



BULAŞIK MAKİNELERİ İÇİN DOĞAL HAVALANDIRMA YÖNTEMİNİ KULLANAN YENİ BİR KURUTMA SİSTEMİ TASARIMI VE DENEYSEL ANALİZİ

Fatih ENGİNSEL^{1*}, Halil Kürşad ERSOY²

¹ Arçelik A.Ş., Bulaşık Makinesi İşletmesi Ar-Ge Merkezi, Ankara
ORCID No : 0000-0002-2866-9844

² Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Makine Mühendisliği, Konya
ORCID No : 0000-0001-8588-296X

Anahtar Kelimeler

Öz

Bulaşık makinesi, doğal havalandırma, EN 60436, kurutma

Bulaşık makinelerinde yüklerin yıkanmasına ek olarak kurutulması da temel işlevlerdendir. Kurutma, makine sepetlerinde yer alan yüklerin yüzeyindeki su zerreciklerinin tamamen buharlaştırılması ile gerçekleşir. Bulaşık makinesi yıkama algoritmasında sıcak durulama sonrasında kurutma adımına geçilir. Sıcak durulama aşaması sonrasında kabindeki nem miktarı çok yükündür. Kurutma adımında kabinde herhangi bir su ısıtılması olmamasına rağmen sepetteki yüklerin buharlaşması nedeniyle nem yoğunluğu artmaya devam etmektedir. Yükler üzerindeki buharlaşmanın, yani kurutmanın devam etmesi için kabin nem miktarının azaltılması gereklidir. Bunun sağlanması için geliştirilen kurutma sistemleri temelde buharlaşan su damlacıklarının daha soğuk bir yüzeyde yoğunlaştırılması ya da makineden uzaklaştırılması mekanizmalarını gerçekleştirir. Bu çalışmada doğal havalandırma yöntemini kullanan düşük maliyetli, sürdürülebilir ve çevre dostu bir kurutma sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan yeni sistemde makineye eklenen kurutma kanalları, kabindeki nemli havanın dışarı atılmasını ve kabin içine taze hava alınmasını sağlamaktadır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneyler EN 60436 standardına göre yapılmış olup; statik, fanlı ve tasarlanan doğal taşınımlı sistemin kurutma indeksi ve enerji tüketimi üç farklı program için karşılaştırılmıştır. Üç programın ortalama sonuçları incelendiğinde tasarlanan yeni kurutma sisteminin kurutma etkinliği, statik kurutma sistemine göre %9,9 daha yüksek iken fanlı kurutma sistemi ile benzerdir. Tasarlanan yeni kurutma sistemi en az enerji tüketirken, fanlı sistem %5 daha fazla enerji tüketmektedir. Statik sistemin ise %7,5 daha fazla enerji tükettiği gözlemlenmiştir.

* fatih.enginsel@arcelik.com
doi : 10.46399/muhendismakina.1356262

DESIGN AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF A NEW DRYING SYSTEM USING NATURAL VENTILATION FOR DISHWASHERS

Keywords

Dishwasher, drying, EN 60436, natural ventilation

Abstract

In addition to washing, the drying of loads is one of the main functions of dishwashers. Drying takes place by completely evaporating the water particles on the surface of the loads in the dishwasher baskets. In the dishwasher washing algorithm, the drying step is started after the hot rinse step. After the hot rinse step, the amount of moisture in the cabinet is very high. Although there is no water heating in the cabinet during the drying step, the moisture density continues to increase due to the evaporation of the loads in the basket. In order for evaporation on the loads, and therefore drying, to continue, the cabin humidity must be reduced. Drying systems developed to achieve this basically perform the mechanisms of condensing the evaporated water droplets on a colder surface or removing them from the machine. In this study, a low-cost, sustainable and environmentally friendly drying system using natural ventilation method was designed. In the new designed system, the drying channels added to the machine allow the humid air in the cabin to be evacuated and fresh air to be taken into the cabin. The experiments performed for the study were carried out according to EN 60436 standard. Drying score and energy consumption of static, fan and designed natural convection system were compared for three different programs. When the average results of the three programs are examined, the drying efficiency of the new designed drying system is 9.9% higher than the static drying system and similar to the fan drying system. The new designed drying system consumes the least energy, while the fan system consumes 5% more energy. The static system consumes 7.5% more energy.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 06.09.2023

Kabul Tarihi : 24.01.2024

Research Article

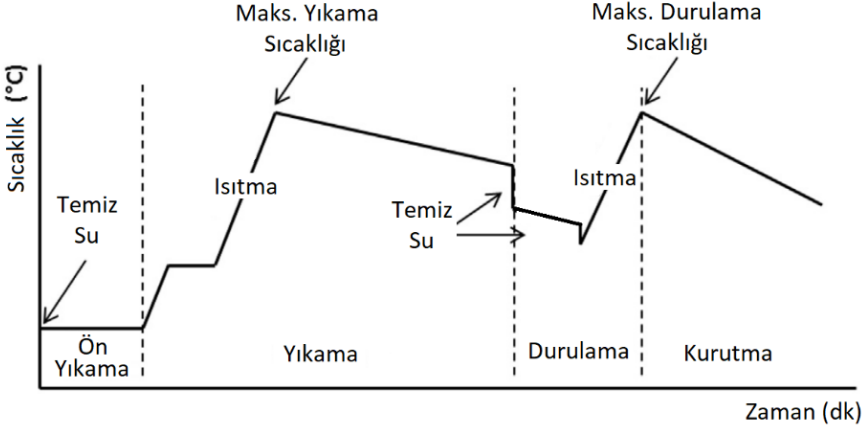
Submission Date : 06.09.2023

Accepted Date : 24.01.2024

1. Giriş

1.1. Bulaşık Makinesinin Genel Yapısı ve Çalışma Mekanizması

Bulaşık makineleri, tencere, tabak, bardak, fincan, çatal, bıçak gibi yemek takımlarının, insan gücü kullanmadan temizlenmesi amacıyla geliştirilmiştir. Bu nedenle bulaşık makinelerinde elle yıkamada yapılan mekanik bir ovma işlemi yoktur. Temizleme işlemi, makine içerisinde bulunan yıkama kollarından çıkan sıcak ve basınçlı suyun, bulaşıklar üzerine püskürtülmesi ile gerçekleştirilir. Makede basınçlı su elde etmek için bir pompa ve suyu istenilen sıcaklığa çıkarmak için de bir ısıtıcı bulunur. Ayrıca kir ve lekelerin daha kolay çözünmesi için, yıkama işlemi sırasında özel arıtıcılar (deterjan) ve durulama aşamasında kurutmaya da yardımcı olan parlatıcılar kullanılır.



Şekil 1. Bulaşık Makinesi Program Akışı (Bengtsson, Berghel ve Renström, 2015)

Şekil 1'de bulaşık makinesinin program akışı gösterilmiştir. Standart bir bulaşık makinesi programı; ön yıkama, ana yıkama, durulama ve kurutma olarak dört adımdan oluşmaktadır.

Ön yıkama işlemi soğuk su ile kaba kirlerin bulaşıklardan uzaklaştırılması için yapılmaktadır. Çok kirli olmayan bulaşıklar yıkanacağı zaman ön yıkama adımı olmayan programlar kullanılmalıdır. Ana yıkama adımı ise su ısıtılır ve deterjan alımı yapılır. Bu adımda, kirlerin tümüyle bulaşıklardan uzaklaştırılması hedeflenir. Durulama adımı kendi içerisinde iki aşamaya bölünebilir. Soğuk su ile yapılan birinci durulama aşamasında, ana yıkama sonrasında bulaşıklar üzerinde kalan çıkmış kir taneleri ve deterjan kalıntılarının temizlenmesi işlemi yapılır. İkinci durulama aşamasında ise sıcak su kullanılarak bulaşıklar tümüyle deter-

jandan arındırılır. Sıcak su kullanımı, temizliğin ve kurutma veriminin artırılmasını da sağlar. Bu adımda durulama suyu içerisine, parlaticı alımı da gerçekleştirilir. Parlaticı, lekeleri önler, parlaklık sağlar ve suyun yüzeylerde tutunmasını zorlaştırarak kurutmaya da yardımcı olur. Yıkama adımları tamamlandıktan sonra makine kurutma adımına geçer ve program döngüsünü tamamlar.

