

Araştırma Makalesi / Research Article

Agrega Madenciliğinde Çevresel Etkilerin Yaşam Döngüsü Yaklaşımı ile Değerlendirilmesi: Cebeci Agregası Ocakları Örneği

Assessment of Environmental Impacts of Aggregate Mining with the Life Cycle Approach: an Example of Cebeci Aggregate Quarries

Nil VURAL^{1*} , Murat YILMAZ¹ , Burcu ONAT² , Atiye TUĞRUL¹ , Burcu UZUN AYVAZ² 

¹ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34320 Büyükçekmece/İstanbul

² İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34320 Avcılar/İstanbul

Geliş (Received): 12.09.2024 / Düzeltme (Revised): 8.10.2024 / Kabul (Accepted): 17.10.2024

ÖZ

Günümüzde madencilik ve sürdürülebilirlik konusuna yönelik küresel ilgi giderek artmakta, bu da madencilik endüstrisinin daha sürdürülebilir bir yapıya dönüştürülmesi gerekliliğini ön plana çıkarmaktadır. Bu süreçte sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesi ve çevresel etkilerin en aza indirgenmesi büyük önem taşımaktadır. Agregası, beton ve asfalt üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırma taş gibi doğal yapı malzemelerinin genel adıdır. Bir ülkenin yapısal büyüme ve gelişimi, artan nüfusu ile endüstriyel ve altyapı yatırımlarının gerekliliği, agregayı Dünya çapında zorunlu stratejik hammaddelerden biri haline getirmektedir. Bu çalışmanın amacı, İstanbul ili Sultangazi ilçesi Cebeci Köyünde yer alan, kumtaşı ve kireçtaşlarının agregası olarak üretildiği taş ocaklarındaki madencilik faaliyetlerinin çevresel etkilerini değerlendirmektir. Bu kapsamda, ilk olarak kumtaşları ve kireçtaşlarının üretildiği taş ocakları ve yakın çevresinin jeolojisi incelenmiştir. Daha sonra, yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) yöntemi kullanılarak, fonksiyonel birim olarak 1 ton agregası üretimi kabul edilmiş ve agregası ocaklarındaki faaliyetler sisteme dahil edilmiştir. Bu faaliyetler; kazı ve patlatma, yükleme ve taşıma, kırma ve eleme ile stok sahasına nakliyyeyi kapsamaktadır. YDD analizi GaBi Education yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; kumtaşı ve kireçtaşı agregası ocak faaliyetleri küresel ısınma potansiyeli değerlerinin 1,98 ile 2,30 kg CO₂ eşd./ton agregası arasında değiştiği tespit edilmiştir. Madencilik faaliyetlerinde kullanılan ağır iş makineleri ve ekipmanların yüksek enerji ihtiyacını karşılamak için temin edilen elektrik ve kullanılan dizel yakıtın küresel ısınma potansiyelini arttıran en önemli unsurlar olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Agregası madenciliği, kumtaşı, kireçtaşı, yaşam döngüsü değerlendirilmesi, çevresel etki.

ABSTRACT

Global interest in mining and sustainability is steadily increasing in the present day, bringing the necessity of transforming the mining industry into a more sustainable form to the fore. During this process, adopting sustainable practices and minimizing environmental impacts have great importance. Aggregate is the general name for natural materials such as sand, gravel, and crushed stone used in the production of concrete and asphalt. The structural growth and development of a country, increasing population, and the needs of industrial and infrastructure investments make aggregate a mandatory strategic natural raw material worldwide. The purpose of this study is to evaluate the environmental impacts of mining activities at quarries located in Cebeci village, Sultangazi district, Istanbul,

where sandstone and limestone are produced as aggregate. In this context, firstly, the geology of the quarries where sandstone and limestone are produced, along with their surrounding areas, was examined. Then, using the life cycle assessment (LCA) method, 1 ton of aggregate production was accepted as the functional unit and the activities in the aggregate quarries were included in the system. These activities include excavation and blasting, loading and transportation, crushing and sieving, and transportation to the stockpile. LCA analysis was carried out using GaBi Education software. The global warming potential values of sandstone and limestone aggregate quarry activities ranged between 1.98 and 2.30 kg CO₂ eq./ton aggregate. The most significant contributors to the increase in global warming potential were the electricity required to meet the high energy demands of heavy machinery and equipment used in mining activities and the diesel fuel consumed.

Keywords: Aggregate mining, sandstone limestone, life cycle assessment, environmental impact

GİRİŞ

Doğal agregada, en yaygın yapı malzemesi olup yapılarda, hazır beton ve prekast beton üretiminde, yol kaplamalarında, asfalt üretiminde, demiryolu balastında, harç üretiminde, liman yapımında ve bakımında, çimento ve kireç üretiminde kullanılmaktadır (Wilburn ve Goonan 1998; Gonçalves vd., 2007). Gelecekte, yeni konut projeleri, deprem riski karşısında kentsel dönüşüm süreçleri ve yüksek kaliteli agregada gerektiren büyük mühendislik projeleri gündemde olduğu için, büyük şehirlerde (İstanbul gibi) yüksek miktarda agregada ihtiyacı olacaktır (Yıldız, 2021).

Agregada, üretim ve taşınmasıyla ilgili tüm çevresel ve sosyal baskılara rağmen, temel inşaat hammaddeleri arasında yer almaktadır. Bir taş ocağında hammadde işleme sırasında gerçekleştirilen faaliyetler, küresel ısınma, hava kirliliği, su tüketimi ve biyoçeşitlilik kaybı gibi çeşitli çevresel etkilere yol açabilir. Günümüzde agregada üretimi açık ocak işletmeciliği ile gerçekleştirilmekte olup bu süreçte önemli miktarda toz emisyonu meydana gelmektedir. Agregada ocaklarında en fazla toz oluşturan süreç, kırma ve elemedir. Delme ve patlatma da toz emisyonlarına neden olur, ancak genellikle kırma ve eleme ile karşılaştırıldığında bu etkiler önemsiz kabul edilir (Petavratzi vd., 2005).

Türkiye’de agregada üretimi üzerine birçok çalışma olmasına rağmen, agregada ocaklarının çevresel etkileri üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Başçetin vd. (2017), ağırlıklı olarak kumtaşından oluşan Cendere ocağındaki CO₂-e emisyonu ve enerji hesaplamalarında kullanılan yöntemleri analiz etmiştir. CO₂-e emisyonunu tahmin etmek için agregaların yoğunluk ve tek eksenli basınç dayanımı (UCS) verilerini kullanmışlardır. UCS değerlerinin arttığı yerlerde, birim CO₂-e değerlerinin de arttığını ve taş ocaklarında dizel yakıt tüketiminin toplam CO₂ emisyonlarının %88’ini oluşturduğunu, elektrik tüketiminin ise %12’lik bir katkıda bulunduğunu göstermişlerdir.

