

PID Control of Humidity and Temperature Exchange in a Ship

Tarık Koçal¹, Ata Muğan²

tkocal@yildiz.edu.tr¹, mugan@itu.edu.tr²

¹ *Department of Marine Engineering Operations, Yıldız Technical University*

² *Department of Mechanical Engineering, Istanbul Technical University*

Abstract

Ships around the world are operated at all weather conditions. Therefore HVAC (Heating Ventilating and Air Conditioning) systems for ships are very significant and these systems have to work in limit conditions of outer climate temperature and moisture. To this end, ship heat load should be known. Therefore necessary heat load is calculated for various air conditions and ship speeds. In this paper, the ship's characteristics having the HVAC system are studied. Moisture, velocity and energy equations are derived. Firstly Simulink model is created for one location by Matlab Simulink. For the entire ship's HVAC system simulation, heat transfer of the locations with each other and outer climate are also considered. Desirable temperature and moisture conditions for locations are derived by adding a PID controller to the model.

Keywords: Simulink, HVAC, PID control

Gemi İçindeki Nem ve Sıcaklık Değişiminin PID ile Kontrolü

Tarık Koçal¹, Ata Muğan²

tkocal@yildiz.edu.tr¹, mugan@itu.edu.tr²

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş, İstanbul

² İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Beyoğlu, İstanbul

Özet

Gemiler farklı iklim koşullarında dünyanın her yerinde işletildikleri için, mevcut iklimlendirme sistemleri dış ortam sıcaklığı ve nemine göre uç sınır şartlarında doğru ve yeterli çalışacak şekilde seçilmelidir. Bu yeterlilik gemi ısı yükünün bilinmesini gerektirir ve hesaplar bu doğrultuda yapılır. Bu yüzden değişen hava şartlarında ve gemi hızlarında istenen ısı şartların elde edilmesi için gerekli ısı yükünün hesaplanması gerekir. Bu çalışmada HVAC (Heating Ventilating and Air Conditioning) sisteme sahip bir gemi için nem, hız ve enerji denklemleri oluşturulmuştur. İlk olarak Matlab Simulink kullanılarak geminin bir bölgesi için model kurulmuştur. Tüm geminin HVAC sistem simülasyonu için kabinlerin birbiri arasında ve dış ortam ile ısı etkileşimleri dikkate alınmıştır. Bölgeler için istenilen sıcaklık ve nem şartları modele PID kontrol eklenerek elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Simulink, HVAC, PID kontrol

Sembol Listesi

C_m : Çelik sac malzemenin ısı kapasitansı

C_a : Kuru havanın özgül ısı

C_s : Suyun özgül ısı

C_v : Su buharının özgül ısı

T : İklimlendirilen mahalın sıcaklığı

T_a : Taze havanın sıcaklığı

T_k : Karışım havası sıcaklığı

f_k : Hava karışımının hacimsel debisi

R_a : Kuru havanın gaz sabiti

R_v : Su buharının gaz sabiti

w : Özgül nem

w_k : Karışım havasının özgül nemi

\bar{W} : Mahal havasının mutlak özgül nemi

\bar{W}_a : Taze havanın mutlak özgül nemi

\bar{W}_k : Karışım havasının mutlak özgül nemi

h_k : Karışım havasının entalpisi

q_v : Su buharının doyma sıcaklığındaki entalpi değeri

1. Giriş

Gemilerde çalışma şartlarının zorluğundan dolayı, iklimlendirme ve havalandırma sistemleri diğer ortamlara göre daha fazla önem arz etmektedir. Gemiler sürekli hareket halinde olduğu için dış ortamdaki hava şartları da o denli değişmektedir. Bu da iklimlendirme uygulamalarında kontrol sistemlerinin önemini arttırmaktadır.

Gemilerde dış hava şartlarının ve gemi hızının değişimine bağlı olarak sistemin ısıtma veya soğutma yükü değişmektedir. Bu çalışmada; hava şartlarının bu değişimlerine bağlı olarak istenen ısı şartları elde edecek iklimlendirme sisteminin belirlenmesi için; mahallerin matematik modelleri kurulup sistemin PID kontrolcülü simülasyonunun yapılması amaçlanmıştır. Sistemin sıcaklık ve nem cevaplarının doyuma ulaşması, bozucu etkileri ve dinamik cevabı her bir oda için ayrı ayrı modellenmiş ve kontrol edilmiştir. Böylece, entegre edilmiş olarak bir geminin HVAC sistem performansı değerlendirilmiştir.

