

“Akışkanlar Mekaniği Eğitimi”
Özel Oturumu
Özetleri

Ege Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Lisans Eğitiminde Akışkanlar Mekaniği
Dersi: Homojen Tek Fazlı Sıvı ve Katı-Sıvı Karışımların Akımı ve Karıştırılması

Prof. Dr. Şerife Şeref Helvacı, Dr. Öğr. Üyesi Berrin İkizler

Ege Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir

sshelvaci@gmail.com, berrin.ikizler@ege.edu.tr

Akışkanlar Mekaniği, gazlar (oksijen, azot, etan vb) ve sıvılar (su, etanol, hekzan, gaz yağı, petrol vb) gibi akışkanların, bunların karışımlarının(sıvı-sıvı ve sıvı-gaz karışımlar), ve katıların (tuz, şeker, kum, un, kil vb) bu gazlar ve sıvılarla karışımlarının (kati-sıvı ve katı-gaz karışımlar) hareketini, durgunluk halini ve bu durumlarda akışkanlar ile çevreleri arasındaki etkileşimleri inceleyen bilim dalıdır. Akışkanlar Mekaniğinin temel konuları, akışkanların ve davranışlarının *moleküler temellere dayanarak açıklanması*, akışkanların hareketsizken basınç, denge ve kuvvet etkilerinin (örneğin baraj duvarına etkiyen su basıncının) -*Statik veya Hidrostatik durumunun*, akışkanların hareket hâlindeki davranışlarının, hız dağılımlarının, enerji dönüşümlerinin ve akış tiplerinin- *Dinamik veya Hidrodinamik durumunun* incelenmesidir.

Akışkanlar Mekaniği dersinin uygulama alanları, tek ve/veya çok fazlı akışkanların boru sistemlerinden, ısı değiştiricilerden, reaktörlerden, dolgulu ve akışkan yataklardan akımı; bu sistemler için uygun pompa ve türbin sistemlerin seçimi [1,2]; karıştırıcı sistemlerin tasarımı ve boyut büyütme [2,3]; rüzgar hareketleri, okyanus akıntıları, kan dolaşımı gibi doğa olayları; hesaplamalı akışkanlar dinamiği, kaplama teknolojileri [4], nanoakışkanlar, Newton kuralına uymayan elastik [4] ve viskoelastik akışkanların davranışı ve akımıdır.

Akışkanlar Mekaniği dersi kapsamı içerisinde akışkanların davranışı, kütle ve momentumun korunumu (süreklilik denklemi), momentumun korunumu (Navier-Stokes denklemleri), ısı ve enerji taşınımı (enerji) denklemlerine dayandırılarak matematiksel olarak açıklanır. Bu kapsamda akışkanların davranışı, moleküler, mikro ve makro ölçekte incelenebilir. Bu çalışmada, homojen tek fazlı sıvı ve katı-sıvı karışımlar için genel denge denklemleri makro ölçekte borulardan akım ve karıştırıcı bir sistem için türetilerek birer örnek uygulama verilecektir.

Kaynaklar:

1. Peker, S., Helvacı, Ş.Ş., Akışkanlar Mekaniği: Kavramlar, Problemler, Çözümler, 3rd ed., Literatür Yayıncılık, Ltd., 2013.
2. Peker, S.M., Helvacı, Ş.Ş., Solid-Liquid Two Phase Flow, Elsevier, Amsterdam, 2008.
3. Oğla, B., Gürçay, Ö., Helvacı, Ş.Ş., 2023. Power draw characteristics and comparison of scaling criteria for sawtooth impellers used in high shear mixing of shear thinning paint slurry, *Chemical Engineering Research and Design*, 189, 210-219.
4. Güdümçüoğlu, N., Ünlütürk, S.S., Çelik, İ.M., Yener, H.B., Helvacı, Ş.Ş., 2025. Development of surface modified SiO₂ nanoparticles incorporated clearcoats for automotive industry, *Surface and Interfaces*, 56, 105491, 1-12.

