ANALİZE DAYALI GELİŞİMSEL TASARIM: YÜZEY TEMİZLEME CİHAZ ÖRNEĞİ

Selçuk KEÇEL

Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Endüstri Ürünleri Tasarımı

kecel@gazi.edu.tr

Abdullah TOĞAY

Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Endüstri Ürünleri Tasarımı

atogay@gazi.edu.tr

ÖZ

Çalışma yüksek binalarda yüzey temizliği hedefindeki bir cihaz tasarımı örneğinden “gelişimsel tasarım” süreçlerini ve ürün üzerinden ortaya çıkan sonuçları açıklamaktadır. Günümüzde yüksek binalarda cam temizliği çalışanlar tarafından binalara halatlar yardımıyla asılarak elle gerçekleştirilmektedir. Bu işlem sırasında çevresel rüzgâr hızlarına bağlı olarak çalışanların hayati tehlikelerle karşılaştıkları durumlar sıklıkla yaşanmaktadır. Bu durumun önüne geçebilmek adına geliştirilen yüzey temizleme cihazının yüksek rüzgâr hızlarında yüzey temizliği yapabilecek özelliklerde olması yönünde bir tasarım çalışması yapılmıştır. Çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada rüzgâr hızlarına göre cihaz yüzeylerinde oluşan basınç kuvvetleri tespit edilmiş ve sürtünme katsayıları bulunmuştur. İkinci aşamada ise cihaz yüzeyine gelen basınç kuvvetlerine bağlı olarak cihazın farklı rüzgâr hızlarındaki yer değiştirme ve savrulma mesafeleri incelenmiştir. Üç farklı form yapısına sahip cihaz için gelişimsel tasarım süreci işletilmiş ve düşük sürtünme katsayılarına sahip model için ANSYS-Fluent programı ile aerodinamik iyileştirmeleri, ANSYS-Mechanical programı ile yer değiştirme mesafeleri hesaplanarak tasarım kararları alınmıştır. Ayrıca ürüne ilişkin teknik çıktıların yanında kullanılan gelişimsel tasarım yaklaşımının süreç üzerindeki etkileri de vurgulanmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Gelişimsel ürün tasarımı, tasarım kararları, ürün tasarımı, hesaplamalı akışkanlar dinamiği*

ANALYSIS BASED EVOLUTIONARY DESIGN: SURFACE CLEANING DEVICE EXAMPLE

ABSTRACT

The study highlights the "evolutionary design" processes and the results of the product through an example of a device design on the target of surface cleaning at high buildings. In today's high buildings glass cleaning is carried out manually by the employees via ropes on the buildings. During this process, there are frequent situations in which employees are exposed to vital danger due to environmental wind speeds. To prevent this situation, a design study has been carried out in order that the developed surface cleaning device should be capable of surface cleaning at high wind speeds. The study was carried out in two stages. At first, the pressure forces on the surface of the device were determined according to the wind speeds and the friction coefficients were found. In the second stage, displacement and swing distances at different wind speeds of the device were investigated depending on the pressure forces applied to the device surface. The evolutionary design process was operated for the device with three different form structures and the design decisions were taken by calculating the aerodynamic improvements with ANSYS-Fluent program and displacement distances with ANSYS-Mechanical program for the model with low friction coefficients. It also tried to emphasize the process-related effects of the evolutionary design approach used alongside the technical output of the product.

Keywords: *Evolutionary product design, decision of design, product design, computational fluid dynamics*

GİRİŞ

Tasarım birçok kavramın bir araya gelmesi ile oluşan multidisipliner bir süreçtir. Bu kavramlar tasarımcıların ellerinde, hayal güçleri ve tecrübeleri ile birleştirilerek doğru bir biçimde hayata geçirilir. Tasarımcı problem/ihtiyaçlara dayalı çözümler için zihninde canlandırdığı tüm evrelerde yaptığı dokunuşlara ait çözümlemelerin ne tür fayda/zarar getireceğine dair düşünceleri okumaya başladığında forma ait oluşan ürün olgusu değişme uğramaktadır. Gerek çalışma şartlarındaki etkiler gerekse kullanıcı istekleri doğrultusunda oluşan sınırlılıklar bazı noktalarda yaratıcılığa engelmış gibi görünse de, farklı parametrelerin bir arada değerlendirilmesinin ürüne kimlik ve kullanışlılık getirdiği çeşitli ürünlerde tecrübe edilmektedir.