Son yirmi yılda HVAC sistemlerinin modellenmesi ve kontrolüne ilişkin birçok çalışma yapılmıştır. Bir iklimlendirme odası sıcaklığının kontrolü için sistemin transfer fonksiyonunu kullanarak on-off kontrol yöntemi ile Charchas (1985) simülasyonlar gerçekleştirmiştir. Zhang ve diğerleri (1993) ise çiftlik hayvanlarının yaşadığı bir ortamın transfer fonksiyonunu bularak, normalde nonlineer olan sistemin, kendi çalışmasında lineer olduğunu kabul ederek ısıtma ve havalandırma kontrolüne ait simülasyon sonuçlarını elde etmiştir. House ve diğerleri (1991), herhangi bir iklimlendirme sisteminde sıcaklığın kontrolü için ayrı zamanlı optimal denetim yöntemini uygulamış ve diğer bir kontrol yöntemi olan aç-kapa denetimine göre enerji tasarrufu sağlamıştır.

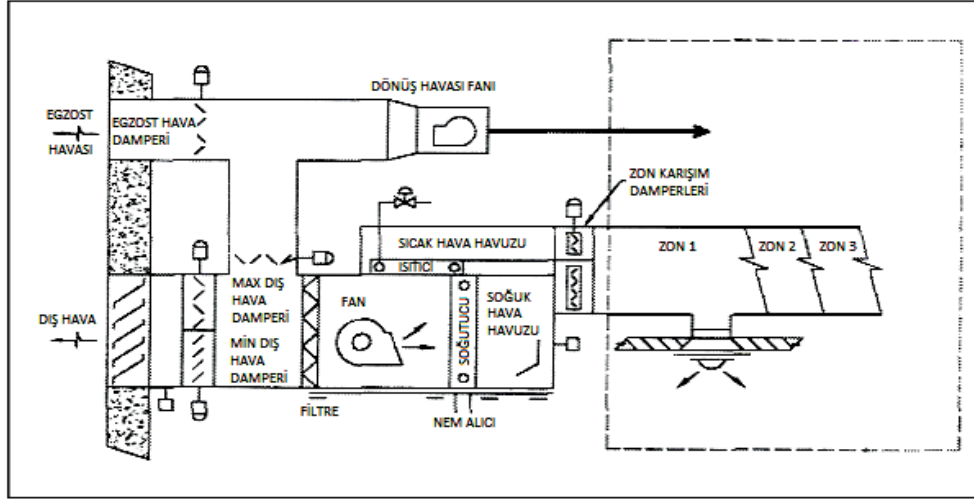
İklimlendirme sistemleri uygulamalarında Dexter ve diğerleri (1989) öz ayarlı kontrolör tasarlamıştır. Kamimura (1994), herhangi bir iklimlendirme sistemi için en uygun PID katsayılarını tespit eden "bilgisayar destekli ayarlama" (CAT) yazılımını kullanarak tasarladığı PID kontrolör ile transfer fonksiyonu belli olan bir odanın sıcaklığını kontrol etmiştir. William (1992) ise mikroişlemci tabanlı elektronik kontrolörlerin binaların sıcaklık kontrolünde kullanılmasının enerji verimliliği açısından iyi olacağı düşüncesinden yola çıkarak iklimlendirme sistemindeki karışım havası damperlerinin kontrolünde PID kontrolörün kullanılmasını önermiştir.

Atkinson ve Martino (1989) iklimlendirilmesi yapılan bir fabrikada nem, basınç, sıcaklık ve hava temizliğinin kontrolü için analog devre elemanlarıyla tasarladığı bir PID kontrolör kullanmıştır. Krakow ve diğerleri (1995a, 1995b) da PID kontrolör ile bir kompresör ve soğutucu fanının hızını kontrol ederek bir odanın sıcaklık ve nemini kontrol etmiş ve sonrasında da PID katsayılarının analitik olarak belirlenmesi çalışmasını yapmıştır. Son olarak Kaya (1976) işyeri ve binalar gibi kompleks sistemlerin iklimlendirilmesindeki kontrol problemini çözmek için analitik tekniklerden faydalanan bir model sunmuştur.

Yazarlar tarafından yapılan bir önceki çalışmada 15 °C sıcaklık ve 29,5% neme sahip gemi içindeki bir mahalin istenilen 25 °C sıcaklık ve 45% nem değerlerine ulaşması için HVAC simülasyonu yapılmıştır (Koçal ve diğerleri). Bu çalışmada ise farklı olarak mahaller içinden sürekli nem ve sıcaklık kaybı olduğu göz önüne alınmıştır. Bu kayıp nedeniyle sisteme verilen bozucu etkinin HVAC simülasyonuna etkisi incelenmiştir.

