

HESAPLAMALI ISI-KÜTLE GEÇİŞİ İLE YOĞUŞMA VE BUHARLAŞMANIN MODELLENMESİ

Seyhan UYGUR ONBAŞIOĞLU
S. Aslı KAYIHAN
Deniz YILMAZ

ÖZET

Havanın şartlandırılması, kurutma, gıda depolama gibi geniş bir yelpazedeki amaçlara yönelik uygulamalarda, havanın bir yüzeyle teması ve bu yüzey aracılığıyla bir akışla ısı alışverişi sözkonusudur. Isı alışverişi, hem havanın hem de bu akışkanın hareketinden etkilendiği için, tüm ısıtma, soğutma ve havalandırma uygulamalarında sıcaklık alanı ile birlikte, hız alanının da bulunması önemlidir. Son yıllarda gittikçe yaygınlaşan ticari paket programlar, sıcaklık ve hızın konuma bağlı dağılımlarını ve zamana bağlı değişimlerini bulmayı olanaklı kılan, “kullanıcı dostu” tasarım araçları olmuşlardır. Bu programlar, “momentum” ve “enerji” denklemlerine ilave olarak, “kütle transportu” denklemini de çözdükleri için, “psikrometri”nin kapsamını oluşturan, “nemli havanın” irdelenmesi de kolaylaşmıştır. Ancak; “tesisat” uygulamalarının birçoğunda karşılaşılan, “soğuk yüzeyde yoğuşma” ya da gıda saklanması problemlerinde, gıdanın içerdiği suyun buharlaşmasından dolayı havanın neminde oluşan artış, bu programlarla doğrudan simule edilememektedir. Kullanıcının, faz değişimlerini bu programa tanıtabilmesi için ek kodlar yazması gerekmektedir. Bu çalışmada, Fluent® programının, “user defined function” modülü, psikrometrik açıdan yoğuşma ve buharlaşmayı programa tanıtacak şekilde kullanılmıştır. Deneysel sonuçlarla karşılaştırılan her iki örnek çalışmada (soğuk tavan uygulamalarında yoğuşma ve kapalı hacimde kurutma), psikrometrik bağıntılar, kütle transportu ve enerji denkleminde kaynak terimi olarak ilave edilmişlerdir. Sonuç olarak; kütle transportu - enerji dengesi ilişkisi bağlamında, psikrometrik açıdan kritik olan değerlerin, hesaplamalı yöntemlerle, tasarım öncesinde öngörülmesi olanaklı olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yoğuşma, Buharlaşma, Sayısal Model, UDF

ABSTRACT

Since they do not release the open sources, the commercial soft wares are not very helpful in modeling the phase change phenomena such as condensation on the cold surfaces or evaporation during the drying processes. These events should be included by the source terms of the transport equations and the user needs to define them within the contents of a code. For FLUENT®, it is called User Defined Function, UDF. In the current study, the examples of UDF applications for condensation and drying processes are presented.

Key Words: Condensation, Evaporation, Computational Model, UDF

1. GİRİŞ

İçinde nem kaynağı olan hacimlerin ısıtılması sırasında buharlaşma sonucu açığa çıkan buharın dağılımı birçok uygulamada tasarımı önemli ölçüde etkiler. Örneğin; kurutma işleminin amacı,

kurutulması istenen hacmin emmiş olduğu suyu buharlaştırmak olduğuna göre, su buharının bu hacmin içerisindeki ve çevresindeki dağılımı, kurutma hızını etkileyecektir. Aynı şekilde, soğutulan bir hacimde nemli havanın soğuk yüzeylerle teması, hava içerisindeki su buharının yoğunlaşmasına neden olacaktır.

Isıtılan veya soğutulan bir hacimde, havanın doğal ya da zorlanmış hareketine ilave olarak, hava içerisindeki su buharının dağılımını verecek yönetici denklemlerin de çözülmesi gereklidir. Bu transport denklemleri kütle, momentumun ve enerjinin korunumunu temsil etmektedirler. Konfor ve hedef açısından hava içerisindeki su buharı için yazılan transport denklemi de “bileşenlerin korunumu” şeklinde bu denklemlerle birlikte çözülmektedir. Son yıllarda; programların kullanım kolaylıkları ve artan bilgisayar hızları, bu denklemlerin çözümünde paket program uygulamalarını yaygınlaştırmıştır. Ancak; bu programların kaynak kodları kapalı olduğu için, bu denklemlerin genel yapılarının dışına çıkılamamaktadır.

