



## Farklı Eğimlerdeki Bantlı Konveyörlerde Kapasitenin Ayrık Elemanlar Metoduyla (DEM) İncelenmesi

*Investigation of the Conveyor Capacity in Different Angle Belt Conveyors with Discrete Element Method (DEM)*Enes SEZER<sup>1\*</sup>, Berna BOLAT<sup>2</sup>, Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ<sup>3</sup><sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, [ensesez97@hotmail.com](mailto:ensesez97@hotmail.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7004-4688><sup>2</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, [balpan@yildiz.edu.tr](mailto:balpan@yildiz.edu.tr)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9520-7431><sup>3</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, [birgul@yildiz.edu.tr](mailto:birgul@yildiz.edu.tr)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2459-8708>

## MAKALE BİLGİLERİ

## ÖZ

## Makale Geçmişi:

Geliş 5 Ekim 2022  
Revizyon 2 Kasım 2022  
Kabul 28 Kasım 2022  
Online 31 Aralık 2022

## Anahtar Kelimeler:

*Bantlı Konveyörler, Ayrık Elemanlar Metodu (DEM), Konveyör Kapasitesi*

Bantlı konveyörlerde birim zamana bağlı olarak taşınan malzeme miktarını ifade eden konveyör kapasitesi; konveyörün eğimine bağlı olarak değişmektedir. Eğimli olarak çalışan konveyörlerin kapasitesi, genel bir eğim faktörü (k) tablosu üzerinden seçilen değerler kullanılarak bulunmaktadır. Buradaki eğim faktörü konveyör tasarımı ve taşınan malzeme özelliklerine bağlı olmadan, tüm konveyörler için aynı olarak kullanılmaktadır. Böylelikle konveyör kapasitesi yaklaşık olarak hesaplanmaktadır. Bu çalışmada hedeflenen, konveyör kapasitesinin genel olarak kullanılan eğim faktörüne ihtiyaç duyulmadan, Ayrık Elemanlar Metodu (Discrete Element Method) (DEM) kullanılarak her açı için numerik olarak bulunmasıdır. Çalışmada farklı eğimlerdeki konveyörler için kapasite değerleri teorik ve numerik olarak bulunmuştur. Numerik olarak bulunan kapasite değerleri yardımıyla konveyörün tasarımına ait eğim faktörü elde edilmiştir. Elde edilen eğim faktörü değeri, endüstride yaygın olarak kullanılan genel eğim (teorik) faktörü değerleriyle kıyaslanmıştır. Numerik olarak elde edilen konveyör kapasitelerinin ve eğim faktörünün, teorik yöntemdeki değerlerden daha düşük olduğu bulunmuştur.

## ARTICLE INFO

## ABSTRACT

## Article history:

Received 5 October 2022  
Received in revised form 2 November 2022  
Accepted 28 November 2022  
Available online 31 December 2022

## Keywords:

*Belt Conveyors, Discrete Element Method (DEM), Conveyor Capacity*

Capacity in belt conveyors, which implies the amount of material conveyed per second, changes depending on the conveyor angle. The capacity of the inclined conveyors is calculated via using a general inclination coefficient (k), which is taken from the table. The inclination coefficient here is used for various types of conveyors, regardless of the design of the conveyor and properties of the bulk material, hence features an approximation in the estimation of the capacity. In this study it is aimed to acquire the capacity of the conveyor for each angle numerically with Discrete Element Method (DEM), without the need of an inclination coefficient. The capacities of the belt conveyors with different inclination angles were found theoretically and numerically in the study. The design-specific inclination coefficient of the conveyor was acquired via using the numerical conveyor capacities, which was later compared with the general inclination coefficient (theoretical). The numerical conveyor capacity and inclined coefficient were to be found lower than their theoretical counterparts.