Newtonian Olmayan Akışkanlar İçin Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

F. Seniha Güner

**İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Maslak 34469 İstanbul
Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (SUNUM), Tuzla
34956 İstanbul**

guners@itu.edu.tr ; seniha.guner@sabanciuniv.edu

Günlük hayatımızda çok kullanılan şampuan, cilt kremi, diş macunu, boya ve kumaş yumuşatıcısı, vücut sıvıları kan, tükürük ve eklem sıvısı, yoğurt, krema, ketçap, pekmez, mürekkep, yağlama yağı, polimer, asfalt, ergimiş metal ve lav Newtonian olmayan akış davranışı gösteren akışkanlardır. Bu akışkanların viskoziteleri sabit değildir, uygulanan kayma gerilmesi ile viskozite değişir.

İnşaatlarda kullanılan çimento harcı kayma incilmesi davranış gösterir, yani kayma gerilmesi artarsa viskozite düşer. Bunun uygulamadaki karşılığı pompalanması kolaydır. Diğer yandan, %45–55 nişasta çözeltisi normalde sıvı gibi akar, ancak üzerine aniden kuvvet uygulandığında, yani kayma gerilmesi artığında, viskozite hızla artar ve katı gibi davranır. Çözeltinin pompalanması sırasında pompada ani basınç yükselmeleri olabilir. Daha yüksek derişimlerde neredeyse macun kıvamına gelir, pompalanması zorlaşır. Birbirinden çok farklı davranış göstermeleri nedeniyle, Newtonian olmayan akışkanlarla çalışan sistemlerin tasarımında kullanılacak reolojik parametrelerin ve mühendislik büyüklüklerinin belirlenmesi gerekir.

Kimya mühendislerinin çalışma alanları dikkate alındığında, Newtonian olmayan akışkan davranışları; proses tasarımı, taşıma ve depolama, ürün kalitesi, ekonomi ve verimlilik açısından önemlidir. Pompa, boru hattı, karıştırıcı ve reaktör tasarımı yapılırken akışkanın Newtonian olup olmadığı belirlenmelidir. Newtonian olmayan akışkan Newtonian olarak değerlendirilse pompa gücü gereksinimi hatalı hesaplanır, bunun sonucu olarak akış problemleri oluşur ve üretim maliyeti artar.

Newtonian olmayan akışkanların hem kozmetik, ilaç, polimer, inşaat ve savunma sanayi gibi geniş bir yelpazede üretiliyor olması hem de akademik olarak yoğun çalışılan konular arasında olması nedeniyle Kimya Mühendisliği lisans eğitiminde Akışkanlar Mekaniği dersi kapsamında incelenmesi gereken konular arasında yerini almalıdır.

Newton Olmayan Akışkanlar ve Viskoelastisite: Akışkanlar Mekaniği Eğitiminde Reolojinin Önemi

Dr. Özlem Duvarcı

İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü, Urla, İzmir
ozlemduvarci@iyte.edu.tr

Kimya mühendisliği eğitiminde akışkanlar mekaniği dersleri, mühendis adaylarının akışkanların temel davranışlarını, momentum, enerji ve kütle taşınımını anlamaları için vazgeçilmez bir temel sunar. Geleneksel olarak dersler Newtonyen akışkanlar üzerine odaklansa da endüstriyel süreçlerin önemli bir kısmı, karmaşık reolojik özelliklere sahip Newtonyen olmayan akışkanların işlenmesini gerektirir. Polimer eriyikleri, gıda ürünleri, kozmetikler, biyolojik sıvılar ve seramik çamurları bu kapsama girmektedir. Bu akışkanların kayma incelenmesi, viskoelastisite, tiksotropi veya zaman bağımlı davranışları, klasik Newtonyen modellerle açıklanamaz.

Bu nedenle akışkanlar mekaniği eğitimine **reoloji ve viskoelastisite** konularının entegrasyonu, öğrencilerin yalnızca ideal akışkan davranışlarını değil, aynı zamanda mühendislikte karşılaşılan gerçek sistemleri analiz edebilme becerisini geliştirir. Özellikle **küçük genlikli osilasyon (SAOS)** testleri, depolama ve kayıp modüllerinin belirlenmesiyle malzemelerin elastik ve viskoz bileşenlerini ortaya koyarken; **büyük genlikli osilasyon (LAOS)** testleri, nonlinear akış koşullarında yapısal kırılma, yeniden yapılanma ve akma davranışlarını anlamaya olanak sağlar. Bu yaklaşımlar, öğrencilerin malzeme davranışını hem mikroyapısal hem de makroskopik ölçekte kavramalarını mümkün kılar.