Tasarlama ürünlerinin oluşturması sırasında gelecek problemlerine eğilme fikri, yeni metotlar ve tekniklerle çalışma zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Çeşitli bilim dallarında tasarlama ürünlerini ilgilendiren uzmanlık konularında oldukça büyük ilerlemeler kaydedilmektedir. Özellikle malzeme biliminde, elektronik mühendisliğinde, bilişim teknolojilerinde ve hesaplamalı tasarım alanında görülen gelişmeler tasarımın tümüyle değişmesine neden olmuştur. Farklı alanlarda meydana gelen bilimsel gelişmelerin tasarıma yansıtılması gerekmektedir. (Bayazıt, 2013:60-65)

Günümüzde enformasyon ve iletişim teknolojileriyle birlikte; tasarım programlarının parametrik hale gelmesi ve analiz sistemlerinin CAD altyapısına adaptasyonu ile yeni tasarım ortam ve araçları ortaya çıkmıştır. Endüstri Ürünleri Tasarımı eğitimi ve uygulamalarında sıklıkla kullanılan bu ortam ve araçların tasarım düşüncesine ve pratiğine etkisi ise uzun süredir tartışılmaktadır. Bu tartışma içinde yer alan söylemlere ilave olarak, CAD ve FEM ilişkisi yordanaarak amaca hizmet edecek bir ürün geliştirilmesinde hem tasarımcı kimliği hem de teknik altyapıya uygun parametrelerin değerlendirilmesi ürünün realist bir kimliğe bürünmesine katkı sağlayacağı söylenebilir. Bu bağlamda tasarım kararları verilirken kullanıcı ihtiyaçları genelinde çizilen sınırlara ilave olarak, çalışma özellikleri ve dış etmenler de ürünün şekillendirilmesine büyük oranda katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte ürün tasarımı sürecine teknik boyutun ilave edilmesi ise tasarımdan sonraki süreçte uygulayıcıların verdiği kararlarla bağlı olarak tasarımın yeniden şekillendirilmesine sebep olmaktadır.

Adı geçen tüm tasarım bileşenlerinin sürecin başından itibaren kontrollü bir biçimde ele alınması ise tasarımın gelişimine ve her aşama içinde en doğru kararın verilmesine neden olacağından gelişimsel tasarım olgusu bu çalışma kapsamında ele alınmıştır. Bununla birlikte tasarım süreci,

- Kullanıcı ihtiyaçlarının bilimsel araştırma verileriyle tanımlandığı,
- Çalışma koşul ve sınırlılıklarının tasarım kararlarına veri oluşturduğu,
- Kararların analiz sonuçlarına göre kullanıcı ile tasarımcı tarafından verildiği,
- Tasarımcının tasarım eylemine rehberlik ettiği,
- Çevre ve davranış araştırmaları bilgisinden tam olarak yararlanıldığı,
- Analize dayalı etkilerin sıklıkla geri bildirimlerle değerlendirildiği bir yapı şeklinde ifade edilebilir.

Bu çalışma çerçevesinde binalarda yüzey temizliği yapabilecek bir cihaz örneğinde kurgulanmış, süreç her bir adımda kontrol edilmiş, gerekli parametrelerin değerlendirilmesi ile daha iyi noktalara çıkarılması hedeflenerek tamamlanmıştır. Ürün tasarımı alanında Gelişimsel tasarımın örneğini oluşturmayı hedeflediğimiz bu çalışmada, CAD programları (Fusion) ile Sonlu hacimler yöntemine göre çalışan (ANSYS-Fluent-Mechanical) programların harmanlanarak iyi bir örnek oluşturmaya çalışılmıştır. Bu çalışma ile yüksek kapasiteli ve çevresel şartlara direnç gösterebilecek bir forma sahip cihaz tasarımının analiz destekli verilerle geliştirilmesine ilişkin süreci yansıtacağı düşünülmektedir. Ayrıca tasarım sürecinde teknik parametrelerin sınırlılıkları ile tasarım kararları arasındaki ilişkiyi hesaplamalı olarak ortaya koyabilecek bir döngü de açıklanmaya çalışılacaktır.

TASARIM

Ürün tasarımı, insan deneyimine, yaratıcı düşünceye ve ilgili bilgiye dayanan, hedefe yönelik problem çözme etkinliğidir; Yaratıcılığı ve inovasyon araçlarını, dayanıklı ürün geliştirme için aksiyomatik tasarım metodolojisi ile bütünleştirerek yapılmalıdır (Goel, 1998:5-8). Tasarım artık sadece tasarımcı merkezli değildir. Bilgi teknolojilerinin sağladığı katkı ile süreçler modellemenden simülasyona kadar çok sayıda aşamada farklılaşmaktadır. Buna bağlı olarak tasarım süreçleri içerisindeki bileşenlerin ağırlık merkezi de değişmiştir. Genel olarak bakıldığında ürün tasarımında; güvenlik, kalite, emniyet, dayanıklılık, kolay bakım, statü, marka, performans, estetik-moda, ek özellikler, çevreyle uyum, raf ömrü, kolay kurulma, ambalaj, kanuni standartlara uygunluk gibi kriterler dikkate alınır ve bunların çözümü farklı metotlarla gerçekleştirilebilir (Roozenburg ve Eekels, 1996: 250-272).

Tasarım adına yapılan ortak gözlem temelde 3 adımdan oluşmasıdır: (i) Analiz, problemin parçalara bölünmesi, (ii) Sentez, parçaların yeni yöntemlerle bir araya getirilmesi, (iii) Değerlendirme, yeni düzenlemeyi uygulamaya koyarak sonuçları test etme (Jones, 1992:20-25) (Özer ve Turgay, 2016: 75-80). Çok sayıda kaynakta farklı isimlendirilen aşamalar olmakla birlikte süreç temelde problem tespiti ile başlayan ve değerlendirme ile son bulan bir yapıdadır. Ancak özellikle simülasyon becerilerinin artışı tasarım süreci içerisindeki iterasyonları etkilemekte ve değerlendirme süreci çok sayıda tekrar eden bir bileşen olarak sürece yayılabilmektedir. (Goel,1998: 5-8).

