

## Döner Tamburlu Kurutucularda Gübre Kurutma Simülasyonu

### Fertilizer Drying Simulation in Rotary Drum Dryers

İlyas Kacar<sup>1</sup> , Cem Korkmaz<sup>2,\*</sup> 

<sup>1</sup> Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye.

<sup>2</sup> Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye.

\* Corresponding author (Sorumlu Yazar): C. Korkmaz, e-mail (e-posta): [ckorkmaz@cu.edu.tr](mailto:ckorkmaz@cu.edu.tr)

#### Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 22 Eylül 2021  
Düzeltilme tarihi : 04 Kasım 2021  
Kabul tarihi : 05 Kasım 2021

#### Anahtar Kelimeler:

Elaman ağı  
Polyhedron  
Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği  
Kurutma  
Döner Tamburlu Kurutucular

Çalışmada kalite, hız, çözüm maliyeti değerleri amaçlanmıştır. Karmaşık yapı katı modellerin HAD, Statik vb. analizleri için optimum ağ yapısının oluşturulmasında son yıllarda en gelişmiş ağ yapısına sahip olan polyhedral ağ bu çalışmanın simülasyonlarında kullanılan karmaşık olmayan basit silindirik katı modele uygulanmıştır. Bu çalışmada kullanılan Ansys Fluent ticari programı ile ağ kalite kriterleri ile gerçekleştirilen ağ optimizasyonunda analiz gerçekleştirme hızı, analiz sonuçlarına yakınsama kriteri ve ağ kalitesi bakımından en optimum ağ yapısının karmaşık olmayan basit silindirik vb. geometriler için öngörülen sweep ve multizone heksahedral ağ yapıları olduğu belirlenmiştir. Polyhedral ağ yapısının tetrahedral ağ yapısına göre daha kaliteli olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, karmaşık geometriler için geliştirilmiş en gelişmiş ağ yapısı olan polyhedral ağ yapısının bu çalışmada kullanılan karmaşık olmayan basit silindirik modele uygulanması en optimum sonucu vermemiştir. En kaliteli ağ yapısı olan polyhedral ağ yapısının tüm katı modeller için en optimum sonucu vermeyeceği bu çalışmada görülmüştür. Optimum ağ yapısının, katı modelin geometrik yapısına bağlı olarak değiştiği anlaşılmıştır. Mesh kalite kriterlerine göre katı modelin geometri yapısına uygun ağ yapısının oluşturulması kalite, hız ve çözüm süre maliyetini etkilemektedir. Katı modelin geometrik yapısına uygun optimum ağ yapısının oluşturulması gerekliliği bu çalışmada ortaya çıkmıştır.

#### ÖZET

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonlarında başlıca sıkıntı, sorunun türüne bağlı olarak uygun eleman ağının oluşturulmamasıdır. Maalesef, her geometriye uygun tek bir ağ modeli bulunmamaktadır. Üstelik eleman ağının kalitesi belli bir seviyenin altında ise problem analizi gerçekleştirilemez. Ticari yazılımların her birinde eleman ağı oluşturmak için farklı yöntemler mevcuttur. Bu nedenle oluşturulan ağ, yazılıma da bağlı olmaktadır. Her ne kadar genel olarak kare elemanlardan oluşan ağ yapıları kalitesinin yüksek olduğu basırmak kuralı olarak bilinmekte ise de, bu elemanlar karmaşık geometrilerde uygulanamamaktadır. Oluşturulan eleman ağının uygun olup olmadığının değerlendirilmesinde kalite ölçütleri kullanılmaktadır. Kaliteli elemanlardan oluşan bir modelin oluşturulması, analiz sonuçlarının doğruluğuna ve hesaplama maliyetine doğrudan etki etmektedir. Fakat kalite ölçütlerini göz önünde bulundurarak en uygun mesh metodunu uygulamak problemin geometrisine/parametrelerine bağlı olmaktadır. Bu çalışmada, son yıllarda hem kalitesiyle, hem çözümdeki hızıyla ve hem de karmaşık geometrileri en iyi ayrıştırılabilme özellikleri nedeni ile ön plana çıkan polyhedral eleman ağının, bir döner tamburlu kurutucu simülasyonunda kullanımının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

#### Article Info

Received date : 22 September 2021  
Revised date : 04 November 2021  
Accepted date : 05 November 2021

#### Keywords:

Element Mesh  
Polyhedron  
Computational Fluid Dynamics  
Drying  
Rotary Drum Dryers

The polyhedral mesh, which has the most advanced mesh structure in recent years, has been applied to the uncomplicated simple cylindrical solid model used in the simulations of this study to create the optimum mesh structure for CFD, Static analyses etc. solid models with complex structure. In the mesh optimization performed with the mesh quality criteria with the Ansys Fluent commercial program used in this study, the most optimum mesh structure in terms of analysis performance speed, convergence criteria to the analysis results and mesh quality, it has been determined that sweep and multizone hexahedral mesh structures are predicted for the uncomplicated simple cylinder etc geometries. It has been determined that the polyhedral mesh structure is of higher quality than the tetrahedral mesh structure. As a result, the application of the polyhedral mesh structure, which is the most advanced mesh structure developed for complex geometries, to the uncomplicated simple cylindrical model used in this study did not give the optimum result. It has been seen in this study that the polyhedral mesh structure, which is the best quality mesh structure, may not give the optimum result for all solid models. It is understood that the optimum mesh structure changes depending on the geometric structure of the solid model. According to the mesh quality criteria, the creation of the mesh structure suitable for the geometry structure of the solid model affects the quality, speed and solution time cost. The necessity of creating an optimum mesh structure suitable for the geometric structure of the solid model has emerged in this study.

