

BİR AÇIK OCAK KÖMÜR MADENİNDE KAMYON VE BANTLI KONVEYÖRÜN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRME METODU İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Comparison of Off-Highway Trucks and Belt Conveyors in an Open Pit Coal Mine Using Life Cycle Assessment

Geliş (received) 07 Haziran (June) 2011; Kabul (accepted) 14 Temmuz (July) 2011

Mustafa ERKAYAOĞLU *
Nuray DEMİREL **

ÖZET

Günümüzde yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarının üretiminin ve kullanımının çevreye olan etkileri kritik bir rol oynamaktadır. Madencilik endüstrisi, son yıllarda artan sınırlandırmalar ile birlikte, çevreye olan etkilerini etkin şekilde yönetmeye ve azaltmaya çalışmaktadır. Yaygınlaşmaya başlayan bu eğilim maden mühendisleri ve yöneticileri karar verme aşamasında Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD) gibi sistematik yöntemlerden faydalanmaya yöneltmiştir. Bu çalışma, açık ocak madenciliğinde kullanılan kamyonları ve bantlı konveyörleri YDD yöntemini kullanarak karşılaştırmaktadır. Asıl amaç, bu iki taşıma sistemini çevresel açıdan değerlendirerek karşılaştırma için YDD yönteminin kullanılabilirliğini göstermektir. Bu çalışma kapsamında, i) YDD ve aşamalarının belirlenmesi, ii) kamyon ve bantlı konveyörün YDD karşılaştırması için fonksiyonel birimin tanımlanması, iii) SimaPro programı ile kamyon ve bantlı konveyörün parça üretim ve işletme aşamalarının modellenmesi konuları ele alınmaktadır. Sonuçlar değerlendirildiğinde taşıma ekipmanı seçimi sırasında çevresel etkilerin kullanımı amacıyla YDD'nin etkin bir yöntem olabileceği ortaya konmuştur.

Anahtar Sözcükler: Yaşam Döngüsü Değerlendirme, Açık Ocak Madenciliği, Kamyon, Bantlı Konveyör, SimaPro

ABSTRACT

Environmental impacts of extraction and utilization of non-renewable resources are crucial more than ever. In recent years, mining industry has been faced with increasing constraints and forced to manage and mitigate the environmental impacts associated with mining. Mining professionals and practitioners have become obliged to make decisions in accordance with certain systematic standards like Life Cycle Assessment (LCA). This study compares off-highway trucks and belt conveyors in a surface mine using LCA. Main objective of this study is to use LCA as a tool by using it as a comparison tool for these material handling systems. The research study involves: i) determination of LCA and its stages, ii) unit function definition for LCA comparison of off-highway trucks and belt conveyors, iii) modeling of manufacture and usage phases for off-highway trucks and belt conveyors with SimaPro software. The results of the study showed that LCA has a potential to become an efficient methodology aiming the utilization of environmental burden in material haulage machinery selection.

Keywords: Life Cycle Assessment; Surface Mining, Off-highway Truck, Belt Conveyor, SimaPro

(*) Araş. Gör., Orta Doğu Teknik Üniv., Müh. Fak. Maden Müh. Böl., ANKARA, merkayao@metu.edu.tr.
(**) Yrd. Doç. Dr., Orta Doğu Teknik Üniv., Müh. Fak. Maden Müh. Böl., ANKARA,

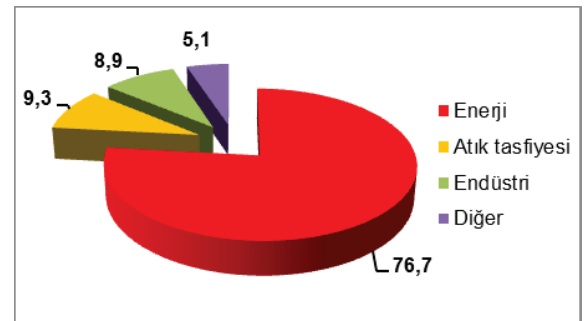
1. GİRİŞ

Günümüzde yenilenemeyen enerji kaynaklarının sürekli tüketimine bağlı çevresel etkileri kritik bir hale gelmiştir. Temel enerji kaynağımız olan kömür, hem madencilik hem de kullanım aşamasında gittikçe ağırlaşan çevresel sınırlandırmalarla karşı karşıya kalmaktadır. Çevresel yönergeleri tam anlamıyla karşılayamayan ve çevre koruma faaliyetlerine yeterli bütçeyi ayıramayan gelişmekte olan ülkelerde kömürün ekonomik açıdan verimli ve ekolojik açıdan sürdürülebilir şekilde çıkarılması ve kullanılması büyük önem taşımaktadır. Türkiye'de elektrik üretiminin %28'inde kullanılan kömür kaynakları ülkemizin enerji potansiyeli açısından önem taşımaktadır. Türkiye, Şubat 2009'da Kyoto Protokolü'nü imzalayarak temiz enerji üretme konusunda sürekli gelişen ve bu süreci teşvik eden politikalar geliştirmekle yükümlü hale gelmiştir. Kömür Türkiye'nin temel enerji kaynağı olduğundan, bu sektördeki her aşamada yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve emisyonların azaltımı konusunda faaliyetlerde bulunmak zorunlu hale gelmiştir.

Endüstriyel karar verme ve üretim yöntemi belirleme konusunda dünyadaki eğilim, küresel ısınma, ekodenge ve sürdürülebilirliği dikkate alan uluslararası standartlardan yararlanmaktır. Bu yaklaşıma sahip Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD) yöntemi hem madencilik hem de diğer sektörlerde henüz yaygın olarak kullanılmaya başlanmamıştır. TS-ISO 14040/ Eylül 1995'de yayınlanan Türk Standardı'nda verilen tarife göre YDD, bir mal ve hizmet sisteminde belirli bir malzeme ve enerjiden elde edilen mal ve hizmetlerle, bu sistemin hayatı döneminde ortaya çıkan ve doğrudan doğruya sisteme atfedilebilen çevre etkilerine ait bilgilerin toplanması ve gözden geçirilmesiyle ilgili bir usuller dizisidir (Anon(a), 1995).