2. Çok bölgesli iklimlendirme sistemleri

Çok bölgesli sistemlerde tüm mahallere tek bir iklimlendirme merkezinden hava gönderilmektedir. Gönderilen bölgelerin ayrı damperleri olup mahallerdeki termostatlar vasıtasıyla kontrollü bir şekilde damperlerin açıklıkları ayarlanarak istenilen hava şartları elde edilmiş olur. Tüm bölgelerin dönüş kanalından çıkan hava birleşerek tek bir kanaldan tekrar iklimlendirme sistemine geri döner. Sistemin çalışma prensibi Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Çok bölgesli iklimlendirme sistemi (Başer, 2006)

3. Matematik model

Matematik modelin oluşturulmasında nem dengesi, enerji dengesi ve hız dengesi denklemlerinden yararlanılmıştır.

3.1. Nem dengesi

Sisteme giren havadaki nem miktarı ile sisteme verilen su buharı miktarının toplamı, sistemden çıkan havadaki nem miktarı ile kontrol hacmindeki nem değişimi miktarının toplamına eşittir. Matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Öznergiz, 1998).

$$\frac{dw}{dt} = \frac{1}{V} \left[K_1 T \bar{W} \dot{m} + K_2 f_k T \bar{W} - A_v (\bar{W} - 0,622) \right] \quad (1)$$

$$K_1 = \frac{R_a}{0,622 P} \quad , \quad K_2 = \frac{w_k}{T_k \bar{W}_k} \quad (2)$$

3.2. Enerji dengesi

Yaptığımız kabuller dahilinde iklimlendirme odası kontrol hacmine giren enerjiyle hacimden çıkan enerji arasındaki fark enerji kazanımını veya kaybını göstermektedir. Enerji değişimi; ısıtıcıdan kontrol hacmine verilen ısı miktarı, kontrol hacmine verilen havanın entalpisi ve nemlendirmek için verilen su buharı entalpisinin toplamından, kontrol hacminden çıkan havanın entalpisi ile oda çeperlerinden kaçan ısı miktarı toplamının çıkarılması ile elde edilir (Öznergiz, 1998).

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{(C_a + C_v w)V} \left[\begin{array}{l} \frac{Q}{\rho'} + \frac{\rho_k (\bar{W}_k + 0,378)}{\rho (\bar{W} + 0,378)} f_k h_k + \frac{m C_s T_s}{\rho'} - \frac{Q_k}{\rho'} A v h \\ -(C_v T + q_v) V (K_1 \bar{m} \bar{T} \bar{W} + K_2 f_k \bar{T} \bar{W} - A v (\bar{W} - 0,622)) \end{array} \right], K_3 = \frac{\bar{W}_k + 0,378}{\bar{T}_k \bar{W}_k} \quad (3)$$

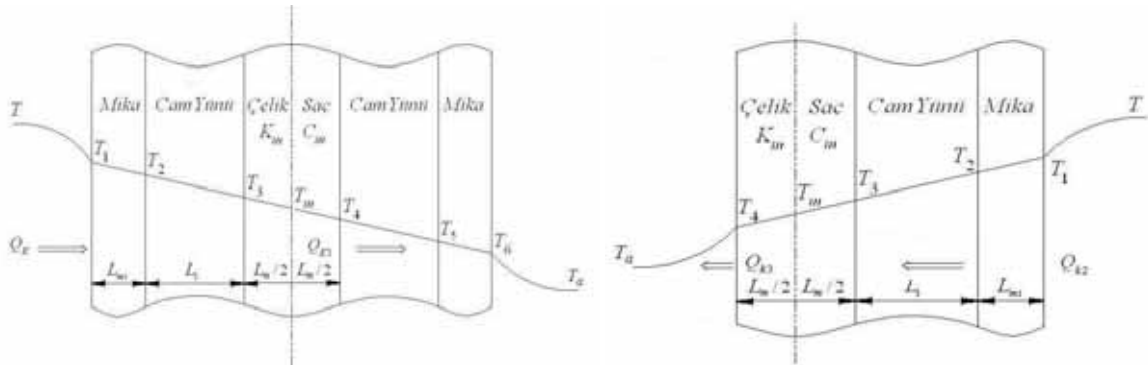
3.3. Hız dengesi

Kontrol hacminin matematik modelinin çıkartılması sırasında “kontrol hacmi içindeki basınç sabit ve atmosfer basıncına eşittir” kabulü göz önünde bulundurulur. Kontrol hacmine giren kuru hava miktarı ile kontrol hacminden çıkan kuru hava miktarı arasındaki fark, kontrol hacminde sıcaklık ve nemin değişkenliği nedeniyle yoğunluğun değişimi sonucunda meydana gelen kütle değişimine eşittir. Bu denklemden hız ifadesi çekilerek kontrol hacmindeki havanın hızı denklem (4)'teki gibidir (Öznergiz, 1998).

