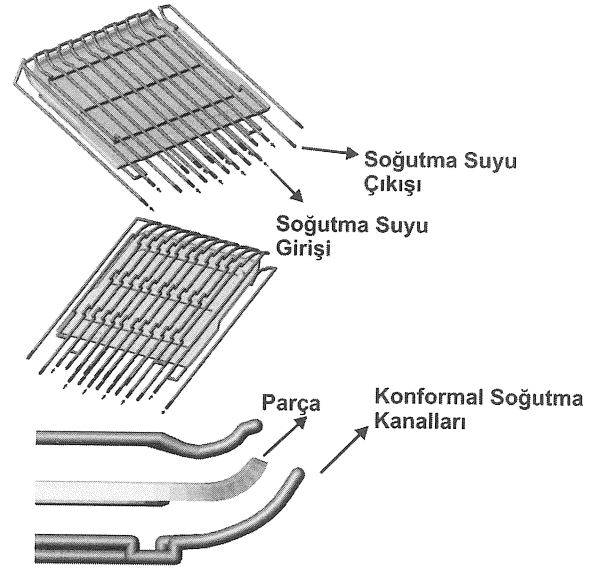


Şekil 21 Başlangıç sıcaklığı düşürülmüş erimiş polimerle yapılan enjeksiyon sırasında akış cephesinin zamana göre ilerlemesi

Şekil 22'de buzdolabı raf yüzeyini izleyen (konformal) soğutma kanalları tasarımı gösterilmiştir. Konformal soğutma kanallarıyla mevcut düz (düz) soğutma kanalları (Şekil 17) arasındaki önemli fark, konformal soğutma kanallarının kalıp içinde, yüzeyin kavisli bölgeleri de dahil her bölgesine eşit uzaklıkta ilerlemesidir. Bu şekilde, buzdolabı rafının daha verimli soğuyarak çevrim süresinin düşeceği, aynı zamanda parçanın kavisli bölgesinde herhangi bir eksik baskı ya da yüzey görünüş kalitesinde bir bozulma olmayacağı öngörülmüştür.

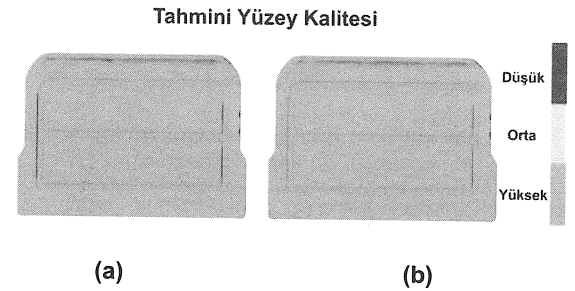
Konformal soğutma kanallı kalıp için yapılan benzetimlerde Tablo 4'teki süreç değerleri kullanılmıştır. İlk başta soğuma süresi 27 s olarak alınmıştır (Tablo 4'ten farklı olarak). Bu süre her seferinde 1 s artırılarak, yapılan her benzetim sonucu düz kanallı kalıpta yapılan üretim sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Benzetimler, elde edilen parça

kalitesi, düz kanallı kalıpla yapılan üretimdeki parça kalitesi ile örtüşünceye kadar sürdürülmüştür.



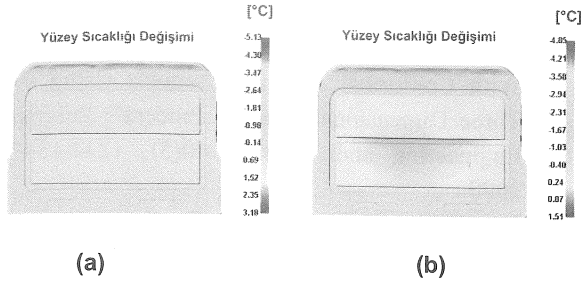
Şekil 22 Parça yüzeyini izleyen (konformal) soğutma kanalları

Soğuma süresi 33 saniye alındığında, konformal soğutma kanallı kalıpta üretilen parçanın, 41 saniyede düz kanallı kalıpta soğutulan parçayla eş yüzey kalitesi gösterdiği görülmüştür (Şekil 23).