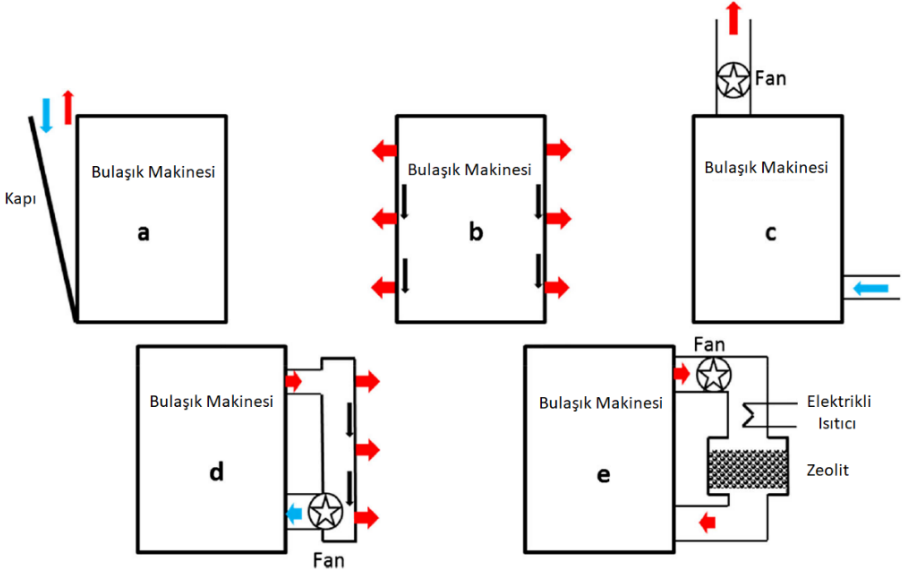
Bulaşık makinesinin temel işlevlerinden biri kurutmadır. Kurutma işleminde bulaşık makinesi içine yerleştirilmiş bulaşıkların üzerindeki suyun buharlaştırılması ve buharlaşan suyun bir bölgede yoğunlaştırılması ya da makine dışına atılması hedeflenmektedir. Kurutma adımı başlangıcında makinenin içerisinde yoğun ölçüde nem bulunmaktadır. Kurutma aşamasında, bulaşıklar üzerindeki buharlaşmanın etkisiyle, makine içerisindeki nem oranı, sürekli olarak artar. Yüksek bağıl nemdeki makine iç havasının, buharlaşan suyu tutabilmesi ve makinenin istenmeyen bölgelerinde veya bulaşıkların üzerinde yoğunlaşmaması için nemin denetimli bir şekilde uzaklaştırılması gerekmektedir.

1.2 Bulaşık Makinelerinde Kurutma Mekanizmaları

Kurutma ısı, kütle ve moment taşımalarını içeren, düşük ısı verimle gerçekleşen enerji yoğun bir süreçtir (Sai ve Linga, 2010). Gözenekli ya da su emebilen bir cismin kurutulmasında iki evre söz konusudur. Bunlar suyun malzeme içinden taşınması ve yüzeyden buharlaşmasıdır (Mujumdar, 2006). Ancak gözenekli olmayan yani su tutmayan bulaşıkları kuruturken, yalnızca bulaşıkların yüzeyinde kalan suyun buharlaşması evresi gerçekleşir.

Bulaşık makinesinin kurutma aşamasında buharlaşma ve yoğunlaşma olayları oluşur. Makine içindeki bazı ıslak yüzeyler çiy noktasının üzerindedir ve buharlaşmayla karşılaşır. Diğer yüzeyler ise çiy noktasının altındadır ve yoğunlaşma yaşarlar. Bulaşık makinalarının kurutma sistemleri bulaşıklar üzerindeki buharlaşmayı özendirmek için geliştirilmiştir (Kumar, Rendall, Turnaoglu, Gluesenkamp, Patel, Abuheiba ve Gehl, 2021). Bunun sağlanabilmesi için makine iç havasının bağıl neminin düşürülmesi ve makine içindeki nemli havanın makine dışına taşınması ya da makine duvarlarında denetimli bir şekilde yoğunlaştırılması gerekir.

Bu amaçla geliştirilen kurutma sistemleri atmosfere açık veya kapalı, dinamik (fanlı) veya statik (fansız) olabilir. Bengtsson ve Berghel (2017), yaptıkları çalışmada bu sistemleri Şekil 2'de gösterildiği gibi beş kategoride ayrıntılı olarak incelemiştir. Bu gösterimde yer alan kurutma sistemlerinden farklı olan sistemler ise Şekil 3'te söz konusu çalışmadaki gösterime benzer şekilde oluşturulmuştur.



Şekil 2. Bulaşık Makinesinde Kullanılan Kurutma Sistemleri (Bengtsson ve Berghele, 2017)

Şekil 2.b'de gösterilen statik kapalı devre kurutmada, son durulama suyu sıcaklığı yüksek tutularak durulama sonrasında yıkanmış bulaşıkların yüzey sıcaklığının olabildiğince yüksek olmasından yararlanır. Bulaşık makinesinin gövde sıcaklığı, yüksek sıcaklıkta durulanan bulaşıklardan soğuk olacağı için buhar, gövde üzerinde yoğunlaşarak tabana iner ve sonrasında da atık su kanalına atılır. Bu sistemlerde kurutma süreleri uzun ve harcanan enerji yüksektir.

Jeong ve Lee (2014), bulaşık makinesinin enerji verimliliğinin araştırılması ile ilgili literatürde çalışmaların olduğu fakat kurutma mekanizması ile ilgili çalışmaların çok nadir olduğunu belirtmiş ve bu sebeple son durulama sıcaklığı, sirkülasyon akış hızı ve fan çalışma süresinin kurutma performansı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışma, son durulama adımında yükler üzerinde depolanan enerjinin bulaşıklardaki suyun buharlaşmasından sorumlu olduğunu ve son durulama sıcaklığının kurutma performansını ve enerji tüketimini etkileyen ana faktör olduğunu göstermiştir. Bulaşık makinesinde yapılan kurutma işleminde, ortamdaki gelen ısının bulaşıklara iletilmesi gerekmez. Bunun yerine, son durulama adımında bulaşıklar üzerinde depolanan ısının, bulaşık yüzeylerindeki suyu buharlaştırması gerçekleşir. Bu nedenle kurutma başlangıç sıcaklığı ile aynı olan son durulama sıcaklığı, bulaşıkları kuruturken önemli bir etkidir.

Statik kurutma işlemi sırasında otomatik olarak kapının açılması ile makine

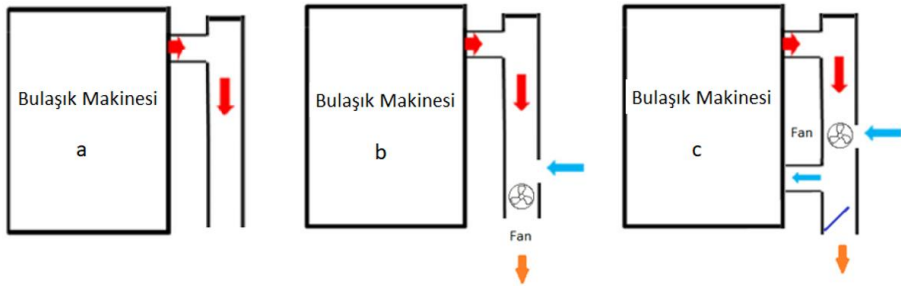
içindeki buharın dışarı atılmasına olanak sağlayan uygulamalar da vardır. Şekil 2.a'da gösterilen bu uygulamalar, statik-açık devre kurutma olarak isimlendirilir.

Statik kurutmanın bazı özel uygulamalarında bir hava borusu da kullanılabilir. Makinenin üst kısmına doğal konveksiyon ile çıkan nemli buhar, bu bölgede yer alan bir delik ve bağlı olan hava kanalı yardımıyla makine dışına gönderilir. Bu uygulamaya ait şematik gösterim Şekil 3.a'da verilmiştir.

Statik sistemlerde kurutma veriminin artırılması için makine yan duvarlarının daha çabuk soğutulmasını sağlayan yöntemler geliştirilmiştir. Yan duvarlarda gerçekleşen yoğuşmanın veriminin artırılabilmesi amacıyla bazı makinelerde büyük su cebi kullanılmaktadır. Bu ceplere kurutma sırasında soğuk su alınır. Bulaşık makinesi yan duvarlarının bu şekilde soğutulması, yoğuşmanın daha verimli olmasını sağlar.

Şekil 2.c'de gösterilen dinamik- açık devre kurutma sistemlerinde, hava borusu kullanan statik kurutmalı sisteme ek olarak bir fan kullanılır. Kullanılan fan ile doğal konveksiyon yerine zorlanmış konveksiyon ile ısı akışı sağlanarak kurutma sürelerinin kısaltılması hedeflenir. Bu sistemde de makine içindeki nemli hava fan tarafından emilir ve mutfak ortamına atılır.

Şekil 3.b'de gösterilmiş olan farklı bir uygulamada ise makineden çekilen nemli hava, mutfakta bulunan kuru hava ile karıştırılarak dış ortama gönderilir. Böylece mutfak ortamına gönderilen havadaki nem derişimi azaltılmış olur.