Ayrıca, reolojik özellikler mühendislik uygulamalarında kritik rol oynamaktadır. Viskoelastik akışkanlarda boru akışı sırasında basınç kayıpları, konvektif ısı transfer katsayıları ve kütle transfer verimleri önemli ölçüde değişir. Reaktör tasarımı, karıştırma verimliliği ve enerji tüketimi, bu etkilerin doğru anlaşılmasına bağlıdır. Dolayısıyla reolojinin akışkanlar mekaniği eğitiminde vurgulanması, öğrencilere gerçekçi proses koşullarında tasarım ve optimizasyon yapabilme yetkinliği kazandırarak, mühendislik eğitiminde hem teorik hem de uygulamalı açıdan önemli bir katkı sunmaktadır.

Bu çalışmada, küçük genlikli osilasyon (SAOS) ve büyük genlikli osilasyon (LAOS) testleri ile ilgili özet bilgilendirme yapılarak bu konuların endüstriyel örnekler ve akışkanlar mekaniğindeki yeri ile ilgili literatür çalışmaları özetlenmektedir. Sonuç olarak, akışkanlar mekaniği dersine reoloji ve viskoelastisite konularının entegrasyonu üzerinden öğrencilerin öğrenme deneyimlerinin nasıl zenginleştirilebileceği tartışılacaktır.

Yumuşak Arayüzey Mikroakışkanlar ve Uygulamaları

Doç. Dr. Emre Büküşoğlu

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Ankara

emrebuk@metu.edu.tr

Kimyasal süreçler günümüzde mikroakışkan kanallarda sıklıkla uygulanmaktadır. Sıvı-sıvı temasının kontrollü arayüzeyler ile sağlandığı yumuşak arayüze sahip mikroakışkanlar ise iki faz arasında gerçekleşen taşınım olaylarında avantajlar sağlamaktadır. Geliştirmekte olduğumuz sıvı kristal-su arayüzeyine sahip yumuşak arayüz mikroakışkan kanallarında ise sıvı kristallerin moleküler düzenlerinden ve optik özelliklerinden faydalanarak sensör uygulamalarını araştırmaktayız. Bu sunumda sıvı kristallerin mikroakışkanlar içerisinde akış özelliklerinin anlaşılmasına ve stabil arayüzeyin oluşturulması için gerekli koşulların belirlenmesine yönelik çalışmalarımız anlatılıp, bu mikroakışkanların çeşitli sensör uygulamalarında kullanılmasına yönelik yaklaşımlarımızdan örnekler sunulacaktır. Bunun yanında yumuşak arayüzey mikroakışkanlar da dahil olmak üzere, mikroakışkan sistemlerin güncel kimya mühendisliği çalışmalarına katkısı üzerinde durulacaktır.

Kimya Mühendisliği Lisans Eğitimine İleri Akışkanlar Mekaniği Araştırmalarının Entegrasyonu: Mikroakışkanlar ve Arayüzey Taşınım Olayları

Doç. Dr. Kerem Uguz

Boğaziçi Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Bebek, İstanbul

kerem.uguz@bogazici.edu.tr, <http://uguz.che.bogazici.edu.tr>

Geleneksel kimya mühendisliği eğitiminde temel akışkanlar mekaniği önemli bir yer tutsa da bu sunumda mikroakışkanlar ve arayüzey taşınım olayları gibi hızla gelişen ileri akışkanlar mekaniği konularını hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ile de zenginleştirerek lisans eğitimine entegrasyonunun gerekliliği ve bu entegrasyonun öğrencilere kazandıracığı vizyon ele alınmaktadır. Özellikle mikroakışkanlar ve arayüzey taşınım olayları gibi konuların müfredata dahil edilmesi, öğrencilerin teorik bilgilerini pratiğe dökebilmelerini ve endüstrinin ihtiyaç duyduğu yenilikçi çözümler üretebilmelerini sağlayacaktır.