Geleneksel tasarım süreci tanımına bakıldığında doğrusal bir model öne çıkmaktadır. Ancak tasarım farklı parametrelerin sürece dâhil edilmesi veya ön plana çıkarılmasıyla karakterize edilmektedir (Aktaran: Ersoy, 2010: 351). Örnekleme gerekirse; “çevresel tasarım” (*environmental design*) yaygın olarak çevresel parametreleri göz önünde bulunduran bir sürecin adı iken “kullanıcı gereksinimleri temelli tasarım” (*user needs-based design*) (Cherulnik, 1993:4) birey-kullanıcı ve davranışsal unsurlara vurgu yapmaktadır. Kullanıcının tasarım ve karar süreçlerine dâhil olduğu “katılımcı tasarım” (*participatory design*) veya “işbirlikçi tasarım” (*collaborative design*) (Sanoff, 2011:11-12) olarak adlandırılmaktadır. Yine kullanıcının programlamaya dâhil olduğu ürün veya yazılım tasarımlarını da içeren “kapsamlı tasarım” (*inclusive design*) (Clarkson, 2003:5-7) ya da özellikle büyük ölçekli tasarımların etaplara bölünerek tasarlanması ve uygulanması, bir sonraki aşamanın bir öncekinin başarısına göre tekrar biçimlenmesini öneren “gelişimsel tasarım” (*evolutionary design*) (Sommer, 1974:22-32) bu yaklaşım farklılıklarından bazılarıdır.

Şekil 1. Ürün tasarım sürecine ait gelişimsel ve klasik tasarım metotları

Gelişimsel tasarım sürecinde bir önceki basamakta elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve sonucunda alınan kararların etkisi sonraki adımın temeline kaynaklık etmektedir. Bu açıdan tasarımcı zihninde canlanan tüm form süreçleri doğru ekseninde ele alınmakta ve cevaplar üzerinde tartışma yapılarak ürüne konu olan tüm aşamalar gözden geçirilmektedir. Bu çalışma kapsamında gelişimsel metot denenerek, süreç döngüsel olarak açıklanmıştır (Şekil 1).

MODELLEME ve ANALİZ**Bilgisayar Destekli Çizim ve Sonlu Elemanlar Çözüm Modelleri**

Yüzey temizleme cihazı tasarımında Şekil 1’de verilen şemada belirtilen gelişimsel tasarım süreci işletilmiştir. Bu süreçte geometri ile ilişkili yapılan form çalışmaları Autodesk Fusion programında yapılmıştır. Bu aşamadan sonra hazırlanan modeller “.step” uzantısıyla ANSYS modülüne aktarılmıştır. ANSYS modülünde iki farklı component sisteminde analizler yapılmıştır. Bu süreçte ilişkin olarak izlenen metot aşağıda verilmiştir.

1. Aşama	2. Aşama	3. Aşama
Autodesk-Fusion	ANSYS-Fluent	ANSYS -Mechanical
<ul style="list-style-type: none"> Formların belirlenmesi ve çizimi 	<p><u>Workbench</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Geometrik modelin akışa uygun hale getirilmesi Akış hacminin oluşturulması <p><u>Meshing</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Düğümleme işleminin yapılması Sınır şartlarının konumlandırılması <p><u>Fluent</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Sınır şartlarının girilmesi Çözüm metotlarının belirlenmesi Çözümleme-Yakınsama Sonuçların raporlanması <p><u>CFD-Post</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Sonuçların görselleştirilmesi 	<p><u>Modelleme</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Düğümleme işleminin yapılması Sınır şartlarının yeri ve değerinin belirlenmesi Çözümleme Sonuçların değerlendirilmesi

Şekil 2. Gelişimsel tasarım sürecinde program aşamaları

Birinci aşamada Tasarımcı zihninde oluşan formlar Fusion programında temel ölçüler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Burada hazırlanan modeller et kalınlıklarında ve belli çizgisel hatlar neticisinde ürünün iç kısmında yer alan ekipmanlarla birlikte modellenmiştir. Bu aşamada yapılan çalışmalar ANSYS modelüne step. Uzantılı olarak aktarılmıştır.