#### ABSTRACT

The main problem in computational fluid dynamics simulations is the inability to create the appropriate element mesh depending on the type of problem. Unfortunately, there is no one-size-fits-all mesh model. Moreover, if the quality of the element network is below a certain level, problem analysis cannot be performed. In each of the commercial software there are different methods for creating the element mesh. For this reason, the network created is also dependent on the software. Although it is generally known as a rule of thumb that the quality of mesh structures consisting of square elements is high, these elements cannot be applied to complex geometries. Quality criteria are used to evaluate whether the created element network is suitable. The creation of a model consisting of quality elements directly affects the accuracy of the analysis results and the calculation cost. However, considering the quality criteria, applying the most appropriate mesh method depends on the geometry/parameters of the problem. In this study, it is aimed to evaluate the use of polyhedral element mesh, which has come to the fore in recent years due to its quality, speed in solution and best separation of complex geometries, in a rotary drum dryer simulation. Quality, speed, solution cost values were aimed in the study.

## 1. GİRİŞ

Döner tamburlu kurutucular, ziraattan (gübre kurutma), tıbbı (tablet ilaç kaplama) geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Kurutma amaçlı kullanıldıkları gibi, soğutma amaçlı olanları da mevcuttur.

Bir döner tamburlu kurutucuda gerçekleşen olaylar; hava akışı, partikül akışı, hava-partikül etkileşimi, ısı-nem transferi, kimyasal korozyon, mekanik aşınma, mekanik dönme hareketi, çok bileşenli partikül karışımı, hava bileşenlerinin karışımı ve türbülanstır. Sadece akademik literatürde değil, üniversite-sanayi işbirliklerinin artmakta olduğu zamanımızda endüstride sıklıkla kullanılmakta olan bu tür kurutucuların, tasarımlarında ve analizlerinde en pratik ve ekonomik araç, akış simülasyonlarıdır.

Akış simülasyonlarında karşılaşılan en büyük problem, oluşturulacak eleman ağının kalitesi ve akış bölgesi ile olan uyumsuzluğudur. Eleman ağının kalitesi eğer belli bir seviyeden daha az ise, çözücü, çözüm yapamamaktadır. Ticari yazılımların her birinde eleman ağı oluşturmak için farklı yöntemler mevcuttur. Eleman ağı kurulmasında karşılaşılan bu problemlerin giderilmesinde;

Karmaşık geometrilere uygulanabilirliği, kalitesinin yüksekliği, az sayıda eleman kullanmasının beraberinde hızlı bir çözüm süreci oluşturması gibi nedenlerle son zamanlarda polyhedral (çokyüzlü) eleman ağı kullanılmaktadır. Bu elemanlarla oluşturulan ağa mozaik ağ da denmektedir.

Polyhedron mesh kullanımı son zamanlarda yaygınlaşmıştır. Mesh tipinin çözüm hassasiyeti üzerinde etkili olmadığı ancak çözüm süresini etkilediği ifade edilmiştir. Altı yüzlü (hexahedral) ağ, en hızlı çözme süresiyle sonuçlanırken, çokyüzlü (polyhedral) ağ, altı yüzlü ağdan 1.4 kat daha uzun çözüm süresine yol açmıştır. Tetrahedral ağ ise altı yüzlü elemana göre 7.5 kat daha uzun hesaplama süresi oluşturmuştur (Roberts vd., 2021). İlk bakışta, altı yüzlü elemanların daha kısa süren çözümü nedeni ile daha tercih edilebilir olduğu değerlendirilmiş olsa da bu durum kolay şekle sahip geometriler içeren akış bölgeleri hali için geçerlidir. Geometri karmaşıklaştıkça altı yüzlü elemanların kullanılamayacağı, akıldan çıkarılmamalıdır.

Çokyüzlü ağın, hesaplama doğruluğundan taviz vermeden tetrahedral olandan çok daha az ağ hücrelerine yol açtığı ifade edilmiştir (Zhang vd., 2020). Çokyüzlü ağın CFD sayısal simülasyon sonuçları, aynı örgü hücre eleman sayısına sahip dörtyüzlü ile karşılaştırıldığında deneysel verilere daha iyi uyum sağladığı görülmüştür. Ek olarak, çokyüzlü ağ sonuçlarının, hız gradyanına dayalı adaptif ağ oluşturma ile inceltileen dört yüzlü ağdan daha doğru olduğu bulunmuştur.

Çokyüzlü ağ ile yapılan analizlerin doğrulukları, altı yüzünün doğruluğuna yakındır ve tetrahedral doğruluklarından daha iyidir. Bununla birlikte, çokyüzlü ağ, hesaplama kaynakları için en ekonomik olanıdır, çünkü çokyüzlü durumların hücre sayıları, altı yüzlü durumlarının yarısından daha az ve dört yüzlü durumların yaklaşık dörtte biri kadardır (Wang vd., 2021).

