

Beton İçin Çevresel Maliyet Göstergesi*

Leo J.G. Dekker**

Çeviren: İnş.Yük.Müh. Yasin Engin

Özet

Hollanda'da inşaat işlerinin çevresel etkileri üzerine yoğun bir tartışma mevcuttur. Bu tartışmanın ana odağında CO₂ miktarının azaltılması ve yeniden kullanımı bulunmaktadır. Hollanda İmar Kanunu, net kullanım alanı 100 m² ve daha fazla olan yapıların imar izni için çevresel performansın (CO₂ ayak izi ve hammadde tüketimi) belgelendirilmesini şart koşmaktadır. Beton, inşaat süreçlerinde önemli bir rol oynamaktadır ve bu nedenle betonun beşikten mezara (cradle to grave) kadar tüm çevresel etkilerini hesaplayabilecek bir araca gerek duyulmaktadır. 2014 yılında böyle bir hesaplama aracı hizmete sunuldu (SBRCUR aracı). Bu araç çeşitli kaynaklardan ve özellikle Hollanda Ulusal Çevresel Yaşam Döngüsü Analizi veri tabanından sağlanan doğrulanmış veriler ile içinde küresel ısınma ve CO₂ gibi parametrelerin yer aldığı 11 adet çevresel YDA (yaşam döngüsü analizi) yaklaşımını hesaplamaktadır. Bir diğer hesaplanan önemli parametre ise çevresel maliyet göstergesidir (ECI). Çevresel maliyet göstergesi (ECI = €/m³ veya €/proje) mevcut bilgi ve varsayımları kullanarak tüm çevresel etkilerin telafi edileceği teorik kurgusal maliyeti belirtmektedir. Bu yazıda SBRCUR hesaplama aracı kullanılarak betonarme sistemli iki farklı yapı tipi için hesaplanarak inşaat edilen konutların çevresel etki farkları gösterilecektir. Hesaplamalar, iki konsept arasında karbon ayak izi ve ECI parametrelerinde önemli farklılıklar olduğunu göstermektedir.

1. Giriş

Beton karışımları, genellikle bilinen ve tecrübe edilmiş hesaplamalar üzerine tasarlanmaktadır. Genellikle çok iyi bilinen Abrams formülü bu amaç için kullanılmaktadır. Bu formülde betonun basınç dayanımı; su-çimento oranına, çimentonun standart basınç dayanımına ve bazı sabitlere bağlı bir fonk-

siyondur. Sonuç olarak basınç dayanım sınıfı, çevresel etki sınıfı ve kıvam sınıfı gibi belli performansa sahip karışım tasarım hesaplamalarına dayanan bir bileşim olarak ortaya çıkmaktadır. Hollanda'da, bu performans standartlarının yanı sıra betonun çevresel etkileri üzerine giderek artan bir ilgi mevcuttur. Çevresel etki olarak en önemli parametre eşdeğer karbon ayak izidir. Sera gazlarından biri olan CO₂ (karbondioksit) insan kaynaklı aktivitelerden oluşan ve küresel ısınmada son derece etkili olan bir parametredir. Hazır beton üretimi ve kullanımının bu parametre üzerinde önemli etkisi vardır. Hazır beton üretimindeki temel hammaddelerden birisi olan çimento küresel ölçekte insan

kaynaklı (antropojenik) CO₂ emisyonunun yaklaşık %5'inden sorumludur[1, 2]. Hollanda'da bu etki klinker oranı daha düşük olan çimentoların (CEM II, CEM III, CEM V) kullanımı ve fosil yakıtlar yerine alternatif yakıt kullanımının daha çok tercih edilmesi nedeniyle önemli ölçüde daha düşüktür. Hollanda'da çimentonun sera gazı oluşumuna etkisi yaklaşık %1 seviyesindedir. Hollanda'da çimento üreticilerinin ortalama eşdeğer CO₂ emisyonu 450 kg CO₂/ton'dur. Dünya ortalamasının çok altında olan bu performans şüphesiz bu alanda Hollanda'yı rakipsiz bir konuma taşımaktadır.

Environmental Costs Indicator For Concrete

In The Netherlands there is an intense discussion on the environmental impact of the built environment. The main focus of this discussion is aimed towards CO₂ reduction and re-use. The Dutch Building Act requires documents on the environmental performance (CO₂ footprint and depletion of raw materials) to get a building permit for all buildings with a net available surface of 100 m² or more. Concrete clearly plays an important role in construction and therefore it is important to have a calculation tool to calculate the full environmental effects from cradle-to-grave. In 2014 such a tool became available (the so-called SBRCUR tool).

* Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen 17. ERMCO Kongresi'nde sunulmuştur.

(**) MSC, Mebin B.V. - HeidelbergCement Group, The Netherlands

Gerçi sadece CO₂ bazlı bir yaklaşım ile konuyu ele almak yeterli olmamaktadır. Beton üretimi ve uygulamasının farklı çevresel yönleri de bulunmaktadır. Bu durum sadece beton için değil, tüm yapı malzemeleri için geçerlidir. Bu konuda referans alınacak ana kaynak EN 15804: "Yapıların sürdürülebilirliği - Mamullere ilişkin çevresel beyanlar - Yapı mamullerinin mamul kategorisi için ana kurallar" standardıdır. EN 15804 Standardı, bir proses ya da ürün biriminin (m³, ton) yaşam döngüsü analizi (YDA) metodu ile tüm çevresel etkilerinin tanımlanmasına dayanmaktadır.