Bir yönetici denklemin genel yapısı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

Bağımlı değişkenin zamana göre değişimi+bağımlı değişkenin taşınımı \equiv bağımlı değişkenin difüzyonu+bağımlı değişkenin üretimi/tüketimi (1)

Örneğin, enerji denklemi için sıcaklığın zamana göre değişimi ile taşınım ile ısı geçişinin toplamı, iletimle ısı geçişi, ısı üretimi ve viskoz dissipasyon toplamına eşit olacaktır.

Sayısal açıdan, (1) denkleminin sağ tarafındaki son terim “kaynak terimi” olarak ifade edilir. Bağımlı değişken ϕ olarak adlandırılırsa, (1) denklemi;

$$\frac{D\phi}{Dt} \equiv \vec{V} \cdot \nabla \phi + \text{KAYNAK} \quad (2)$$

şeklinde olacaktır.

Örneğin; momentum denklemindeki basınç gradyanı ve bünye kuvvetlerini temsil eden terimler; enerji denkleminde viskoz dissipasyon ve enerji üretimi terimleri kaynak terimleridir. Ticari yazılım programları, bu terimlerin bir bölümünün çözümlenmede kullanılmasına olanak tanır. Ancak; problemin özelliğine göre değerlendirilmesi gereken kaynak terimleri ticari programların verimliliğini azaltmaktadır. Isıtma ve soğutma uygulamalarındaki buharlaşma ve yoğunlaşmanın çözümlenmesi de bu tür bir problem olarak ele alınmalıdır.

Aslında, ticari programların hemen hepsi iki fazlı akışı çözebilmektedirler. Ancak; buradaki “iki faz”, önceden oluşmuş fazların birlikte bir kanalda akması şeklindedir ve en fazla bu akış sırasındaki yüzey gerilmeleri kaynak terimi olarak programa girilebilmektedir. Fakat; faz değişimi için ayrı bir kod yazımı gerekecektir.

2. FAZ DEĞİŞİMİNİN MODELLENMESİ VE PSİKROMETRİ

Faz değişimi iki başlık altında incelenebilir:

i-İki fazlı akışta, yönetici denklemler her iki faz için ayrı ayrı veya birlikte çözülebilmekte [1], faz değişimi bu denklemlere kaynak terimi olarak girilmektedir.

ii-Isıtma soğutma uygulamalarında, fazdeğişimi havanın içerisindeki su buharının yoğunlaşması veya nemli bir hacmin içerisindeki suyun buharlaşmasıdır. Bu durumda, kaynak terimi, “bileşenlerin korunumu” denkleminde yer almaz. Bileşenlerin korunumu denklemi, psikrometrik uygulamada, havanın “özgül nemi” için yazılmış transport denklemdir:

FLUENT® paket programında, her iki durumda da dışarıdan kod yazılması gerekmektedir. Bu çalışmanın konusu, psikrometrik uygulamalar olduğu için, ikinci problem üzerinde durulacaktır.

Bu uygulamalarda, program tarafından çözülen “bileşenin korunumu denklemi” aşağıdaki şekildedir:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{sb,hava} \frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad (3)$$

Burada C, hava içerisindeki su buharı kütlelerinin toplam hava kütlelerine oranıdır [2]. Bu oranın, subuharı kütleleri/kuru hava kütleleri oranına eşit alınması önemli bir fark oluşturmamaktadır.