Çevreye olan duyarlılığın artması ile sürdürülebilirliğin önemi de artmaktadır. Teknoloji ve yaşam düzeylerindeki gelişmeler sonucunda her tür projenin maliyeti, doğal kaynakların kullanımı ve küresel anlamda çevre sorunlarına yol açma olasılığı gibi faktörler daha sık olarak karşımıza çıkmaktadır. Artan enerji üretim maliyetleri ve talepleri, enerji güvenliği, yakın gelecekte fosil enerji kaynaklarının tükenebileceğinin tahmin edilmesi, küresel ısınma ve sera gazı emisyonları gibi problemlerden dolayı ülkeler bazı ekonomik, sosyal, çevresel önlemler almak ve politikalarını bu doğrultuda belirlemek zorunda kalmıştır. Avrupa Birliği (AB), 11 Aralık 2019 tarihinde açıkladığı Yeşil Mutabakat ile 2050 yılında iklim-nötr ilk kıta olma hedefini ortaya koyarken; aynı

zamanda sanayisinin dönüşümünü gerektiren yeni bir büyüme stratejisi benimseyeceğini ve tüm politikalarını iklim değişikliği ekseninde yeniden şekillendireceğini açıklamıştır.

Endüstriyel karar verme ve üretim yöntemi belirleme süreçlerinde Dünya genelinde küresel ısınma ve sürdürülebilirliği dikkate alan yöntemler ön plandadır. Bu yaklaşıma sahip yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) uygulamaları ise maden endüstrisinde oldukça sınırlıdır. YDD farkındalığının olmaması, fonksiyonel birim ve ürün tanımlamanın zorlukları sistemlerin kapsamının belirlenmesi, uygun etki kategorilerinin tanımlanması ve belirsizlik ve duyarlılık analizini çevreleyen konular, endüstride kabul edilebilirliğinin yaygın olmamasının olası nedenleri olarak sunulmaktadır (Awuah-Offei ve Adekpedjou, 2011).

Tüm endüstriyel süreçlerde yoğun olarak tüketilen madencilik ürünlerine rağmen, agrega madencilik sistemlerinin ve teknolojisinin değerlendirilmesine yönelik literatürde sınırlı sayıda doğal agrega madenciliği YDD uygulaması çalışması bulunmaktadır. Korre ve Durucan (2009), hazırladıkları raporda, agregaların üretimi ve kullanımıyla ilişkili çeşitli çevresel etkileri incelemiş ve agregaların yaşam döngüsü boyunca sera gazı emisyonlarına ve kaynak tüketimine katkıda bulunan temel faktörleri vurgulamıştır.

Bendouma vd. (2020), Cezayir’de beş agrega ocağı için bir ton agreganın “beşikten kapıya” YDD modelini gerçekleştirerek çevresel etkisini karşılaştırmışlardır. Kittipongvises (2017) tarafından yürütülen çalışmada Tayland’da kireçtaşı ocağında YDD yaklaşımı kullanılmıştır ve çevresel etkilerin ana nedenlerinin madencilik faaliyetlerinde dizel yakıt ve elektrik kullanımı olduğu belirtilmiştir. Fransa’da, Jullien vd. (2012), üç farklı ocakta 1 ton ince ve iri doğal agrega için YDD metodolojisi ile enerji tüketimini

ve atmosferik emisyonları analiz etmiş ve ince agregaların enerji tüketimi açısından büyük etkilere sahip olduğunu ve patlayıcı kullanımının toplam çevresel etki üzerinde %1’den daha az bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. De Bortoli (2023) Quebec’te doğal agrega üzerinde YDD modeli geliştirerek önceki doğal agrega YDD çalışmalarındaki temel eksiklikleri ve tutarsızlıkları vurgulamak için detaylı bir literatür incelemesi sunmuştur.

Bu çalışmanın temel amacı, Kuzey Cebeci kumtaşı ve Güney Cebeci kireçtaşı agrega ocaklarındaki madencilik faaliyetlerinin YDD metodolojisi ile analiz etmek ve bu süreçlerin çevresel etkilerini azaltmaya katkıda bulunarak hem agrega üretiminde hem de çevresel açıdan daha verimli hale getirilmesini sağlamaktır. Bu amaçla, 1 ton kumtaşı ve kireçtaşı agrega üretiminin çevresel etkilerinin belirlenmesi için CML 2001 ve EN 15804+A2 yöntemleri kullanılmış, her iki etki kategorisine ait sonuçlar incelenmiştir. Bu yöntemler, çevresel etkilerin kapsamlı bir değerlendirilmesini sağlayarak, farklı etki kategorilerinde ortaya çıkan çevresel etkileri karşılaştırmalı olarak analiz etmeye olanak tanımıştır.

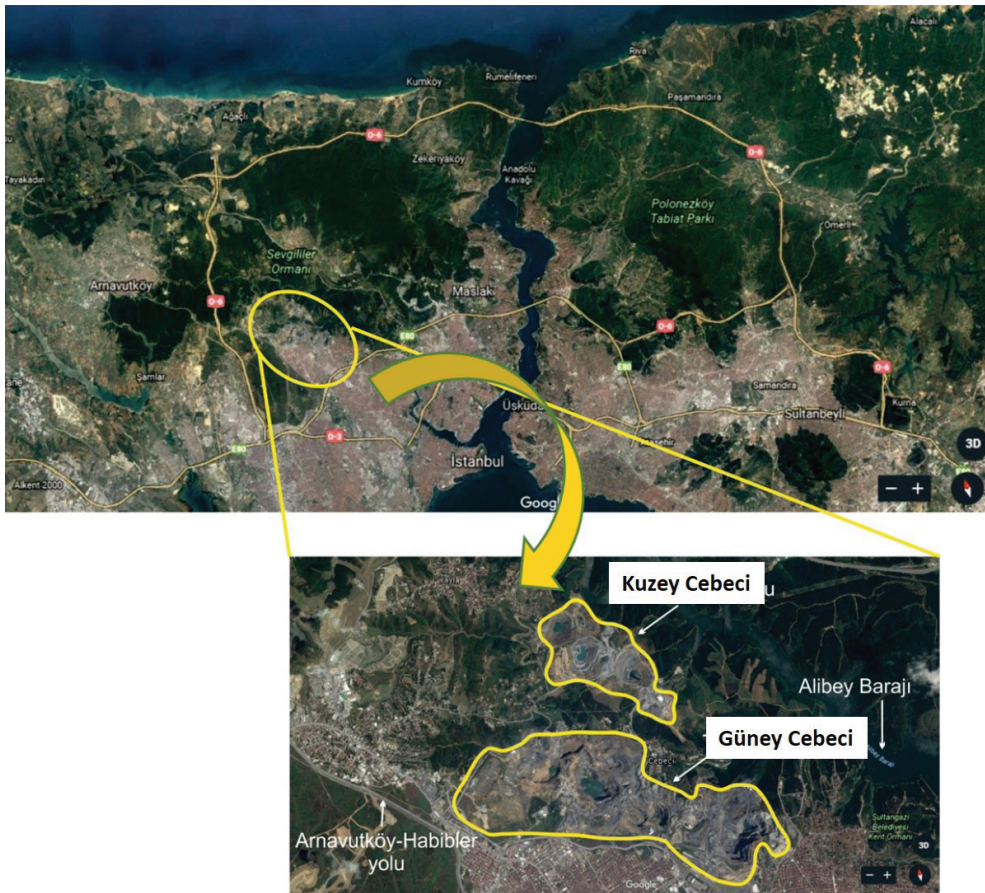
İNCELEME ALANININ TANITIMI

Cebeci agrega ocakları bölgesinde yer alan Kuzey Cebeci ve Güney Cebeci agrega ocakları İstanbul ili, Sultangazi ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Bölgenin kuzeyinde devlet ormanı, doğusunda Alibeyköy Barajı, kuzeydoğusunda Hasdal-Kemberburgaz Yolu, güneyinde Sultangazi İlçesi, batısında ise Arnavutköy-Habipler yolu ve yerleşim yerleri bulunmaktadır (Şekil 1). Cebeci agrega ocakları bölgesinde Trakya Formasyonu’na ait kumtaşı-şeyl ve bu formasyona ait Cebeciköy kireçtaşı üyesinden agrega üretimi yapılmaktadır.