Doi: 10.24012/dumf.1184931

\* Sorumlu Yazar

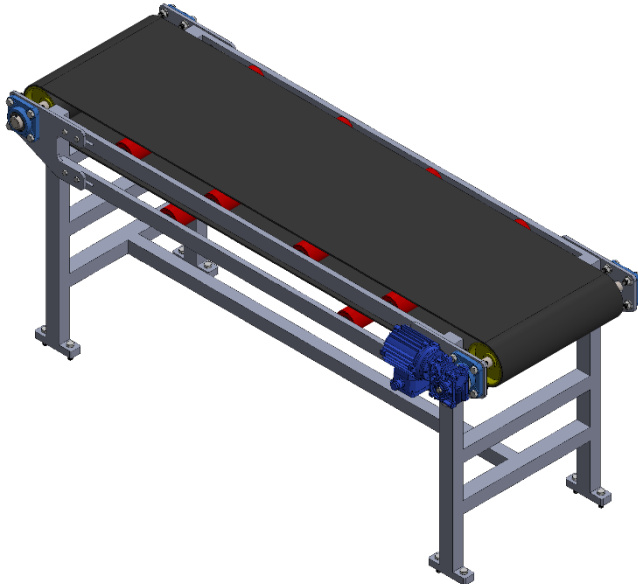
## 1. Giriş

Dökme malzemelerin taşınmasında kullanılan bantlı konveyörler tasarımlarının kolay olması, dayanıklı ve ekonomik olmaları nedeniyle endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bir bantlı konveyörde, Ayrık Elemanlar Metodu (Discrete Element Method) (DEM) ile konveyör kapasitesi numerik olarak bulunabilmektedir. Literatürde ilk olarak Cundall tarafından yapılan çalışmada dökme malzemeli sistemlerde her bir tanenin birbiri ve çevresi ile olan etkileşimi hesaplanarak, bütün bir yığılma malzemenin hareketinin simülasyonunu gerçekleştirilmiştir [1]. DEM yöntemini esas alan diğer çalışmalarda; yığılma malzemenin davranışı, akış parametreleri, bant sehimi gibi özellikleri hesaba katılarak elde edilen simülasyon sonuçları, deneysel sonuçlar ile kıyaslanmış ve DEM sonuçlarının deneysel sonuçlarla bağdaştığı ifade edilmiştir. [2-8]

Konveyörlerde eğimli konveyör kapasitesini bulmak için eğim faktörü (k) kullanılmaktadır. Teorik ve endüstriyel hesaplamalarda kullanılan bu eğim faktörü değerleri tasarıma özel olmayıp, genel bir k değeri tablosu üzerinden seçilmektedir ve literatürde bu konuyla ilgili bir çalışma bulunmamaktadır. İletilen malzeme kapasitesinin net olarak hesaplanabilmesi için her bir eğimli konveyör tasarımında eğim faktörünün tespit edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada DEM analizi kullanılarak tasarımı şekil 1’de gösterilen bir bantlı konveyör için farklı açılardaki eğim faktörü, ayrı ayrı bulunmuştur. Ayrıca konveyörlerin kapasiteleri de teorik olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Konveyörün tasarımı

## 2. Teorik Konveyör Kapasitesi

Kapasite, birim zamana bağlı olarak taşınan malzeme miktarını ifade etmektedir. Bantlı konveyörlerde en önemli tasarım parametrelerinden biri konveyör kapasitesidir ve konveyör eğimine bağlı olarak değişmektedir. Bunun nedeni; yerçekiminin malzemeleri iletim yönüne ters olacak şekilde etkileyerek geri kaydırmasıdır. Konveyör eğimi arttıkça dökme malzemenin geri kaymasını artırmakta, buna bağlı olarak da iletilen malzemenin kapasitesi değişmektedir. [9]

Bir bantlı konveyörün kapasitesi teorik olarak hesaplanabilmesi; bant üzerine gelen malzeme miktarının hesaplanması ile bulunabilmektedir. Konveyörün kapasitesinin bulunmasında kullanılan 1 numaralı eşitlikte; B, bant genişliği,  $\gamma$ , yığılma malzemenin yoğunluğu ve  $\phi$ , bu malzemenin yığılma açısıdır.