Çok yüzlü ağ yardımı ile yüksek sayıda elemanlara sahip kanat modelleri daha az sayıda eleman içeren ağa dönüştürülmüştür (Marimuthu ve Chinnathambi, 2021). Bu, doğruluktan ödün vermeden hesaplama maliyeti ve zaman açısından yardımcı olacak ağ elemanının boyutunu ve sayısını azaltmıştır.

Tetrahedronlar ağ çok karmaşık geometri durumunda bile mesh yapabileme kolaylığı sağlamaktadır.

Öte yandan, kalite faktörünü düşürmeden elemanların en/boy oranı büyük miktarda artırılmamaktadır. Bu nedenle makul bir doğruluk elde etmek için altı yüzlü ağ ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha fazla sayıda hücre kullanılmalıdır. Ayrıca, tetrahedral elemanların sayısal difüzyonu önemli ölçüde daha yüksektir. Çokyüzlü ağın en büyük yararı, her bir hücrenin birçok komşuya sahip olmasıdır, bu nedenle gradyanlar iyi bir şekilde tahmin edilebilir. Polihedronlar ayrıca çarpımalara tetrahedronlardan daha az hassastır. Böylece polyhedronlar daha iyi ağ kalitesine sahiptir ve bu da modelin sayısal stabilitesinin artmasına sebep olur (Sosnowski, Krzywanski, vd., 2018).

Mesh stratejilerinden biri olan adaptif mesh ile yüksek sayıda eleman gerek olmadan ve doğruluktan taviz vermeden analiz yapılabilirdiği de görülmüştür. Böylece hesaplamadan önce büyük ölçekli türbülans yapılarını ve yüksek eğimli bölgeleri çözebilecek bir ağ oluşturmak artık gerekli olmayacaktır. Bunun yerine, kritik bölgelerde (örneğin, reaksiyon bölgesi, kesme katmanı, akış devridaim bölgesi) ağı otomatik olarak iyileştiren ve aşırı rafine etmeyen uygun bir dinamik ağ uyarlama prosedürü ile birlikte çok daha kaba, düşük kaliteli bir başlangıç ağı kullanılabilir. Böylece yeterli çözüm doğruluğu garanti edilirken toplam hücre sayısını yaklaşık %30 - %70 oranında azalmaktadır (Xia vd., 2021).

Mozaik eleman ağı, toplam hücre sayısını azaltır ve toplu bölgelerdeki poli-hexcore hücreler, denklem sayısını azaltarak daha hızlı bir çözme süresi sağlar. Poly-hexcore, ekibin daha önce kullandığı tetrahedral ağdan daha verimlidir (Murua, 2019).

Çokyüzlü elemanlarla çözüm yakınsama süresinin, karşılaştırılabilir boyuttaki altı yüzlü ağlara göre %50-%140 daha yüksek olmasına rağmen karmaşık geometrilerin (solunum aerosol dozimetrisinin (Thomas ve Longest, 2022) meshlenmesinde sağladığı kolaylık nedeni ile tercih edilebilir olmaktadır.

Simülasyonda daha az sayıda yineleme içinde yakınsadığı için çokyüzlü ağ tercih edilmiştir. İlaveten, çokyüzlü elemanlar, özellikle tetrahedral elemanlarda çok fazla görülen bir problem türü olan *sayısal difüzyon* problemini de ortadan kaldırmaktadır. Çünkü sayısal difüzyondan etkilenmemektedirler (Sosnowski, Gnatowska, vd., 2018). Sayısal difüzyon; girdaplı akışlarda, çözüm algoritmalarındaki aşırı sayısal difüzyon nedeniyle girdapların deforme olması ve zamanından önce dağılmasıdır. Düşük dereceli CFD algoritmalarında çözüm olarak son derece iyi izgara çözünürlüğü kullanılmalıdır. Fakat ince izgara çözünürlüğü gereksinimi, en güçlü bilgisayar mimarilerinde bile çözülemeyen son derece büyük hesaplama

sorunlarına yol açmaktadırlar. Başka bir çözüm olarak yüksek dereceli şemalar kullanılmaktadır. Bu nedenle, yüksek dereceli şemaların veya poly elemanların kullanılmasının bilgi işlem maliyetini önemli ölçüde düşürmesi beklenmektedir.

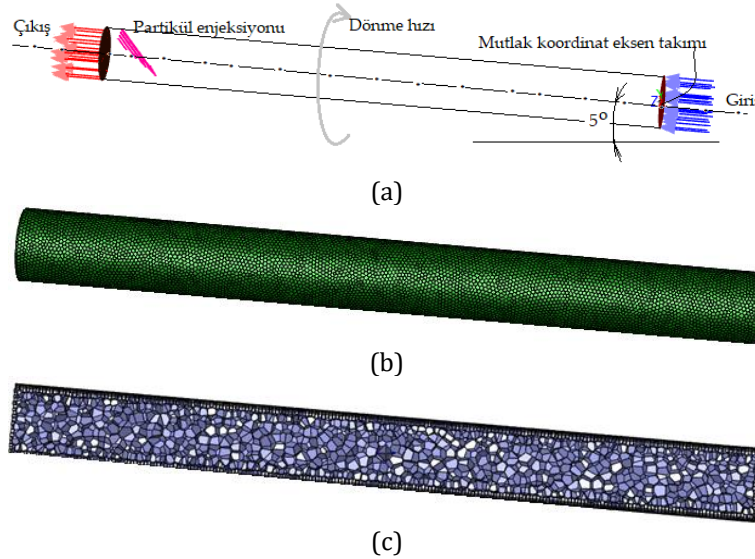
Mozaik Poly-Hexcore ağ; toplam eleman sayısında ~%48 azalma, ~%41 daha az hesaplama süresi ile geleneksel Hexcore ağ ile karşılaştırıldığında ön plana çıkmaktadır. Ayrıca, her iki ağdan elde edilen hesaplama sonuçlarının doğruluğu, aerodinamik kuvvet katsayıları, kanat açıklığı basınç katsayısı rüzgâr tüneli ölçüm verileriyle karşılaştırılarak doğrulanmıştır (Zore vd., 2019).