İkinci aşama, ANSYS-Fluent modülü ile akış simülasyonlarının cihazın çalışma koşullarına göre test edildiği ve sonuçların üretildiği bölüm olarak ifade edilebilir. Fluent-Workbench modülü Autodesk-Fusion programında katı model olarak hazırlanmış geometrilerin çeşitli komutlar ile akış hacmine dönüştürülerek çözüme uygun hale getirildiği kısımdır. Akış hacmi oluşturulan tüm modeller için ANSYS-Meshing modülü kullanarak düğümleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada oluşturulan tüm çözüm işlemlerinde ele alınan düğümlerin (Skewness) %90’a yakın bölümünün kalitesi 0.6 değerinin altında tutulmuştur. Sayısal çözümde yakınsama açısından önemli olan düğümlerin kalitesine bakıldığında Skewness değerinin 0’a yaklaştıkça kalitesinin yükseldiği 1’e yaklaştıkça kötüleştiği bilinmektedir (ANSYS, 2011: 257-260). Fluent modülünde, sınır şartları ve çözümleme işlemleri gerçekleştirilmiş olup, programda dış akış analizleri yapılmış, yüksek rüzgâr hızları için k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Rüzgâr yönü olarak hem batı hem de güney yönü belirlenmiş ve sınır şartı “velocity inlet” olarak tanımlanmıştır. Rüzgâr çıkışları pressure outlet olarak verilip, üst bölge simetri ekseninde verilmiştir. Yakınsama parametreleri program kontrollü olarak 10^{-5} düzeyine indirgenmiş ve elde edilen çözümler (basınç kuvveti, sürüklenme, basma kuvvetleri, hız dağılımları) raporlama kısmından alınmıştır. Son aşamada ise elde edilen çözümler ve sayısal değerler ANSYS-CFDPost modülünden elde edilen görsellerle desteklenmiştir. Bu çalışma

kapsamında tüm modeller bu döngüde istenilen verimli çalışma parametreleri belirleninceye kadar tekrarlı çözümleme işlemlerinden geçirilmiştir.

Üçüncü aşamada ANSYS-Mechanical modülü kullanılmış olup, akışkandan elde edilen basınç kuvvetlerinin cihaz üzerine aktararak cihaz üzerinde meydana gelen yer değiştirme miktarları tespit edilmiştir. Cihazın yüksek rüzgâr hızlarında yer değiştirme ve savrulma miktarları bu aşamada elde edilerek en uygun form yapısına ulaşılmıştır.

Dış Yüzey Tasarımları

Gelişimsel tasarım döngüsünde dış yüzey tasarımı değişmeyen temel kriter cihaz ölçüleri olarak kabul edilmiştir. Belirli G x Y x D (170 x 80 x 220 cm) ölçüleri için hazırlanacak modellerin göstereceği değişimler form yapısının belirlenmesinde önemli rol oynayacaktır. Bu aşamada cihaz yapısı oluşturulurken, tasarımcının ya geleneksel metotlara göre düşünce bağlamında geliştirdiği form üzerinden devam edilecek ya da CAD/FEM ilişkisinde elde edilen aşamalı bulgular doğrultusunda gelişimsel metoda ilişkin bir çalışma yapılacaktır. Bu noktadan sonra form kararı elde edilen hesaplama değerleri ile değerlendirilerek gözden geçirilecektir. Tasarıma başlarken yüzey hatları farklı iki model üzerinde durulmuştur (Şekil 3).

Şekil 3. Cihaza ait dış yüzey tasarımları (Model-1 ve Model-2)

Cihaz için hazırlanan tasarımlar temel olarak üç bölüme ayrılmıştır. Burada üç farklı bölgede oluşan etkilerin incelenmesi ve elde edilen bulguların karar verme süreçlerine dâhil edilmesi düşüncesinden yola çıkılmıştır. Rüzgâr hızlarının bütünsel form üzerinde yaratacağı etkilere göre form yapısında düzenlemeler yapılacaktır. Bu amaçla Model-1'in ön bölümünde kanal sayısı dört aşamalı olarak çizilmiş arka kısımda daha keskin bir hat oluşturulmuştur (Şekil 4).

Şekil 4. Cihaza ait çizgisel görünüm (Model-1 ve Model-2)

Model-2'ye bakıldığında ise ön gövdede daha az sayıda kanal sayısı olmakla birlikte, daha yuvarlak bir yapı verilerek akış etkilerinin incelenmesi sağlanmıştır. Ayrıca 2 numaralı modelin arka kısmında daha eğrisel bir dönüş düşünülerek yine yanal basınç kuvvetlerinin etkisi tespit edilmiştir. Bina yüzeyine asılarak gerçekleştirilecek temizleme işlemleri için ön cepheden rüzgâra karşı bir etkileşim olmamasına rağmen yapılan tasarımlara ilişkin örnekler Şekil 5'te verilmiştir.

Şekil 5. Cihaza ait dış yüzey tasarımları (Model-1 ve Model-2)

İki farklı model için akış analizleri sonunda elde edilecek verilere meydana gelen etkiler değerlendirilerek ürün formuna ait karar verilecektir. Bu kapsamda modellerin yanal yüzey alanlarında ortaya çıkan basınç kuvvetlerinin dağılımı tespit edilerek c_D katsayıları hesaplanacaktır.

Bina üzerine cihazın konumlandırılması

Gelişimsel tasarıma kaynaklık ederek verilen form durumuna ilişkin kararların alınacağı ilk aşama bu noktadan itibaren başlamaktadır. Farklı forma sahip modeller 200 m yüksekliğindeki binanın 100. metresinde konumlandırılmıştır. Bu aşamada ANSYS Fluent modülü kullanılmış, 20, 36, 52, 72km/h'lık rüzgâr hızları için çözümler yapılmıştır. Rüzgâr hızlarına bağlı oluşacak basınç kuvvetlerinin değerlerine göre formlara ait geliştirilecek her düşüncenin etkisi net bir biçimde “daha verimli” veya “daha zayıf” olarak adlandırılabilir. Bu yüzden tasarım kararlarına ait etkiler “olumlu” kabul edilip bir sonraki aşamaya ya da “olumsuz” kabul edilip bir önceki aşamaya dönecektir (Şekil 3).