Mevcut Durum ve Neden Değişim Gerekliyor?

Günümüz kimya mühendisliği müfredatları, genellikle makro ölçekteki akışkanlar mekaniği prensipleri üzerine odaklanır. Navier-Stokes denklemleri, Reynolds sayısı ve boru akışları gibi temel konular, endüstriyel proseslerin büyük bir kısmı için yeterli olsa da modern mühendislik problemleri bu yaklaşımın ötesine geçer. Örneğin, biyomedikal cihazlar, çip üstü laboratuvar (lab-on-a-chip) teknolojileri, akıllı sensörler ve güdümlü ilaç taşıyıcı sistemleri gibi uygulamalar, akışın milimetrenin altında, hatta mikrometre seviyesinde anlaşılmasını ve kontrolünü gerektirir (Eribol vd., 2016; Altundemir vd., 2017). Bu ölçekte, yüzey gerilimi, kapiler kuvvetler ve elektrokinetik etkiler gibi yüzey kuvvetleri, viskoz kuvvetlere baskın çıkabilir. Bu durum, öğrencilerin geleneksel akışkanlar mekaniği bilgileriyle çözüm üretemeyeceği yeni zorluklar ortaya koyar. Bu nedenle, lisans eğitiminin bu yeni paradigmaları içerecek şekilde güncellenmesi elzemdir.

Mikroakışkanlar ve Kimya Mühendisliği Uygulamaları:

Mikroakışkanlar, milimetre altı boyutlardaki kanallarda akışkanların manipülasyonu üzerine çalışan disiplinlerarası bir alandır. Kimya mühendisliği için sunduğu fırsatlar oldukça geniştir. Mikro reaktörler, yüksek yüzey alanı/hacim oranları sayesinde reaksiyon verimini ve kontrolünü artırır, böylece tehlikeli veya patlayıcı reaksiyonların güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar. **Damlacık temelli mikroakışkanlar**, tek tek damlacıklar içinde kimyasal reaksiyonların veya biyolojik analizlerin yapılmasını mümkün kılar. Bu yöntem, ilaç sentezi, hücre taraması ve teşhis testleri gibi alanlarda büyük potansiyele sahiptir. Bu damlacıkların elde edilmesi için dışarıdan elektrik alanı uygulaması gibi aktif yöntemler tercih edilmektedir (Eribol ve Uguz, 2015; Altundemir vd., 2018; Kaykanat ve Uguz, 2020; Eribol vd., 2022; Kaykanat ve Uguz, 2023).

Arayüzey Taşınım Olayları ve Önemi:

Arayüzey taşınım olayları, iki farklı fazın (örneğin, sıvı-gaz, sıvı-sıvı, sıvı-katı) birbirine temas ettiği bölgelerde meydana gelen kütle, ısı ve momentum transferini inceler. Geleneksel kimya mühendisliğinde, damıtma, ekstraksiyon ve absorpsiyon gibi proseslerde bu olaylar makro ölçekte incelenir. Ancak, mikro ölçekte yüzey-hacim oranının artması, arayüzeydeki taşınım kinetiğini tamamen değiştirebilir. Bu ölçekte, Marangoni etkisi, elektroosmozis ve kapiler akış gibi olaylar, akışkanın davranışını ve taşınım hızlarını doğrudan etkiler. Mikro ölçekteki bu taşınım mekanizmaları, biyomedikal uygulamalarda da kritik rol oynar. Buna biyomedikal bir örnek olarak, akustik alan altındaki mikrokabarcıkların yüzeyinde gerçekleşen kütle ve momentum transferi sayesinde damar içi ilaç taşınımının hızlanması gösterilebilir. Özellikle, hedefe yönelik ilaç taşınımında geleneksel tedavi yöntemlerinin yol açtığı yan etkilileri en aza indirmek için akustik alan etkisinde kabarcıkların kullanılması invaziv olmayan bir yöntem olduğundan yakın zamanda çalışılmaya başlanmıştır (Kaykanat ve Uguz, 2023; Kaykanat ve Uguz, 2024; Kaykanat ve Uguz, 2025). Kabarcıkların Newtonyen olmayan sıvılarda hareketi ise birçok uygulama için önemlidir (Eribol vd., 2025). Bu ileri konuların müfredata dahil edilmesi, öğrencilerin bu karmaşık sistemleri daha derinlemesine anlamasını ve yeni nesil proses ekipmanları tasarlamasını sağlayacaktır.