Çalışmalar; çokyüzlü ağların, yaklaşık olarak aynı ızgara sayılarına sahip diğer iki ağ türü ile karşılaştırıldığında, model doğruluğundan ödün vermeden hesaplama zamanından neredeyse %95 tasarruf sağlayabildiğini göstermektedir. Genel olarak, iç akış simülasyonları için üstün bir performans (model doğruluğu ve hesaplama süresi) göstererek mühendislik uygulamalarında büyük bir potansiyele sahip olduğu görülmüştür (Chen vd., 2021).

Bu çalışmada, son yıllarda hem kalitesiyle, hem çözümdeki hızıyla ve hem de karmaşık geometrileri en iyi ayrıklaştırabilme özellikleri nedeni ile ön plana çıkan polyhedral eleman ağının, bir döner tamburlu kurutucu simülasyonunda kullanımının değerlendirilmesi sunulmuştur. Kalite, hız, çözüm maliyeti değerleri tartışılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

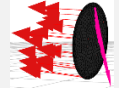
Çalışmada hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonu kullanılmış olup döner gübre kurutucunun boyutları ve uyguladığımız sınır şartları, geometri ve karşılık gelen ağ, Şekil 1'de gösterilmektedir. İşletme ortamındaki şartları olduğu gibi simülasyona dâhil edebilmek için 1x10m silindirik ve 5° eğimli katı model olarak çizilmiştir. Her ne kadar bu hali ile sistem simetrisi içeriyor gibi gözükse de, çözüm bölgesi içerisinde partiküllerin nasıl hareket edeceğini bilemediğimiz için simetriklik kullanılmamış, üç boyutlu tam model oluşturulmuştur.



Şekil 1. (a) Döner tamburlu gübre kurutucu modeli (b) Çözüm bölgesinin polyhedral mesh yapısı (c) ilgilenilen bölgede (orta kısım) hücre boyutu 0.05-1 m.

Simülasyonda gereken matematiksel modeller, bilimsel literatüre bakılarak (Chen vd., 2021; Roberts vd., 2021; Sosnowski, Gnatowska, vd., 2018; Thomas ve Longest, 2022) ve önceki çalışmalarda farklı modelleri test ederek seçilmiştir (Korkmaz ve Kacar, 2021). Brülörün üflediği hava şartlarını oluşturmak üzere girişten 2.7 m/s hızında ve 101° sıcaklığında kuru hava girmektedir. Yön olarak, yüzey normali seçilmiştir. Çıkış ise, 0 Pa manometre basıncına sahip atmosfere açılmaktadır. Hız tanımlamaları mutlak koordinat eksen takımına göre yapılmıştır. Giriş ve çıkışlardaki türbülans davranışı, %5 yoğunluklu ve vizkozite oranı 10 olarak tanımlanmıştır. İşletme basıncı 101325 Pa olup, yerçekimi ivmesi olarak y eksenini doğrultusunda -9.81 m/s<sup>2</sup> girilmiştir. İşletme sıcaklığı 15.01° ve yoğunluğu 1.225 kg/m<sup>3</sup> olan havadır. Isı transferi hesaplaması için enerji denklemleri aktif edilmiştir. Sürekli faz türlerinin karışımından oluşmaktadır, ayrık faz ise çok bileşenli partikülden oluşmaktadır. Gaz ve partikül fazları için duvarlarda kaymama koşulu uygulandı. Simülasyonların parametreleri ve modelleri sırasıyla Çizelge 1 ve 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Gübre enjeksiyon özellikleri

<b>Enjeksiyon özelliği</b>	<b>Değer</b>
Enjeksiyon tipi	20'li grup
Partikül tipi, başlangıç nemi	Çok bileşenli Uçucu faz:%18 H <sub>2</sub> O Katı faz:%82 üre
Kuru partikül yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	850
Yaş partikül yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	1100
Partikül dağılım modeli	Rosin-Rammler
Partikül şekli	Küresel
Partikül çapı	Min:5 mm, Maks:10 mm
Partikül kütle akış hızı (kg/s)	1.2
Hız vektörü (m/s)	(0, -0.0406, -0.03)
Yayıma parametresi	3.5
Uygulama noktası	
Enjeksiyon giriş sıcaklığı	26.85°