Bölgede çeşitli proje ve sektörler için önemli miktarda agregada üretimi yapılmaktadır. Cebeci agregada ocakları bölgesi hava kirliliği ve gürültü kirliliği gibi çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bu çevresel problemler, Cebeci agregada ocağı bölgesinde üretimin sınırlandırılmasına yol açmıştır. Toz, Cebeci agregada ocağı bölgesindeki en önemli çevresel problemdir ve toz oluşumunu azaltmak amacıyla malzeme çıkarımı, kırma-eleme ve taşıma gibi tüm faaliyetler ocak alanında kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

Cebeci agregada ocağı bölgesi, farklı kayalar türlerine sahip iki ocağın oluşmaktadır (Şekil 1). Kuzey ocağı ağırlıklı olarak kumtaşı rezervine

sahipken, güney ocağı kireçtaşı rezervine sahiptir. Agregada üretimi, diğer tüm yüzey madenciliği faaliyetlerine benzer şekilde kazı, delme, patlatma, kırma, eleme ve gerektiğinde yıkama süreçlerini de içerir. Kumtaşından kırma eleme sonrası elde edilen iri agregada beton ve asfalt üretiminde kullanılırken, ince fraksiyonun kil içermesi nedeniyle beton ve asfalt üretiminde kullanılabilmesi için yıkama işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Kireçtaşının aşındırıcı özelliğinin kumtaşına oranla düşük olması, kil içermemeleri ve kolay kırılmaları gibi nedenlerle yüksek kapasiteli sekonder ve tersiyer darbeli kırıcılar kullanılmaktadır (Tuğrul vd., 2018).



Şekil 1. İnceleme alanının coğrafi konumu

Figure 1. Geographical location of the study area

İNCELEME ALANININ GENEL JEOLJİSİ

Cebeci agrega ocakları bölgesi, İstanbul Paleozoyik istifine ait Trakya Formasyonu'nun yayılım sunduğu alanlar üzerinde yer almaktadır. Cebeci Bölgesi'nde en altta, Karbonifer yaşlı kumtaşı ve şeyllerden oluşan Trakya Formasyonu yer almaktadır. Bu formasyonun içerisinde Cebeciköy kireçtaşı üyesi ayırt edilmiştir. Trakya Formasyonu'nu uyumsuz olarak örten kil ara seviyeli, çakıl, kum, tabanda yer yer çapraz tabakalı kumtaşlarından oluşan, kalınlığı 10-20 m aralığında olan Belgrad Formasyonu Kırışık üyesi bulunmaktadır (Gözübol ve Aysal, 2008) (Şekil 2). Bölgenin en genç çökeli Kuvaterner yaşlı alüvyon olup güncel dere yataklarında görülmektedir.

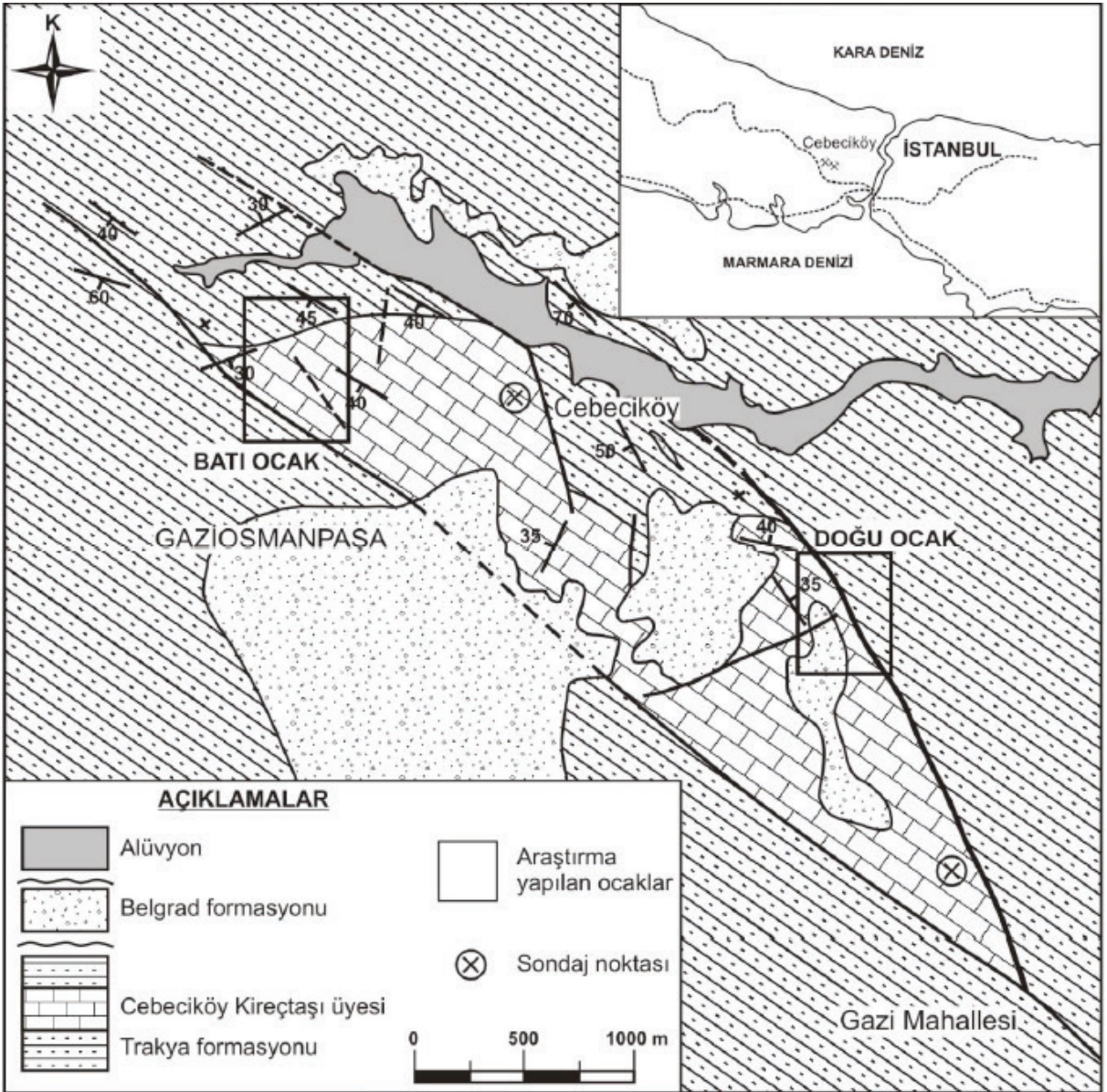
Kuzey Ocak Alanında yayılım sunan Trakya Formasyonu, değişik boyutlardaki şeyl-grovak aralanmalarından oluşmaktadır (Şekil 3). Formasyon büyük oranda şeyl ve az olarak da polijenik konglomera, kalkerli şeyl, kireçtaşı, kuvars-çakıltaşı ve kuvars-kumtaşından oluşmaktadır. Şeyller, genellikle koyu gri ve yeşilimsi gri, sarımsı gri, yersel olarak soluk kırmızı pembe ayrışma renklidir. Şeyl içinde çok ince laminalı siltaşından çok kaba çakıltaşlarına kadar türbiditik oluşuklar bulunur (Tuğrul vd., 2018). Çakıltaşları açık yeşilimsi gri ve grimsi sarı ile soluk kahverengi arasında ayrışma renkli, polijenik, çok kötü ile orta arası boylanmıştır. Bileşenleri oluşturan taneler çok ince çakılcıkla ufak-blok arasında, yarı yuvarlaklaşmış beyaz kuvars, metakuvarsit, koyu renkli çört, lidit, iyi yuvarlaklaşmış mikaşist, fillit; şeyl, grovak ve kireçtaşıdır. Trakya Formasyonu lidit çakılcıklı konglomera ile başlar, bol bitkisel kalıntı, artan kumtaşı ve azalan karbonat oranı ile sonlanır (Kaya, 1971).