$$Q_{(düz)} = B^2 \cdot 576 \cdot \gamma \cdot v \cdot \tan(0,35 \cdot \phi) \quad (1)$$

$$Q_{(eğimli)} = k \cdot Q \quad (2)$$

Bant üzerinde bulunan malzeme miktarı hesaplandıktan sonra, eşitlik 2’deki gibi bir eğim faktörü (k) ile çarpılarak konveyör kapasitesi hesaplanmaktadır. Bunun için konveyörlerde yaygın olarak kullanılan eğim faktörü (k) değerleri kullanılmaktadır. Teorik konveyör kapasitesi hesabında kullanılacak eğim faktörü değerleri tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Teorik eğim faktörü

Konveyör Açısı	Eğim Faktörü (K)
0°	1,00
5°	0,98
10°	0,95
15°	0,90
20°	0,81

## 3. Ayrık Elemanlar Metodu (DEM) Modeli

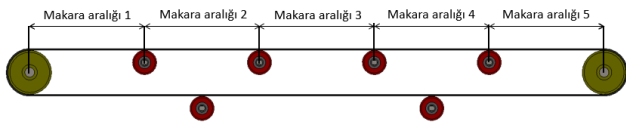
Cundall tarafından ortaya atılan ayrık elemanlar metodu (Discrete Elements Method) (DEM), tanecikli malzemenin bulunduğu sistemlerde, her bir tanenin birbirleriyle ve çevresiyle olan etkileşimlerini değerlendirerek gerçeğe yakın malzeme davranışının saptandığı bir nümerik model yaklaşımıdır [2]. Yöntem, yığılma malzemeli bir sistemin simülasyonunu gerçeğe oldukça yakın bir şekilde yapmakta ve sanal bir deney düzeneği gibi çalışarak, yığılma malzemeli sistemlerin davranışlarının incelenmesini mümkün kılmaktadır.

Bu çalışmada, DEM simülasyonu için Altair EDEM™ yazılımı kullanılmıştır. DEM modelleri her bir konveyör eğimi için ayrı ayrı oluşturulmuştur. DEM modelinin oluşturulmasında öncelikle bant geometrisinin tanımlanması ile başlanılmıştır. Burada bantın dayanım özellikleri; Poisson oranı 0,49, yoğunluğu  $1400 \text{ kg/m}^3$  ve rijitlik modülü  $1,91 \cdot 10^7 \text{ Pa}$  olarak tanımlanmıştır [10]. Ayrıca bant ile kum arasındaki sürtünme değeri tablo 2'deki gibi uygulanmıştır. Banda tanımlanan konveyör hareketi için bant hızı, tüm konveyör eğimleri için  $1 \text{ m/s}$  olarak belirlenmiştir.

**Tablo 2.** Bant geometrisinin sürtünme özellikleri

Özellik	Değer
Çarpışma İade Katsayısı	0,5
Durağan Sürtünme Katsayısı	0,45
Yuvarlanma Sürtünme Katsayısı	0,15

Tasarımı önceden belirlenmiş konveyörün üst kısmında şekil 2'deki gibi iki tambur, dört makara ve bunu karşılayacak beş adet makara aralığı bulunmaktadır. Simülasyona dahil edilen geometri, şekil 3'teki gibi yalnızca üst makaraların taşıdığı üst bant yüzeyi olacaktır.



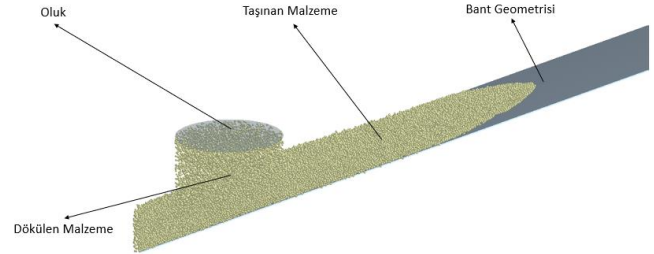
**Şekil 2.** Konveyör tasarımında bulunan makara aralıkları