Şekil 6. Cihazın binaya bağlanma görüntüleri ve düğüm yapısı

Tasarıma ait temel parametrelerde rüzgâr hızı ve yüzeye etki eden basınç kuvvetleri esas alınmıştır. Bununla birlikte rüzgâr alacak binanın akış hacmi içinde merkezlenmesi ve gelen rüzgâr kuvvetlerinin cihaz üzerinde tam etkin olması da çalışmada üzerinde durulan bir diğer önemli kriterdir. Akış alanı içinde binanın doğru konumlandırılmasına ilişkin hazırlanan görüntüler Şekil 4'te verilmiştir.

Şekil 7. Bina ve cihaz konumlandırma örnekleri

Dış akış hacmi içinde yer alan bina üzerindeki hız dağılımlarına bakıldığında güney-batı yönünde 20m/s (72km/h) değerinde tanımlanan hız değerlerinin, bina yüzeyi ve çevresine yakın noktalarda yaklaşık 50m/s'ler mertebesine çıktığı net bir biçimde görülmektedir. İki ayrı model için yüksek rüzgâr hızlarında elde edilen basınç değişimlerinin test edilmesi bu noktada oldukça önemlidir. Ürüne ait form kararları verilirken Tasarımcı/kullanıcı boyutunda çevresel rüzgâr hızlarına göre hareket edilecektir. Ancak uygulamada cihazın maruz kalacağı rüzgâr hızının bina yüzeyinde yaklaşık iki-üç katına çıkmış olabileceğinin bilinmesi ve tasarıma buna göre şekil verilmesinin tahmini oldukça güçtür. Bu anlamda Gelişimsel tasarım aşamalarının örneklediği bu çalışmada elde edilen bulguların form yapılarına ait karar verme sürecine önemli bir biçimde katkısı olacağı bu aşamada net bir biçimde görülmüştür.

Bu noktada Şekil 4'te şekle bağlı olarak “dış yüzeyde verilecek form kararlarında basınç kuvvetinin etkisi net bir biçimde ele alınmalıdır” düşüncesi tasarımcıya aktarılmıştır. Dolayısıyla klasik tasarım sürecinde tasarımcının öngöremeyeceği çevresel rüzgâr hızı ile bina yüzeyinde oluşan rüzgâr hızı arasındaki farklılık CAD/FEM metotları ile ilişkilendirilerek desteklenmiştir.

Yüzey üzerinde oluşan basınç kuvvetleri ve C_D katsayısının hesaplanması

Gelişimsel tasarım periyodunda cihaz dış yüzeyinde basınç kuvvetlerinin belirlenmesi yüksek rüzgâr hızlarında çalışabilme ve en az savrulma hedeflerine ulaşmak amacıyla hazırlanan model önerisi için tasarımda karar verme süreçleri içinde en değerli verilere ulaşıldığı ve form kararlarının verilmesine en fazla katkının sağlandığı süreci oluşturmaktadır.

Şekil 8. Modeller üzerinde oluşan basınç değişimleri

Gelişimsel tasarım sürecinin “yüzey basınç kuvvetlerinin en aza indirgenmesi” olarak ifade edilen bu basamakta sürtünme katsayısının etkisi incelenmiştir. Model 1 üzerinde oluşan basınç kuvvetlerine bakıldığında yanal yüzeyde en fazla etkilenen bölgenin cam yüzeyi temizleyecek taban bölgesinde yoğunlaştığı söylenebilir. Model 2 üzerinde oluşan basınç dağılımının yoğunlaştığı bölgenin fan

çıkışları arasında kalan yüzey üzerinde olduğu görülmektedir. Ayrıca basınç kuvvetlerine bağlı olarak oluşan sürüklenme ve basma miktarları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Modellere ve rüzgâr hızlarına bağlı sürüklenme ve basma miktarları

Model-1	36km/h	52km/h	72km/h	Model-2	36km/h	52km/h	72km/h
Sürüklenme	27kg	51kg	100kg	Sürüklenme	52kg	92kg	181.2kg
Basma	7kg	12kg	22kg	Basma	26kg	44kg	80kg

Rüzgâr hızlarına bağlı oluşan sürüklenme ve basma miktarlarına bakıldığında bir numaralı modelde oluşan değerlerin iki numaralı modele göre yarı yarıya daha az olduğu görülmektedir. Bu durumda Model 1’in hem sürtünme katsayısının daha düşük çıkacağı hem de savrulma miktarının iki numaralı modele göre daha az çıkacağı öngörülmektedir. Basma kuvvetlerine ilişkin olarak oransal değişime bakılırsa Model 2’nin cam yüzeyine doğru yapacağı kuvvetin daha yüksek çıktığı söylenebilir. Bu durumda savrulma miktarının oldukça yüksek olması, basma kuvvetinin biraz daha arka plana atılmasına sebep olmaktadır.