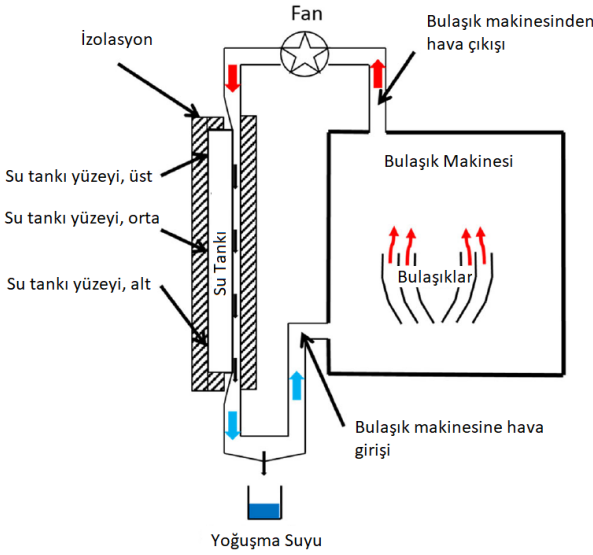
Şekil 3. Diğer Örnek Kurutma Sistemleri

Şekil 2.d'de gösterilen dinamik- kapalı devre kurutma sistemlerinde ise makine içerisinden çekilen nemli hava bir kanaldan geçirilerek tekrar makine içine gönderilir. Bu kanalda oluşturulan geometrik eklentiler yardımıyla yoğuşma yüzeyi elde edilir.

Şekli 3.c'de benzer sistemin geliştirilmiş bir uygulamasında makineden çekilen nemli havanın bir kısmı doğrudan mutfak ortamına verilirken kalan kısmı ise kuru hava ile karıştırılarak tekrar makine içine gönderilir. Makine içine gönderilmiş olan görece kuru ve ılık hava yoluyla, kurutma verimi artırılır.

Dinamik- kapalı devre kurutma sistemlerinde nem tutucu malzemelerin kullanıldığı uygulamalar da bulunur. Bunlardan en bilineni zeolit kullanımıdır. Makine içerisinden bir fan yardımıyla emilen nemli hava, içinde zeolit bulunan bir hazne üzerinden geçirilerek tekrar makine içine verilir. Zeolit üzerinden geçen nemli hava, su buharını kaybederek kuru bir şekilde makine içine tekrar gönderilir. Böylece makine dışına herhangi bir çıkış olmadan kurutma işlemi başarılı bir biçimde tamamlanabilir. Sisteme ait şema Şekil 2.e'de gösterilmiştir.

Hauer ve Fischer (2011), çalışmalarında adsorpsiyon yöntemi aracılığıyla bulaşık makinesinin enerji tüketimini azaltmayı hedeflemiştir. Geleneksel bulaşık makinelerinde kurutma adımı öncesinde gerçekleştirilen son durulama adımında su sıcaklığı kurutmanın sağlanabilmesi için yüksek tutulur. Yapılan çalışma ile bu su ısıtma aşaması atlandı ve bulaşıkların sıcak hava ile kurutulduğu bir adsorpsiyon aşaması eklenmiştir. Nem tutucu malzeme olarak zeolit kullanılmıştır. Çalışma sonucunda enerji tüketimi, geleneksel bir bulaşık makinesine kıyasla %25 oranında düşürülmüştür.



Şekil 4. Isı Pompalı Bulaşık Makinesi Kurutma Sistemi (Bengtsson ve Berghel, 2017).

Bengtsson ve Berghel (2017), ısı pompalı bir bulaşık makinesi için yeni bir kurutma yöntemi önermiştir. Isı pompalı bulaşık makinesinde, kondenserde yıkama suyu ısıtılırken evaporatörde ise soğuk bir su deposu kaynağı oluşmaktadır. Önerilen yöntemde kurutma işlemi, bir fanın makine içindeki nemli havayı kapalı bir sistemde evaporatör üzerinden sirküle etmesiyle gerçekleşir. Sistem, yükler üzerindeki suyun, makine kabini içinde buharlaşıp ve daha sonra evaporatör soğuk

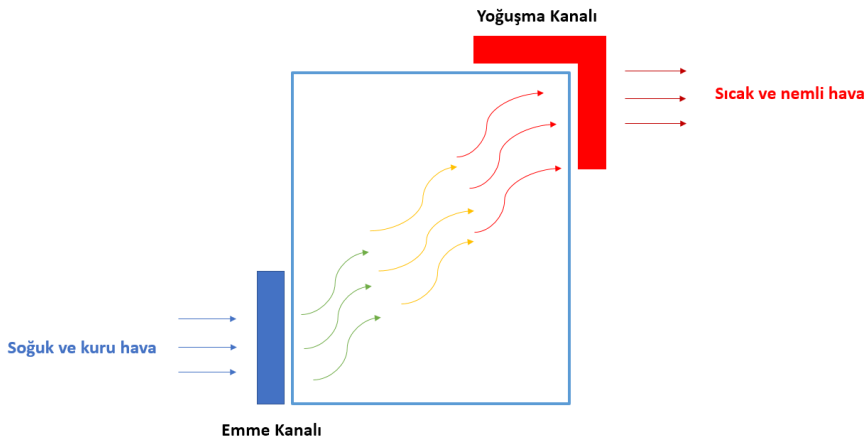
yüzeyinde yoğuşması prensibi ile çalışır. Sonuçlar, ısı pompalı kurutma yönteminin mevcut kurutma yöntemine kıyasla daha verimli olduğunu göstermiştir. Kurutma başlangıç sıcaklığı ve kurutma süresinin, kurutma performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4'te ısı pompalı bir bulaşık makinesinin kurutma devresi şeması gösterilmiştir.

2. Tasarım Çalışmaları

2.1 Teorik Model

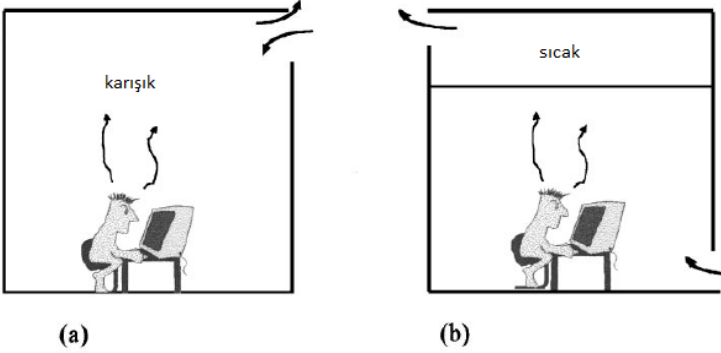
Şekil 5'te şematik olarak çalışma mekanizması gösterilen bu çalışmada, dinamik kurutma sistemleri ile benzer verimde ancak elektrikle çalışan herhangi bir bileşen içermeyen, statik-bacalı bir kurutma sistemi geliştirilmiştir. Sistemde makine içindeki buharın dışarı çıkışı için bir baca ve hava desteği için de bir emiş açıklığı yer almaktadır. Bu şekilde baca açıklığından makine içerisindeki sıcak ve nemli hava makine dışına atılırken, hava emiş açıklığından makine içine taze hava girişi olmaktadır. Sistem temel olarak kabin içindeki buharın, kurutma adımı sırasında denetimli ve hızlı bir şekilde atılması ilkesine dayanmaktadır.

Geliştirilen bu sistem yardımıyla makine içerisindeki nemli ve sıcak hava daha hızlı bir şekilde dışarıya atılır. Nemli ve sıcak havanın yerini ise kuru ve soğuk olan ortam havası doldurur. Bu yöntem ile makine içerisinde buharlaşan suyun hava içerisinde tutulma gücü sürekli olarak arttığından bulaşıkların üzerinde yeniden yoğuşma olmasının önüne geçilir. Ayrıca içeriye taze hava dolmasından ötürü bulaşıklar ile makine iç havasının sıcaklık farkı artar. Bu da bulaşıklar üzerindeki kütle transferini, yani buharlaşmayı hızlandıracak yönde bir etki gösterir. Bu şekilde kurutma verimi iyileşir. Şekil 5'te sistemin çalışma ilkesini gösteren şema verilmiştir.



Şekil 5. Tasarlanan Sistemi Gösteren Şema

Sistemin çalışması doğal taşınım ilkelerine dayanmaktadır. Eğer makineye bir baca açıklığı açılırsa, makine içerisindeki sıcak ve nemli hava yükselme eğiliminde olduğundan doğal taşınım yoluyla kontrol hacmini terk edecektir. Baca açıklığına ek olarak açılan bir emiş açıklığı ise atılan nemli havanın yerine kuru havanın alınmasını sağlar. Ayrıca bu açıklık kurutma süresini kısaltıcı etkiye de sahiptir.