$$v = \frac{f_k}{A \bar{T}_k \bar{W}_k} \bar{T} \bar{W} + \frac{V}{A (\bar{T} \bar{W})^2} \left(\bar{W} \frac{d\bar{T}}{dt} + \bar{T} \frac{d\bar{W}}{dt} \right) \quad (4)$$

4. Bölgeler arası ısı transferi

Sistemimiz gemi olduğundan mahaller arası duvar iç kesiti; en içte metal plaka, üzerinde izolasyon malzemesi ve en dışta da mika kaplama olarak kabul edilmiştir. Bu özelliklere göre zamana bağlı ısı kaybı denklemi elde edilirken mika ve izolasyon malzemesinin ısı yutma özelliği varsayılmıştır.



Şekil 2. İç ve Dış Duvar kesitleri

Mahalden dış ortama, taşınım ve iletimle ısı geçişi meydana gelmektedir. Bu ısı geçişinin matematiksel ifadesi oluşturulurken dikkat edilmesi gereken husus, kapasitif etkinin yalnız çelik sac malzemede olduğu ve malzemenin tam orta bölgesinde bulunduğudır.

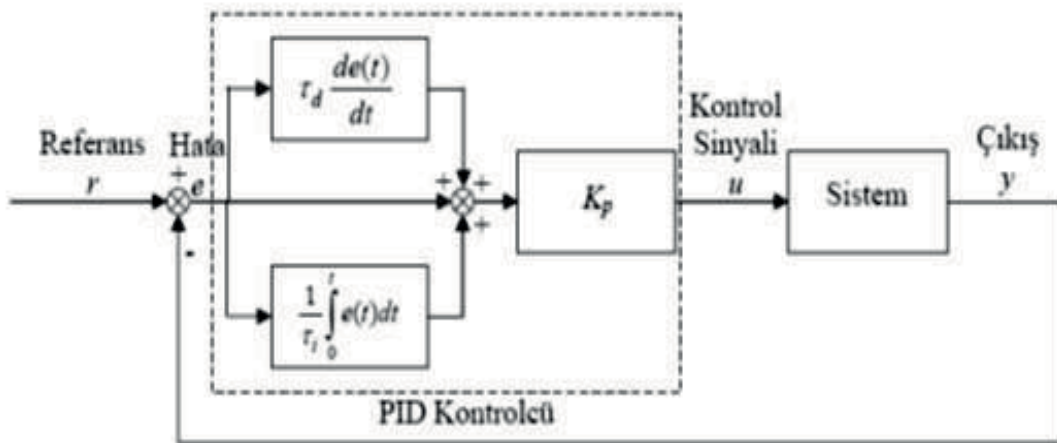
Denklemler oluşturulurken kapasitif etkinin olduğu kısmın, ısı transferini iki bölgeye ayırdığı varsayılmıştır. İç duvar yüzeyinden taşınım ile olan ısı transferi, mika malzemenin üzerinden iletimle olan ısı transferi, izolasyon malzemesi üzerinden iletimle olan ısı transferi ve sac malzemenin yarı genişliğinde iletimle olan ısı transferi ilk ısı transferi bloğunu oluşturmaktadır. Mahal içerisinde taşınım ile ısı geçişi denklem (5) ve (6)'daki gibi yazılmaktadır.

$$\frac{d\dot{Q}_k}{dt} = \frac{1}{R_{d1}} \frac{d\bar{T}}{dt} + \frac{T - T_a}{R_{d1} C_m R_{d2}} - \dot{Q}_k \frac{\left(1 + \frac{R_{d1}}{R_{d2}}\right)}{C_m R_{d1}} \quad (5)$$

$$\frac{d\dot{Q}_{k2}}{dt} = \frac{1}{R_{d3}} \frac{d\bar{T}}{dt} + \frac{T - T_a}{R_{d3} C_m R_{d4}} - \dot{Q}_{k2} \frac{\left(1 + \frac{R_{d3}}{R_{d4}}\right)}{C_m R_{d3}} \quad (6)$$