$$F_D = c_D \frac{1}{2} \rho v^2 A \quad (\text{Eş.1})$$

Bir numaralı modelin yanal yüzey alanı 1.8m² olup gelen basınç kuvvetine bağlı c_D katsayısı Eşitlik 1’e göre hesaplanmış ve 2.2 olarak bulunmuştur. Model 2 üzerinde meydana gelen basınç değişiminde ise yüzey alanı küçük olmasına rağmen 1.440 Pa basınç değerine ulaşılmıştır. Ancak iki numaralı modelin yüzey alanının 0.81 m² civarında olması dolayısıyla oluşan basınç kuvvetinin hem yüksek olduğu hem de c_D katsayısı 5.4 çıkmıştır.

Tasarımcı zihninde oluşan formların rüzgâra karşı gösterdiği direnç seviyeleri arasında büyük farklılıklar olduğu yapılan analizler sonunda net bir biçimde tespit edilmiştir. Tasarım kararları açısından bakıldığında daha keskin hatlara sahip yüzey alanı için sürtünme direnci yuvarlak hatlara sahip modele göre daha düşük çıkmıştır. Bu iki model arasındaki çizgisel farklılıklar önemli ipuçlarını da beraberinde getirmiştir.

HAD yönteminden elde edilen verilere göre tasarımcıya sunulacak öneriler aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Daha keskin hatlara sahip model üzerinde oluşan basınç dağılımları alt bölgelerde yoğunlaşmış ancak sürüklenme etkisi ve sürtünme direnci yüzey alanı büyük olmasına rağmen düşük çıkmıştır.
- Daha yuvarlak hatlara ve daha küçük yanal yüzey alanına sahip modelde yüzey basıncı diğer modele göre daha az beklenirken aynı seviyelerde çıkmış ve sürtünme direnci yüksek çıkmıştır.
- Yüksek rüzgâr hızlarında çalışabilecek bir cihaz tasarımında birinci modelde üretilen forma bağlı kalınarak yüzey alanının düşürülmesi ve c_D katsayısının azaltılması gerekmektedir.

Bu açıdan tasarıma Model 1’e göre bazı yüzey dönüşlerin azaltılarak yüzey alanının düşürülmesi fikrinden yola çıkılarak üç numaralı model oluşturulmuştur.

Yüzey temizleme cihazı

Ürün tasarımında iki ayrı model ile başlanan tasarım ayağının elde edilen analiz sonuçlarının yorumlanmasına bağlı kalınarak oluşturulan üç numaralı modele ilişkin görünüm Şekil 9’da verilmiştir.

Şekil 9. Cihaza ait dış yüzey tasarımları (Model-3)

Model-1'e bağlı kalınarak gerçekleştirilen yeni tasarımda yüzey alanı 1.2m^2 'ye indirgenerek ön kısımda verilen hatta kanal sayısı azaltılmıştır. Burada oluşacak en temel etkinin basınç kuvvetlerinde azalma şeklinde ortaya çıkmasıdır. Oluşturulan model yeniden bina yüzeyine montajlanmış ve 20 m/s (72 km/h)

Rüzgâr hızında ortaya çıkan dağılım Fluent programında incelenmiştir (Şekil 10).

Şekil 10. Üç numaralı modele ait çizgisel görünüm ve basınç kuvveti dağılımı

Üçüncü modele ait basınç dağılımına bakıldığında basınç kuvvetleri yaklaşık 1/15 oranında azalmıştır. Bir numaralı modelde ortaya çıkan değerler 4.730 Pa'dan 311 Pa seviyesine düşmüştür. Yanal yüzeylerde oluşan basınç değişim karakteristiğinin Model 1'e benzediği görülmektedir. Basınç karakteristiğine ilave olarak sürüklenme ve basma miktarları da ayrıca önemlidir.

Tablo 2. Üç numaralı modele ait sürüklenme ve basma miktarları

	Model-3	36km/h	52km/h
Sürüklenme		4.6kg	10kg
Basma		1kg	3kg

Geliştirilen yeni revize modele göre sürüklenme miktarı 27 kg seviyesinden (Model 1) 4.7 kg seviyesine inmiştir (Tablo 2). Bu durumun rüzgârda ortaya çıkacak savrulma miktarını önemli ölçüde düşüreceği beklenmektedir. Yine elde edilen verilere bakıldığında bir numaralı eşitliğe göre C_D katsayısının ise 0.55 değerine düştüğü tespit edilmiştir.

Bu durumda elde edilen sonuçlara göre cihazın daha az titreşimle çalışması ve yüksek rüzgâr dirençleri için kararlı bir yapıya sahip olması da bu tasarımın özgün olma yönündeki eğilimini göstermektedir. Farklı rüzgâr hızları için ortaya çıkan değerlere bakılarak yine geliştirilen tasarım örneğinin doğrulanması gerekmektedir. Bu anlamda tüm modellere elde edilen değerler Şekil 11'de verilmiştir.