Şekil 6. (a) Karışım Havalandırması, (b) Yer Değiştirme Havalandırması (Linden, 1999)

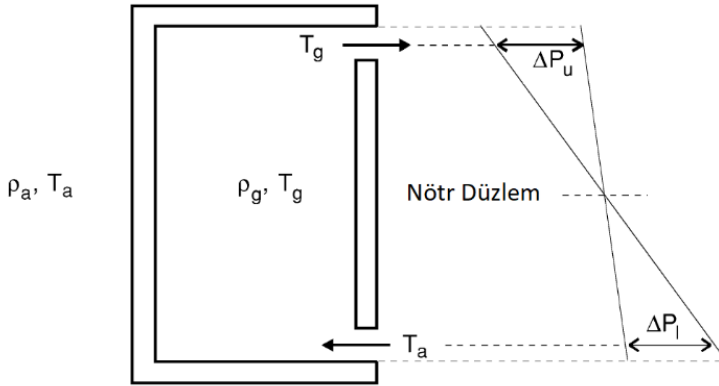
Linden (1999), doğal havalandırma ile ilgili yaptığı çalışmasında Şekil 6.a'da gösterilen havalandırma tipi ile Şekil 6.b'de gösterilen havalandırma sisteminin farkını incelemiştir. Şekil 6.a'da gösterilen sistemde makine hacmi içerisinde homojen bir sıcaklık oluşurken, Şekil 6.b'de ise üst kısımların daha sıcak olduğu gösterilmektedir. Buna ek olarak Şekil 6.a'daki sistemde odanın havalandırması için Şekil 6.b'de gösterilen sisteme göre uzun zaman gerektiğini belirtmektedir.

Benzer olaylar farklı alanlarda da karşımıza çıkmaktadır. Güç santrallerindeki doğal çekişli soğutma kuleleri, buzdolaplarının ve soğuk hava depolarının kapılarının açılmasıyla gerçekleşen hava infiltrasyonu ve kuzine sobalar buna örnek olarak verilebilir.

Karlsson ve Quintiere (1999), yangın dinamiği hesaplamalarında doğal havalandırma ilkelerini kullanmıştır. Geliştirilen sistem de benzer şekilde doğal havalandırma yöntemlerindeki baca etkisi ya da yığın etkisi ilkesine benzemektedir. Bu nedenle aşağıda ayrıntıları verilen mühendislik hesaplamalarında Karlsson ve Quintiere'nin Enclosure Fire Dynamics (1999) kitabı kaynak olarak kullanılmıştır.

Doğal havalandırmada havanın bir açıklıktan içeri ve dışarı akışı, basınç farkından dolayı gerçekleşir. Akışkanların hareketi her zaman yüksek basınçlı bölgeden düşük basınçlı bölgeye doğrudur. Şekil 7'de üst ve alt bölgesinde açıklıkları olan ve denetlenen bir kapalı hacim gösterilmiştir. Bu hacmi, geliştirilmiş olan kurutma sisteminin kaba bir modeli olarak kabul edebilirsiniz. Şekilde, dış ortam

hava yoğunluğu ve sıcaklığı ρ_a ve T_a , kontrol hacmi hava yoğunluğu ve sıcaklığı ρ_g ve T_g ile gösterilmiştir. Kontrol hacmi sıcaklığı dış ortam sıcaklığından daha yüksek ve sabit olduğu kabul edilirse, kontrol hacmine alt açıklıktan giren bir soğuk hava akışı (T_a) ve üst açıklıktan çıkan bir sıcak hava akışı (T_g) beklenir. Bunun nedeni hidrostatik basınç farkıdır (Karlsson ve Quintiere, 1999).

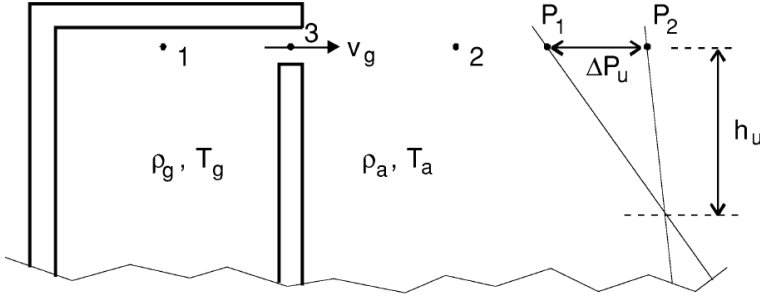


Şekil 7. Isıtılmış Bir Kapalı Hacimdeki Hidrostatik Basınç Farkları (Karlsson ve Quintiere, 1999).

Kontrol hacmi içi veya dışındaki basınç profillerinde herhangi bir süreksizlik olmaması nedeniyle profiller nötr düzlem olarak adlandırılan belirli bir yükseklikte kesişecektir. Bu yükseklikte basınç farkları sıfırdır. Nötr düzlem Şekil 7’de gösterilen iki açıklık arasında herhangi bir yerde olabilir. Nötr düzlemin yüksekliği, açıklıklardaki akış direnci ve sıcaklık farkının büyüklüğü ile belirlenir. Örneğin alt açıklık büyükse veya düşük akış direncine sahipse nötr düzlem, alt açıklığa yakın olacaktır.

Basınç farkı, kontrol hacmi içi ve dışındaki yoğunluk farkından kaynaklanır. Yoğunluk farkına ise iç ve dış ortamdaki sıcaklık farkı neden olur. Diğer bir deyişle ısınan havanın yükselme eğiliminde olmasının nedeni, hava içindeki moleküllerin genişleşip yoğunluğunun azalmasıdır. Aynı şekilde soğuyan hava da yoğunluğunun artması sonucunda alçalma eğilimindedir. Sıcak gazların kaldırma kuvvetinden veya daha doğrusu sıcak ve soğuk gazlar arasındaki yoğunluk farklarından dolayı basınç farkı oluşur.

Sistemdeki hava akışının basınç ve hız ilişkisini anlatmak için Bernoulli denklemi kullanılmıştır. Esas olarak viskoziteden kaynaklanan kayıpların düşük olduğu havalandırma açıklıklarında, havanın laminar akışı inceleneceği için sürtünme kaybı olmadığı ve akışkanın sıkıştırılmaz olduğu kabul edilir (Karlsson ve Quintiere, 1999).



Şekil 8. Isıtılmış Bölümün Üst Açıklığının Ayrıntılı Görüntüsü (Karlsson ve Quintiere, 1999)

Bernoulli denklemi ilk olarak Şekil 8'deki 1 ve 2 noktaları için yazılarak bir eşitlik elde edilir. 1 ve 2 noktalarında hız sıfır olduğu için denklem (1) formunda yazılabilir.

$$P_1 - P_2 = h_2 \rho_2 g - h_1 \rho_1 g \quad (1)$$

Şekil 8'de görüldüğü gibi 1 ve 2 noktalarında yükseklik eşittir. Bu durumda $h_1 = h_2 = h_u$ olduğundan 1 ve 2 noktaları arasındaki hidrostatik basınç farkı ΔP_u için ifade:

$$\Delta P_u = h_u (\rho_a - \rho_g) g \quad (2)$$

1 ve 3 noktaları arasında yazılan Bernoulli denkleminde bir eşitlik (3) daha elde edilir. Bu eşitliğin yazılmasında amaç kütle akış hızının hesaplanmasıdır.

$$P_1 + \frac{1}{2} v_1^2 \rho_1 + h_1 \rho_1 g = P_3 + \frac{1}{2} v_3^2 \rho_3 + h_3 \rho_3 g \quad (3)$$

1 noktasındaki hız değeri $v_1 = 0$ 'dır. Kontrol hacmi içindeki hava yoğunluğu, kontrol hacmi çıkış noktasındaki hava yoğunluğu ile aynıdır ($\rho_1 = \rho_3 = \rho_g$). Dolayısıyla eşitlik (4) halini alır.

$$P_1 - P_3 = \frac{1}{2} v_3^2 \rho_3 \quad (4)$$

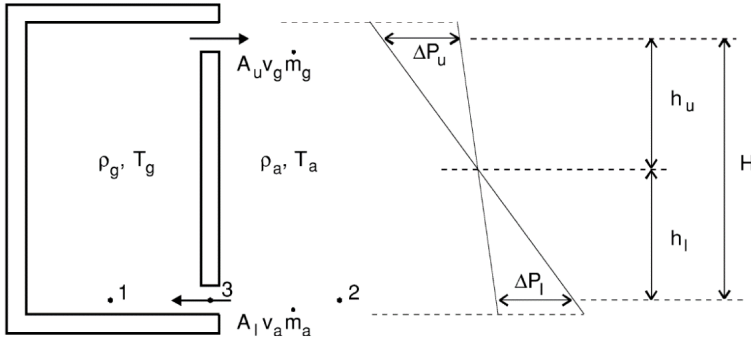
Son olarak, nötr düzlemden 1 ve 3 noktalarının yükseklikleri aynıdır ($h_1 = h_3 = h_u$). Denklem sadeleştirilerek (5) halini alır.

$$\Delta P_u = \frac{1}{2} v_3^2 \rho_g \quad (5)$$

İlk elde edilen eşitlik ikinci eşitlikte yerine yazılarak havanın bu yüksekliğindeki çıkış hızı ile ilgili (6) numaralı denkleme ulaşılır.

$$v_g = \sqrt{\frac{2\Delta P_u}{\rho_g}} = \sqrt{\frac{2h_u(\rho_a - \rho_g)g}{\rho_g}} \quad (6)$$

Üst açıklık için yapılabildiği benzer şekilde Bernoulli denklemleri kullanılarak alt açıklık için de denklemler türetilebilir. Şekil 9, bazı ek notasyonlarla birlikte Şekil 8'in bir benzeridir. Üst noktaya atıfta bulunan değişkenler daha önce olduğu gibi "u" alt indisine ve alt noktaya atıfta bulunanlar "l" alt indisine sahiptir. Kontrol hacmi içindeki havayı "g" indisi, dışındaki havayı ise "a" indisi ifade eder.