Sektörde YDD uygulamasına ilk örneklerden birisi olarak Goralczyk ve Kulczyka (2004) Polonya'da maden endüstrisinde YDD uygulamasını finansal açıdan incelemiştir. YDD'nin ölçülemeyen etkileri arasında şirketin iyileştirilen görüntüsü ve azaltılan rekabet bulunmaktadır. Araştırmacılar, YDD'nin finansal analiz ile desteklenmesi gereken bir araç olduğunu ve benzer projelerin karşılaştırılması amacıyla etkin bir şekilde kullanılabileceğini belirtmiştir.

Karar verme aşamasında YDD'nin kullanımını tanıtan en önemli araştırmalar arasında Durucan vd (2006)'nin, Macaristan'da bulunan bir boksit madeni için YDD altyapısı ve yazılımı geliştirdikleri çalışma yer almaktadır. YDD'nin tek başına karar verme aracı olarak görülmemesi gerektiğini, uzmanların birikimi ve ekonomik analiz ile birlikte kullanılması durumunda destekleyici bir öğe olarak değerlendirilebileceği Stewart ve Petrie (2006)'nin çalışmasında belirtilmiştir. Güney Afrika ve Avustralya maden endüstrilerini, yaşam döngüsü envanterinin önemini ortaya koymak amacıyla karşılaştırmalı olarak ele alan yazarlar, karşılaşılan en büyük sorunun veri erişilebilirliği olduğunu ve değişken yapıya YDD'nin karar verme aşamasında daha büyük katkı sağlayabileceğini belirtmiştir. Demirel ve Düzgün (2007) mekanik ve elektrik tahrikli maden kamyonlarını YDD ile karşılaştırmış ve ekipman seçimi sırasında çevresel etkinin de dikkate alınması gerektiğini vurgulamıştır. YDD'nin madencilik endüstrisinde kullanımı ve araştırmalar sırasındaki zorluklarını dile getiren Lesage vd (2008) karşılıklı bir ilişkiyi tanımlamıştır. Yazarlar madencilik sektörünün, YDD ile ilgili çalışmalara sektörü temsil eden örneğin metal gibi hammaddelerin çevresel yük verisini sağlaması nedeniyle önemli katkıda bulunabileceğini belirtmiştir. Bu nedenle, tüm endüstri kollarına hammadde ve enerji kaynağı sağlayan madencilik, çevresel yük açısından detaylı olarak incelenmesi gereken önemli bir sektördür. Çevre ve Orman Bakanlığı'nın Ulusal İklim Değişikliği bildiriminde belirtildiği gibi ülkemizin toplam sera gazı emisyonunun %76,7'si enerji sektöründen kaynaklanmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Türkiye'nin sektörlere göre sera gazı emisyonları (Anon(b), 2007).

Türkiye, enerji tüketimi sürekli artış gösteren gelişmekte olan bir ülkedir. Kömür, Türkiye'nin temel enerji kaynağı olduğundan sera gazı salınımının yaklaşık %77'sini oluşturan bu

konu büyük önem taşımaktadır. Türkiye Kömür İşletmeleri (T.K.İ.)'nin 2008 verilerine göre işletmelerde kullanılan çoğunlukla 20-25 yaşındaki toplam 478 kamyon, yakıt tüketimleri nedeniyle incelenmesi gereken bir konudur.

Bu makalede sunulan çalışmanın nihai amacı açık ocak kömür işletmeciliğinde malzeme taşımacılığının çevreye etkisini azaltmasına ve kömür üretiminin hem ekonomik hem de çevresel açıdan verimli olacak hale getirilmesine katkıda bulunacak tedbirler önermektir. Bu hedefin gerçekleştirilmesinde izlenecek yöntem, Şekil 2'de temsili olarak görülen kamyon taşımacılığı ile bantlı konveyörleri YDD ile karşılaştırmaktır.



Şekil 2. Kamyon ile bantlı konveyör (Anon(c), 2010)

YDD çalışması kapsamlı bir literatür taramasının ardından fonksiyonel birimin tanımlanması ile başlamıştır. Fonksiyonel birim, günlük 20.000 ton kömür kapasitesinin 5 km uzunluğunda sağlam yapılı, düzgün bakımlı yol üzerinden ağır yük kamyonu ya da bantlı konveyör ile taşınması olarak belirlenmiştir.

2. YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRME'NİN TEMEL AŞAMALARI

Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD) bir ürünün hammadde olarak başlayıp atık olarak sonlanan ömrü süresince çevresel etkilerini ele almaktadır (Sonnemann vd, 2004).

YDD disiplinlerarası yapısı sayesinde değerlendirmelere teknik ve sosyal açıdan yaklaşımlar sunabilmektedir. YDD yardımıyla iklim değişikliği gibi konularda kestirim yapmak ve ağırlıklandırma gibi sosyal değerlerin de etkisini görmek mümkün olmaktadır.

YDD, EN ISO 14040 (Anon(d), 2006) uluslararası standardını temel almakla birlikte Şekil 3'de görülen dört ana aşamadan oluşmaktadır.



Şekil 3.YDD'nin temel aşamaları.

Gerekli niteliklerin ve problemin detaylı olarak belirlenmesi, hedef ve kapsam tanımlanması aşamasında gerçekleşmektedir. Değerlendirme süresince nicel kaynak olarak yararlanılan fonksiyonel birim, bu aşamada detaylı olarak tanımlanmaktadır.