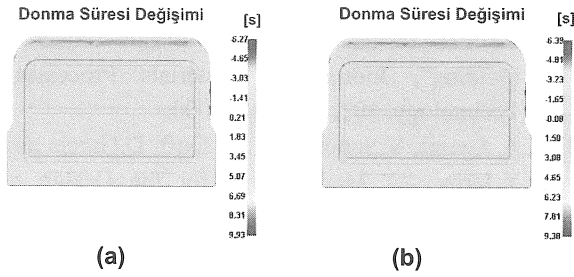


Şekil 23 Tahmini Yüzey Kalitesi: (a) Konformal soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim (b) Düz soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim

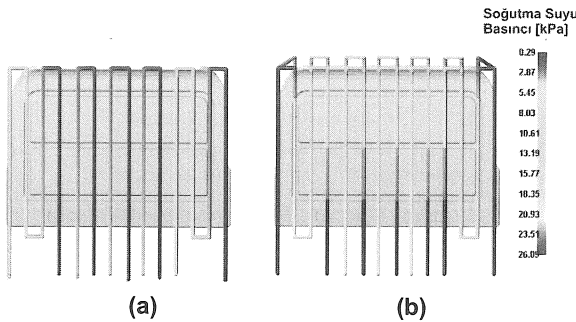
Şekil 24'teki sonuçlar, konformal kanallı kalıpta üretim benzetimi yapılan parçanın yüzey sıcaklık değişiminin, düz kanallı kalıpta üretilen parçaya göre biraz daha düzgün dağıldığını göstermiştir. Şekil 25'te konformal kanallı kalıp için üretim benzetimi yapılan parça içinde donma süresinin değişiminin, düz kanallı kalıptaki üretim sonucu elde edilen parçadaki değişime benzer olduğu görülmektedir. Şekil 26'da, konformal ve düz kanallar içindeki sudaki basınç düşüşü görülmektedir. Beklenildiği gibi, konformal kanallardaki basınç daha fazla düşmüştür.



Şekil 24 Yüzey Sıcaklığı Değişimi: (a) Konformal soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim (b) Düz soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim



Şekil 25 Donma Süresi Değişimi: (a) Konformal soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim (b) Düz soğutma kanalları kullanılarak yapılan üretim



Şekil 26 Soğutma Suyu Basıncı: (a) Düz (düz) soğutma kanalları (b) Konformal soğutma kanalları

5. SONUÇ

Plastik enjeksiyon sürecinde kaliteli ve ekonomik ürün için, plastiğin düzgün ve hızlı bir şekilde soğutulması gerekmektedir. Soğuma süresi, bir enjeksiyon çevrimdeki en uzun süreç olduğu için, özellikle seri üretimde soğumadan elde edilecek ufak tasarruflar bile önemli kazanç sağlar [13]. Hızlı ve düzgün soğumanın gerçekleşmesi için, üretim tasarımında kalıptaki soğutma kanalları özellikle önem kazanır.

Bu çalışmada, plastik enjeksiyonla imalat sırasında, parça şeklini izleyen (konformal) soğutma kanallarının kullanılmasının, parça ve üretim süreci üzerindeki etkileri bir plastik enjeksiyon benzetim programı (Moldflow) kullanılarak incelenmiştir. İlk olarak, yarım silindir kabuk şeklindeki bir parça üretiminde düz ve konformal soğutma kanalları kullanımının etkileri karşılaştırılmış, parçanın sıcaklık değişimi, donma süresi ve soğuma kalitesi gibi çeşitli özellikleri incelenmiştir. Bunu takiben gerçek bir üretim örneği kapsamında, bir buzdolabı rafının plastik enjeksiyonu sırasında konformal ve düz soğutma kanallı kalıpların kullanımı karşılaştırılmıştır. Önce mevcut üretimin, Moldflow’la benzetimi yapılmış, gerçek üretim verileriyle benzetim sonuçları karşılaştırılmış, benzetimin doğrulaması yapılmıştır. Daha sonra, mevcut üretim sürecinin, düz kanal yerine konformal soğutma kanallı kalıp kullanılsa nasıl sonuç vereceği Moldflow benzetimleriyle sanal olarak incelenmiştir. Benzetim sonuçları, mevcut üretimin konformal kanallı kalıp kullanılarak yapıldığı takdirde istenilen parçanın 41 s yerine 33 s’lik soğumayla yüzey kalitesi düşmeden elde edileceğine işaret etmektedir. Bu sayede çevrim süresinde önemli bir kazanım elde edilebilir. Ancak yapılan benzetimler, konformal kanallardaki soğutma suyu basıncının daha fazla düştüğünü, bu nedenle suyun pompalanması için daha fazla enerji gerektiğini de göstermiştir. Konformal soğutma kanallarının kullanımında karşılaşılan temel zorluk, bu tip kanala sahip kalıpların imalatıdır. Özellikle, ürünün şekil karmaşıklığı arttıkça, konformal kanallara sahip kalıpların maliyeti de artmakta, üretimi zorlaşmakta ve bazı durumlarda yapılamamaktadır. Çoğu zaman geleneksel yöntemlerle üretimi zor ya da mümkün olmayan bu tip kanallı kalıpların üretimi üzerine araştırmalar yapılmakta, özellikle hızlı prototipleme/katmanlı imalat (layered/additive manufacturing) yöntemleri ([6] gibi) incelenmektedir.