5. Oransal + Türev+Integral (PID) etkili kontrol

PID kontrolcü olarak bilinen yöntem, modern endüstride çok geniş kullanım alanına sahiptir. Doğrusal olduğu kadar doğrusal olmayan tüm sistemler için de uygulanabilme özelliğine sahiptir. Üç temel kontrol etkisinin bütün üstünlükleriyle beraber tek bir kontrolcü altında toplanmasıyla oluşan kontrol etkisidir. İntegral etkide sistemde meydana gelebilecek kalıcı durum hatası yok olurken, türev etkide sistemin cevap hızı ve kararlılığı artmaktaydı. Böylelikle PID kontrol metodu; P, PI ve PD kontrol etkilerinin üçünün de üstünlüklerini birlikte barındıran, sistemde kalıcı durum hatasını sıfır yapan, sistemin hızlı ve kararlı cevap vermesini sağlayan ve yaygın olarak kullanılan kontrol birimidir (Çelikel, 2006).



Şekil 3. PID etkili kontrol sisteminin şematik yapısı (Çelikel, 2006)

PID etkili kontrol sisteminde, kontrol etkisi $u(t)$, denklem (7) ile ifade edilir. Şekil 5.6' da PID etkili kontrol sisteminin şematik yapısı gösterilmektedir.

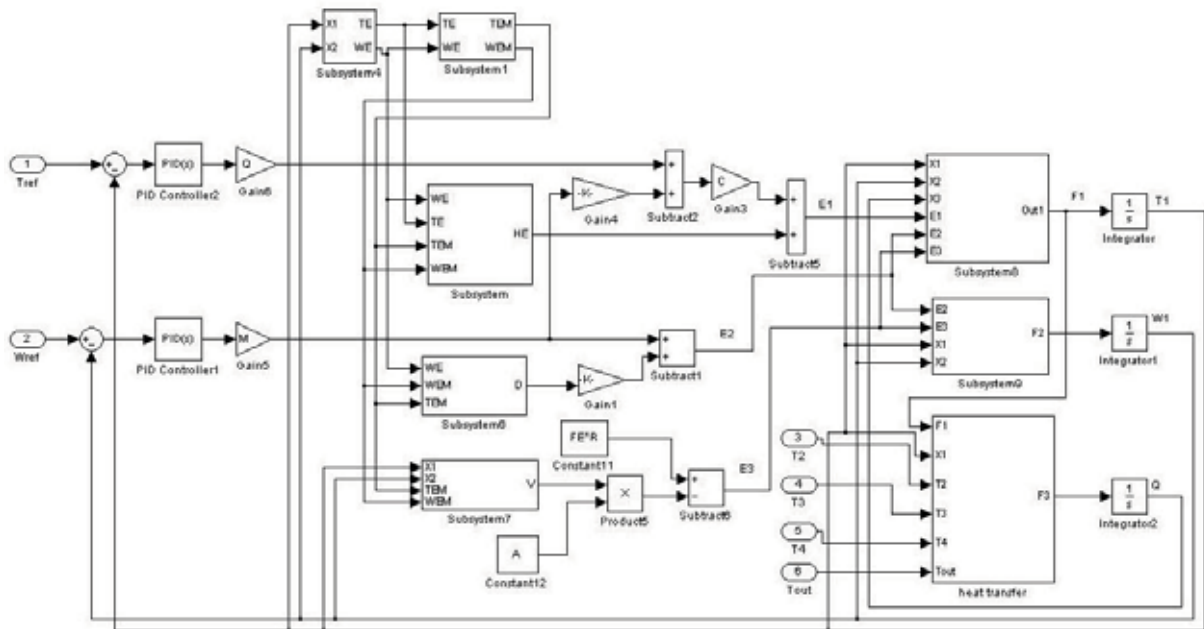
$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{\tau_i} \int_0^t e(t) dt + \tau_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (7)$$

6. Simulink modelinin oluşturulması

Gemiler farklı mahallerden meydana geldiğinden dolayı tüm mahaller için ayrı ayrı Matlab-Simulink modeli oluşturulup, bu modellerin birbirine entegrasyonu sağlanarak 106,8 m uzunluğunda, 6400 DWT olan bir kuru yük gemisine ait 4 adet kapalı alanının iklimlendirme sisteminin çözümü yapılmıştır. Simülasyonu yapılan mahallerin boyutları Çizelge 1'de verilmiş olup her bir mahalın farklı ısı kazançları veya kayıpları olduğundan hepsi farklı birer sistem olarak düşünülmüştür.