Değerlendirilen sistemin çalışma kapsamı içerisinde kalması amacıyla fonksiyonel birim ile çevre arasındaki sınırların belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, çevreye etkisinin incelenmesi gereken tüm işlemler girdi ve çıktılarıyla birlikte akış şeması ile belirlenir. Her bir işlemin çevresel yükü toplanan veri ya da veritabanları yardımıyla tanımlanmaktadır. Bu tanımlamalar sayesinde hedef ve amaç istenen düzeyde detaylandırılabilir.

Yaşam döngüsü envanteri yardımıyla sınırlar içerisinde kalan tüm işlemlerin ömürleri boyunca çevreye olan etkileri belirlenmekte ve değerlendirilmektedir. Toplanan veri çalışma boyunca nicel temel olarak yararlanılan fonksiyonel birim ile ilişkilendirilmektedir. Günümüzde kullanılan veritabanları çoğu endüstriyel işlemi temsil edebilmesine rağmen madencilik endüstrisi gibi birçok alt işlemin aynı anda gerçekleştiği durumlar için yetersiz kalabilmektedir.

Envanter analizi sonucu elde edilen bulgular daha kolay anlaşılır hale getirilmek için etki

değerlendirme aşamasında gruplandırılmaktadır. İnsan sağlığı, kaynak erişilebilirliği ve doğal çevre üzerine olan etkiler sınıflandırılmakta ve her çalışma için daha fazla önem verilmesi gereken gruplar belirlenmektedir. Her grup için uluslararası boyutta kabul edilmiş ortak birimler bulunmakla birlikte sonuçların çevresel profili oluşturacak şekilde kullanılmasında bu birimlerden yararlanılmaktadır.

Yorumlama aşamasında ise envanter analizi ve etki değerlendirme sonrasında ortaya çıkan sonuçlar çalışmanın ilk aşamasında belirlenen amaç ve kapsamla karşılaştırılmaktadır. Değerlendirme açısından önemli bulgular, tutarlılık ve hassasiyet analizlerine tabi tutulabilmektedir. Sonuç raporunda değerlendirme ile ilgili yorumlar ve ele alınan konu hakkındaki öneriler yer almaktadır.

3. KAMYON VE BANTLI KONVEYÖRÜN YDD İLE KARŞILAŞTIRILMASI

3.1 Kamyon ve Bantlı Konveyörün YDD ile Karşılaştırılmasında Amaç ve Kapsamın Tanımlanması

Bu araştırmada belirlenen ana hedef, iki taşıma sistemini çevresel açıdan değerlendirerek karşılaştırma için YDD yönteminin kullanılabilirliğini göstermek olduğundan açık ocak madenciliğinde malzeme taşınan kamyonlar ve bantlı konveyörler hakkında çevresel veri toplanmaya çalışılıp bu verilere göre bu iki sistemi karşıladıktan sonra da elde edilen bulgulara göre önerilerde bulunulmuştur. Çalışmanın kapsamında kamyon ve bantlı konveyörün üretim ve kullanım aşamaları *beşikten mezara* yaklaşımıyla ele alınmıştır. Ancak geri dönüşüm ve atık aşamaları kapsam haricinde tutulmuştur.

Amaç ve kapsam tanımında büyük önem taşıyan fonksiyonel birim, karşılaştırma söz konusu olan durumlarda ortak taban oluşturmaktadır. Öncelikle birim işlemler tanımlanmış olup toplanacak verilerin tamamlanmasının ardından sınırlar belirlenmiştir. Birim işlemlerin belirlenmesi sırasında bu bölümde açıklanacak olan fonksiyonel birimden yararlanılmıştır. Teknik açıdan eşdeğer iki ekipman, ürün ya da üretim yönteminin etkin şekilde karşılaştırılabilmesi için fonksiyonel birimin detaylı olarak tanımlanması gerekmektedir.

Kamyonun modellenmesi sırasında çalışma koşulları için yığın yoğunluğu 0,89 ton/m³ olan 80 ton kömürün, 15 m³ kapasiteye sahip kepçe ile doldurma oranı 0,8 olan ağır yük kamyonuna yüklenerek 5 km uzunluğunda sağlam yapılı, düzgün bakımlı yolda taşınacağı kabul edilmiştir. Yol koşulları ve çalışma şartları, işletilmekte olan açık kömür ocaklarından yola çıkarılarak elde edilmiştir. Taşıma yolu için fiziksel özelliklerin kamyon seçimi ve tüketilen yakıt miktarı üzerinde etkisi bulunmaktadır. Literatürden yararlanılarak bulunan bilgilere göre çakıllı malzeme ile kaplanmış olan taşıma yolu ve kullanılan kaya için sürtünme katsayısı kuru ve ıslak koşullar için sırasıyla 0,6 ve 0,4 olarak belirlenmiştir. Eğim direnci %5, yuvarlanma direnci de %3 olarak hesaplamalarda kullanılmıştır (Karpuz vd, 2008)

Seçilen kamyon ilk olarak kasa kapasitesi ve malzemenin yığın yoğunluğuna bağlı kalınarak hacim ölçütleri kullanılarak seçilmiştir. TKİ'de benzeri görülen 20 ton kapasiteli kamyonlar göz önünde bulundurulduğunda yüklenmeye hazır serbest haldeki 20 ton linyit 30,8 m³ hacme sahip olmaktadır. Bu nedenle yükleme kapasitesi 46 ton, yığın kapasitesi 31,3 m³ olan bir kamyon seçilmiştir.

İşletmede toplam kamyon sayısının bulunması için diğer önemli bir tanımlama da taşıma, bekleme, boşaltma sürelerinin oluşturduğu döngü süresidir. Kamyonun teknik özelliklerinden yararlanarak boş kamyonun %8 toplam eğim direncine karşı, yüklü kamyonun da %2 eğimli yol üzerinden taşıma yaptığı durumda tur süresi 17 dakika olarak hesaplanmıştır. Yüklü kamyonun %8 toplam eğim direncine karşı, boş kamyonun da %2 eğimli yol üzerinden taşıma yaptığı durumda ise 24,5 dakikalık tur süresi hesaplanmış ve uygun olarak seçilmiştir.