Trakya formasyonu içerisindeki Cebeciköy kireçtaşları gri-siyah, sert ve kırılması zor,

kalın masif tabakalı yaygın sparit damarlıdır. Cebeciköy civarındaki kireçtaşı mostraları yaklaşık 1 km genişliğinde, 3,5 km uzunluğunda KB-GD uzanımındadır. Başlıca kireçtaşı ile az miktarda killi kireçtaşı, karbonatlı şeyl, ikincil dolomit ve ender olarak çörtlerden oluşmaktadır (Gözübol ve Aysal, 2008). Cebeciköy kireçtaşı üyesi gri, siyahımsı gri, mavimsi gri renkli, ince orta-kalın tabakalı yer yer masif kireçtaşlarından oluşur. Birim kireçtaşlarının yanı sıra karbonatlı şeyl, killi kireçtaşı ve kumlu kireçtaşları ile ikincil dolomitik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Dolomitleşmeler yaygın olarak ana fay düzlemelerini takip etmekte olup fay düzlemlerinden uzaklaştıkça dolomitleşme etkisini yitirmektedir (Şekil 4).

MATERYAL VE YÖNTEM

Küresel olarak çevre bilincinin gelişmesiyle, ürün, hizmet ve sistemlerin çevreye olan olumsuz etkilerinin belirlenmesine/tahmin edilmesine yönelik yeni yöntemler ilgi çekmektedir. Araştırmalarla birlikte çeşitli sistemlerin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması için çeşitli araçlar ve yöntemler geliştirilmiştir. Bunlara örnek olarak, Yaşam Döngüsü Değerlendirme (Life cycle assessment - LCA), Sürdürülebilirlik Değerlendirmesi (Sustainability Assessment), Stratejik Risk Analizi (Strategic Environmental Assessment - SEA), Çevresel Etki Değerlendirme (Environmental Impact Assessment - EIA), Çevresel Risk Değerlendirme (Environmental Risk Assessment - ERA), Entegre Etki Değerlendirme (Integrated Impact Assessment), Maliyet – Fayda analizi (Cost Benefit Analysis - CBA), Malzeme Akış Analizi (Material Flow Analysis - MFA), Ekolojik Ayak İzi (Ecological Footprint), Karbon Ayak İzi (Carbon Footprint) gibi yöntemler verilebilir (Finnveden vd., 2009).



Şekil 2. İnceleme alanı ve çevresinin jeoloji haritası (Gözübol ve Aysal, 2008).

Figure 2. Geological map of the study area and surroundings (Gözübol and Aysal, 2008).

Bu yöntemler arasında olan YDD, bir ürünün üretimi için kullanılan hammaddelerin temininden, kullanımı, kullanım ömrü sonunda işlenmesi, geri dönüşümü ve nihai bertarafına kadar hayatı boyunca (beşikten mezara), çevresel boyutlarını ve olası çevresel etkilerini

(kaynakların kullanımı ve salınımların çevresel sonuçları gibi) inceleyen bir araçtır. YDD metodolojisi, amaç ve kapsam belirlenmesi, envanter analizi, etki analizi ve yorumlama olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır (ISO, 2006a, 2006b).



Şekil 3. Agregası üretilen ve Trakya formasyonuna ait kumtaşlarının genel görünümü.

Figure 3. General view of sandstone within the Trakya formation, from which aggregate is produced.

SİSTEM SINIRI

Madencilikte YDD modeli geliştirmedeki ilk adım, ana sistemin ve YDD modelindeki farklı alt sistemlerin işlevlerinin sistem sınırlarının tanımlanmasını içerir (Durucan vd., 2003). Bu çalışmada, sistem sınırları 'beşikten kapıya' olarak tanımlanmış olup madencilik faaliyetleri iş akışı Şekil 3'te sunulmuştur. Ele alınan yaşam döngüsü aşamaları şunlardır (Şekil 5): tüm ham maddelerin üretimi/çıkarması (A1), ham maddelerin kırma ve eleme tesisine taşınması (A2) ve tesis içindeki kırma ve eleme süreci (A3). Agregası ocağındaki faaliyetler, akışlarla bağlı süreçlerden oluşur. Bu çalışmada, ocaktan faaliyetlerinin akışlarından yola çıkılarak agregası üretiminin çıktıları (output) değerlendirilmektedir.

YDD çalışmalarında süreç birimleri, fonksiyonel birim ile ilişkilendirilmektedir ve tüm değerlendirmeler bu birime göre yapılmaktadır. Bu çalışmada, fonksiyonel birim kumtaşı ve kireçtaşı agregası ocak faaliyetleri için 1 ton agregası üretimi olarak kabul edilmiştir. Kumtaşı agregası üretimi, kireçtaşı agregası üretimine oldukça benzer bir süreç izler. Her iki agregası üretim süreci de kazı, delme, patlatma, kırma ve eleme süreçlerini içerir. Kumtaşı agregası üretiminde, bu adımların yanı sıra yıkama işlemi de yer almaktadır. Sistem sınırında, yıkama işlemi kesikli olarak kumtaşı agregası üretimi için eklenmiştir (Şekil 5).



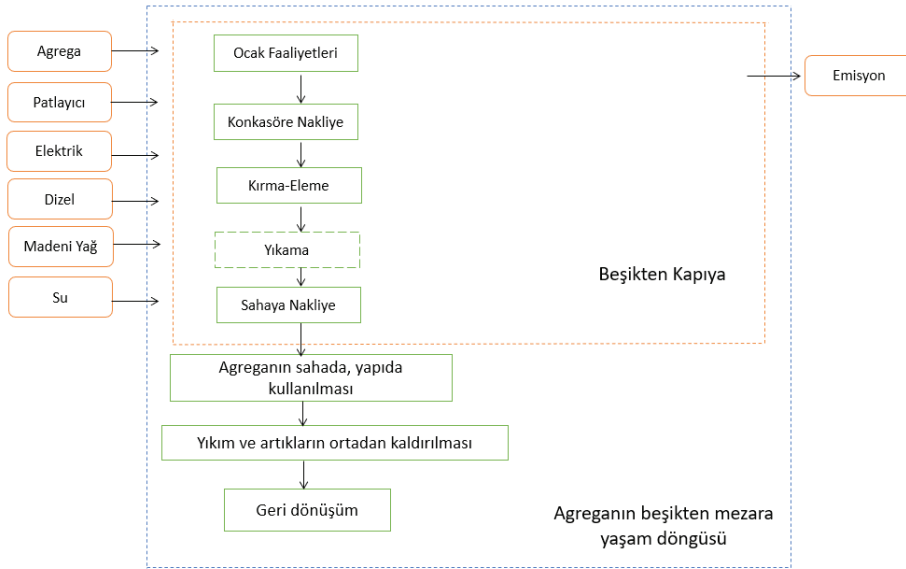
Şekil 4. Agregada üretimi yapılan ve Trakya formasyonu içerisinde bulunan kireçtaşlarının genel görünümü.