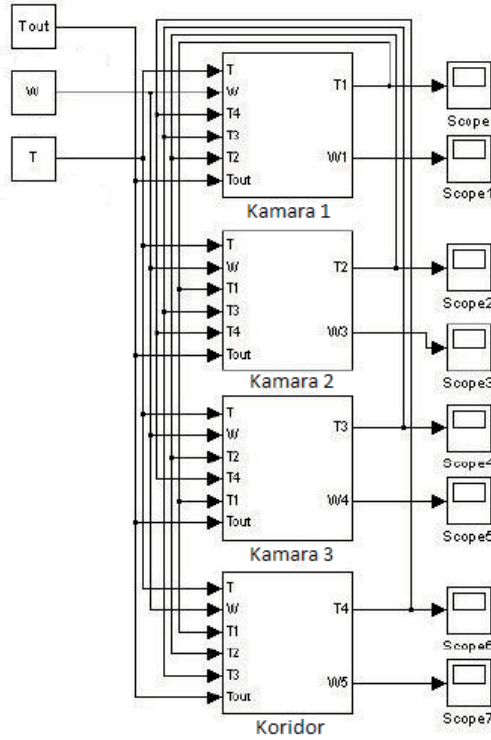
Tablo 1. Simülasyonu yapılan mahallerin boyutları.

Kamara 1	11.2 m ²
Kamara 2	10.8 m ²
Kamara 3	11.2 m ²
Koridor	8.5 m ²



Şekil 4. Kamara 1'in Matlab Simulink modeli

Ancak kullanılan yöntem tüm mahaller için paralel doğrultuda olduğundan bu çalışmada tek mahal için modelin nasıl oluşturulduğunun verilmesi yeterli olacaktır. Bu doğrultuda kamara 1'in Matlab-Simulink modeli Şekil 4'te verilmiştir. Ayrıca bu çalışmada literatürde yaygın şekilde kullanılan ve başarılı sonuçlar veren PID kontrolcü modele eklenmiştir.



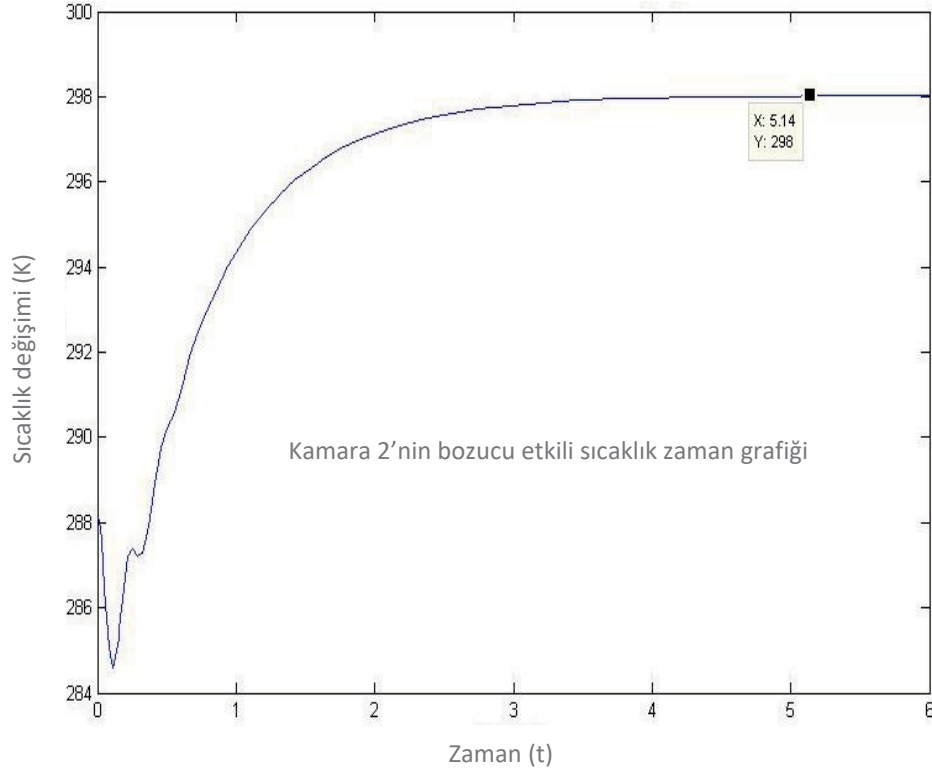
Şekil 5. Birbiriye entegre üç kamara 1 koridorun Matlab Simulink Modeli