Eğitim Müfredatına Entegrasyon Yöntemleri:

Bu ileri konuların lisans eğitimine entegrasyonu, sadece teorik dersler vermekle sınırlı kalmamalıdır. Pratik uygulamaların da yer aldığı bir yaklaşım benimsenmelidir. Bu entegrasyon için önerilerimiz şunlardır:

1. **Ders İçeriğinin Güncellenmesi:** Geleneksel akışkanlar mekaniği ve kütle taşınımı derslerine, mikroakışkanlar ve arayüzey olayları ile ilgili bölümlerin eklenmesi. Örneğin, Reynold's sayısı ve sürtünme faktörü kavramlarına ek olarak, Bond sayısı ve kapiler sayısı gibi boyutsuz sayıların mikro ölçekteki öneminin vurgulanması.
2. **Seçmeli Derslerin Açılması:** Mikroakışkanlar, mikroreaktörler, biyofiziksel taşınım olayları ve yüzey kimyası gibi konulara özel seçmeli derslerin açılması. Bu dersler, konuya ilgi duyan öğrencilerin daha derinlemesine bilgi edinmesini sağlayacaktır.
3. **Laboratuvar Deneyleri ve Projeler:** Öğrencilere basit mikroakışkan çipleri tasarlama, üretme ve test etme fırsatı sunan laboratuvar çalışmaları ve bitirme projeleri oluşturulması. Bu projeler, öğrencilerin teorik bilgilerini somut bir şekilde uygulamalarını sağlayacaktır.
4. **Simülasyon Araçlarının Kullanımı:** Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) gibi simülasyon yazılımlarının kullanıldığı uygulamalı dersler düzenlenmesi. Bu sayede öğrenciler, karmaşık mikroakışkan sistemlerinin davranışını sanal ortamda analiz edebilir ve tasarım parametrelerinin etkilerini gözlemleyebilir.

5. **Bitirme Projeleri:** Öğrencilerin özellikle tek başlarına araştırma yapma fırsatı buldukları bitirme projelerinde yeni konulara yer verilmesi öğrencilerin farklı disiplinlerden bilgiler edinmesini ve bu bilgileri entegre etmesini sağlar.

Sonuç:

Kimya mühendisliği lisans eğitimine ileri akışkanlar mekaniği, mikroakışkanlar ve arayüzey taşınım olayları gibi modern konuların entegrasyonu, geleceğin mühendislerini yetiştirmek için kritik bir adımdır. Bu konular, sadece teorik bilgi birikimini artırmakla kalmayıp, öğrencilerin analitik düşünme, problem çözme ve yenilikçi tasarım becerilerini de geliştirecektir. Bu sayede, öğrenciler biyoteknoloji, nanoteknoloji ve enerji gibi stratejik sektörlerde etkin rol oynayacak ve endüstrinin karşılaştığı karmaşık sorunlara sürdürülebilir çözümler sunabilecektir. Bu entegrasyon, kimya mühendisliği eğitimini daha dinamik ve güncel bir yapıya kavuşturacaktır.