Karşılaştırma sırasında bir adet kamyon ile bantlı konveyör sistemin karşılaştırılması teknik açıdan yetersiz olacağından günlük üretim belirlenerek hesaplamalar yapılmıştır. TKİ'ye bağlı işletmeler arasında yoğunlukla kamyon kullanımı gözlenen Ege Linyitleri İşletmesi (ELİ), Seyitömer Linyit İşletmeleri (SLİ) ve Güney Ege Linyit İşletmesi (GELİ) üretim miktarları göz önünde bulundurularak günlük 20.000 ton üretim gerçekleştirildiği kabul edilmiştir (Anon(e), 2009).

İşletme sırasında çıkabilecek aksaklıklar, gecikmeler ve etkin çalışma sürelerinden

yararlanılarak bu ekipmanın kullanılabilirliği ve mevcudiyet oranları sırasıyla % 93,8 ve % 78,7 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak 20.000 ton/gün kapasite için gerekli kamyon sayısı 23 olarak belirlenmiştir.

Kavramsal çalışma sırasında, sağlanan tüm teknik verilerden yararlanılarak seçilen kamyon teknik açıdan eşdeğer olacak şekilde bantlı konveyör sistemi tasarlanmıştır.

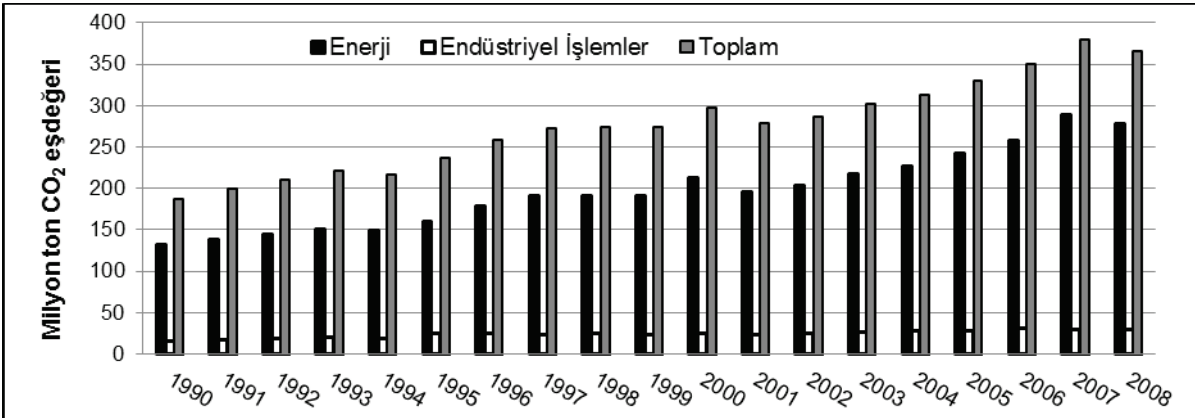
Kamyon seçimi sırasında malzemenin yığın yoğunluğu dışındaki özelliklerinden yararlanılmamaktadır ancak bantlı konveyörler için detaylı malzeme özelliklerine ihtiyaç duyulmuştur. Linyit için statik yığın açısı, serbest şekilde duran malzeme yığınının yatayla yaptığı açı olup 38° olarak kullanılmıştır. Dinamik yığın açısı ise hareket halindeki bantlı konveyör üzerindeki malzemenin yatayla yaptığı açı, 25° olarak kabul edilmiştir (Gentry and Hustrulid, 1992).

Bantlı konveyörün tasarlanması için gerekli malzeme özellikleri 1 cm'den büyük parça içeren, orta derecede akışkan, aşındırıcı ve hafif yıpratıcı olarak sınıflandırılmıştır (CEMA, 1997). Buna bağlı olarak bant için önerilen maksimum eğim 22°, bant hızı da 3,56 m/sn olarak belirlenmiştir. Önerilen bant hızının belirlenmesinin ardından gerekli genişlik için hesaplamalar yapılmıştır. Taşınması gereken 183 m³/sa kapasite için 1 m genişliğindeki bantın uygun olduğu görülmüştür. Bant genişliğinin bulunmasının ardından diğer parçalarının seçimine geçilmiştir. Konveyör sistem için taşınan gerçek yükün hesaplanması sonucu 103,5 kg değeri bulunmuştur. Bant genişliği ve hızına bağlı olarak kasnak boşluğu 135 cm, kasnak tipi ise CEMA-B olarak tayin edilmiştir. Bantlı konveyör sistemin tüm parçaları

tasarlandıktan sonra sarkmayı engelleyecek gerekli gerilme kuvveti 434,5 kg ve sisteme sağlanması gereken toplam güç 1320 BG olarak hesaplanmıştır.

3.2 Kamyon ve Bantlı Konveyörün YDD ile Karşılaştırılmasında Envanter Analizi

Kamyon ve bantlı konveyörün özelliklerinin detaylı olarak belirlenmesinin ardından envanter analizi aşamasına geçilmiştir. YDD çalışmalarının gerçek duruma benzerliği ve sonuçlarının tutarlılığı büyük oranda toplanan verinin kalitesine bağlı olmaktadır. Tüm birim faaliyetler için yerinde örnek toplayıp analiz yaparak veri elde etmek mümkün olmadığından verinin kalitesi düşebilmektedir. Veri kalitesini etkileyen diğer bir unsur da ölçüm yapılamayan birim faaliyetleri temsil etmek amacıyla kullanılan enerji sarfiyatıdır. Bu nedenle, kaliteli veritabanı oluşturabilmek için sektörel ve detaylı veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak Türkiye'de hazırlanan veritabanları ülkenin tamamını temsil etmesi hedeflenen genel verilerdir. Türkiye İstatistik Kurumu'nun erişim sağladığı seragazi emisyonu envanteri enerji, endüstriyel işlemler, tarımsal faaliyetler ve atık olarak başlıca dört ana başlık altında toplanmıştır. Araştırmanın ülkemizin seragazi emisyonları azaltma yolunda nasıl bir katkı sağlayacağı Şekil 4'de görüldüğü üzere TÜİK tarafından hazırlanan sektörel seragazi emisyonlarından da anlaşılmaktadır. Enerji sektörünün diğer dört ana başlık içerisinde milyon ton CO₂ eşdeğeri cinsinden en yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu araştırma sonucunda madencilik sektöründeki önemli emisyon kaynakları tanımlanacağından enerji sektörü için bir azaltım öngörülebilmektedir. Karşılaştırılan kamyon ve bantlı konveyörün



Şekil 4. Sektörlere göre toplam sera gazı emisyonu (Anon(f), 2008).