7. Simülasyon sonunda elde edilen sonuçlar

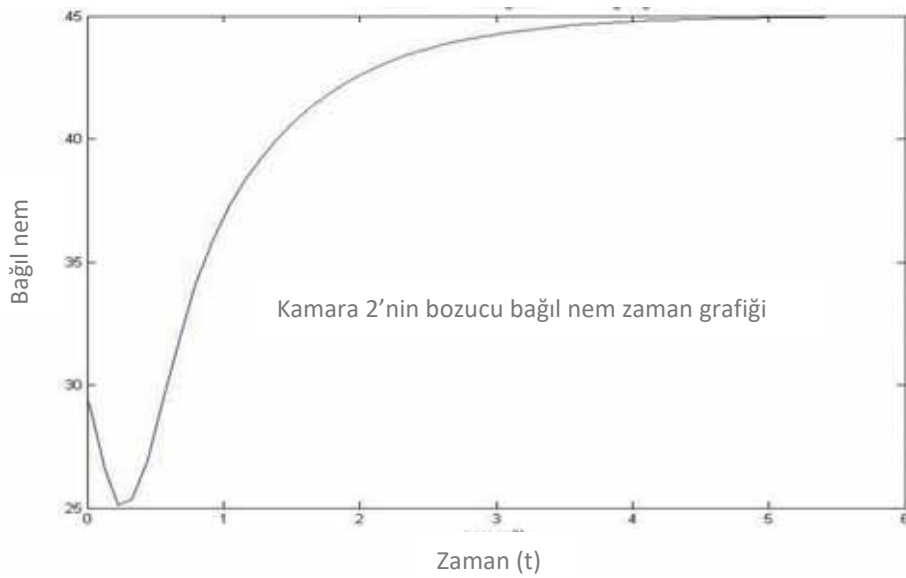
Simülasyon başlatılmadan önce; mahallerin sıcaklık ve nem değerleri, dış ortam sıcaklığı ve nem değerleri ile istenen mahal içi referans nem ve sıcaklık değerleri yapılan simülasyona girilmelidir. Tüm gemi mahallerinin iklimlendirme yapılmadan önceki sıcaklığı ile nem miktarı dış ortam şartlarında; sırasıyla 15 C^o sıcaklık ile %29,5 nem olarak simülasyona girilmiştir. Bu bölümde kamara 2'de 25 C^o sıcaklık ve %45 nem parametreleri eldesi için yapılan iklimlendirmede sonuç grafikleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Sisteme bozucu etki olarak mahallerden sürekli belli miktarda nem ve ısı çekilmesi durumunda Kamara 2'nin sıcaklık zaman grafiği Şekil 6'da gösterilmiştir.

Grafik incelendiğinde çekilen ısı sıcaklık düşmesine neden olmuştur. Fakat iklimlendirme sistemi tarafından verilen ısı arttıkça kontrollü bir şekilde mahalın sıcaklığının artmasının ve istenen referans değere ulaşmasının sağlandığı görülmektedir. Kamara 2'nin bozucu etkili bağıl nem zaman grafiği de Şekil 7'de gösterilmiştir.

Grafiğe bakıldığında çekilen nem ile birlikte ilk olarak mahalin nemi azalmasına karşın, belli bir süreden sonra mahale verilen nem ile birlikte istenen referans nem değerine kontrollü bir şekilde ulaşıldığı görülmektedir.



Şekil 6. Mahalin bozucu etkili sıcaklık zaman grafiği



Şekil 7. Mahalin bozucu etkili bağıl nem zaman grafiği

8. Sonuçlar

Gemiler farklı iklim koşullarında dünyanın her yerinde işletilen araçlardır. Gemi hareketine bağlı olarak değişen ortam şartlarına rağmen gemideki çalışma ve dinlenme alanlarında ısıl konfor şartlarının sağlanması gerekmektedir. U sınır şartlarındaki dış ortam sıcaklığına ve nemine sahip alanlarda hareket etmeleri iklimlendirme sistemlerinin gemilerdeki uygulamalarının önemini arttırmıştır.