6. KAYNAKÇA

1. R. Wang, J. Zeng, X. Feng and Y. Xia, “Evaluation of Effect of Plastic InjectionMolding Process Parameters on Shrinkage Based on Neural Network Simulation”, Journal of Macromolecular Science - Part B: Physics, 52,206–221, 2013
2. J.Z. Liang, “An Optimal Design of Cooling System For Injection Mold”, Polymer Plastic Technology Engineering, 41(2), 261–271, 2002
3. N. S. Rao, G. Schumacher, N. R. Schott, K. T. O’Brien, “Optimization of Cooling Systems in Injection Molds by an Easily Applicable

- Analytical Model”, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 21(5), 451-459, 2002
4. E. Mathey, L. Penazzi, F.M. Schmidt and F. Rondé-Oustau, “Automatic Optimization of the Cooling of Injection Mold Based on the Boundary Element”, *Numiform*, 222-227, 2004
 5. J. Liu, Z. Lu, Y. Shi, W. Xu and J. Zhang, “Investigation into Manufacturing Injection Mold via Indirect Selective Laser Sintering”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol*, 48,155–163,2010.
 6. K.M. Au, K.M. Yu and W.K. Chiu, “Visibility-Based Conformal Cooling Channel Generation For Rapid Tooling”, *Computer-Aided Design*, 43, 356–373, 2011.
 7. Y. F. Sun, K. S. Lee and A. Y. C. Nee, “The Application of U-Shape Milled Grooves for Cooling Of Injection Molds”, *Proc. Inst. Mech. Engrs. Vol 216 Part B: J Engineering Manufacture, Special Issue Paper*, 1561-1573, 2002.
 8. X.P. Dang and H.S. Park, “Design of U-shape Milled Groove Conformal Cooling Channels for Plastic Injection Mold”, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 12(1), 73-84, 2011.
 9. E. Sachs, E. Wylqms, S. Allev, M. Cima and H. Guo, “Production of Injection Molding Tooling With Conformal Cooling Channels Using the Three Dimensional Printing Process”, *Polymer Engineering and Science*, 40(5), 1232-1247, 2000.
 10. D. Wimpenny, “Rapid Tooling Options Compared”, *Proc. 4th National Conference on Rapid and Virtual Prototyping and Applications*, Lancaster, U.K. 189-202, 2003.
 11. S. J. Park and T. H. Kwon, “Optimal cooling system design for the injection molding process”, *Polym Eng Sci*, 38, 1450-1462, 1998.
 12. X. Chen, Y.C. Lam and D.Q. Li, “Analysis of thermal residual stress in plastic injection molding”, *Journal of Materials Processing Technology*, 101, 275-280, 2000.
 13. A.Agazzi, V.Sobotka, R. Le Goff, D.Garcia and Y.Jarny, “A Methodology for the Design of Effective Cooling System in Injection Moulding”, *Int. J. Mater Form*, 3(1), 13–16, 2010.

YAYIN İLKELERİ

Amaç

1. Makina tasarım ve imalatı alanında yerli teknoloji üretimine yönelik kuramsal ve uygulamalı çalışmaları duyurmak.
2. Bu alanda çalışan kişi ve kuruluşlar arasında bilgi alışverişini sağlamak.
3. Yayımlanan çalışmalar üzerinde teknik tartışma ortamı yaratmak.
4. Üniversite – endüstri arasındaki yakınlaşma ve işbirliğinin geliştirilmesine katkıda bulunmak.
5. Türkçe teknik bilgi birikimini arttırmak.