Şekil 9. Notasyonların eklendiği Alt ve Üst Açıklığın Ayrıntılı Görüntüsü (Karlsson ve Quintiere, 1999)

Bernoulli denklemleri ilk olarak Şekil 9'daki 1 ve 2 noktaları için yazılarak bir eşitlik elde edilir. 1 ve 2 noktalarında hız sıfır olduğu için denklem (7) formunda yazılabilir:

$$P_1 - P_2 = h_2\rho_2g - h_1\rho_1g \quad (7)$$

Şekil 9'da gösterildiği gibi $h_1=h_2=h_1$ olduğundan 1 ve 2 noktaları arasındaki hidrostatik basınç farkı ΔP_l için ifade şu hale gelir:

$$\Delta P_l = h_1(\rho_a - \rho_g)g \quad (8)$$

2 ve 3 noktaları arasında yazılan Bernoulli denklemlerinden bir eşitlik (9) daha elde edilir. Bu eşitliğin yazılmasında amaç, kütle akış hızının hesaplanmasıdır.

$$P_2 + \frac{1}{2}v_2^2\rho_2 + h_2\rho_2g = P_3 + \frac{1}{2}v_3^2\rho_3 + h_3\rho_3g \quad (9)$$

2 noktasındaki hız değeri $v_2=0$ 'dır. Kontrol hacmi içindeki hava yoğunluğu, kontrol hacmi çıkış noktasındaki hava yoğunluğu ile aynıdır ($\rho_2=\rho_3=\rho_a$). Dolayısıyla eşitlik (10) halini alır.

$$P_2 - P_3 = \frac{1}{2}v_3^2\rho_3 \quad (10)$$

Son olarak, nötr düzlemden 2 ve 3 noktalarının yükseklikleri aynıdır ($h_2=h_3=h_1$). Denklem sadeleştirilerek (11) halini alır.

$$\Delta P_1 = \frac{1}{2}v_a^2\rho_a \quad (11)$$

İlk elde edilen eşitlik ikinci eşitlikte yerine yazılarak havanın h_1 yüksekliğindeki giriş hızı ile ilgili (12) numaralı denkleme ulaşılır.

$$v_a = \sqrt{\frac{2\Delta P_u}{\rho_a}} = \sqrt{\frac{2h_1(\rho_a - \rho_g)g}{\rho_a}} \quad (12)$$

Bir açıklıktan geçen kütle akışının temel doğa yasalarını kullanarak hassas bir şekilde hesaplanması Navier-Stokes denklemlerinin çözülmesiyle gerçekleştirilebilir. Bu çözümlerin gerçekleştirilmesinde güçlü bilgisayarlar kullanılır. Bernoulli denklemi yalnızca idealize edilmiş akış koşulları için geçerlidir. Bununla birlikte tüm mühendislik amaçları için yukarıda verilen denklemlerin bazı düzeltme katsayıları ile birlikte kullanımı da gerçek sonuçlara önemli ölçüde yaklaşım sağlar (Karlssoon ve Quintiere, 1999).

Bir kontrol hacminde bulunan açıklıklar arasında basınç farkı olduğunda, akışkan yüksek basınç bölgesinden düşük basınç bölgesine hareket eder. Pratikte akışkan ideal (sürtünmesiz, sıkıştırılmaz ve izotermal) değildir ve akışa karşı bir parça direnç vardır. Bu direnç, temelde açıklığın yalnızca bir bölümünün akışın içinden etkin bir şekilde akmasına izin vereceğini belirten bir akış katsayısı ile hesaba katılır. Akış katsayısı C_d ile gösterilir.

Basınç farkının tüm kontrol hacmi yüksekliği boyunca sabit bir değer olduğu sistemlerde, hızın tüm yükseklik boyunca sabit olduğu da söylenebilir. Kontrol hacmi kenarlarına çok yakın bölgelerde bu durum söz konusu olamaz. C_d akış katsayısı bu durumda kenar etkisini hesaba katar. Bu durumda kütle akışı (13) numaralı denklemdeki gibi yazılabilir:

$$\dot{m} = C_d A v \rho \quad (13)$$

Burada A kesit alanı, v kesit üzerindeki sabit hızı ve ρ akışkanın yoğunluğunu

gösterir. Bu eşitlik hızın kontrol hacmi yüksekliği boyunca sabit olması durumunda kurulabilir. Aksi durumlarda toplam kütle akışının elde edilebilmesi için hız görünüşünün, yüksekliğe göre değişimi dikkate alınmalıdır.

Buradan yola çıkarak denklem (6) ve (12) de elde edilen üst ve alt noktadaki çıkış hızlarından kütleli debiler:

Buradan yola çıkarak denklem (6) ve (12) de elde edilen üst ve alt noktadaki çıkış hızlarından kütleli debiler:

$$\dot{m}_g = C_d A_u \rho_g \sqrt{\frac{2h_u(\rho_a - \rho_g)g}{\rho_g}} \quad (14)$$

$$\dot{m}_a = C_d A_l \rho_a \sqrt{\frac{2h_l(\rho_a - \rho_g)g}{\rho_a}} \quad (15)$$

Kütlenin korunumu yasası gereği giren kütleli debi ile çıkan kütleli debi birbirine eşittir. Bu durumda (14) ve (15) numaralı denklemler birbirine eşitlenirse yükseklik ve hava yoğunluklarının birbiri ile olan ilişkisini açıklayan (16) numaralı eşitlik elde edilir.

$$\frac{h_l}{h_u} = \left(\frac{A_u}{A_l}\right)^2 \frac{\rho_g}{\rho_a} \quad (16)$$

Bu bölümde elde edilen denklemler yorumlanarak tasarıma yardımcı olacak çıkarımlar yapılmıştır:

- Debilerin artması, baca açıklığı yardımıyla makine dışına atılan nemli havanın ve hava emiş açıklığı yardımıyla makine içine alınan taze havanın miktarlarının artması demektir. Makine içerisindeki havanın giriş-çıkışının artması makine içerisindeki nemin sürekli olarak azaltılması ve makine içindeki havanın nem tutma yeteneğinin artması anlamına gelmektedir. Yani, bulaşıklar üzerinden buharlaşan suyun tekrardan bulaşıklar üzerinde yoğunlaşmasının önüne geçilmiş olur.
- Ayrıca, hava giriş-çıkışının hızlanması, içeriye daha çok taze (soğuk ve kuru) hava dolması anlamına gelir. Bu şekilde, makine iç sıcaklıkları daha hızlı bir şekilde düşer ve makine içindeki hava ile bulaşıklar arasındaki sıcaklık farkı artar. Bu da bulaşıklar üzerindeki kütle transferini, yani buharlaşmayı hızlandıracak yönde bir etki gösterir. Bu şekilde kurutma verimi iyileşir.
- Açıklıkların konumları önemli değişkenlerdir ve denklemlerde çarpan duru-

munda bulunmaktadırlar. Baca açıklığı ile hava emiş açıklığı arasında yükseklik farkı bulunmalıdır ve baca açıklığı her zaman hava emiş açıklığından yukarıda olmalıdır. Aradaki yükseklik farkı arttıkça, kontrol hacmi içerisine giren (taze hava) ve dışarıya atılan (nemli hava) hava hızları, buna bağlı olarak debileri artacaktır ve daha hızlı bir hava giriş-çıkışı gerçekleşecektir. Böylece, baca açıklığını olabildiğince en yüksek konuma, hava emiş açıklığını ise olabildiğince en alçak konuma yerleştirmek, çarpan durumunda olan yükseklik değişkenini büyütür. Bunun sonucunda hava hızları ve debi yükselir ve makine dışına atılan nemli hava ve makine içine alınan taze hava miktarları artar.

- Açıklıkların kesit alanları da önemli değişkenlerdir ve denklemlerde çarpan durumunda bulunmaktadırlar. Baca ve hava emiş açıklıklarının kesit alanları, hacimsel debi denklemlerinde çarpan durumunda olduğundan, bu açıklıklar büyütüldüğünde baca açıklığından makine dışarısına çıkan nemli havanın ve hava emiş açıklığından içeriye giren taze havanın hacimsel debileri de aynı oranda artar.
- Söz konusu sistemde, açıklıkların yükseklik farkları dışında konumları da önem taşımaktadır. Sistem her ne kadar yükseklik farkı olduğu sürece çalışır durumda olsa da konum düzenlemeleriyle sistemin verimi artırılabilir. Baca açıklığı ile hava emiş açıklığının karşılıklı olarak konumlandırılması bu düzenlemelerden biridir. Makinenin tercihen alt bölümlerinde bulunan hava emiş açıklığından, nemli ve sıcak hava bulunan makineye taze (kuru ve soğuk) hava girişi olur. Nemli ve sıcak hava yükselme eğiliminde olacağından baca açıklığından dışarıya çıkar. Havanın akış yolu da bu doğal harekete göre gerçekleşir.