Bu çalışmada, bir geminin üç kamarası ve bir koridorunun havalandırma simülasyonu yapılmıştır. Her bir mahalin farklı ısı kazançları veya kayıpları olduğundan hepsi farklı birer sistem olarak düşünölmüştür. Bir takım ısı kazanç ve kayıplarını ihmal ederek sisteme verilen enerjinin, nemin ve dış ortamdan alınan taze hava ile sistemden dönen hava karışımının dengesini içeren matematik model kurulmuş, kontrol odasının tavan, zemin ve yan duvarlarında olan ısı transferlerinin iletim ve taşınım vasıtasıyla olduğu kabulü yapılarak ve çeperlerin kapasitif özellikleri de göz önünde bulundurularak sistemin ısı kayıp denklemleri çıkarılmıştır. Oluşturulan bu denklemler ile Matlab-Simulink programıyla ilk olarak tek bir mahal için sonrasında da tüm mahaller için ayrı ayrı modeller oluşturulmuştur. Tüm alanların iklimlendirme sisteminin simülasyonu için mahallerin birbirleriyle ve dış ortamlarla olan ısı trasferleri hesaba katılarak Simulink ortamında oluşturulmuş olan modeller birbirlerine entegre edilmiştir (Koçal, 2012).

Simülasyon modelinde mahal içi nem ve sıcaklık değerlerini istenilen konfor şartlarına getirmek, o şartlarda devamlılığını sağlamak ve enerji verimliliğini arttırmak üzere katsayıları deneme yanılma yöntemiyle elde edilen PID kontrolcü kullanılmıştır (Koçal, 2012). Tüm gemi mahallerinin iklimlendirme yapılmadan önceki sıcaklık ve nem değerleri, dış ortam şartlarında; $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ile % 29,5 nem olarak kabul edilmiş, mahallerden sürekli ısı ve nem kaybı olduğu göz önünde bulundurularak istenen $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve % 45 nem değerlerine simülasyon sonunda ulaşılmıştır. Sıcaklık-zaman ve nem-zaman grafikleri incelendiğinde nem ve sıcaklık parametreleri istenen duruma, fazla aşım yapmadan, kalıcı durum hatasız geldiği görölmüştür.

Kaynaklar

Araki, M. Control Systems, Robotics, and Automation, Volume II.

Atkinson, G. V. and Martino, G. R. (1989). Control of Semiconductor Manufacturing Cleanrooms, ASHRAE, CH-89-1-1, pp. 477-482.

Başer, A. (2006). Comparission of Energy Transportation Ways at Air Conditioning Systems, MSc. Thesis, Mechanical Engineering, Sakarya University.

Cherchas, D. B. (1985). A Direct Digital Control Algorithm for Control of a Single Environmental Space, ASME Trans., Vol. 107, pp. 324-331.

elikel, H. K. (2006). Fuzzy Logic Tuned PID Control of Vehicle Suspension Systems, MSc. Thesis, Mechanical Engineering, Istanbul University.

Dexter, A. L. and Haves, P. A. (1989). Robust Self-Tuning Predictive Controller for HVAC Applications, ASHRAE, VA-89-1-3, pp. 431-438.

House, J. M., Smith, T. F. and Arora, J. S. (1991). Optimal Control of a Thermal System, ASHARE, IN-91-16-1, pp. 991-1001.

Kamimura, K. et. al. (1994). CAT (Computer-Aided Tuning) Software for PID Controllers, ASHRAE Trans., Research, 3754, pp. 180-190.

Kaya, A. (1976). Analytical Methods for Controller Design, ASHRAE Journal

Koçal, T., Muğan, A ve Yurtseven, A. Multi Zones HVAC Systems' Control in Ships with Simulink Application, Journal of Maritime Transport and Engineering, Vol:2 1, pp. 13-20.

Koçal, T. (2012). Multi Zones HVAC Systems' Control in Ships, MSc. Thesis, Mechatronic Engineering, Istanbul Technical University.

Krakow, K. L., Lin, S. ve Zeng, Z. S. (1995a). Temperature and Humidity Control During Cooling and Dehumidifying by Compressor and Evaporator Fan Speed Variation, ASHRAE Trans: Research, 3859, pp. 292-303.

Krakow, K. L., Lin, S. ve Zeng, Z. S. (1995b). Analytical Determination of PID Coefficients for Temperature and Humidity Control During Cooling and Dehumidifying by Compressor and Evaporator Fan Speed Variation, ASHRAE Trans: Research, 3863, pp. 343-354.

Öznergiz, E. (1998). The Optimal Control of a HVAC System by Microcomputer, MSc. Thesis, Mechanical Engineering, Istanbul Technical University.

William, T. P. (1992). Integrating Building Automation and Control, ASHRAE Journal, 54-58.

Zhang, Y., Baber, E. M. and Wood, H. C. (1993). Analysis of Stability of Livestock Building Heating Ventilation Control System, ASHRAE Trans., 3715, pp. 237-244.