Şekil 11. Rüzgâr hızına bağlı sürüklenme kuvvetleri (N)

Rüzgâr hızının artışına bağlı olarak bir ve iki numaralı modellerin yanal yüzeylerinde logaritmik bir artış yaşanırken geliştirilen üç numaralı modelde ise lineer bir artış olduğu görülmektedir. Bununla birlikte üç numaralı modelin 72 km/h'lık rüzgâr hızında yanal yüzeyinde oluşan kuvvet değerinin, bir numaralı modelde 20 km/h seviyesinde olduğu gözlenmektedir. Bu açıdan geliştirilen üç numaralı modelin savrulma miktarının az olacağı ön görülmektedir. Son olarak son hali verilen modelin yer değiştirme miktarlarına bakılarak tasarımın güvenilirliği tespit edilerek, istenilen koşullarda bir ürün tasarımının aşamalarına ilişkin gelişme süreci tamamlanacaktır.

Rüzgâr hızlarına bağlı yer değiştirmelerin belirlenmesi

Ürünün işlevselliğini tanımlamada rüzgârlı havalarda yer değiştirme miktarı ön plana çıkmaktadır. İnsanların iskelelere bağlı olarak 30 km/h'lık hızın üzerinde çalışmaması üzerine geliştirilen bu ürün daha yüksek hızlar için çalışabilme olanağı sunmalıdır. Bu açıdan gelişimsel tasarım sürecinin sonlanabilmesi için ürünün gerçekten amaca hizmet etmesi kriterinin hem can güvenliği hem de fonksiyonellik açısından sürdürülebilir olması gerekmektedir. Güvenlik riskinin önemsendiği çalışma koşulları için tasarlanan yüzey temizleme cihazına ait analizler gerçek bir bina geometrisi üzerinde çevresel rüzgâr hızlarına bağlı olarak hayata geçmeden önce test edilmiştir. Bu açıdan farklı rüzgâr hızlarındaki yer değiştirme miktarlarının tespitine yönelik gerçekleştirilen aşamalar Şekil 12'de verilmiştir.

Şekil 12. Sürüklenme kuvvetine bağlı yer değiştirme analizleri

Bu çalışmada FSI (Akışkan-yapısal etkileşimi) analizleri yapılmış, Fluent modülünden elde edilen yüzey basınç kuvvetleri Mechanical modülüne aktarılarak, rüzgâra bağlı basınç kuvvetlerinin etkisi cihaz üzerine tanımlanmıştır. Doğru sınır şartlarının tanımlanması gereği çözümlerin gerçek şartlara uygunluğu açısından da ayrıca önem taşımaktadır. Bu anlamda vektörel bir kuvvetten ziyade Şekil 10'da gösterilen diyagramın tamamı yer değiştirme analizleri için uygulanmıştır. Şekil 12.a'da verilen gösterimde yer değiştirme miktarlarının tespit edilmesi için geometri üzerine atılan düğümlere ilişkin yapı verilmiştir. Burada halatın ucuna bağlı cihaz üzerine gelen sınır şartları ile yer çekimi etkisi, basınç aktarımı ve tanımlaması ise Şekil 12.b'de gösterilmiştir. Buna karşılık çözüm sonuçlarına bağlı yer değiştirme miktarları ise Şekil 12.c'de gösterilmiştir.

Şekil 13. Sürüklenme kuvvetine bağlı yer değiştirme analizleri (0-72km/h aralığı için)

Elde edilen yer değiştirme sonuçları ise Şekil 13'te ve gösterilmiştir. Buna göre 20km/h rüzgâr hızında cihazın bina yüzeyinde eksenel yer değiştirme miktarı 10 cm olarak belirlenmiştir. Bu mesafe değişimi 36km/h için 18cm, 52 km/h için 28cm, 72km/h için ise 56cm olarak tespit edilmiştir. Bu yer değiştirme miktarlarının can ve mal güvenlikleri açısından kabul edilebilir seviyede olduğunu söylemek mümkündür. Ani değişen rüzgâr koşullarına bağlı olarak değerlendirilirse, çalışılabilecek güvenli bölgenin 0-52 km/h arasında olabileceği ifade edilebilir. Bununla birlikte analizlerin mutlaka çalışılması planlanan binaya göre çevresel şartlar (yükseklik, eğim, rüzgar değerleri, komşu binaların konumları vb..) göz önüne alınarak yapılması önerilmektedir.

SONUÇLAR

Bu çalışma rüzgâr direncine karşılık çalışılabilecek bir yüzey temizleme cihazına ait gelişimsel tasarım örneğine göre kurgulanmıştır. Ürün olgusunun gelişimi, tasarım aşamalarında alınan kararlara sonlu elemanlar ve hacimler yönteminden elde edilen basınç kuvveti, rüzgâr hızı ve yer değiştirme verilerinin katılmasıyla aşamalı olarak gösterilmiştir. Bu bağlamda klasik tasarım döngüsüne ilave olarak bu yöntemle elde edilen bulgular iki ayrı aşamada tasarımcı için önerilere dönüştürülerek, tasarım kararlarına önemli katkılar sağladığı ortaya çıkarılmıştır (Şekil 14).