Baca açıklığı ve hava emiş açıklıklarının karşılıklı olması havanın yolunu şekillendirir. Makinenin bir köşesindeki hava emiş açıklığından hava girip, karşı köşesindeki baca açıklığından dışarıya çıktığı bir sistemde, makine içerisindeki en yüksek sayıda bulaşık akış yolu üzerinde kalır. Bu şekilde hava akışı daha çok bulaşık üzerinden geçtiğinden, bulaşıklar üzerindeki kütle transferi artar. Bu da bulaşıklar üzerinden daha fazla su damlasının buharlaşacağı anlamını taşır. Yani kurutma verimi yükselir.

2.2. Tasarım Doğrulama

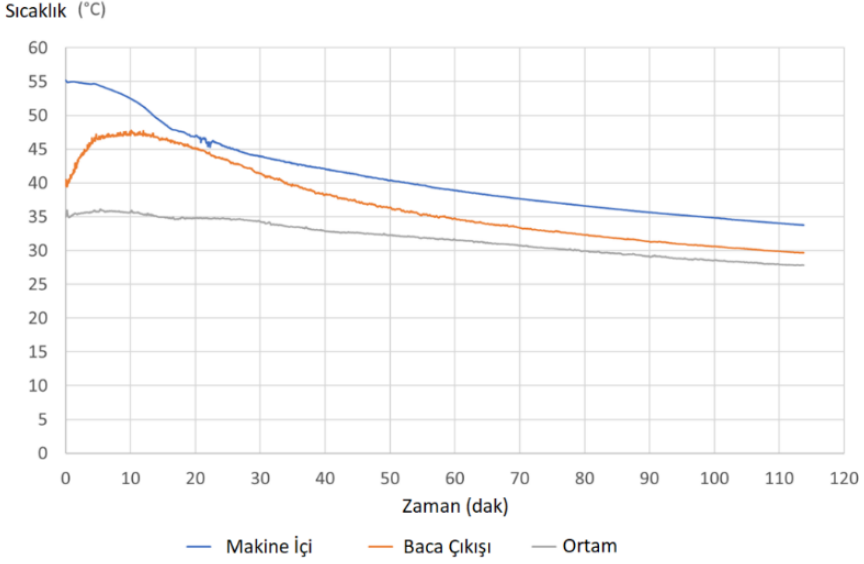
Bu bölümde, tasarlanan kurutma sisteminin işlevinin kanıtlanması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda sistemi oluşturan emme ve yoğuşma kanallarının öncül tasarımları yapılmış ve Şekil 10'da gösterilen ilk örnek (prototip) üretimleri gerçekleştirilmiştir. Prototipler üzerinden yapılan sıcaklık ölçümleri ile sistemin işlevselliği araştırılmıştır. Ölçümlerde $\pm 0,5$ °C doğrulukta ölçüm yapabilen termokupllar kullanılmıştır.



Şekil 10. Prototip Test Bulaşık Makinesi

İlk olarak yalnız kurutma çevriminde ölçümler alınmıştır. Yoğuşma kanalına makine içerisinden nemli havanın girdiği açıklığa, taze havanın emildiği açıklığa ve kanalın çıkış açıklığına termokupllar yerleştirilmiştir. Sıcaklık değerleri Şekil 11’de verilmiştir. İlk testlerin ardından, yıkama çevrimi süresince ölçümler alınarak sistemin çalışma durumu incelenmiştir. Sıcaklık sensörleri makinenin bulunduğu ortama, makine içine, yoğuşma kanalı çıkışına ve emme kanalı girişine yerleştirilmiştir. Ölçülen sıcaklık değerleri Şekil 12’de gösterilmiştir.

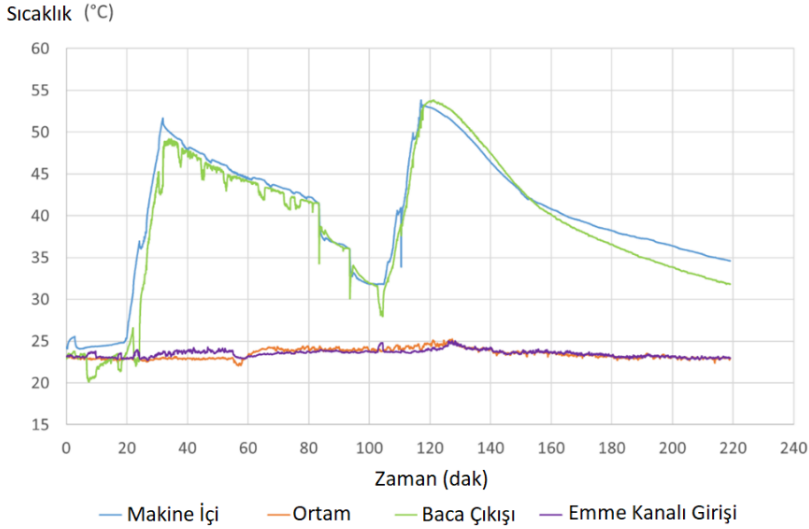
Kanaldan dışarıya atılan havanın sıcaklığı, beklendiği şekilde makine içerisindeki hava ile makine yan bölümünden giren taze havanın karışımından elde edilen bir sıcaklıktır. Makine yan bölümünün test odasından daha sıcak olmasının nedeni yıkama süresinde makine duvarlarının ısınarak yan bölümündeki havayı da ısıtmasıdır. Testler tezgâh içine gömülü ankastre bir ürün üzerinde yapıldığı için makine üzerine yerleştirilen kabin de yalıtım etkisi yaratmaktadır. Doğrulama amacıyla açıklıkların önüne cam yüzeyler konmuş ve yoğuşma olmadığı gözlenmiştir. Test sonuçlarına göre tasarlanan kurutma sisteminin işlevini yerine getirdiği kanıtlanmıştır.



Şekil 11. Kurutma Adımı Boyunca Sıcaklık Ölçümleri

Kanaldan dışarıya atılan havanın sıcaklığı, beklendiği şekilde makine içerisindeki hava ile makine yan bölümünden giren taze havanın karışımından elde edilen bir sıcaklıktır. Makine yan bölümünün test odasından daha sıcak olmasının nedeni yıkama süresinde makine duvarlarının ısınarak yan bölümündeki havayı da ısıtmasıdır. Testler tezgâh içine gömülü ankastre bir ürün üzerinde yapıldığı için makine üzerine yerleştirilen kabin de yalıtım etkisi yaratmaktadır. Doğrulama amacıyla açıklıkların önüne cam yüzeyler konmuş ve yoğuşma olmadığı gözlenmiştir. Test sonuçlarına göre tasarlanan kurutma sisteminin işlevini yerine getirdiği kanıtlanmıştır.

Yoğuşma kanalı çıkışında yer alan sensör makine iç sıcaklıklarına benzer bir eğilimde sıcaklık değişimini göstermektedir. Emme kanalı girişindeki sensör ise kabin iç sıcaklığından bağımsız olarak yalnızca dış ortam sıcaklığını okumaktadır. Bu demektir ki; makinenin baca açıklığından makine dışarısına sıcak ve nemli hava salımı, hava emiş açıklığından ise makine içerisine taze hava beslemesi olmaktadır. Sonuçlar, sistemin tam olarak beklendiği gibi çalıştığını göstermektedir.



Şekil 12. Yıkama Programı Boyunca Sıcaklık Ölçümler

3. Deneysel Çalışmalar

3.1 Yöntem

Bulaşık makinelerinin performans kriteri; yıkama ve kurutma değerleri, enerji ve su tüketimi, program süresi ve ses gücü düzeyine göre belirlenir. Ölçüm yöntemi olarak EN 60436 numaralı “Elektrikli bulaşık makineleri: Ev ve benzeri yerlerde kullanılan - performans ölçme metotları” standardı kullanılmaktadır.

Tasarlanan sistem, kurutma sistemi üzerine kurulduğundan yıkama performansı ve su tüketimine etkisi yoktur. Bu nedenle yıkama performansı ve su tüketimi irdelenmemiştir. Sistemin ses düzeyini yükseltmesi ile ilgili bir risk de öngörülmemektedir. Fanlı kurutma sistemlerine göre ses düzeyinde düşüş beklenmektedir ancak tasarlanan sistemin ses düzeyini düşürme hedefi olmadığından ses düzeyi de araştırılmamıştır.