çevresel yükleri açısından karşılaştırılmaları için gerekli veri bulunmadığından modelleme için kullanılan yazılıma entegre Eco-invent veritabanından yararlanılmıştır (Pre, 2006). YDD çalışmalarında birincil veri toplanmadığı durumlarda, veri kalitesi ve kapsamı açısından sıklıkla kullanılan bu veritabanı çalışmada incelenen tüm aşamalar için gerekli veriyi sağlamıştır.

3.3 Kamyon ve Bantlı Konveyörün YDD ile Karşılaştırılmasında Etki Değerlendirmesi

Envanter analizinin ardından bu çalışma kapsamında madencilik için önemli etki kategorileri asitlenme etkisi ve iklim değişikliği potansiyeli olarak seçilmiştir. Veritabanından seçilen veriler ile gerçekleştirilen karşılaştırma, bu kategorileri temel almıştır. Asitlenme kategorisinde birim olarak PDF m² yıl olarak zarar gören alan temsil ederken iklim değişikliği kategorisi için maluliyet ile geçen yaşam yılı (DALY) birimi kullanılmaktadır.

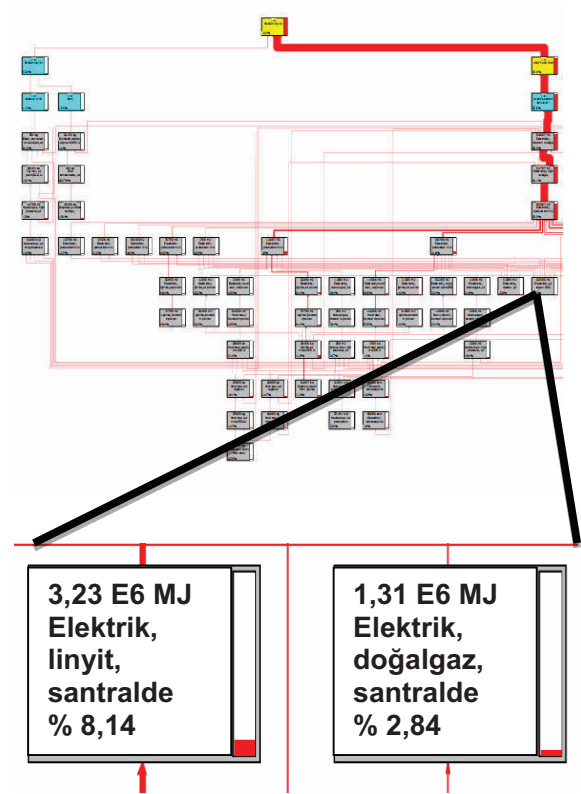
Elde edilen sonuçların yorumlanması aşamasında ise seçilen etki kategorileri dikkate alınarak araştırma sonuçları değerlendirilmiş ve önerilecek emisyon azaltım yöntemleri arasında karbondioksitin (CO₂) önemli bir paya sahip olduğu belirlenmiştir. Özellikle çevresel etkinin yüksek olduğu birim işlemler için öneriler sunulmuş ve olası iyileştirmeler için destekleyici bulgular sunulmuştur.

3.4 Kamyon ve Bantlı Konveyörün YDD Karşılaştırması için SimaPro ile Modelleme

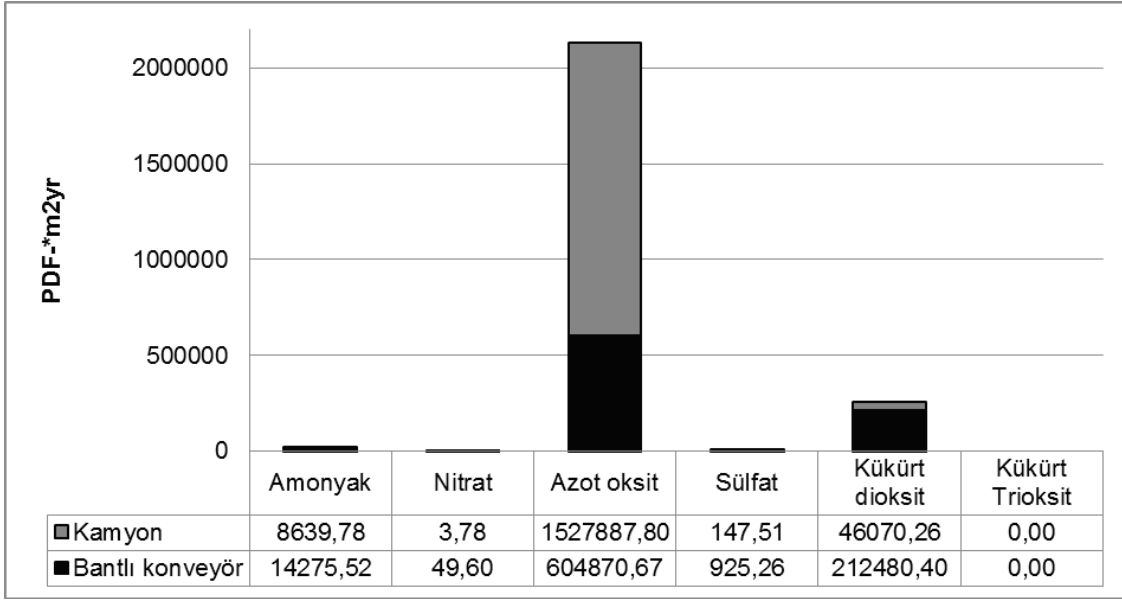
Belirlenen sınırlar içerisinde kalan birim işlemlerin çevreye olan girdi ve çıktılarının karşılaştırılması amacıyla SimaPro 7.3 yazılımı kullanılmıştır (Pre, 2011). SimaPro yazılımı, ISO 14044 standardına uygun olarak YDD çalışmaları gerçekleştirilebilen kapsamlı bir yazılımdır. Amaç ve kapsam tanımlamasından başlayarak tanımlanan fonksiyonel birim doğrultusunda entegre edilen veritabanından envanter hazırlanabilmekte, seçilen etki kategorilerine göre sonuçlar elde edilebilmektedir. Ayrıca Monte Carlo benzetimi ile belirsizlik analizi de gerçekleştirmek mümkündür. Yazılıma entegre edilmiş olan Eco-invent veritabanı sayesinde çalışma kapsamındaki tüm birim işlemler için temsili çevresel yük seçmek mümkün olmuştur. Eco-invent veritabanı 2500 işlem için veri içeren kapsamlı bir envanterdir. İlk olarak 2003 yılında geliştirilen veritabanı İsveç'teki