Şekil 14. Gelişimsel tasarıma ait aşamalar ve optimize model

Birinci aşama olarak nitelendirilen süreçte farklı modellerden elde edilen form sonuçlarına bağlı olarak en düşük sürtünme katsayısını tespit etme hedefi test edilmiştir. Bu süreçte iki ayrı model için yapılan analizlerde bina yüzeylerine asılarak yüksek rüzgâr hızlarında düşük yer değiştirme ile çalışacak bir cihazın c_D katsayıları hesaplanmıştır. Bir numaralı modelde daha keskin hatlara sahip cihaz katsayısının 2.2, iki numaralı modelde ise bu katsayının 5.4 olduğu görülmüştür. Yüksek katsayıların daha fazla savrulma yapacağı öngörüldüğünden bir numaralı modelin revize edilmesiyle diğer bir model (3) oluşturulmuştur. Bu modelden elde edilen parametrelere göre sürtünme katsayısının 0.55'e düştüğü tespit edilmiş ve optimize modelin geçerliliğini sağlamak için ikinci aşamaya geçilmiştir (Şekil 14). İkinci aşamada düşük sürtünme katsayılı modelin yer değiştirme analizleri ve mevcut durumda işçilerin gerçekleştirdiği temizleme işlemleri için izin verilen 30 km/h'lık rüzgâr hızından daha yüksek değerler için cihazın güvenilirliği test edilmiştir. Üç numaralı modelin farklı rüzgâr hızları için yer değiştirime miktarları incelenmiş ve sonuç olarak 72 km/h için yer değiştirme miktarı 56 cm olarak bulunmuş ve güvenli bölge olarak tanımlanacak aralıkta cihazın çalışabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada tasarımcının form fikrine başlarken aklından geçirdiği her aşama için hem temel çalışma parametreleri hem de fiziksel olguların meydana getirdiği değişimler data ve görsellerle desteklenmiş, böylece tasarıma ait kararlarda önemli bir karar destek mekanizması oluşturulmuştur. Ürün tasarımı konseptinde özellikle çevresel şartlar ve çalışma koşullarındaki hassasiyet göz önüne alındığında önemli bulgular sunan bu yöntemlerin sürece katılması zaman, maliyet ve verim gibi kavramların tasarımcının lehine dönüşmesine sebep olmaktadır. Tasarım sürecine katılan analiz metodları ile sistemin bütün olarak testi, gerekli revizyonların denenmesi ve optimizasyonu yönünde önemli gelişmeler sağlanmıştır. Bu bağlamda değerlendirildiğinde, güçlü bir tasarımcı kimliği oluşturmak ve farklı alanlarda kullanılan geçerliliği yüksek programları ürün tasarımına aktarmak, ürüne yönelik gelecek eleştirilerin azalmasına ve yüksek performanslı ürünlerin tasarım sürecinde kendiliğinden ortaya çıkmasına sebep olacaktır. Bu çerçevede tasarımcı kimliği içerisinde gelişen teknolojilerin sunduğu ve kolaylaşan boyutları ile analiz sistemlerinin yer bulmasına ilişkin imkânlar artmaktadır. Uygulama içerisinde kullanılan sonlu hacimler metodunun ürün tasarımı programlarına adaptasyonu ile tümevarım sürecine dönüşebilecek akışkan etkileşimli tüm ürün tasarımlarında kullanımının fayda sağlayabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- ANSYS, (2011). *Fluent Theory Guide*, Southpointe 275 Technology Drive Canonsburg USA, s.257-260.
- Bayazıt, N. (2004). *Tasarılma Kuramları ve Metotları*, Birsen Yayınevi, İstanbul, s.60-65.
- Cherulnik, (1993). *Applications of Environment-Behavior Research*, Cambridge University Press, Cambridge NY, s.4.
- Clarkson J., Coleman R., Keates S. Lebbon C. (2003). *Inclusive Design: Design for the Whole Population*, Springer Inc. s.5-7.
- Ersoy Z. (2010). *Mimari Tasarımda Kullanıcı Odaklı Süreçler*, Mimarlık Dergisi, s.351.
- Jones, J.C. (1992). *Design Methods*, Van Nostrand Reinhold, New York. s.20-25.
- Goel, Singh (1998). *Creativity and innovation in durable product development*, Computers & Industrial Engineering, 35 (1-2), s. 5-8.
- Küçükerman, Ö. (1996). *Endüstri Tasarımı, Endüstri İçin Ürün Tasarımında Yaratıcılık*, Yem Yayın, İstanbul, s.15-22.
- Özer D.G., Turgay, O. (2016). *Yaratıcılık ve Oyun Kavramlarının Bilgisayar Destekli Tasarım Sürecinde İncelenmesi*, Online Journal of Art and Design 4(3) s.71-89.
- Roozenburg NFM., Eekels J. (1996). *Product Design: Fundamentals and Methods*, John Wiley & sons Ltd., England. s. 250-272.
- Sanoff, Henry (2011). "Multiple Views of Participatory Design," Focus: Vol. 8: Iss. 1, Article 7.
- Sommer, R. (1974). *Tight Spaces: Hard Architecture and How to Humanize It*, Englewood Cliffs, NJ Prentice-Hall. S. 22-32.