Altair EDEM yazılımında giriş oluğu, konveyörden bağımsız bir şekilde oluşturulmakta, konumu ve büyüklüğü arzu edilen şekilde belirlenebilmektedir. Tüm konveyörler için oluşturulan DEM modellerinde, aynı büyüklükte ancak eğime bağlı olarak konumu değişecek şekilde oluklar oluşturulmuştur. Her bir konveyör için malzeme girişi  $7,85 \text{ kg/s}$  olarak tanımlanmıştır. Bu değer teorik hesaplama sırasında eşitlik 1 kullanılarak ton/saat olarak bulunmuştur. Farklı eğimlerdeki konveyörler için de aynı giriş debisi uygulanmasına rağmen, konveyörlerin çalışma debisi eğimleri nedeniyle farklılık göstermektedir. DEM analizinde eğim faktörüne ihtiyaç duyulmadan eğimli konveyörün çalışma kapasitesi tasarıma bağlı olarak bulunabilmektedir.

Konveyörlerde yığma malzeme olarak kum taşınmıştır. Oluşturulan DEM modellerinde kum tanelerinin yarıçapı ve birbirleri arasındaki sürtünme katsayısının, DEM modellerinde tanımlanan yığma malzeme özellikleri ve sürtünme katsayısı değerleri Tablo 3'te gösterilmiştir. Simülasyon boyunca konveyörlere dökülecek toplam kum miktarı  $15 \text{ kg}$  olarak belirlenmiştir.

**Tablo 3.** DEM modeli için tanımlanan yığma malzeme özellikleri

Özellik	Değer
Parça Yarıçapı(m)	0,003
Poisson Oranı	0,3
Yoğunluk( $\text{kg/m}^3$ )	1400
Rijitlik Modülü (Pa)	$7,692 \cdot 10^6$

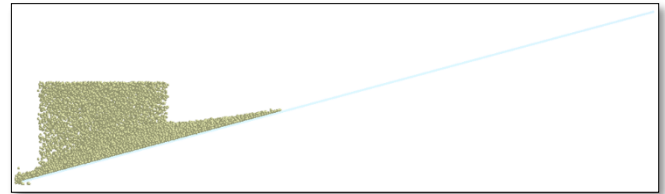


**Şekil 3.** Oluşturulan DEM modeli

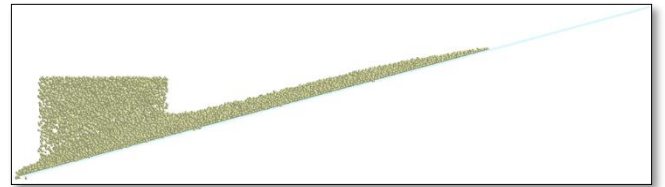
DEM simülasyonu süresi  $20^\circ$  eğimli konveyör için 4,5 saniye, diğer tüm konveyörler için 4 saniyedir. Toplam simülasyon süresi, oluktan malzemenin dökülmeye başlaması ile taşınan son malzeme tanesinin sistemden ayrılması arasında geçen süredir. Bu süre malzeme girişi debisine ve oluktan dökülen toplam malzeme miktarına bağlı olarak değişmektedir.

Şekil 4'te  $15^\circ$  eğimli konveyörün DEM simülasyonunun belirli saniyelerdeki görüntüsü gösterilmektedir, bu bölümde açıklandığı şekliyle DEM modeli tüm konveyör eğimleri için uygulanmış ve simülasyon verileri elde edilmiştir.