Çizelge 2. Simülasyon modelleri

<b>Modeller</b>	<b>Değer</b>
Partikül-hava çok fazlı akış modeli	Eulerian-Lagrangian
Sürüklenme modeli	Gidaspow
Türbülans modeli	SST $\kappa$ - $\omega$
Malzeme (tambur)	Al, 5mm
Malzeme (sürekli faz)	Türlerin karışımı %0 H <sub>2</sub> O (buhar) %23 O <sub>2</sub> (gaz) %77 N <sub>2</sub> (gaz)
Malzeme (ayrık faz)	Çok bileşenli partikül
Akış bölgesinin hızı	$\omega=1.26$ rad/s

Bu simülasyonun sonuçlarını deneysel sonuçlarla karşılaştırmak için, gerçek zamanlı simülasyonun 0-100 s arasında bir ortalama hesaplandı. Ayrıklaştırma şeması ikinci dereceden, basınç-hız birleştirme yöntemi SIMPLE ve zaman adımı 0.0001 s idi. Duvarlarda her iki faz için kaymazlık koşulu kullanılmıştır.

Konumsal ayrıklaştırma, ağ bağımsızlığı analizinden sonra tanımlanmıştır. 0.001 m, 0.05 m ve 0.1 m hücre boyunda üç farklı ayrıklaştırma seviyesi test edilmiştir.

Hesaplanan sonucunda uçurulan nemin akış süresince değişimi 10 s gerçek zamanlı simülasyon ile değerlendirilmiştir.

Literatüre göre, uçurulan nem miktarı ve partikülün tambur içerisinde kalma süresi hesaplanmıştır (Adapa vd., 2005; Rezaei vd., 2022; Tarhan vd., 2010). Çizelge 3 ve 4'te eleman ağı kalite metrikleri, hesaplama süresi ve yakınsama değerleri verilmiştir. Yakınsama kıyaslamasında sadece süreklilik denkleminin yakınsama değeri dikkate alınmıştır. Çünkü en az yakınsayan budur. Yani eğer süreklilik denklemi yakınsamış ise, diğerleri zaten yakınsamış demektir.

Bu çalışmada döner tamburlu kurutucunun akış bölgesinin ayrıklaştırılmasında Ansys© CFD (DeSalvo ve Swanson, 1985) tasarım analiz programını kullanmış, hegzahedral mesh yöntemleri (sweep, multizone, hex-dominant) ve poly elemanların kaliteleri değerlendirilmiştir.

Çizelge 3. Izgara hücre değerleri ve hesaplama süresi

	<b>Ayrıklaştırma süresi (sn)</b>	<b>Düğüm noktası sayısı</b>	<b>Element</b>	<b>Hesaplama süresi</b>
Hekzahedral (Oto mesh)	2	10140	9344	05 dak 20 sn
Tetragonal	6	10282	24980	07 dak 18 sn
Hekzahedral (Multizone metodu)	5	8515	7680	04 dak 55 sn
Hekzahedral	3	11050	10240	05 dak 03 sn
POLYMESH	12	30550	76237	21 dak 17 sn

Çizelge 4. Izgara kalite ölçütleri

	<i>Mesh kalite metrikleri</i>			<i>Yakınsama (*) (residual)</i>
	<b>Maks çarpıklık</b>	<b>Min Orthogonal kalite</b>	<b>Maks en/boy oranı</b>	
<i>Hekzahedral (Oto mesh)</i>	0.49029	0.85199	6.6577	1e-3
<i>Tetragonal</i>	0.80846	0.19154	9.1435	1e-3
<i>Hekzahedral (Multizone metodu)</i>	0.3564	0.9454	6.1722	1e-3
<i>Hekzahedral</i>	0.38936	0.72877	6.7461	8e-4
<i>POLYMESH</i>	0.4188564	0.58114359	7.2355873	1e-3

(\*) Süreklilik denkleminin yakınsaması

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

#### 3.1. Mesh bağımsızlığı analizi

Hesaplanan uçurulan nemin akış süresince değişimi (kütleli ortalama), 10 saniyelik simülasyon ile değerlendirilmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 5' te verilmiştir. Tüm eleman tipleri için 0.05m boyut seçilmiştir.