enstitüler tarafından güncellenmektedir. İçerdiği kapsamlı veri, birim ve sistem işlemleri olarak kullanılabilir olup emisyonlar alt kategorilere göre sınıflandırılmıştır. Eco-invent veritabanı, ISO 14048 standardı ile uygunluk göstermektedir. Analiz sonucunda kamyon ve bantlı konveyör için tüm çevresel çıktılarının görsellenmesi mümkün olmadığından bir eşik değer belirlenmiştir. Şekil 5'de görülen modelde, işlem ağacının tümüyle görsellenmesi mümkün olmadığından sadece iki işleme vurgu yapılması tercih edilmiştir. Böylece, bantlı konveyör için 5 temel parçanın üretim aşamaları ve bantlı konveyörün kullanım süreci temsil edilmiştir.

Kamyon modeli de çelik, plastik ve lastikler olarak üç ana parçadan oluşmakta ve kullanım sürecini ayrı bir döngü olarak içermektedir. Kullanım süreçlerinin her iki taşıma sistemi için de ayrı olarak modellenmiş olmasının nedeni, parçaların üretimleri sırasında oluşan çevresel yük karşılığında elektrik ve motorinin etkisini ayrı olarak belirlenebilmesidir.



Şekil 5. SimaPro'da bantlı konveyör modeli.



Şekil 6. Asitlenme kategorisine göre kamyon ve bantlı konveyör.

Şekil 5'de de görüldüğü üzere bantlı konveyörün temel parçaları arasında yer alan çelik çerçeve, çelikten üretilen diğer parçalar ve sentetik plastik malzemeden üretilmiş bant çevresel etkileri açısından değerlendirmeye katılmıştır. Birim işlemleri birbirine bağlayan oklar orantılı olarak emisyonların daha yoğun olarak kaynaklandığı yerleri göstermektedir.