Yoğuşmadan ya da buharlaşmadan dolayı, C bağımlı değişkeninde bir artış (üretim) ya da azalış (tüketim) olduğunda, bu olayı temsil eden terimin (3) denkleminde “kaynak terimi” olarak girilmesi gerekir. Bu terimin kullanıcı tarafından ifade edilip programa tanıtılması için yoğuşma ve buharlaşma aşamaları doğru tanımlanmalıdır. Ayrıca; bu faz değişimi nedeniyle,

$$q''' = m_b''' * h_{fg} \quad (4)$$

şeklinde bir enerji üretim veya tüketim terimi enerji denkleminde ilave edilmelidir. (Burada, m_b''' , birim hacim başına yoğuşan su buharı veya buharlaşan su; h_{fg} ise gizli ısıdır.)

Dışarıdan kod yazılarak programa tanıtılması, UDF (User Defined Function) oluşturulması olarak adlandırılır. Yoğuşmayı temsil eden UDF kodunun adımları aşağıdaki şekildedir:

1. Ana programın belirlediği sıcaklık dağılımından doyma basıncı hesaplanır.
2. Bu basınçtaki özgül nem miktarı hesaplanır:

$$w_{sat} = P_{sat} / \rho R_{su} T$$

3. Soğuk yüzeye en yakın akış hücrelerinde

$$\lambda w_{sat} \leq w$$

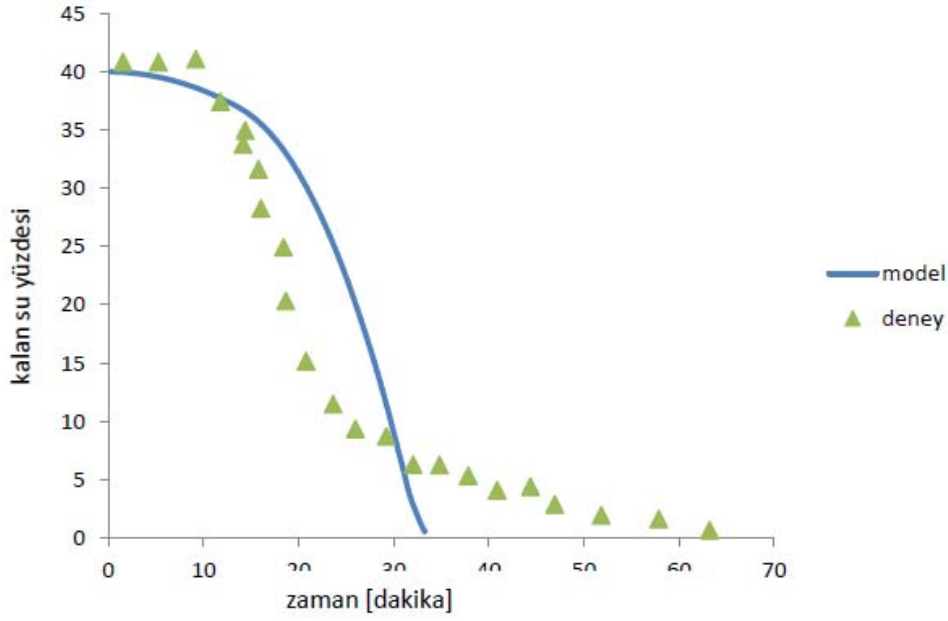
olup olmadığı sorgusu yapılır. λ , burada, sayısal nedenlerden dolayı kullanılan, 0.9–1.0 aralığında bir “rahatlatma” katsayısıdır. Bu sorguya yanıt olumlu ise, diğer bir deyişle, o hücrede, mutlak nem değeri doyma değerini geçmişse yoğuşma vardır. Yoğuşan su buharı miktarı, $(w-w_{sat})\rho/(t_2-t_1)$ şeklinde (3) denkleminde, bu miktarın, o sıcaklıktaki gizli ısı ile çarpımı da enerji denkleminde eklenir.