Figure 4. General view of limestones within the Trakya formation, from which aggregate is produced.

ENVANTER ANALİZİ

Yaşam döngüsü envanteri, yaşam döngüsünün her aşamasındaki malzeme ve enerji gibi tüm çevresel girdilerin ve hava emisyonları, su atıkları ve katı atık bertarafı gibi çıktılarının ayrıntılı bir derlemesini içermektedir (Blengini, 2009). Envanter analizi aşamasında, incelenen yaşam döngüsü modelinin bir parçası olan tüm süreçlerin hesaplanmasını ve değerlendirmesini gerektirmektedir. Bu aşama, ürün (agrega) ile ilişkili çevresel etkileri ve kaynak tüketimini nicel olarak belirlemek için esastır. Ürün sisteminin yaşam süresi boyunca girdi ve çıktılarının derlenmesi ve sayısallaştırılması bu aşamada gerçekleştirilmiştir.

Sistem sınırları kazı-patlatma, yükleme-taşıma, kırma-eleme ve nakliyeden oluşmaktadır. Agregada üretiminde ilk süreç kazı ve patlatmadır. Bu süreç, taşın ortaya çıkması için toprak katmanlarının kaldırılmasıyla başlar ve çıkarılan organik toprak geri kalan malzemeden ayrılır. Taş, delme ve patlatma yöntemleriyle veya kazı durumunda çıkarılır. Kumtaşı ve kireçtaşı agregası üretiminde, kaya delme işlemi bir kaya delme makinesi ile gerçekleştirilir. Daha sonra patlayıcılar çukura yerleştirilir ve agregada çıkarılır. Çıkarılan kayalar kamyonlara yüklenir ve kırma ve eleme tesisine taşınır.



Şekil 5. Agregat ocak faaliyetleri modeli sistem sınırı.

Figure 5. System boundary model for aggregate quarry activities.

Kırma eleme süreci, agreganın kırıcıya taşınmasından sonra başlar ve kırma, öğütme, yıkama, depolama ve tedarik aşamaları ile devam eder. Yıkama tesisinde, bölgedeki gölette biriken su kullanılmakta ve bu su arıtıldıktan sonra geri dönüşümlü olarak tekrar kullanılmaktadır. Kireçtaşının aşındırıcı özelliğinin kumtaşı oranla düşük olması ve kil içermemesi nedeniyle, kumtaşı agregat üretiminden farklı olarak kireçtaşı üretiminde yıkama aşaması yer almamaktadır. Agregayı boyutlarına göre sınıflandırma ve yıkama aşamalarından sonra, konveyör bantları malzemeyi stok alanına taşır. Kırma ve eleme işleminin girdi malzemeleri madeni yağ, elektrik, su ve agregat olarak tanımlanmıştır (Çizelge 1, Çizelge 2).

Nakliye aşamasında, agregat genellikle konveyörlerle boyutlarına göre stoklanmak üzere taşınır. Üretim sürecinin son adımı, agreganın kamyonlara yüklenerek stok sahasına taşınmasını içerir. Taşıma mesafesi, kumtaşı agregat ocağı için 2,5 km, kireçtaşı agregat ocağı

için ise 3 km olarak kabul edilmiştir. Standart ve şartnamelere uygun olan agregat, inşaat sahasına taşınır. Agregatın stok sahasından inşaat sahasına taşınma süreci, nihai ürünün kamyonlarla kullanım yerine taşınmasını içerir. Agregat ocağından inşaat sahasına taşımadan kaynaklanan çevresel etkisi ve geri dönüşüm aşaması bu çalışmaya dahil edilmemiştir.

Envanter analizini uygulayabilmek için agregat faaliyetleri aşamalarında gerekli olan veri kaynakları Çizelge 1 ve Çizelge 2’de belirtilmiştir. Agregat üretim süreciyle ilgili verilerin çoğu, elektrik kullanımı, dizel yakıt tüketimi, agregat üretimi ve kumtaşı agregat ocağı için envanter analizini oluşturmak amacıyla patlatma verileri dahil olmak üzere, aylık bazda sahada yapılan madencilik faaliyetlerinden elde edilmiştir. İşletmeden temin edilen veriler 2022 yılını temsil etmektedir. Kumtaşı agregat ocağının üretim miktarı 1.251.236 ton, kireçtaşı agregat ocağının üretim miktarı ise 1.022.677 tondur.

Çizelge 1. 2022 yılı kumtaşı agregada üretimine ait malzeme ve enerji verileri.

Table 1. Material and energy data for sandstone aggregate production in 2022.

Süreç	Malzeme	Miktar	Birim
Kazı	Dizel	192413	L
	Madeni Yağ	1882,5	L
	Madeni Yağ (Gres Yağı)	38	kg
Patlatma	Elektrikli kapsül	60	adet
	Elektriksiz kapsül	3671	adet
	Dinamit	3141	kg
	Emülsiyon patlayıcı (sulu deliklerde)	87080	kg
	Gecikme rölesi	330	adet
Yükleme-Taşıma	Madeni Yağ	1882,5	L
	Madeni Yağ (Gres Yağı)	47	kg
	Dizel	235988	L
	Kamyon Lastik	15	adet
Kırma -Eleme	Madeni Yağ	2427	kg
	Madeni Yağ (Gres Yağı)	2408	kg
	Elektrik	3328482	kWsaat
Yıkama Tesisi	Su	530000	m ³
	Madeni Yağ	25	kg
	Madeni Yağ (Gres Yağı)	58	kg
	Elektrik	101250	kWsaat
Nakliye	Dizel	38000	L
	Madeni Yağ	347	L
	Madeni Yağ (Gres Yağı)	2	kg
Kazı	Dizel	48311,0	L
	Madeni Yağ	2484,0	kg
Patlatma	Anfo (kuru deliklerde)	128000,0	kg
	Elektrikli kapsül	0,000111	kg
	Elektriksiz kapsül	0,002757	kg
	Dinamit	2004,0	kg
	Emülsiyon patlayıcı (sulu deliklerde)	10360,0	kg
	Gecikme rölesi	0,000357	kg
Yükleme-Taşıma	Madeni Yağ	3024	kg
	Dizel	313834,0	L
	Kamyon Lastik	1350,0	kg
Kırma-Eleme	Madeni Yağ	200,0	kg
	Madeni Yağ (Gres Yağı)	1500,0	kg
	Elektrik	1834126,7	kWsaat
Nakliye	Dizel	83424,2	L
	Madeni Yağ	756,0	kg

ETKİ DEĞERLENDİRME

Literatürde yaşam döngüsü etki değerlendirme modelleri incelendiğinde farklı yaklaşımların mevcut olduğu görülmektedir. Bu modeller; “orta nokta yaklaşım modelleri”, “son nokta yaklaşım modelleri” ve “orta ve son nokta yaklaşımını birleştiren yaklaşım modelleri” olarak üç grupta ele alınmaktadır. Orta nokta yaklaşımına dayanan modellerde, envanter analizinden elde edilen çevresel veriler; küresel ısınma, asitleşme, ötrofikasyon gibi orta nokta etki kategorileri şeklinde sınıflandırılmakta, nicel hesaplamaların yapıldığı tanımlama adımı bu noktalarda yapılmaktadır (Öztaş Karaman, 2014).