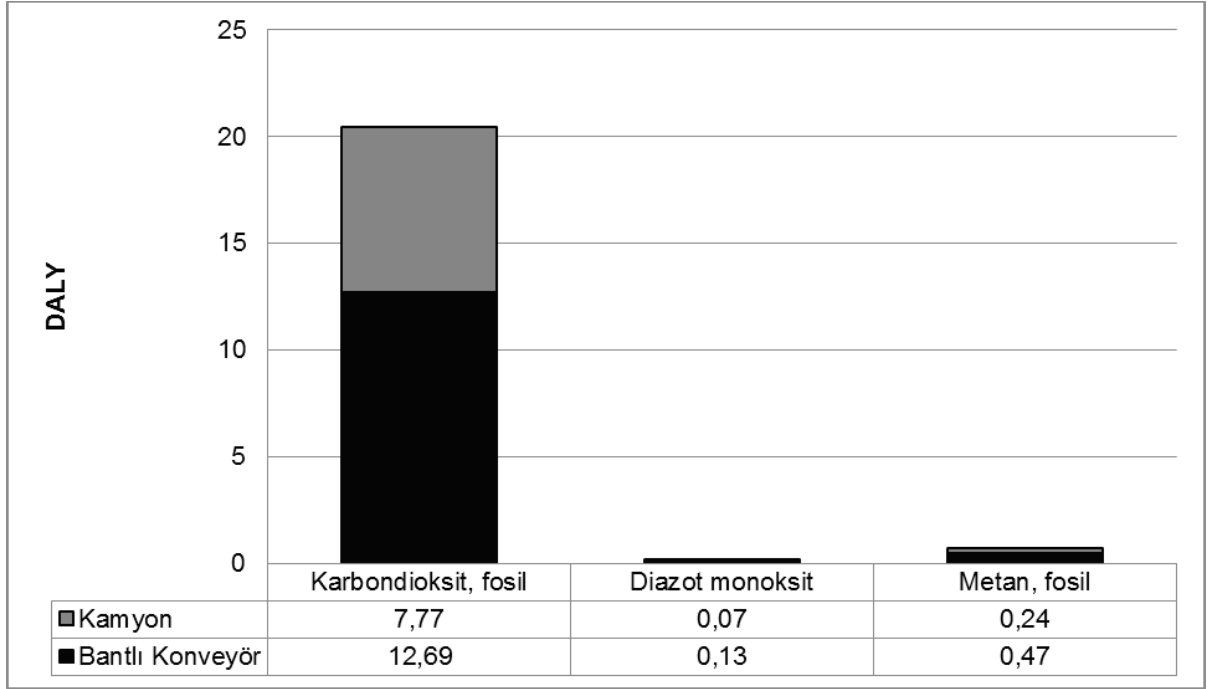
4. GELİŞTİRİLEN YDD MODELİNDEN ELDE EDİLEN BULGULAR

Modellenen taşıma sistemlerinin karşılaştırılması sonucu, seçilen etki kategorilerine göre çevresel etkileri belirlenmiştir. Şekil 6'da görüldüğü üzere azot oksitlerin asitlenme kategorisindeki etkisi hem kamyon hem de bantlı konveyör için baskın olmuştur. Aynı birim cinsinden diğer emisyonların etkisi şekilde görülenemediğinden çizelgede verilmiştir. PDF m² yıl olarak zarar gören alan cinsinden kamyon için 1.527.888 değeri bulunmuştur. Bantlı konveyör için ise asitlenme etkisi 604.871 PDF m² yıl olarak belirlenmiştir. Bu etki kategorisinde diğer etken salınımlar ise sülfür oksit ve amonyak olmuştur. Kamyonlar bu kategoride bantlı konveyörlere göre yaklaşık olarak 2,5 kat yüksek etkiye sahiptir. Bu etkinin büyük oranda tüketilen motorinin sülfür içeriğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Motorinin son kullanıcıya ulaştırılması sırasındaki karayolu ya da deniz yolu taşımacılığı işlemi de bu etki kategorisinde büyük öneme sahip diğer

bir etkidir. Son kullanıcıya ulaştırılan motorin karayolu ile taşınmak yerine çevreye daha az zarar veren boru hatları ile taşınması durumunda bu işlem sırasındaki etki azaltılabilir. Modellenen kamyon kullanımı sonucu ortaya çıkan azot oksitler PDF kg emisyon başına düşen alan biriminden bu kategorideki en önemli salınım olarak değerlendirilebilir. Azot oksitlerin azaltımı konusunda ise kamyonların biyodizel gibi daha temiz yakıt türlerini tüketmeye başlaması muhtemel bir azaltımı destekleyebilir. Biyodizel kullanımı için kamyonlarda mekanik hiçbir değişikliğin yapılmasına gerek olmadığından ek bir yatırım maliyeti de bulunmamaktadır.

İklim değişikliği kategorisine göre yapılan karşılaştırmayı görselleme amacıyla %1 oranında bir eşik değer kullanılmak zorunda kalmıştır. Etkenlerin tamamını görsel olarak temsil etmek mümkün olmadığından yararlanılan bu eşik değer, hesaplama sonuçlarını etkilememektedir. Her iki sistem beşikten mezara anlayışıyla ele alınıp çevresel etkileri göz önünde bulundurulmuştur.

Küresel ısınma potansiyeline benzer şekilde iklim değişikliği etki kategorisinin en önemli göstergesi CO₂ ve eşdeğer salınımlardır. Şekil 7'de görüldüğü üzere iklim değişikliği kategorisi için temel etkenler karbon dioksit, diazot monoksit ve metan olarak belirlenmiştir. Diazot monoksit ve fosil kaynaklı metan için etkiler çizelge şeklinde verilmiştir.



Şekil 7. İklim değişikliği kategorisine göre kamyon ile bantlı konveyör.

Bantlı konveyörlerin iklim değişikliği kategorisindeki etkisi kamyonlara göre daha yüksek olup Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından tanımlanan maluliyet ile geçen yaşam yılı (DALY) birimine göre 12,69 değerine ulaşmaktadır. Kamyonlar ise 7,77 DALY değeri ile iklim değişikliği kategorisinde bantlı konveyörlerin %40'ı oranında daha düşük bir etkiye sahiptir. Karbondioksit salınımının temel kaynağı bantlı konveyörün tükettiği elektriğin termik santraldeki üretim aşamasıdır. Özellikle karbon açısından zengin linyitin santralde yakılması sonucu oluşan salınımlar bu kategoride etkili olmaktadır.

Bantlı konveyörün kullanımı için Eco-invent veritabanından seçilen elektrik tüketim verisi Avrupa elektrik dağıtım şirketleri adına toplanan ortalama bir veriden türetilmiştir. Verinin toplanma amacı AB üyesi ülkelerin farklı elektrik üretim teknolojilerini temsil etmektedir (Frischknecht ve Jungbluth, 2006).

Kamyon ve bantlı konveyör modellerinin içeriğindeki hangi birim işlemlerin çevreye etkilerinin daha kritik olduğuna bakıldığında, her iki taşıma sistemi için de kullanım anındaki yakıt ya da elektrik tüketimi olduğu ortaya çıkmaktadır. Asitlenme kategorisinde bantlı konveyör için tüketilen elektriğin kömür santralindeki yanma

işlemi, kamyon için ise motorinin yanma süreci önemli paya sahiptir. Diğer etki kategorisi olan iklim değişikliği göz önünde bulundurulduğunda ise asitlenme etkisine benzer şekilde elektrik ve yakıt tüketiminin en yüksek çevreye yüke sahip olduğu gözlemlenmiştir. Elektrik tüketimini temsil eden veri, farklı AB ülkeleri için elde edildiğinden santraldeki yanma teknolojisinin çevresel etki üzerindeki rolü ortaya çıkmıştır. Estonya için toplanan santral verisi, asitlenme kategorisinde daha etkili olurken, iklim değişikliği kategorisinde Almanya'daki santralin etkisi ön planda olmuştur. Ülkelerin enerji teknolojisindeki yeri ve yenilenebilir kaynakların enerji üretimindeki payı çevresel etki üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Çevresel yüke neden olan işlemler üzerinde olası iyileştirmeler ile etkilerinin azaltılması mümkündür.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kamyon ve bantlı konveyörün YDD ile karşılaştırma sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- YDD henüz madencilikte yaygınlaşmamış bir karar destek aracıdır. Ekipman seçiminde çevresel etkiyi de dikkate alan kararlar

verilmesi amacıyla YDD'de yararlanmak mümkündür.