Kapsam

- (a) Dergi amaçları doğrultusunda aşağıda belirtilen konularda veya bunlara yakın konulardaki yazıları yayımlar;
Makina Tasarımı, Mekanik Sistemlerin Tasarımı ve Analizi, Makina Teorisi ve Mekanizma Tekniği, Makina Elemanları, İmalat Yöntemleri, Bilgisayar Yardımı ile tasarım ve İmalat, Robotik ve Esnek İmalat Yöntemleri, Akışkanlar Mekaniği, Malzeme Seçimi ve Malzeme Sorunları, Kalite Kontrolü, Fabrika Organizasyonu ve Üretim Planlaması, Bakım ve Onarım, Derginin amacına uygun diğer konular.
- (b) Dergide yayımlanacak makaleler, bir yeniliği, ilerlemeyi, gelişmeyi, araştırma ya da uygulama sonuçlarını içermek üzere araştırma makaleleri, uygulama makaleleri, derleme makaleleri, çeviri makaleleri ve kısa makaleler olabilir.
- (c) Dergide üyelerimize faydalı olabilecek imalat ve teknoloji ile ilgili araştırma ve çalışmaların sunulduğu veya firma ve kuruluşların tanıtıldığı yazılar yayımlanabilir.

- (d) Derginin kapsamına giren konularda düzenlenen yurtiçi ve yurtdışı konferans, seminer, vb. etkinliklere ve ayrıca bu konulardaki kitap, dergi vb. yayınlara ait duyurular yer alır.

Makalelerin Değerlendirilmesi

Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, yayın kalitesi olarak belirli bir düzeyin üstünde kalmayı amaçlamıştır. Türkiye koşullarını da gözönüne alarak, bu kalite düzeyinin sürdürülmesi için gerekli tüm çaba ve titizlik gösterilecektir. Dergi'ye gelen her makale kesinlikle incelemeyi geçirecek ve bu amaçla mümkün olduğu kadar Türkiye çapında ya da yurtdışında konunun uzmanı hakemler tarafından değerlendirilmesine özen gösterilecektir. İnceleme ve değerlendirme sonuçları hakkında makale yazarlarına bilgi verilecektir.

YAYIN HAKKI

Dergide yayımlanan makalelerin her türlü yayın hakkı Makina Tasarım ve İmalat Derneği'ne aittir. Dergideki yazılar, yazılı izin alınmadan başka yerde yayımlanamaz ve çoğaltılamaz.

ÇALIŞMA İLKELERİ

Derginin yasal sahibi, MAKİNA TASARIM VE İMALAT (MATİM) DERNEĞİ'dir. "Dergi Yayın Kurulu" dergi yönetimi ile ilgili organdır. Dergi Yayın Kurulu, MATİM Derneği Yönetim Kurulu tarafından bir yıl süre ile seçilir. Yayın Kurulu derginin yayın ilkelerine uygun yayımı ile yükümlüdür. Yayın Kurulu faaliyetleri konusunda MATİM Derneği Yönetim Kuruluna bilgi verir ve onayını alır.

Journal of
MECHANICAL
DESIGN
AND
PRODUCTION

Journal of Mechanical Design and Production is a periodical, published by the Turkish Mechanical Design and Production Society, Ankara, Turkey. It is one of the society's aims, to publish qualified research and review papers in Turkish. The published papers are strictly refereed to maintain a high scientific and engineering level at international standard.

MAKALE GÖNDERME KOŞULLARI

Makina Tasarım ve İmalat Dergisi'ne yurt içinden ya da yurt dışından isteyen herkes yayımlanmak üzere makale gönderebilir. Gönderilen makalelerin dergi temel amaçlarına uygun ve dergi kapsamı içinde olması ve aşağıdaki makale kabul ilkelerini sağlaması gerekmektedir. Dergi Yayın Kuruluna gelen her makale en az iki hakem tarafından değerlendirilir ve sonuç olumlu ya da olumsuz olsa da, yazarına bildirilir.

Makina Tasarım ve İmalat Dergisinde aşağıdaki makaleler yayımlanabilir.