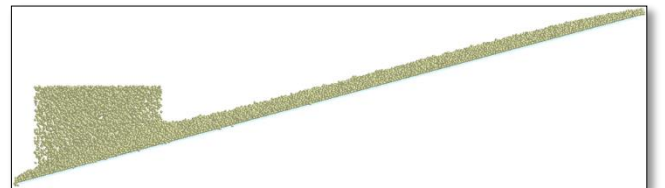
T=0,50s



T=1,00s



T=1,50s

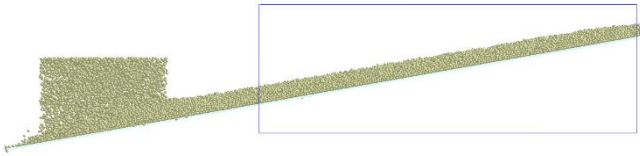


**Şekil 4.**  $15^\circ$  eğimli konveyörün DEM analizi görüntüsü.

#### 4. DEM Sonuçlarının ve Konveyöre Özel Eğim Faktörünün İrdelenmesi

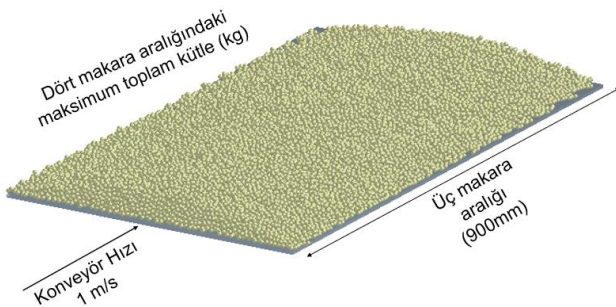
Simülasyon boyunca yığılma malzemenin davranışı saniyeye bağlı olarak incelenmiştir. İncelenen zaman dilimi için yığılma malzemenin sonuçları grafik olarak alınmıştır. Elde edilen grafikler her bir zaman adımına karşılık gelen anlık veriyi, veri-zaman grafiği olarak sunmaktadır. Bu yönüyle DEM analizi sonucu elde edilen çıktıları, gerçek bir deneysel çalışmanın sonuçlarına benzemektedir.

Bu çalışmada DEM simülasyonundan elde edilmesi amaçlanan sonuç, konveyörün tam kapasitesinin tespitidir. Kapasitenin bulunması için kütle verisinin tam bilinmesi gerekmektedir. Birinci ve ikinci makara aralıkları Şekil 5'te görüldüğü üzere oluktan dökülen malzeme ile ilk temas halindedir. Buradaki kütle miktarı oluğa bağlı olduğundan, bu makara aralıkları dikkate alınmayacaktır. Üçüncü, dördüncü ve beşinci makara aralıkları elde edilmesi amaçlanan kütle verisini sunmaktadır. Dolayısıyla konveyör üzerinde bulunan malzeme miktarı için, Şekil 5'teki gibi, son üç makara aralığındaki kütle miktarı incelenmiştir. Konveyörün üç makara aralığının toplam uzunluğu Şekil 6'da gösterildiği gibi 900mm'dir, burada bulunan toplam kütle ve konveyör hızı verileri ile eşitlik 3 kullanılarak konveyör kapasitesi bulunabilmektedir.



Şekil 5. konveyörün yalnızca son üç makara aralığının incelenmesi

Her bir konveyör eğimi için uygulanan DEM simülasyonu sonucu, farklı eğimlerdeki konveyörlerin kapasitelerinin bulunması mümkün olmuştur. Eğimli konveyörlerin kapasiteleri bant-kum ve kum-kum etkileşimlerinin bir sonucu olarak, eğim faktörüne ihtiyaç duyulmaksızın elde edilebilmiştir. Burada bulunan eğimli konveyör kapasiteleri ve düz konveyör kapasitesi değerleri kullanılarak, konveyör tasarımına özel eğim faktörü eşitlik 4 kullanılarak bulunabilmektedir.



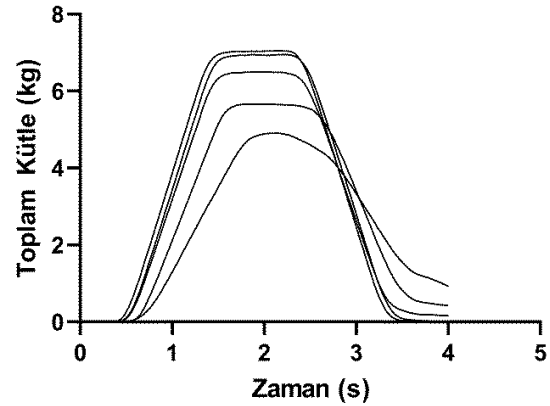
Şekil 6. Konveyörün son üç Makara aralığındaki kütle

$$Kapasite \left( \frac{kg}{s} \right) = \frac{Kütle (kg)}{Uzunluk (m)} \cdot Hız \left( \frac{m}{s} \right) \quad (3)$$

$$indirgeme \text{ faktörü } (k) = \frac{Eğimli \text{ konveyör debisi}}{Düz \text{ konveyör debisi}} \quad (4)$$