Bu çalışmada, etki değerlendirme aşamasında 1 ton kumtaşı ve kireçtaşı agrega üretiminin çevresel etkilerini belirlemek için kullanılan yöntemlerden birincisi olan CML 2001 yöntemidir. CML 2001 yöntemi, küresel ısınma, asitlenme, ötrofikasyon ve insan toksisitesi gibi çeşitli etki kategorilerini kapsamaktadır. CML 2001’in ortalama Avrupa karakterizasyon faktörleri, Dünya’da ve Avrupa’da şu anda mevcut en iyi uygulama olarak önerilmektedir (Taşkın, 2018). Çalışmanın kapsamı ve hedefleriyle uyumlu olması, ayrıca kullanılan veri kaynaklarıyla uyum sağlaması nedeniyle CML 2001 yöntemi tercih edilmiştir.

Bununla birlikte EN 15804 standardı, bina YDD’si için tüm bilgileri türetmek, doğrulamak ve sunmak için bir çerçeve oluşturur. Bu standart, yapı ürünleri, yapı kullanımları ve inşaat süreçleriyle ilgili Mamüle İlişkin Çevre Beyanı (EPD) sunulmasını tutarlı bir şekilde önermektedir. Ürün aşaması, ham madde tedariki (A1), ham maddelerin taşınması (A2) ve imalat

(A3) süreçlerini içerir ve tüm malzemeler, ürünler, enerji kullanımı ve hurda atıkların işlenmesini ya da bertarafını kapsar. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında en son etki değerlendirme yöntemi olan EN 15804+A2’nin sonuçlarına da yer verilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada 1 ton agreganın çevresel etkilerini değerlendirmek için GaBi Education programı içerisinde yer alan CML 2001 ve EN15804+A2 etki değerlendirme yöntemleri ile çalışılmıştır. Bu amaçla beşikten kapıya yaklaşımı doğrultusunda sınırlar belirlenmiş ve envanter analizi aşamasında YDD envanter verileri GaBi Education programına aktarılmıştır. Kumtaşı ve kireçtaşı agrega ocak faaliyetlerinin etki değerlendirme sonuçları Çizelge 3 ve Çizelge 4’te sunulmuştur. Çevresel etkiler CML 2001 yöntemi ile 11 farklı kategoride, EN 15804+A2 yöntemi ile ise 12 farklı kategoride ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Kumtaşı ve kireçtaşı üretim süreçleri, jeolojik oluşum, çıkarma yöntemleri ve işleme teknikleri gibi yönlerden önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Kumtaşı, kil ve silt parçacıklarını gidermek için inşaatla kullanılmadan veya daha fazla işlenmeden önce bir yıkama aşaması gerektirmektedir. Buna karşılık, kireçtaşı üretimi bir dizi kırma ve eleme aşamasını içermektedir. Çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri ile ilgili kategoriler, iki farklı kaya türü agregası için incelenmiştir (Çizelge 3-4).

Kumtaşı ve kireçtaşı agrega üretiminde ana çevresel etkiler küresel ısınma potansiyeli, abiyotik fosil tüketim potansiyeli, insan sağlığı toksisite potansiyeli ve tatlı su akuatik ekotoksisite

potansiyeli etki kategorileridir. Agregada üretimi, yaşam döngüsü boyunca kazı, patlatma, kırma, eleme ve taşıma gibi çeşitli süreçler için önemli miktarda enerji gerektirmektedir. YDD analizinin ilk aşamasında, Cebeci ocağında gerçekleştirilen kazı, patlatma, yükleme, taşıma, kırma ve eleme ve nakliye süreçlerine göre iki farklı kaya türü olan kumtaşı ve kireçtaşının çevresel etkileri karşılaştırılmıştır (Çizelge 3 ve 4).

Her iki agregada türü için de yalnızca kırma ve eleme süreçlerinin çevresel etkileri karşılaştırıldığında, kumtaşı agregada üretiminin çevresel etkilerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, kumtaşı agregada üretiminde kırma ve eleme süreçlerine ek olarak yıkama aşamasının da yer almasıdır, bu da enerji ve su tüketimini artırarak çevresel etkilere katkıda bulunmaktadır. Kumtaşı agregada ocağında, kırma ve eleme tesisinde kullanılan elektrik 2,05 kg CO₂ eşd. ile, kireçtaşı agregada ocağında ise 1,66 kg CO₂ eşd. ile küresel ısınma potansiyeli üzerinde en yüksek etkiyi göstermektedir. Bu değerler, her iki agregada türü için elektrik tüketiminin küresel ısınma potansiyeline olan önemli katkısını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, süreçlerin toplam etkisi incelendiğinde, kireçtaşı üretiminde gözlemlenen çevresel etkide azalma, etki kategorisine bağlı olarak %19,1 ile %32,8 arasında değişiklik göstermektedir (Şekil 6). Ancak Abiyotik Fosil Tüketim Potansiyeli ve Tatlı Su Akuatik Ekotoksisite Potansiyeli kategorilerinde, kireçtaşı agregada üretiminin çevresel etkileri, yükleme ve taşıma aşamalarında kullanılan dizel tüketiminden kaynaklı olarak daha yüksek bulunmuştur (Şekil 6).

Çizelge 5, bu çalışmada elde edilen bulgularla önceki çalışmaların bulgularını karşılaştırmaktadır. Ancak, coğrafi konum, veri kalitesi, enerji türü, kullanım ömrü sonu senaryoları, yakıt kullanımı, süreçler ve sistem sınırları gibi farklılıklardan dolayı doğrudan karşılaştırmalar mümkün değildir. Ayrıca, önceki çalışmalar farklı kaya türlerinin jeolojik özelliklerinde gerçekleştirilmiş ve veriler farklı mevsimlerde toplanmıştır. İklim, agregada üretim hızını belirlemede önemli bir rol oynamaktadır. Bu durum, agregada madenciliği sektöründe kesin bilgilerin kullanılabilirliği açısından verilerin kalitesini ve güvenilirliğini etkilemektedir.

Agregada ocakları üzerine yapılan YDD çalışmalarında, agregada üretiminin çevresel etkileri sistem sınırlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Etki değerlendirme metodolojisi ve kaya türlerindeki farklılıklara ek olarak, beşikten sahaya kadar uzanan sistem sınırı, bu çalışmaların iklim değişikliği sonuçlarına ulaşım mesafesi etkilerinin de dahil edildiği anlamına gelir. Kittipongvises (2017), Tayland'daki bir kireçtaşı agregada ocağında, iklim değişikliği potansiyelinin 2,76 kg CO₂-eşd/ton olduğunu ve kireçtaşı işleme tesisinde kırma ve eleme için kullanılan elektriğin, 1,41 kg CO₂-eşdeğer/ton kırma kireçtaşı agregası ile iklim değişikliği etkisine en fazla katkıda bulunduğunu göstermiştir. Farklı etki değerlendirme metodolojisi kullanmamıza rağmen, karbon ayak izi sonuçlarımız benzerdir ve bu çalışmada da karbondioksit (CO₂) emisyonlarının birincil kaynağı, kırma ve eleme işlemleri için kullanılan elektrik tüketimidir.