Yıkama ve kurutma indekslerinin hesaplanmasında birbiri ardına sıralı testler yapılabileceği gibi (yıkama ve kurutma) ayrı ayrı testler de (yıkama ya da kurutma) yapılabilir. Ancak yıkama ve kurutma puanı ile birlikte su ve enerji tüketimi de belirlenecek ise sıralı testler yapılmalıdır. Sıralı testlerde kirli yükler kullanılırken yalnızca kurutma puanının hesaplanacağı ayrı yapılan bir testte ise temiz yükler kullanılabilir. Çalışma kapsamında enerji tüketimi de belirleneceği için sıralı testler yapılmıştır.

Performans testlerine başlamadan önce EN 60436 standardında belirlenen aşağıda sıralanan şartlar sağlanmıştır:

- Şebeke frekansı: 50 Hz \pm %1 ve şebeke voltajı: 230 V \pm %1
- Ortam sıcaklığı 23 \pm 2°C ve bağıl nem: %55 \pm 5
- Su giriş sıcaklığı 15 \pm 2°C, sertliği 2.5 \pm 0.5 mmol/l, basıncı 240 \pm 20 kPa

Testlerde standartta belirtilen referans deterjan ve parlaticı kullanılmıştır. Deterjan ve parlaticı miktarı üretici firma tarafından önerildiği kadardır.

Çalışma kapsamında statik, fanlı ve tasarlanan doğal taşınimli sistemin enerji tüketimleri standartta belirtildiği üzere koşul ve yöntemlerde enerji analizörü (Entes MPR-53S, Doğruluk: \pm %1) ile ölçülmüştür.

3.2 Kurutma İndeksinin Hesaplanması

Kurutma performansının değerlendirmesinde EN 60436 numaralı standartta tanımlanan ışık kaynağı kullanılarak yükler üzerindeki damlacık miktarının sayılması yöntemi kullanılır. Program süresi tamamlandıktan 30 dakika sonra makine kapağı açılır. Değerlendirmeye alt sepetteki parçalardan başlanır. Daha sonra üst sepetteki parçalar, en son ise kaşık-çatal ve servis takımları değerlendirilir. Bir parçanın değerlendirilmesi için ortalama 8 s harcanmalıdır. Yükler kuruluk düzeyine göre kuru, orta ve nemli olarak değerlendirilir.

- Kuru: bir parçanın tamamen kuru olmasını belirtir ve puanlamada "2" puan alır.
- Orta: bir parçanın iki damlaya kadar su veya hareketli bir su izi içermesini belirtir (toplam ıslak alan 50 mm² den az olmalıdır) ve puanlamada "1" puan alır.
- Nemli: bir parçanın iki damladan fazla su, bir damla su ile hareketli bir su izi, iki hareketli su izi veya fincan, bardak çukur bölgelerinde kalmış suyu veya toplam ıslak alanın 50 mm² den fazla olmasını belirtir ve puanlamada "0" puan alır.

Belirtilen değerlendirme kriterlerine uygun olarak Tablo 1 doldurulur.

Tablo 1. Kurutma Performansı Değerlendirme Formu

Parça Tanımı EN 60436 (EK-A)	Parça No	Kurutulan Parçalar	Katego- riye göre parça sayısı S_z	b puanını al- mış öğe sayısı, a_b			$T_z = \sum a_b \times b$
				2	1	0	
A1	1	Yemek Tabağı					
A2	2	Tatlı Tabağı					
A3	3	Tatlı Kasesi					
A4	4	Kupa					
A5+B5	5	Bardak					
A6+B6	6	Çatal					
A7+B7	7	Bıçak					
A8+B8	8	Çorba Kaşığı					
A9+B9	9	Tatlı Kaşığı					
A10+B10	10	Çay Kaşığı					
B1	11	Çorba Kasesi					
B2	12	Melamin Tatlı Tabağı					
B3	13	Fincan Tabağı					
B4	14	Kahve Kupası					
S1a	15	Küçük Kap					
S1b	16	Fırın Kabı					
S2	17	Cam Kâse					
S3	18	Oval Tabak					
S4	19	Melamin Kâse					
S5	20	Servis Kaşığı					
S6	21	Servis Çatalı					
S7	22	Sos Kepçesi					
		N=	$S_z =$				$\sum T_z =$
Notlar:				Test No:			

Sofra takımının her bir parçası için T_z değeri (17) formülüne göre hesaplanır. Bu formülde $a_b \times b$ her bir parça için 0-2 arasında verilen puan ile bu puanı alan parça sayısının çarpımını ifade eder.

$$T_z = \sum a_b \times b \quad (17)$$

Toplam yıkanan parça sayısı N ile ifade edilir. (18) numaralı formül ile hesaplanır.

$$N = \sum S_z \quad (18)$$

Bir deneye ait kurutma puanı T_b , her bir parça türü için hesaplanan T_z değerleri kullanılarak (19) numaralı formül ile hesaplanır.

$$T_z = \sum a_b \times b \quad (19)$$

Test edilen makine için kurutma puanı T , n deney sonunda elde edilen T_i değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. (20) numaralı formül ile hesaplanır.

$$T = \frac{1}{n} \sum T_i \quad (20)$$

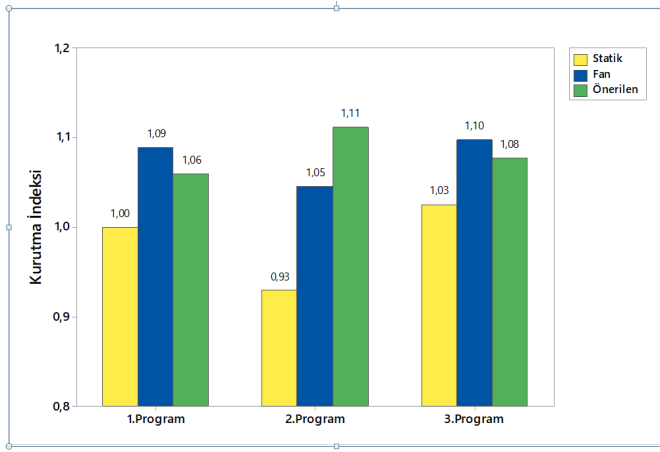
3.3 Standart Koşul Test Sonuçları

EN 60436 standardında belirtilen koşullarda tasarlanan doğal taşınimli kurutma sistemi, fanlı kurutma sistemi ve statik sistem kıyaslanmıştır. Karşılaştırılması yapılan her üç sistem de üçer kez teste alınmış ve ortalama kurutma puanları hesaplanmıştır.

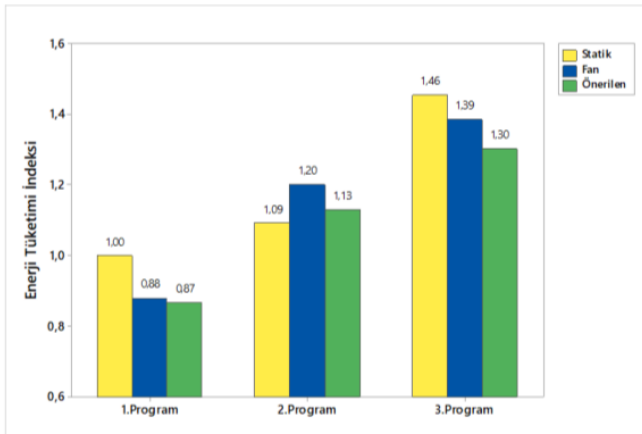
Karşılaştırmanın daha anlaşılır olması için hesaplanan kurutma puanları ve ölçülen enerji tüketimleri statik sistem birinci program sonucu 1 birim olacak şekilde indekslenmiştir.

Şekil 13'te her üç sistemin üç farklı yıkama programındaki karşılaştırmalı verim sonuçları yer almaktadır. Şekil 14'te ise karşılaştırmalı enerji tüketimleri verilmiştir.

Tasarlanan kurutma sistemi, standart koşullarda yapılan testlerde tüm yıkama programlarında statik kurutma sistemine oranla daha yüksek kurutma indeksine sahiptir. Tasarlanan kurutma sistemi ile fanlı kurutma sistemi karşılaştırıldığında ise ikinci programda tasarlanan sistemin, birinci ve üçüncü programlarda ise fanlı kurutma sisteminin kurutma indeksi yüksektir.