#### 5. Tartışma ve Sonuçlar

Çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş olup Şekil 7'de her bir konveyör eğimindeki son üç makara aralığında zamana bağlı olarak bulunan toplam kütle miktarı gösterilmektedir. Şekilde görüleceği üzere, konveyör eğimi arttıkça bantta bulunan toplam kütle miktarı sürekli azalmaktadır. Burada en yüksek kütle için 0° eğimli konveyörde 7,065kg ve en düşük değer için 20° eğimli konveyörde 5,003kg olduğu görülmektedir. Teorik hesaplamalar ve DEM analizi sonucu elde edilen konveyör kapasiteleri karşılaştırmalı olacak şekilde Tablo 4'te gösterilmiştir. Burada görüleceği üzere numerik olarak elde edilen kapasite değerleri teorik olarak bulunan kapasite değerlerinden daha düşük olmuştur.



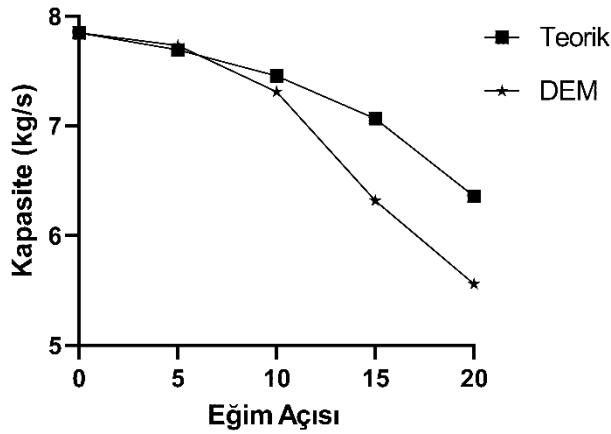
Şekil 7. yukarıdan aşağı doğru sırasıyla 0°, 5°, 10°, 15° ve 20° eğimli konveyörün son üç makara aralığındaki kütle

DEM sonucu elde edilen en yüksek eğim faktörü, düz konveyörde ve 1,000 olarak, en düşük eğim faktörü ise 20° eğimli konveyörde ve 0,705 olarak bulunmuştur. Şekil 8'de görüleceği üzere, teorik olarak bulunan konveyör kapasiteleri, özellikle yüksek eğimlerde DEM sonuçlarından oldukça farklıdır.

İki yöntem incelendiğinde teorik eğim faktörü, konveyörlerde teorik kapasite hesabında genel olarak kullanılan bir katsayıdır. Dolayısıyla bazı konveyörlerde teorik olarak bulunan değerlerin gerçek değerden farklı olması beklenen bir sonuçtur. Buna karşın DEM sonucu elde edilen konveyör kapasitesi, kum-kum ve kum-bant arasındaki sürtünmeye ve konveyörün çalışma şartlarına bağlıdır. Dolayısıyla eğimli konveyörlerde malzeme geri kayması simülasyon sırasında sürtünmeye bağlı olarak gerçekleşmiştir. Dolayısıyla DEM sonucu elde edilen kapasitelerin ve buna bağlı olarak bulunan eğim faktörünün, bu konveyörün gerçek eğim faktörü olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 4.** DEM sonucu elde edilen konveyör kapasiteleri ve eğim faktörlerinin teorik sonuçlarla kıyaslanması

Konveyör Eğimi	3-4-5 Toplam Kütle	Bant kısmı uzunluğu	DEM Kapasite (Kütle/Bant kısmı uzunluğu)	Teorik Kapasite	K DEM	K Teorik
0°	7,065	0,900	7,850	7,850	1,000	1,000
5°	6,960	0,900	7,733	7,693	0,985	0,980
10°	6,580	0,900	7,311	7,457	0,931	0,950
15°	5,687	0,900	6,319	7,065	0,805	0,900
20°	5,003	0,900	5,559	6,358	0,705	0,810