Buharlaşma için, ısıtılan hacim ile ısıtmanın yapıldığı hacim ayrı ayrı incelenerek, iki hacim arasındaki ortak yüzeyler “kütle geçirgen” şekilde programa tanıtılır. Buharlaşmayı modelleyen UDF adımları ise şöyle özetlenmiştir:

1. Isıtmanın yapıldığı hacimde, ana programdan elde edilen sıcaklık dağılımına göre doyma basıncı hesaplanır.
2. Isıtılan hacimde ana programdan elde edilen sıcaklık dağılımına göre doyma basıncı hesaplanır.
3. İki basıncın farkı kullanılarak

$$m_b'' = -\Gamma \frac{\Delta P}{\Delta y} \quad (5)$$

denkleminde [3], ısıtılan hacmin birim yüzey alanından olan buharlaşma hesaplanır. Burada; m_b'' ; malzeme tabakasından geçen su buharı akısını, Γ ; malzemenin su buharı geçirgenliğini, Δy ise tabakanın kalınlığını göstermektedir. (5) denkleminde elde edilen değer, ısıtılan hacmin malzeme yapısına göre belirlenmiş olan spv (surface per volume) değeri [4] ile çarpılarak birim hacim başına buharlaşma hesaplanır, (3) denkleminde tanıtılır; daha sonra gizli ısı ile çarpılarak enerji denkleminde verilir.



Şekil 3. Kurutulan Ekmeğin Merkezinde Kalan Nem Miktarı İçin Deney [5] ve Model Sonuçları [Bu Çalışma].

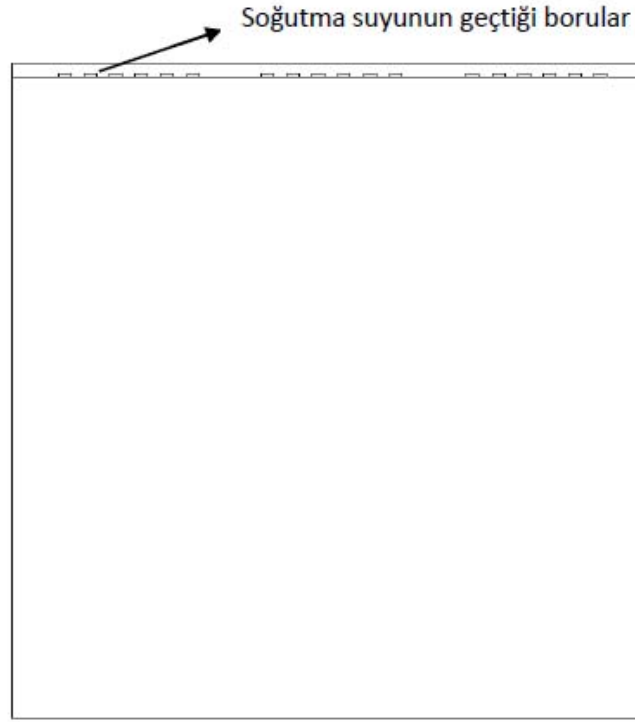
Yüzeyde ve merkezde, modelin belirlediği, kalan su yüzdesi, toplam kurutma süresinin yarısı kadar bir zaman içerisinde deneysel sonuçlarla uyum içerisindedir. Ancak; nem miktarı %5'e düştüğünde, kuruma, yavaşlayarak sürmektedir. Modelin bu durumu yansıtmayışının nedeni, ekmeğin geçirgenlik değerinin ve poroz yapısının, içerdiği nem miktarına bağlı olarak değişmesidir. Bu değişimin de UDF kodu ile programa tanıtılması olanaklıdır.

4. SOĞUK TAVAN UYGULAMASI

Soğutmalı asma tavan sistemi; metal asma tavan sistemine benzeyen, üstüne monte edilmiş borulardan sıcak veya soğuk suyun geçmesiyle insanların bulunduğu ortamı iklimlendirerek konfor seviyesinde tutmaya yarayan bütün bir sistemdir.