Kaynakça:

- Altundemir, S., A. K. Uguz ve K.O. Ulgen 2017 A review on wax printed microfluidic paper-based devices for international health, *Biomicrofluidics*, 11 (4), 041501
- Altundemir, S., Eribol, P. ve A. K. Uguz 2018 Droplet formation and its mechanism in a microchannel in the presence of an electric field *Fluid Dynamics Research*, 50(5), 051404
- Eribol, P. ve Uguz, A.K 2015 Experimental investigation of electrohydrodynamic instabilities in micro channels *European Physical Journal - Special Topics* 224, 423-432
- Eribol, P., A. K. Uguz ve K.O. Ulgen 2016 Screening applications in drug discovery based on microfluidic technology, *Biomicrofluidics*, 10(1), 011502
- Eribol, P., Kaykanat, S.İ., Ozan, S.C. ve A. K. Uguz 2022 Electrohydrodynamic instability between three immiscible fluids in a microchannel: lubrication analysis *Microfluidics and Nanofluidics* 26(2), 1-26
- Eribol, P., Inanc, A., Sarioglu, E., Senses, E., ve Uguz, A. K. (2025). Dynamics of bubbles rising in viscoelastic liquids and birefringence measurement in the presence of a surfactant. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 105458.
- Kaykanat, S.İ. ve A. K. Uguz 2020 The linear stability between a Newtonian and a power-law fluid under a normal electric field *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 277, 104220
- Kaykanat, S.İ. ve A. K. Uguz 2023 Effect of parallel electric field on the linear stability between a Newtonian and a power-law fluid in a microchannel *European Physical Journal - Special Topics*, 1-10
- Kaykanat, S. I. ve Uguz, A. K. (2023). The role of acoustofluidics and microbubble dynamics for therapeutic applications and drug delivery. *Biomicrofluidics*, 17(2).
- Kaykanat, S. I., ve Uguz, A. K. (2024). Shape stability of a microbubble in a power-law liquid. *European Physical Journal - Special Topics*, 233, 1625–1635.
- Kaykanat, S. I., ve Uguz, A. K. (2025). Encapsulated bubble dynamics in a non-Newtonian liquid confined by an elastic solid. *Physics of Fluids*, 37(1), 011909.

Kimya Mühendisliği Eğitiminde Akışkanlar Mekaniği: CFD Uygulamaları

Doç. Dr. Özgün YÜCEL

Gebze Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü

yozungun@gtu.edu.tr

Akışkanlar mekaniği, kimya mühendisliği lisans programlarının temel derslerinden biridir ve öğrencilerin teorik altyapısının yanı sıra mühendislik problemlerine çözüm geliştirme becerilerini de şekillendirir. Ancak geleneksel ders yaklaşımı, yoğunlukla temel denklemlerin çözümü ve sınırlı laboratuvar uygulamaları ile sınırlı kalmaktadır. Bu çalışmada, lisans eğitiminde akışkanlar mekaniği dersinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) destekli uygulamalarla nasıl zenginleştirilebileceği gösterilecektir.

Hazırlanan ders notları kapsamında ANSYS Fluent tabanlı uygulamalar (ağ yapısı oluşturma, çözücü parametrelerinin belirlenmesi, sonuçların yorumlanması) ders sürecine entegre edilmiştir. Ayrıca yürütülen güncel Ar&Ge çalışmalarından seçilen örnekler, ders ortamına uyarlanarak öğrencilerin disiplinler arası uygulamalarla tanışmaları sağlanmıştır. Basit bir Te boruda karışma verimliliği, işlemci soğutma, kanal için akış yönlendirme, pompa ve manifold tasarımları gibi çalışmalar vaka analizi olarak ele alınmaktadır. Proje ödevi verilmekte, böylece her öğrencinin dönem sonuna kadar ekibiyle beraber bir vaka çözmesi ve sunması sağlanmaktadır.

Ayrıca, mevcut araştırma makalelerimiz ile, mikro akışkan reaktörlerde ve biyomedikal uygulamalarda akışkanların kalma süresinin analizi ve alev sıcaklık dağılımı tahmini gibi uygulamalar da ayrıca gösterilmektedir. CFD tabanlı yaklaşımın lisans eğitime entegre edilmesiyle öğrencilerin analitik düşünme, problem çözme ve araştırma yöntemlerini erken dönemde geliştirdiklerini göstermektedir. Böylece akışkanlar mekaniği eğitimi, klasik teorik çerçevenin ötesine geçerek, modern mühendislik eğitiminde yenilikçi ve uygulama odaklı bir bileşen haline gelmektedir.