- Araştırma Makaleleri.
 - Uygulama Makaleleri.
 - Derleme Makaleleri: Belirli bir konu üzerinde bilimsel ve teknolojik son gelişmeleri zengin bir kaynakçaya dayanarak aktaran ve bunların değerlendirmesini yapacak nitelikte olmalıdır.
 - Çeviri Makaleleri: Yerli teknoloji ve bilgi birikimine önemli bir katkıda bulunacak nitelikte olmalıdır.
 - Kısa Makaleler: Yapılan bir çalışmayı zaman geçirmeden duyuran veya bu dergide yayımlanan bir makaleyi tartışan yazılardır.
 - Diğer: Yukarıda tanımlanan içerikte olmayan, ancak üyelerimize faydalı olabilecek, imalat ve teknoloji ile ilgili çalışma ve araştırmaların sunulduğu, firma ve kuruluşların teknik özelliklerinin tanıtıldığı yazılardır.
- Hakem değerlendirmesi için makaleler, elektronik ortamda Word ve Pdf dosyaları olarak İlhan Konukseven konuk@metu.edu.tr ve Bilgin Kaftanoğlu <bigink@atilim.edu.tr> adreslerine iletilmelidir. Örnek makale <http://matim.atilim.edu.tr> sitesinde verilmiştir.

Yazarlar, yayımlanma kabulünü takiben makalenin en son halini elektronik olarak göndermelidir. Kelime-işlemci olarak Windows işletim sisteminde çalışan MS Word program paketi kullanılmalıdır.

MAKALE KABUL İLKELERİ

Makaleler içerik ve şekil olarak aşağıda belirtilen biçimde hazırlanmalıdır.

Yazım Dili

Kullanılan dilin olabildiğince basit, anlaşılır ve kesin olmasına özen gösterilmelidir. İleri düzeyde teknik ya da alışılmamış kavramlar kullanmak gerektiğinde, bunlar uygun bir şekilde tanımlanmalı ve yeterince açıklanmalıdır.

Makalenin Yapısı

Makaleler, aşağıda verilen yapıda olacak şekilde hazırlanmalıdır.

- Makalenin adı
 - Yazar(lar) ad(lar)ı, ünvanları, bağlı olduğu kuruluş ve kuruluşun bulunduğu il.
 - Özet ve anahtar kelimeler
 - Makalenin ana kısmı
 - Teşekkür (gerekli ise)
 - İngilizce başlık, özet ve anahtar kelimeler
 - Kaynakça
 - Ek(ler) varsa
- Makalenin adı, olabildiğince kısa, gereksiz ayrıntıdan arınmış olmalı, ancak gerekli anahtar sözcükleri içermelidir.

Yazarların ad ve soyadları, ünvanları, bağlı olduğu kuruluş ve bulunduğu il verilmelidir. Ayrıntılı görev ve adres ise ayrı bir kağıtta ve yazarların kısa özgeçmişleri ile birlikte belirtilmelidir.

Özette sadece sonuçlar değil makalenin tümü çok kısa ve öz şekilde açıklanmalıdır. Özet, makalenin konusu, kapsamı ve sonuçları hakkında fikir verebilmeli, ilgili anahtar sözcük ve deyimleri içermelidir. 100 kelimeyi geçmeyen Türkçe özetin ve anahtar sözcüklerin İngilizcesi de konulmalı ve makale başlığının İngilizcesi de mutlaka yazılmalıdır. Bu konuda istenirse dergi Yayın Kurulu yardımcı olabilir.

Makalenin ana kısmında makalenin amacından söz edildikten sonra bir mantık zinciri içinde sorun tanıtılmalı, çözüm yolları ve diğer bilgiler verilerek sonuçlar ve bunların değerlendirilmesi sunulmalıdır.

Teşekkür kısmında gerekiyorsa kişi, kuruluş ya da firmalara teşekkür edilebilir. Özellikle firma adlarının bu bölümünün dışında başka bir yerde verilmemesine özen gösterilmelidir.

Başlıklar

Gerek makalenin yapısını belirlemek, gerekse uzun bölümlerde düzenli bir bilgi aktarımı sağlamak için üç tür başlık kullanılabilir:

- Ana Başlıklar,
- Ara Başlıklar,
- Alt Başlıklar.

Ana Başlıklar: Bunlar, sıra ile, özet, makalenin ana kısmının bölümleri, teşekkür (varsa), kaynakça, ekler (varsa)'den oluşmaktadır. Ana başlıklar büyük harflerle yazılmalıdır.

Ara Başlıklar: Yalnız birinci harfleri büyük harfle yazılmalıdır.