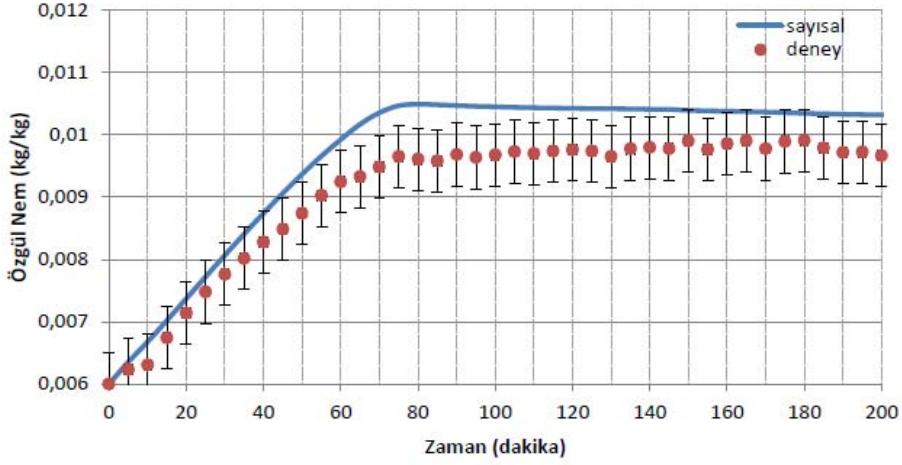
Tavandan soğutma sistemlerinin olumlu ısı konfor özelliklerinin yanında, uygulanmasını zorlaştıran en önemli dezavantajı yoğuşmadır. Tavan panellerinden maksimum performansı elde etmek için, tavan yüzey sıcaklığının çiy noktası sıcaklığının altına düşmemesi amacıyla sürekli kontrol altında tutulması gereklidir [6].

Bu çalışmada ise, tavandan soğutulan kapalı bir hacimde sıcaklık ve nem dağılımını incelemek amacıyla bir sayısal model oluşturulmuş ve bu sayısal model deneyler ile doğrulanmıştır. Literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak, tavandan soğutulan test odasının (Şekil 4) içinde, herhangi bir havalandırma sistemi kullanılmamış, nem alıcı yerleştirilmemiş, farklı parametrelerin oda içerisindeki sıcaklık ve nem dağılımı üzerine etkileri araştırılmıştır. Yine aynı oda içerisinde nem üretimi yapılmış ve bunun için oluşturulan sayısal modele, yukarıda anlatılan şekilde UDF kodu eklenmiştir.

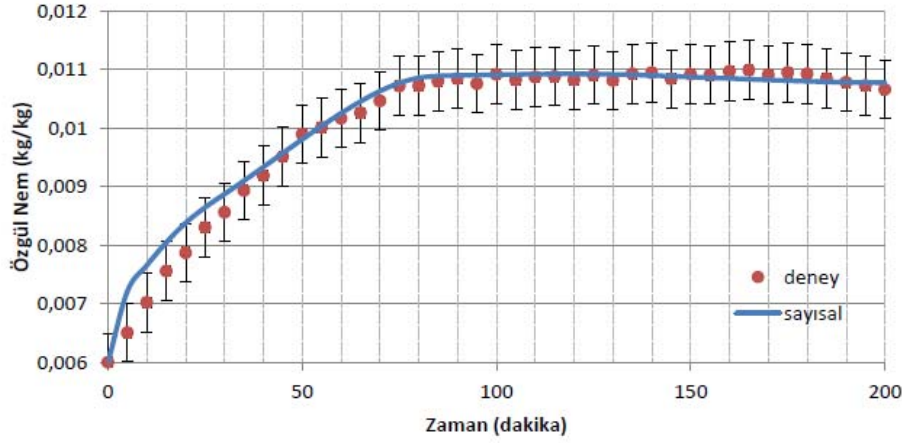


Şekil 4. Tavandan Soğutma Yapılan Test Odasının Şematik Gösterimi.

Sayısal ve deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen özgül nem değerleri Şekil 5’de gösterilmektedir. Özgül nem değerlerinin, yoğuşmanın başlamasından sonra, sabit kaldığı, hem deneysel, hem de modelleme sonuçlarından görülmekte; soğuk yüzeyde yoğuşmayı modellemek üzere yazılan UDF kodunun, deneylerle uyumlu sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 5. Tavandan Soğutulan Odanın, Tavan (a) ve Merkezinde (b), Özgül Nemin Yatay Boyunca Değişimi.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bildiri de özetlenen çalışmalar aşağıdaki noktaları tartışmaya açmaktadır:

- Isıtma ve soğutma uygulamalarında faz değişimi enerji tüketimi açısından irdelenmesi gereken bir konudur.
- Isıtma ve kurutma gibi işlemlerde, buharlaşma ve oluşan buharın psikrometriye etkisi, buharın taşınımı ve difüzyonu birlikte modellenerek incelenmelidir.
- Soğuk tavan uygulamaları gibi alternatif iklimlendirme sistemlerinde ve diğer işlemlerde nemli havanın soğuk yüzey ile teması sonucu oluşan yoğuşma, konforu ve işlemin amacını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle yoğuşmanın da modellenmesi gereklidir.
- Son yıllarda kullanımı yaygınlaşan ticari paket programlar, kapalı kodlar olduklarından, faz değişiminin bu programlarla modellenmesinde zorluklar yaşanmaktadır.
- Bu kodlara kullanıcı tarafından tanımlanmış kodlar anlamına gelen UDF modüllerinin yazılması gereklidir.

- UDF modüllerinin kurutma, gıda saklama, soğuk tavan uygulamaları gibi konularda yazılması için yönetici denklemlerin yapısı ve psikrometri arasındaki ilişkiler doğru kurulmalıdır.
- Nemli havanın içerisindeki su buharı miktarının soğuk yüzeyde yoğuşma veya bir hacimdeki buharlaşma nedeniyle değişimi difüzyon ve faz değişimini birlikte içermekte; bu değişimler malzeme yapısına bağlı olmaktadır.
- Psikrometri, malzeme yapısı ve hesaplamalı ısı ve kütle geçişi arasındaki ilişkiyi kurgulamak amacıyla, uygulamadaki senaryolar modellenmeli ve deneylerle doğrulanmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] CAREY VP, Liquid-vapor phase-change phenomena: an introduction to the thermophysics of vaporization and condensation processes in heat transfer equipment, Carey, Van P. Washington, D.C. : Hemisphere Pub. Corp., 1992.
- [2] Fluent 6.3 User's Guide, 2006
- [3] ASHRAE 2005. Handbook: Fundamentals, USA
- [4] NIELD D., BEJAN A., Convection in Porous Media, Springer-Verlag, New York, 2006.
- [5] THORVALDDSON K., JANESTED H., A model for simultaneous heat, water and vapour diffusion, Journal of Food Engineering, 40, 167-172, 1999.
- [6] CATALINA T., VIRGONE J., Dynamic Simulation Regarding The Condensation Risk On a Cooling Ceiling Installed In An Office Room, Proceedings: Building Simulation 2007.

ÖZGEÇMİŞ

Seyhan UYGUR ONBAŞIOĞLU

İTÜ Makina Fakültesi'nden 1988'de lisans, 1990'da yüksek lisans, 1993'te doktora derecesi aldı. 1998 yılında doçent, 2004 yılında profesör oldu. Yenilenebilir Enerji Teknolojileri ve Isı ve Kütle Geçişinin Sayısal Modellemesi alanlarında yurtiçi ve yurtdışı projeler yürütmekte, proje hakemlikleri (Avrupa Birliği projeleri ve diğerleri) yapmakta, önemli bir bölümü üniversite/sanayi işbirliği kapsamında olan tezler yönetmektedir.

S. Aslı KAYIHAN

2001 İ.T.Ü. Makina Fakültesi, 2003 İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı yüksek lisans mezunudur. S. Aslı Kayihan, 2004 yılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora programına başladı.

2001–2003 yılları arasında, Üniversite-Sanayi İşbirliği Projesi kapsamında Arçelik A.Ş. Ar-Ge Merkezi'nde, proje yardımcısı olarak görev alan Kayihan, 2003–2005 yılları arasında Arçelik A.Ş. Pişirici Cihazlar İşletmesi'nde Ürün Geliştirme Mühendisi olarak çalıştı. S. Aslı Kayihan, 2006 yılından bu yana Arçelik A.Ş. Ar-Ge Merkezi Termodinamik Teknolojiler Grubu'nda Ar-Ge Mühendisi olarak çalışmaktadır.

Deniz YILMAZ

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü 2000 yılı, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı 2003 yılı mezunudur. 2003 yılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora programına başlayan Deniz Yılmaz, Panel Sistem A.Ş'de Ar-Ge Mühendisi olarak çalışmaktadır.