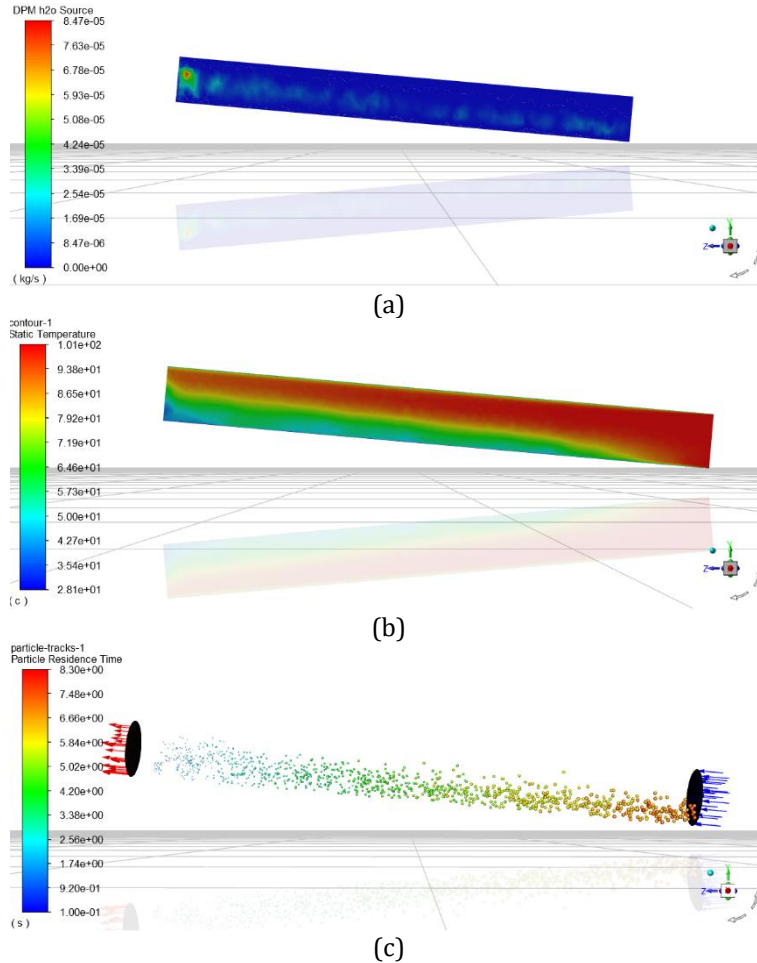
Çizelge 5. Uçurulan nemin akış süresince değişimi (kütleli ortalama)

<i>Modeller</i>	<i>Hücre boyu (m)</i>	<i>Değer (kg)</i>	<i>Tamburda kalma süresi (sn.)</i>	<i>Uçurulan ortalama nem (gr/sn)</i>
<i>Mesh-1</i>	0,1	0,0078	7,6...9,7	0,80...1,03
<i>Mesh-2</i>	0,05	0,0075	7,6...9,7	0,77...0,987
<i>Mesh-3</i>	0,001	0,0075	7,6...9,7	0,77...0,987

#### 3.2. Nem, sıcaklık, kalma süresi sonuçları

Polyhedral elemanlar kullanıldığında elde edilen; uçurulan nem miktarı, bu esnada tambur içerisindeki nem dağılımı ve parçacık kalış süresi sonuçları Şekil 2 de verilmiştir.

Şekillerde gösterilen sonuçlar, hesaplamaların son adımının son iterasyonundaki değerlerdir. Hesaplanan uçurulan nemin akış süresince değişimi (kütleli ortalama), 10 saniyelik simülasyon ile değerlendirilmiştir.



Şekil 2. (a) Nem transferi (b) Sıcaklık dağılımı (c) partikül kalış süresi

Şekle göre, parçacıklar 8.3 saniye boyunca tambur içerisinde kalmaktadır. Sıcaklık dağılımı, partikül ile hava arasındaki ısı transferini açıkça göstermiştir. Partikül, enjekte edildiği yüksek uçta en nemli duruma sahipken, tamburu terketirken nemini bırakmaktadır ancak hala üzerinde nem kalmaktadır.

Diğer eleman tipleri kullanıldığında elde edilen değerler Çizelge 6 da verilmiştir.

Çizelge 6. Nem transferi, sıcaklık dağılımı, partikül kalış süresi hesaplamaları

	Nem transferi	Sıcaklık dağılımı	Kalış süresi (sn)
Hekzahedral (Oto mesh)			8.8
Tetragonal			9.7
Hekzahedral (Multizone)			9.7
Hekzahedral (sweep)			7.6
Polymesh			8.3

### 3.3. Modelin Doğrulaması

Model doğrulaması için, literatürden toplanan veriler (Çizelge 7), mevcut çalışmadaki partikül kalış süresi ile kıyaslanmıştır. Model, ortalama 8.3 s'lik bir kalış süresi öngörmüştür. Literatürde yapılan çalışmalarda kullanılan parametrelerinin çoğu farklı olduğundan ve en önemlisi, literatürde test edilen tamburların boyutları oldukça farklı olduğundan, yayınlanan sayıların modeli doğrulamak için zorlukla kullanılabilirliğini göstermektedir. Yayınlanmış literatürün çoğu, 2-3 m'den daha kısa olan küçük ölçekli tamburlardan veri bildirmiştir. Ayrıca kanatların kalma süresi üzerinde önemli bir etkisi vardır. Çalışmaların çoğu, kalış özelliklerini düzgün bir şekilde bildirmemiştir. Test için kullanılan malzemeler genellikle açıkça tanımlanmamıştır. Literatürde bildirilen verilerin model doğrulaması için uygun olmadığı görülmektedir.