- Asitlenme kategorisine göre kamyonun etkisi bantlı konveyöre göre 1,9 kat daha yüksektir. Bu kategorideki etkinin %96'sı azot oksit salınımından kaynaklanmaktadır.
- İklim değişikliği kategorisinde bantlı konveyörün etkisi kamyonu göre 1,6 kat daha fazladır. Fosil yakıtların kullanımından salınan CO₂, bu kategorinin %95' ini oluşturmaktadır.
- Karar verme sürecinde dikkate alınması gereken en önemli etkenler bantlı konveyör ve kamyonun tükettiği elektrik ve motorindir.
- Açık ocak madenciliğinde çevresel etkileri açısından önemli aşamalar yakıt tüketiminin olduğu işlemlerdir.
- Çalışma süresince taranan veritabanlarının eksik ve düzensiz olması envanter oluşturulması sırasında yazılıma entegre olan veritabanının daha fazla kullanılmasına neden olmuştur.
- YDD sayesinde karar verme aşamasında, ekonomik değerlendirmelere destek verecek şekilde çevresel etkilerden de yararlanmak mümkün olmaktadır.

Elde edilen sonuçlara göre, çevresel etkinin azaltılması ve YDD'nin madencilikte yaygınlaştırılması için aşağıdaki öneriler yapılmıştır:

- Yenilenebilir enerji kaynakları bantlı konveyör için kritik öneme sahip elektrik tüketimi konusunda iklim değişikliği etkisini azalabilir. Ancak bu kaynakların da üretim ve son kullanıcıya taşınması dahil tüm aşamalarının YDD ile incelenmesi gerekmektedir.
- Düşük sülfür içerikli biyodizel yakıtlar kamyonların asitlenme kategorisindeki etkisinin azaltımında kullanılabilir.
- Ülkemiz için büyük öneme sahip kömürün sürdürülebilir ve çevreye duyarlı şekilde üretilmesi için YDD gibi yöntemlerden yararlanılmalıdır.
- Madencilik sektörünün daha etkin şekilde temsil edilmesi için ulusal emisyon envanterinin kamu ve özel şirketlerin ortaklaşa bir veritabanı olarak hazırlanması ve sürekli olarak güncellenmesi gerekmektedir.
- Çalışmanın veri erişebilirliği konusundaki kısıtlamaları çözülerek ekotoksiste,

kanserojen maddeler, solunum etkileri bulunan organik ve inorganik maddeler kategorileri konusunda da genişletilebilme potansiyeli bulunmaktadır.

Taşıma işlemleri enerjinin yoğun tüketildiği alanlardır ve açık ocak madenciliğinde en yüksek çevresel yüke sahiptirler. Bu çalışma, madencilik endüstrisinde YDD uygulamalarına bir örnek teşkil etmektedir.

6. KAYNAKLAR

Anon(a), 1995; "TS EN ISO 14040 TSE Standardı – Çevre Yönetimi – Hayat boyu Değerlendirme – İlkeler ve Çerçeve" <http://www.tse.org.tr/TSEIntWeb/Standard/Standard/StandardAra.aspx>

Anon(b), 2007; "İklim Değişikliği Birinci Ulusal Bildirimi", http://_www.cevreorman.gov.tr

Anon(c), 2010; "Caterpillar Moves Forward with New Large Mining Trucks", <http://www.miningtopnews.com/caterpillar-moves-forward-with-new-large-mining-trucks.html>

Anon(d), 2006; "ISO 14040:2006 – Environmental Management, Life cycle assessment, Principles and framework" http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=37456

Anon(e), 2009; "Kömür (Linyit) Sektör Raporu – 2009" TKİ Kurumu Genel Müdürlüğü, <http://www.tki.gov.tr/dosyalar/K%C3%B6mürün%20Sektör%20Raporu2009.pdf>

Anon(f), 2008; "Çevresel İstatistikler", <http://www.tuik.gov.tr>

CEMA, 1997; "Belt Conveyors for Bulk Materials "Conveyor Equipment Manufacturer's Association, ABD, 30-144.

Demirel, N., Düzgün, Ş., 2007; "Comparison of Mechanical vs. Electric Drive Mine Trucks based on Life Cycle Assessment" Proceedings of MANTEMİN, 133-142.

Durucan, S., Korre, A., Melendez, G., 2006; "Mining life cycle modeling: a cradle-to-gate approach to environmental management in the minerals industry", J Cleaner Prod **14**, 1057-1070.

Frischknecht, R., Jungbluth, N., 2007; "Eco-invent overview and methodology", Dübendorf, 12.

Gentry, D.W., Hustrulid, W., (eds), 1992; "SME Mining Engineering Handbook." Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Colorado, 1314.

Goralczyk, M., Kulczycka, J. 2004; "The Financial aspects of LCA in Polish mining industry", The International Conference of Sustainable Post-Industrial Land Management.

Karpuz, C., Eskikaya, Ş., Hindistan, M.A., Tamzok, N. (eds) 2005; "Maden Mühendisliği Açık Ocak İşletmeciliği El Kitabı", Türkiye.

Pre, 2006; "SIMAPRO 7.3. Database Manual", Pre Consultants B.V. Plotterweg 12, 3821 BB Amersfoort, Hollanda

Pre, 2011; "SIMAPRO 7.3." Pre Consultants B.V. Plotterweg 12, 3821 BB Amersfoort, Hollanda

Sonneman, G., Castells, F., Schuhmacher, M., 2004; "Integrated Life-Cycle and Risk Assessment for industrial Processes", Florida, Lewis Publishers.

Stewart, M., Petrie, J., 2006; "A process systems approach to life cycle inventories for minerals: South African and Australian case studies", Journal of Cleaner Production, 14, 1042-1056.