Çizelge 3. CML 2001 yöntemi ile 1 ton kumtaşı ve 1 ton kireçtaşı agrega üretimi etki kategorilerinin karşılaştırılması.

Table 3. Comparison of impact categories for the production of 1 ton of sandstone and 1 ton of limestone aggregate with the CML 2001 method.

Etki Kategorileri	Kuzey Cebeci (Kumtaşı)	Güney Cebeci (Kireçtaşı)	Birim
Küresel Isınma Potansiyeli	2,24	1,98	kg CO ₂ -eşd.
Asidifikasyon Potansiyeli	7,66E-03	6,68E-03	kg SO ₂ -eşd.
Ötrofikasyon Potansiyeli	5,30E-04	5,45E-04	kg PO ₄ -eşd.
Ozon Tabakası Tükenme Potansiyeli	9,89E-11	7,48E-10	kg R-11- eşd.
Abiyotik Element Tüketim Potansiyeli	5,37E-07	5,75E-07	kg Sb-eşd.
Abiyotik Fosil Tüketim Potansiyeli	37,7	41	MJ
Tatlı su Akuatik Ekotoksosite Potansiyeli	9,76E-03	1,17E-02	kg DCB-eşd.
İnsan Sağlığı Toksikite Potansiyeli	0,421	0,303	kg DCB-eşd.
Denizel Akuatik Ekotoksosite Potansiyeli	181	160	kg DCB eşd.
Karasal Ekotoksosite Potansiyeli	5,71E-03	6,22E-03	kg DCB eşd.
Fotokimyasal Ozon Oluşturma Potansiyeli	5,22E-04	4,95E-04	kg Ethene eşd.

Çizelge 4. EN 15804+A2 yöntemi ile 1 ton kumtaşı ve 1 ton kireçtaşı agrega üretimi etki kategorilerinin karşılaştırılması.

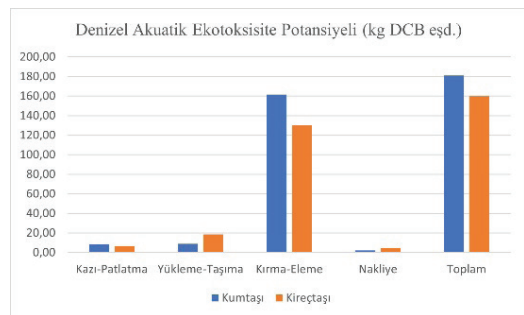
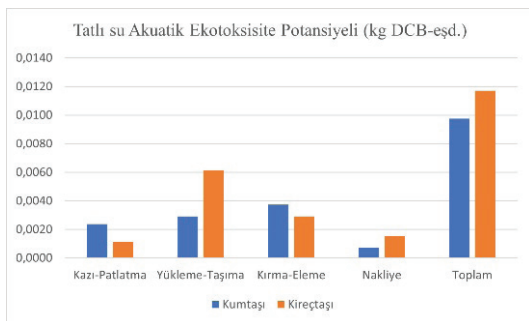
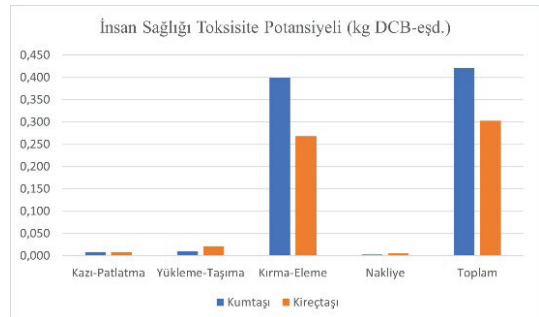
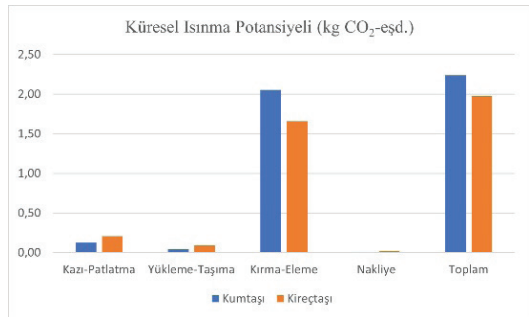
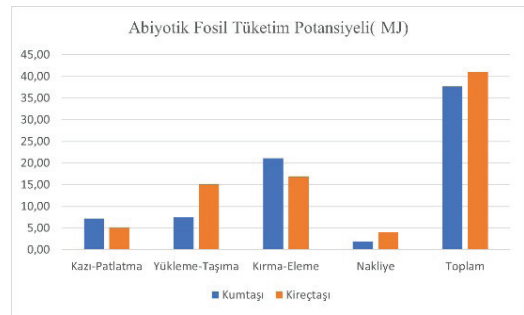
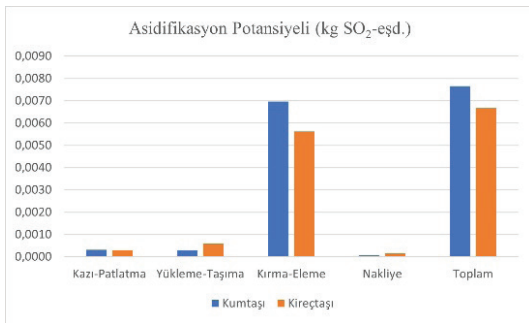
Table 4. Comparison of impact categories for the production of 1 ton of sandstone and 1 ton of limestone aggregate with the EN 15804+A2 method.

Etki Kategorileri	Kuzey Cebeci (Kumtaşı)	Güney Cebeci (Kireçtaşı)	Birim
İklim Değişikliği	2,3	2,05	kg CO ₂ eşd.
Asitleşme	8,89E-03	7,81E-03	mol H ⁺ eşd.
Tatlı sularda ötrofikasyon	4,80E-06	6,03E-06	kg P eşd.
Tuzlu sularda ötrofikasyon	1,24E-03	1,18E-03	kg P eşd.
Karasal ötrofikasyon	1,34E-02	1,26E-02	mol N eşd.
Ozon tüketimi	7,49E-11	5,66E-10	kg CFC 11 eşd.
Abiyotik kaynakların tüketimi – mineraller ve metaller	4,93E-07	4,55E-07	kg Sb eşd.
Abiyotik kaynakların tüketimi – fosil yakıtlar	38,4	41,6	MJ
Eko-toksitlik (tatlı su)	18,4	21,8	CTUe
İnsan zehirlenmesi, kansere yol açmayan etkiler	2,88E-08	3,07E-08	CTUh
İnsan zehirlenmesi, kansere yol açan etkiler	5,60E-10	6,01E-10	CTUh
Fotokimyasal Ozon Oluşumu	3,81E-03	3,56E-03	kg NMVOC eşd.

Çizelge 5. Önceki çalışmaların Küresel ısınma potansiyeli sonuçları.

Table 5. Global warming potential results from previous studies.