Çizelge 7. Partiküllerin tambur içerisinde kalma süresi

Özellikler	(Perazzini vd., 2014)	(Duchesne vd., 1996)	(Song vd., 2003)	(Huang vd., 2015)	(Renaud vd., 2001)	(Sai, 2013)	(Lisboa vd., 2007)
Malzeme	Narenciye katı atık	Çinko konsantresi	Kum	Mısır	-	Kum	Gübre
Ortalama parçacık boyutu (Kaveh vd.)	-	-	0.45	-	0.3	1.0-1.25	2.76
Parçacık küreselliği	Parçacık şekli ile ilgili herhangi bir veri sağlanmamıştır.						
Partikül yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	3330	-	1650	-	1445	-	1100
İlk nem içeriği (%)	85	15-17	-	-	0-12	3-8	-
Tambur uzunluğu ve çapı (m)	L = 2.7 D = 0.4	L=15 D = 2	L = 3 D = 0.3	L = 1.8 D = 0.4	L = 3 D = 0.3	L = 1 D = 0.1	L = 0.6 D = 0.2
Tambur eğimi (derece)	-	5	0 ve 10	1.8 ve 5	6.3	2.7-4.2	-
Dönme hızı (rpm)	6	1.5-5.8	2-10	3-6	7	4-12	2.5-5.
Dönme hızı (rad/s)	0.63	0.16-0.61	0.21-1.05	0.31-0.63	0.73	0.42-1.26	0.26-0.52
Hava hızı (m/s)	1	-	2.6	2.1	-	-	-
Kanat özellikleri	-	Altı düz bölme, tambur ile 90°	Dokuz düz bölme, tambur ile 90°	Beş dikdörtgen bölme, tambur ile 90°	Düz bölmeler, tambur ile 75°-150°.	-	4 ve 7 düz bölme, tambur ile 90°
Kalış süresi (dk)	36.9-48.0	16.7	3.0-5.0	0.4-2.2	3.3-13.3	110-380	5-8

## 4. SONUÇ

Çalışmada içi boş (kanatsız) döner gübre kurutma silindirinde zıt yönlü gübre-hava akışı eş zamanlı ısı ve kütle transferi sonucu sıcaklık, nem dağılımı, tamburda kalma analizleri için gerekli mesh optimizasyonunda bu problemdeki silindir katı modeli için farklı mesh metotları kalite kriterlerine göre değerlendirilmiş, polyhedral mesh yapısının analiz sonucuna etkileri görülmüştür.

Özellikle bu çalışmaya en uygun mesh metotlarının hexa-mesh yapısına sahip multizone ve sweep mesh yöntemleridir. Kalite kriterleri yönünden multizone mesh daha iyi, sonuca yakınsama hassasiyeti yönünden sweep mesh daha iyidir.

Diğer mesh yöntemlerine göre polymesh yapısı mesh düğüm sayısı 2,76-3,58 kat, eleman sayısı 3,05-9,93 kat daha fazladır. Bu düğüm ve eleman sayılarına rağmen kalite kriterleri tetramesh ve oto-mesh yapısına göre daha iyidir. Özellikle tüm kalite kriterleri bakımından polymesh ağ yapısının tetramesh ağ yapısından daha iyidir.

Bu çalışmada ele aldığımız silindir katı model basit bir topolojiye sahiptir. Bu modellerde hexa-mesh yöntemleri ile en iyi mesh kalitesi ve buna bağlı olarak parametre sonuçlarını elde edebiliriz. Geometride karmaşıklık artıkça tetramesh mesh

elemanı kullanma zorunluluğu artar. Bazen tetramesh elemanları ile kalite sınırları içerisinde bir mesh yapısı oluşturamayız. Bu durumda polymesh yapısı ile hatalı mesh yapıları düzeltilerek analiz süresi ve hassasiyeti bakımından istediğimiz sonuçları elde ederiz. Polymesh yapısı hex-dominant arı peteği şeklinde ağ yapısından oluşan şu ana kadar gelişmiş en zor yapılar için en uygun mesh yöntemidir.

Bu mesh yapısı ile bu çalışma için kalite sınırları ve uygun hassasiyet elde edilse bile bu yapıya hex-mesh yapıları daha uygun olduğu açıktır. Tetramesh elemanlı mesh yapılarının oluşturulmadığı analizlerde hata veren yapılar için bu yöntemin kullanılması daha uygundur.

Uygun mesh yöntemi seçilmesi ile birlikte pahalı bilgisayar gereksinimlerine gerek kalmadan hassa ve doğruluğu yüksek sonuçlar elde edilebilecektir. Bu da bilimsel camia da kıt imkânlarla temin edilebilen mevcut bilgisayarların kullanımı ile güvenle analiz yapılabileceği anlamına gelmektedir.