Alt Başlıklar: Yalnız birinci harfleri büyük harflerle yazılmalı ve hemen başlık sonunda iki nokta üstüste konularak yazıya aynı satırdan devam edilmelidir.

Matematiksel Bağıntılar

Matematiksel bağıntılar, bilgisayar ile anlaşılır şekilde açık ve seçik olarak yazılmalı, Türkçe alfabenin dışındaki karakterleri sayfanın sol tarafındaki boşlukta ayrıca ne oldukları yazı ile belirtilmelidir. Üst ve alt harf veya rakamlar belirgin bir şekilde yazılmalıdır. Özellikle bilgisayar kullanımında "l" (le) harfi ile "1" (bir) sayısının, "O" harfi ile "0" (sıfır) sayısının karıştırılmamasına özen gösterilmelidir. Metin içindeki bağıntılar 1 (bir)'den başlayarak sıra ile numaralandırılmalı ve bu numaralar eşittir bulduğu satırın sağ kenarına parantez "()" içinde verilmelidir.

Şekiller, Çizelgeler ve Resimler

Şekiller, küçültme ve basımda sorun yaratmamak için bilgisayar ile, düzgün ve yeterli çizgi kalınlığında çizilmelidir. Şekiller 1 (bir)'den başlayarak ayrıca numaralandırılmalı ve her şeklin altına alt yazılarıyla birlikte yazılmalıdır. Çizelgeler de şekiller gibi, 1 (bir)'den başlayarak ayrıca numaralandırılmalı ve her çizelgenin üstüne başlığıyla birlikte yazılmalıdır.

Resimler yeterli çözünürlükte sağlanmalıdır. Ayrıca şekiller için verilen kurallara uyulmalıdır. Özel koşullarda renkli resim baskısı yapılabilecektir.

Çizelge başlıklarının sadece ilk kelimesinin baş harfi büyük harfle, diğer harfleri ve kelimeler küçük harfle yazılmalıdır. Çizelge başlıkları, ayrıca bir sayfada da sıra ile verilmelidir.

Dip Notu

Dip notu gereken yerlerde bu bir üs numarası 1 ile belirtilmelidir. Buna karşılık gelen dip notu aynı sayfanın altında ara metinle bir çizgi ile ayrılmış olarak verilmelidir.

Kaynakça

Makale içinde gönderme yapılan (atıfta bulunulan) her türlü basılı yayın makalede söz edildiği sırada ve köşeli parantez [] içinde verilmelidir. Dergilerde yayımlanan makaleler, kitaplar, raporlar, tezler, kongre ve sempozyumlarda sunulan makaleler aşağıdaki örneklerde verilen şekilde yazılmalıdır.

- Dergi Makalesi
1. Richie, G.S., Nonlinear Dynamic Characteristics of Finite Journal Bearings, *ASME, J. of Lub. Technology*, 105 (1983) 3, 375-376.
- Kitap
2. Shigley, J.E. ve Mitchell, L.P., *Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1983.
- Rapor
3. Arslan, A.V. ve Novoseletsky, L.A., *Mathematical Model to Predict the Dynamic Vertical Wheel/Rail Forces Associated with Low Rail Joint*, AAR Technical Center, Technical Report, No.R-462, October 1980.
- Kongre Makalesi
4. Adalı, E. ve Tunalı, F., Bilgisayar Denetimli Tezgaha Geçiş, *1. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi Bildiri Kitabı*, 287-293, ODTÜ, 1984.

Makalenin Uzunluğu ve Yazımı

Dergide yayımlanacak makaleler 13 makale sayfasını geçmemelidir. Makaleler bilgisayar ile A4 formatında, iki aralıklı olarak yazılmalı ve sayfa kenarlarında yeteri kadar boşluk bırakılmalıdır. Şekillerin orjinalleri de dahil olmak üzere makale üç kopya gönderilmelidir.

Kabul edilen makaleler dergi için yapılan dizgi ve şekilsel düzenlemeden sonra kontrol için basımdan önce yazarına gönderilir.

Yayımlansın veya yayımlanmasın gönderilen makaleler yazarına geri gönderilmez. Yazılardaki fikir ve görüşler yazarına, çeviriden doğacak sorumluluk ise çevirene aittir.

YAZIŞMALAR

Belirtilmemesi durumunda konuyla ilgili yazışmalar birinci yazarın adresine gönderilir.

1. Örnek dip notu