Literatür	Lokasyon	Kayaç türü	Küresel Isınma Potansiyeli	Etki değerlendirme yöntemi
Bendouma vd. (2020)	Cezayir	Kireçtaşı	4,66 to 42,55 kg CO ₂ -eq/ton	ReCiPe 2016 Endpoint (H) V1.01
Kittipongvises (2017)	Tayland	Kireçtaşı	2.76 Kg CO ₂ eşd./ton	IMPACT 2002+ and the Greenhouse Gas Protocol method
De Bortoli (2023)	Kanada	Kireçtaşı-Volkanik Kayaç	2.28 and 3.59 kg CO ₂ eşd./ton	TRACI
Bu çalışma	Türkiye	Kireçtaşı Kumtaşı	1,98 kg CO ₂ -eşd/ton 2,24kg CO ₂ -eşd/ton	CML 2001



Şekil 6. Agregada türüne göre etki kategorilerinin karşılaştırılması (CML 2001).

Figure 6. Comparison of impact categories by aggregate type (CML 2001).

SONUÇLAR

Bu çalışmada YDD yaklaşımı ile Kuzey Cebeci kumtaşı ve Güney Cebeci kireçtaşı agrega ocak üretimlerinin ‘beşikten kapıya yaklaşımı’ ile çevresel etkileri değerlendirilmiştir. İki farklı ocak için, CML 2001 ve EN 15804+ A2 etki yöntemleri ile farklı etki kategorilerine ait sonuçlar incelenmiştir. Kumtaşı agregasında kireçtaşı agrega üretimden farklı olarak yıkama aşamasının dahil olduğu kırma ve eleme süreci ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Kırma ve eleme aşamalarında kullanılan elektrik, her iki agrega türü için de önemli bir etken olsa da, kumtaşı üretiminde ek olarak yıkama sürecinin bulunması, elektrik tüketimini ve dolayısıyla küresel ısınma potansiyelini arttırmıştır. Elektrik üretiminde kullanılan fosil yakıtlar, özellikle kömür, petrol ve doğal gaz, sera gazı emisyonlarının başlıca kaynağıdır ve atmosfere salınan CO₂ ve diğer sera gazları, küresel ısınma ve iklim değişikliğine neden olmaktadır.

YDD yaklaşımı, çevresel etkilere sahip süreçleri belirlemeye yardımcı olan kapsamlı bir metodolojidir. Çalışmanın bulguları, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve elektrikli kamyonlarla taşımacılığın çevresel etkilerinin karşılaştırılması ile agrega üretimi maliyetlerinin analizine öncelik verileceğini göstermektedir. Bu yönüyle, gelecekteki araştırmalar daha sürdürülebilir ve maliyet etkin üretim yöntemlerine odaklanılacaktır.

Katkı Belirtme

Bu çalışma, Doç. Dr. Murat Yılmaz danışmanlığında, “Agrega Ocak Faaliyetinde Yaşam Döngü Değerlendirmesi” başlıklı Doktora Tezi olarak Nil Vural tarafından İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nde çalışılmaktadır. Ayrıca bu

çalışma, TÜBİTAK, Çevre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Grubu (ÇAYDAG) tarafından desteklenmiştir (Proje No: 123Y203).

KAYNAKLAR

- Awuah-Offei, K., & Adekpedjou, A. (2011). Application of life cycle assessment in the mining industry. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(1), 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.05.005>
- Başçetin, A., Adıgüzel, D., & Tuylu, S. (2017). The investigation of CO₂ emissions for different rock units in the production of aggregate. *Environmental Earth Sciences*, 76(279). <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6602-0>
- Bendouma, S., Serradj, T., & Vapur, H. (2020). A case study of the life cycle impact of limestone quarrying on the environment. *International Journal of Global Warming*, 22(4), 432–447. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2020.10033384>
- Blengini, G. A. (2009). Life cycle of buildings, demolition, and recycling potential: A case study in Turin, Italy. *Building and Environment*, 44(2), 319–330. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.03.007>
- De Bortoli, A. (2023). Understanding the environmental impacts of virgin aggregates: Critical literature review and primary comprehensive life cycle assessments. *Journal of Cleaner Production*, 415, 137629. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137629>
- Durucan, S., Korre, A., Muñoz-Meléndez, G., & Chane-Kon, L. (2003). Mining life cycle modeling for environmental control and waste minimization. *International Mining Congress and Exhibition of Turkey - IMCET 2003*.
- Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., & Guinée, J. B. (2009). Recent developments in life cycle assessment. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>
- GaBi Educational Software. (2012). *GaBi Educational User Manual*. Stuttgart, Germany: Thinkstep.

- Gonçalves, J. P., Tavares, L. M., & Toledo Filho, R. D. (2007). Comparison of natural and manufactured fine aggregates in cement mortars. *Cement and Concrete Research*, 37(6), 924–932. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.03.009>
- Gözübol, A. M., & Aysal, N. (2008). Cebeciköy kireçtaşı ocaklarında litolojik ve yapısal kökenli işletme sınırları. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 21(1), 25–35.
- ISO. (2006a). ISO 14040:2006: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
- ISO. (2006b). ISO 14044:2006: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
- Jullien, A., Proust, C., Martaud, T., Rayssac, E., & Ropert, C. (2012). Variability in the environmental impacts of aggregate production. *Resources, Conservation and Recycling*, 62, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.02.002>
- Kaya, O. (1971). İstanbul'un Karbonifer stratigrafisi. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, XIV(2), 143–199.
- Kittipongvises, S. (2017). Assessment of environmental impacts of limestone quarrying operations in Thailand. *Environmental and Climate Technologies*, 20(1), 67–83. <https://doi.org/10.1515/rtuect-2017-0011>
- Korre, A., & Durucan, S. (2009). EVA025 – Final Report: Aggregates industry life cycle assessment model: Modelling tools and case studies. American Ceramic Society. Retrieved from <https://coilink.org/20.500.12592/bkn0b6> on September 11, 2024. COI: 20.500.12592/bkn0b6
- Öztaş Karaman, S. (2014). Türkiye yapı malzemesi sektörü için yaşam döngüsü etki değerlendirmesine yönelik bir model önerisi (Unpublished doctoral dissertation). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Petavratzi, E., Kingman, S. W., & Lowndes, I. (2005). Particulates from mining operations: A review of sources, effects, and regulations. *Minerals Engineering*, 18(12), 1183–1199. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2005.06.017>
- Taşkın, E. (2018). Linyit yakıtlı pilot termik santral için baca gazı emisyon azaltma seçeneklerinin yaşam döngüsü değerlendirmesi (Unpublished master's thesis). Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Tuğrul, A., Aysal, N., Yılmaz, M., Çinku, K., Hoşgörmez, H., Gözübol, A. M., Özer, Ü., Öztoprak, S., Onat, B., Karadoğan, A., Küçükdeniz, T., & Şahin, Ü. A. (2018). Cebeci Maden Bölgesi Proje Raporu. Ankara, Turkey: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
- Wilburn, D. R., & Goonan, T. G. (1998). Aggregates from natural and recycled sources: Economic assessments for construction applications: A materials flow study. U.S. Geological Survey Circular, 1176, 1–31. <https://doi.org/10.3133/cir1176>
- Yıldız, T. D. (2021). Possible effects of mining zone regulation on mining companies in Turkey and evaluation of mining companies. *Resources Policy*, 77, 102011. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102011>