## KAYNAKLAR

- Adapa, P. K., Schoenau, G. J., ve Arinze, E. A. (2005). Fractionation of Alfalfa into Leaves and Stems using a Three Pass Rotary Drum Dryer. *Biosystems Engineering*, 91(4), 455-463. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.12.003>
- Chen, H., Zhou, X., Feng, Z., ve Cao, S.-J. (2021). Application of polyhedral meshing strategy in indoor environment simulation: Model accuracy and computing time. *Indoor and Built Environment*, 1420326X211027620. doi: [10.1177/1420326X211027620](https://doi.org/10.1177/1420326X211027620)
- DeSalvo, G. J., ve Swanson, J. A. (1985). *ANSYS engineering analysis system user's manual*. Houston, Pa: Swanson Analysis Systems.
- Duchesne, C., Thibault, J., ve Bazin, C. (1996). Modeling of the Solids Transportation within an Industrial Rotary Dryer: A Simple Model. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 35(7), 2334-2341. doi: [10.1021/ie950625j](https://doi.org/10.1021/ie950625j)
- Huang, Z.-G., Weng, Y.-X., Fu, N., Fu, Z.-Q., Li, D., ve Chen, X. D. (2015). Modeling the Total Residence Time in a Rotary Dryer. *International Journal of Food Engineering*, 11(3), 405-410. doi: [doi:10.1515/ijfe-2014-0333](https://doi.org/10.1515/ijfe-2014-0333)
- Kaveh, M., Abbaspour-Gilandeh, Y., ve Nowacka, M. (2021). Optimisation of microwave-rotary drying process and quality parameters of terebinth. *Biosystems Engineering*, 208, 113-130. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.05.013>
- Korkmaz, C., ve Kacar, İ. (2021). Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Simülasyonları İçin Optimum Eleman Ağ Yapısının Belirlenmesi *Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Üzerine Güncel Araştırmalar*. Yenişehir/Ankara: Akademisyen Kitabevi
- Lisboa, M., Vitorino, D., Delaiba, W., Finzer, J. R., ve Barrozo, M. (2007). A study of particle motion in rotary dryer. *Brazilian Journal of Chemical Engineering - BRAZ J CHEM ENG*, 24. doi: [10.1590/S0104-66322007000300006](https://doi.org/10.1590/S0104-66322007000300006)
- Marimuthu, S., ve Chinnathambi, D. (2021). Computational analysis to enhance the compressible flow over an aerofoil surface. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 93(5), 925-934. doi: [10.1108/AEAT-06-2020-0122](https://doi.org/10.1108/AEAT-06-2020-0122)
- Murua, I. A. (2019). Energizing Generator Designs. *ANSYS Advantage*(2), 36-40.
- Perazzini, H., Freire, F. B., ve Freire, J. T. (2014). Prediction of Residence Time Distribution of Solid Wastes in a Rotary Dryer. *Drying Technology*, 32(4), 428-436. doi: [10.1080/07373937.2013.835317](https://doi.org/10.1080/07373937.2013.835317)
- Renaud, M., Thibault, J., ve Alvarez, P. I. (2001). INFLUENCE OF SOLIDS MOISTURE CONTENT ON THE AVERAGE RESIDENCE TIME IN A ROTARY DRYER. *Drying Technology*, 19(9), 2131-2150. doi: [10.1081/DRT-100107491](https://doi.org/10.1081/DRT-100107491)
- Rezaei, H., Lim, C. J., ve Sokhansanj, S. (2022). A computational approach to determine the residence time distribution of biomass particles in rotary drum dryers. *Chemical Engineering Science*, 247, 116932. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2021.116932>
- Roberts, J., Wypych, P., Hastie, D., ve Liao, R. (2021). Analysis and validation of a CFD-DPM method for simulating dust suppression sprays. *Particulate Science and Technology*, 1-12. doi: [10.1080/02726351.2021.1951907](https://doi.org/10.1080/02726351.2021.1951907)
- Sai, P. S. T. (2013). Drying of Solids in a Rotary Dryer. *Drying Technology*, 31(2), 213-223. doi: [10.1080/07373937.2012.711406](https://doi.org/10.1080/07373937.2012.711406)
- Song, Y., Thibault, J., ve Kudra, T. (2003). Dynamic Characteristics of Solids Transportation in Rotary Dryers. *Drying Technology*, 21(5), 755-773. doi: [10.1081/DRT-120021685](https://doi.org/10.1081/DRT-120021685)
- Sosnowski, M., Gnatowska, R., Sobczyk, J., ve Wodziak, W. (2018). Numerical modelling of flow field within a packed bed of granular material. *Journal of Physics: Conference Series*, 1101, 012036. doi: [10.1088/1742-6596/1101/1/012036](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1101/1/012036)
- Sosnowski, M., Krzywanski, J., Grabowska, K., ve Gnatowska, R. (2018). Polyhedral meshing in numerical analysis of conjugate heat transfer. *EPJ Web Conf.*, 180, 02096.
- Tarhan, S., Telci, İ., Tuncay, M. T., ve Polatci, H. (2010). Product quality and energy consumption when drying peppermint by rotary drum dryer. *Industrial Crops and Products*, 32(3), 420-427. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.06.003>
- Thomas, M. L., ve Longest, P. W. (2022). Evaluation of the polyhedral mesh style for predicting aerosol deposition in representative models of the conducting airways. *Journal of Aerosol Science*, 159, 105851. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2021.105851>
- Wang, W., Cao, Y., ve Okaze, T. (2021). Comparison of hexahedral, tetrahedral and polyhedral cells for reproducing the wind field around an isolated building by LES. *Building and Environment*, 195, 107717. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107717>
- Xia, Y., Verma, I., Stopford, P., ve Sharkey, P. (2021). *GT2021-59100 Dynamic Mesh Adaption For Scale-resolving Reacting Flow Simulations*.
- Zhang, H., Tang, S., Yue, H., Wu, K., Zhu, Y., Liu, C., Liang, B., ve Li, C. (2020). Comparison of Computational Fluid Dynamic Simulation of a Stirred Tank with Polyhedral and Tetrahedral Meshes. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCE)*, 39(4), 311-319. doi: [10.30492/ijcce.2019.34950](https://doi.org/10.30492/ijcce.2019.34950)
- Zore, K., Sasanapuri, B., Parkhi, G., ve Varghese, A. (2019). *ANSYS MOSAIC POLY-HEXCORE MESH FOR HIGH-LIFT AIRCRAFT CONFIGURATION*.