**Şekil 8.** Teorik olarak ve DEM analizi sonucu bulunan konveyör kapasitelerinin karşılaştırılması

## 6. Sonuç

Bu çalışmada aynı tasarıma sahip farklı eğimli konveyörlerin kapasiteleri ve kapasitenin hesabında kullanılan eğim faktörü (k) incelenmiştir. Teorik olarak hesaplanan konveyör kapasitesi ve burada kullanılan eğim faktörü (k), DEM sonucu elde edilen konveyör kapasiteleri ve bulunan eğim faktörü (k) değeri ile kıyaslanmıştır.

- Hem nümerik hem de teorik olarak her iki yöntemde de konveyör eğimi arttıkça kapasitenin azaldığı gözlemlenmiş, bu azalmanın DEM’de teorik sonuçlara kıyasla daha büyük oranda olduğu görülmüştür.
- DEM sonucu elde edilen eğim faktörünün, teorik olarak kullanılan eğim faktöründen daha küçük olduğu tespit edilmiştir. Bu farkın konveyör eğimi arttıkça daha da arttığı görülmüş olup bantlı konveyör tasarımına etkisi olarak, teorik kapasitenin daha yüksek hesaplanmasına neden olmaktadır.
- DEM’de elde edilen kütle grafiklerinden; konveyör eğimi arttıkça, malzemenin geri kaymasının arttığı tespit edilmiştir.
- Oluk konumu konveyörlerde farklılık gösterdiğinden, oluktan dökülen malzemenin temas ettiği makara aralıklarının kapsam dışında bırakılması doğru sonuçların elde edilebilmesi için gereklidir.

## Teşekkürler:

Bu çalışmada; Altair Engineering Inc. & ST firmasının Altair EDEM yazılımı kullanılmış olup, yazarlar destekleri için firmaya ve çalışanlarına teşekkürlerini sunmaktadırlar.

## Kaynaklar

- [1] Cundall, P. A., Strack, O. D. L.: A discrete numerical model for granular assemblies. *Geotechnique* (1979). <https://doi.org/10.1680/geot.1979.29.1.47>
- [2] Ilic, D., Wheeler, C. A.: Transverse bulk solid behaviour during discharge from troughed belt conveyors, *Advanced Powder Technology* (2017). <https://doi.org/10.1016/j.appt.2017.06.024>.
- [3] Rozbroj, J., Nečas, J., Gelnar, D., Hlosta, J., Zegzulka, J.: Validation of movement over a belt conveyor drum. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 11, 118-124. (2017)
- [4] Rossow, J., Coetzee, C.J.: Discrete element modelling of a chevron patterned conveyor belt and a transfer chute, *Powder Technology* (2021), <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.06.012>.
- [5] Hastie, D.B., Wypych, P.W.: Experimental validation of particle flow through conveyor transfer hoods via continuum and discrete element methods, *Mechanics of Materials* (2010), <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2009.11.007>.
- [6] Pezo, M., Pezo, L., Jovanović, A. P., Terzić, A., Andrić, L., Lončar, B., Kojić, P.: Discrete element model of particle transport and premixing action in modified screw conveyors, *Powder Technology* (2018), <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.06.009>.
- [7] Owen P.J., Cleary P.W.: Prediction of screw conveyor performance using the Discrete Element Method (DEM), *Powder Technology*, Volume 193, Issue 3, Pages 274-288, ISSN 0032-5910, (2019) <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2009.03.012>.
- [8] Govender, N., Cleary, P. W., Wilke, D.N., Khinast, J.: The influence of faceted particle shapes on material dynamics in screw conveying, *Chemical Engineering*

Science (2021),  
<https://doi.org/10.1016/j.ces.2021.116654>.

[9] Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA): Belt Conveyors For Bulk Materials, 5th edition, (2002)

[10] Shen, J., Wheeler C., O'Shea, J., Ilic, D.: Investigation of the dynamic deflection of conveyor belts via experimental and modelling methods, Measurement (2018),  
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.05.091>.