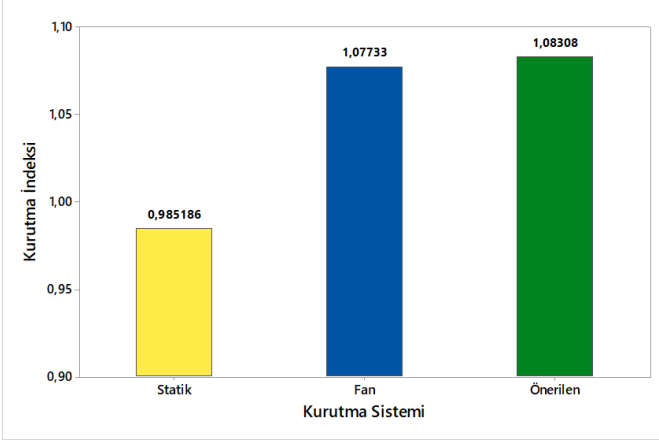


Şekil 13. Standart Koşullarda Karşılaştırmalı Kurutma Verimleri



Şekil 14. Standart Koşullarda Karşılaştırmalı Enerji Tüketimleri

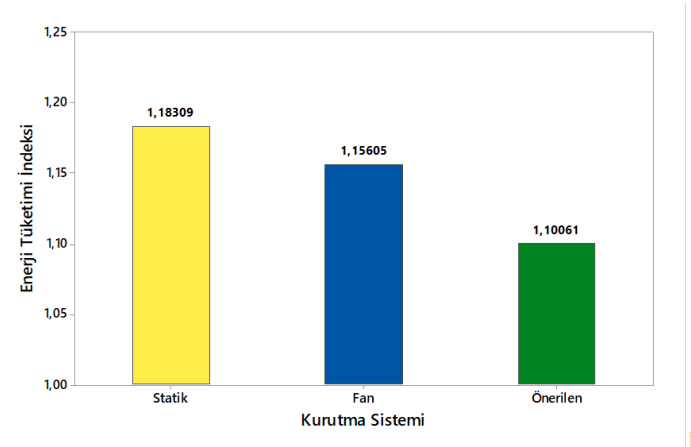
Fanlı ve tasarlanan doğal taşınımli kurutma sistemi enerji tüketimleri karşılaştırıldığında; tasarlanan sistem, tüm programlarda fanlı sistemden daha az enerji tüketir. Birinci ve üçüncü programlarda statik kurutma sistemi ise en çok enerji harcayan programdır. Bu durumun sebebi statik sistemde durulama sıcaklığının yüksek olmasıdır. İkinci programda ise statik sistemin enerji tüketiminin düşük olmasının nedeni ise program süresinin statik kurutmanın gerçekleşmesi için gerekli sürenin altında olmasıdır. Bu programda kurutma tam anlamıyla gerçekleşmediği için enerji tüketimi de düşük olmaktadır. Bu programda son durulama sıcaklığının artırılması ve program süresinin uzatılmasıyla, istenilen kurutma performansı elde edilebilir. Ancak bu yapılırsa enerji tüketimi artacaktır.



Şekil 15. Ortalama Kurutma İndeksi

Karşılaştırmanın yapıldığı üç yıkama programının ortalama kurutma indekslerine ait grafik Şekil 15'te verilmiştir. Grafikte de görüldüğü üzere tasarlanan sistem ve fanlı sistemin kurutma skorları birbirine çok yakındır. Statik sistemin ise kurutma skoru diğer iki sistemden düşüktür.

Benzer şekilde karşılaştırmanın yapıldığı üç yıkama programının ortalama enerji indekslerine ait grafik ise Şekil 16'da verilmiştir. Grafikte de görüldüğü üzere, tasarlanan sistem ortalama enerji tüketimi en düşük kurutma sistemidir. En çok enerji tüketen sistem ise statik kurutmadır.



Şekil 16. Ortalama Enerji Tüketimi İndeksi

Özet olarak standart koşullarda sistemlerin performansları karşılaştırıldığında;

- Statik kurutma tüm programlarda en düşük kurutma performansına sahiptir.
- Fanlı kurutma sistemi birinci ve üçüncü yıkama programlarında en yüksek performansı göstermiştir.
- Tasarlanan kurutma sistemi, ikinci programda en yüksek performansı göstermiştir.
- Enerji tüketimleri birinci ve üçüncü programlarda statik – fanlı – tasarlanan sistem şeklinde azalarak sıralanmaktadır.
- İkinci programda statik kurutma sistemi en az enerji tüketmektedir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Tasarlanan kurutma yönteminde doğal bir hava akış yolu oluşturularak kurutma adımında nemli havanın kabin içinden atılması sağlanmaktadır. Nemli hava bir yoğunlaşma kanalı vasıtasıyla atılırken kabin içine taze hava alınabilmesi amacıyla bir emme kanalı sisteme eklenmiştir.

Kurutma kanallarının bağlantısı için makede oluşturulan açıklıkların kesit alanı ve konumu, sistemden geçecek debi değerini doğrudan etkileyen değişkendir. Bunun yanı sıra kanalların geometrisi ve basınç düşümü de debiyi etkileyen diğer değişkenlerdir.

Kurutma sistemleri, sıcaklık ve nem farkı ile tetiklenmektedir. Kurutma adımının başında nem atma hızı yüksekken, kurutma adımı sonuna doğru kabin içiyle bulaşık makinesi ortamı arasındaki sıcaklık ve nem farkı azaldığı için nem atma hızı düşmektedir.

Programdan bağımsız olarak ortalama performanslar karşılaştırıldığında, tasarlanan yeni kurutma sisteminin kurutma etkinliği, statik kurutma sistemine göre %9,9 daha yüksek iken fanlı kurutma sistemi ile benzerdir.

Benzer şekilde ortalama enerji tüketimi de programdan bağımsız olarak değerlendirildiğinde, tasarlanan yeni kurutma sistemi en az enerji tüketirken, fanlı sistem %5 daha fazla enerji tüketmektedir. En çok enerji tüketen statik sistemin ise tasarlanan sistemden %7,5 daha fazla enerji tükettiği gözlemlenmiştir.

Yıkama programları özelinde değerlendirildiğinde, tasarlanan kurutma sistemi, standart koşullarda yapılan testlerde tüm yıkama programlarında statik kurutma sistemine oranla daha yüksek kurutma skoruna (Birinci program %6, ikinci program %19,4, üçüncü program %11,2) sahiptir. Diğer taraftan, statik kurutma, tüm programlarda en düşük kurutma performansı göstermiştir.

Birinci ve üçüncü programlarda ise fanlı kurutma sisteminin kurutma skoru daha yüksektir (Birinci program %2,8, üçüncü program %1,8).

Tasarlanan sistemin kurutma skoru, ikinci programda fanlı sistemden %5,7 fazladır.

EN 60436 standardına göre, kurutma performansının değerlendirilmesi program bitiminden 30 dakika sonra yapılır. Tasarlanan sisteminin en büyük üstünlüğü, barındırdığı atmosfer açıklıkları nedeniyle denge noktasına gelene kadar kurutma işleminin kendiliğinden sürmesidir. Bu nedenle fanlı kurutma sistemine göre yaklaşık 30 dakika fazladan kurutma işlemi yapabilmektedir. Tasarlanan kurutma sisteminin veriminin ikinci programda fanlı sistemden daha üstün olmasının nedeni budur.

Fanlı ve tasarlanan sistemin enerji tüketimleri karşılaştırıldığında ise tasarlanan sistem, tüm programlarda fanlı sistemden daha az enerji tüketmektedir.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma, Konya Teknik Üniversitesi “Kamu-Üniversite-Sanayi İş Birliği ile Öğrenci Kabulü” programı kapsamında tamamlanan “Ev Tipi Bulaşık Makinelerinde Doğal Taşınım Prensibine Göre Çalışan Yeni Bir Kurutma Sisteminin Geliştirilmesi ve Kurutma Performansının Deneysel Olarak Araştırılması” başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiş ve Arçelik Bulaşık Makinesi işletmesi tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

- Bengtsson, P. ve Berghel, J. (2017). Concept study of a new method for drying dishware in a heat pump dishwasher. *Energy Efficiency*, 10(6), 1529–1538. Doi: 10.1007/s12053-017-9541-4
- Bengtsson, P., Berghel, J. ve Renström, R. (2015). A household dishwasher heated by a heat pump system using an energy storage unit with water as the heat source. *International Journal of Refrigeration*, 49, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2014.10.012>
- BS EN 60436:2020+A11:2020, Electric dishwashers for household use, Methods for measuring the performance.
- Jeong, S. W. ve Lee, D. H. (2014). Drying performance of a dishwasher with internal air circulation. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 31(9), 1518–1521. Doi: 10.1007/s11814-014-0194-0
- Karlsson, B. ve Quintiere, J. (1999). *Enclosure Fire Dynamics*. Boca Raton: CRC Press, 93–102.
- Kumar, N., Rendall, J., Turnaoglu, T., Gluesenkamp, K. R., Patel, V. K., Abuheiba, A. Ve Gehl, A. (2021). *Measurements of Evaporation and Condensation Mass Transfer Resistances for Surfaces in Residential Dishwashers*, 18th Interna-

tional Refrigeration and Air Conditioning Conference, Purdue University, Indiana, USA.

Linden, P. F. (1999). The Fluid Mechanics of Natural Ventilation, *Annual Review of Fluid Mechanics*, 31 (1), 201–238. <https://doi.org/10.1146/annurev.fluid.31.1.201>

Mujumdar, A. S. (2006). *Handbook of industrial drying*. Boca Raton: CRC Press, 3rd edition.

Sai, P. S. T. ve Linga, A. (2010). *Studies on drying kinetics of solids in a rotary dryer*, 3rd International Conference on Thermal Issues in Emerging Technologies, Theory and Applications, Cairo, Egypt.