Bu standart 24 çevresel bakış açısı ortaya koymaktadır. Ulusal Hollanda Standardı (NEN-EN 15804:2012) bunlardan "sadece" 11 adedini kullanmaktadır. Her bir birimin yaşam döngüsü analizi EPD yani çevresel ürün beyanı ile gösterilmektedir. Hollanda'da EPD, Tablo 1'de gösterilen 11 adet çevresel bakış açısına dayanmaktadır.

Tablo 1: Hollanda'da kullanılan 11 adet çevresel bakış açısı

Çevresel etki	Eşdeğer (eq) birim	Kurgusal fiyat (€/kg eq. birim)
Abiyotik tükenme, mineraller	Sb eq	0.16
Abiyotik tükenme, hammaddeler	Sb eq	0.16
Sera etkisi (CO ₂)	CO ₂ eq	0.05
Stratosferik ozon deliği	CFK-11 eq	30
Asitleştirme	SO ₂ eq	4
Ötrofikasyon	PO ₄ eq	9
İnsan toksisitesi	1,4-DCB eq	0.09
Çevre toksisitesi, su	1,4-DCB eq	0.03
Çevre toksisitesi, deniz suyu	1,4-DCB eq	0.0001
Çevre toksisitesi, karasal	1,4-DCB eq	0.06

Tablo 1'de belirtilen çevresel parametreler oldukça karmaşık ve sadece alanında uzman kişiler tarafından açıkça anlaşılabilir. Bu verilerin hesaplama yöntemleri de oldukça karmaşıktır. Ayrıca, güvenilir hesaplama yapabilmek için yeterli ve güvenilir verilere ulaşmak oldukça güçtür.

2. YDA (Yaşam Döngüsü Analizi) Aracı

Son zamanlarda Hollanda'da bu konuda bir çözüm ortaya çıktı. SBRCURnet tarafından görevlendirilen SGS Intron BV "yeşil beton" için Excel tabanlı bir hesaplama aracı tasarladı ve geliştirdi.

Bu hesaplama aracı ile beton karışımlarının çevresel etkisini basit bir şekilde hesaplamak mümkün olmaktadır. Bu hesaplama aracı aşağıdaki hususları dikkate almaktadır:

- Hammadde miktarı
- Hammaddenin üretim tesisine nakliyesi
- Üretim prosesi
- Ürünün şantiye sahasına nakliyesi
- İnşaat aşaması
- Yıkım aşaması

Hesaplama aracıda kullanılan referans veriler Hollanda Çimento ve Beton Merkezi, Hollanda Ulusal Çevre Veri Tabanı, Uluslararası Ecoinvent Veri Tabanı ve doğrulanmış EPD sertifikalarından alınmaktadır. Hesaplama aracı sonuç olarak her bir ürün için 11 adet çevresel parametreyi hesaplamaktadır.

Benzer birkaç hesaplama aracı karşılaştırıldığında SGS Intron BV tarafından tasarlanan ve geliştirilen aracın farklı olarak yeni bir gösterge olan çevresel maliyet göstergesini (ECI) içerdiği görülmektedir. Çevresel maliyet göstergesi (ECI), CO₂ dâhil olmak üzere yukarıda bahsedilen tüm çevresel parametrelerin etkisini maliyetlendirmektedir. Her çevresel etki Euro para birimi bazında kurgusal bir maliyet ile hesaplanabilmektedir. Bir ürünün tüm çevresel etkilerinin maliyeti ayrı ayrı hesaplandığında ortaya çıkan toplam mali gösterge, o ürünün tüm çevresel etkisini telafi etmek için gerekli olan maliyeti belirtmektedir.

2.1 Örnek: Harici ısıtmalı ve ısıtmasız betonarme bina (konut) sistemleri

Hesaplama aracının olanaklarını göstermek için beton uygulamasında harici ısıtma kullanılan ve kullanılmayan 2 farklı bina inşaatı örnek alınmıştır. Teknik olarak bir gün döngüsü içinde kalıplarının kurulumu, donatıların ve elektrik tesisatının yerleştirilmesi, beton dökümü ve kalıplarının sökülmesi tasarlanmıştır. Bu tasarım içinde beton basınç dayanımının 16 saat sonra en az 14 MPa değerinde olması kabul edilmiştir. Bunu sağlamak için de harici ısıtma sistemi kullanılarak (sıcak teknik) CEM III/B çimentosu içeren beton ya da harici ısıtma kullanılmadan (soğuk teknik) CEM I çimentosu içeren beton kullanılması gerektiğine karar verilmiştir.



Figür 1: Harici ısıtma kullanılan yapı (Kaynak: VOBn)

Sıcak ve soğuk tekniğine dayanan örnekte 24 saatlik ortalama hava sıcaklığı 9°C'dir. Tablo 2'de YDA (İngilizcesi LCA) aracı ile hesaplamada kullanılan beton karışımlarının içeriği gösterilmektedir.

Tablo 2: Karışım içeriği (kg/m³)

	Sıcak teknik	Soğuk teknik
CEM III	250	
CEM I	75	380
Kum (dere)	802	750
İri agrega (dere)	1053	1033
Su	164	178
Süper akışkanlaştırıcı	0,52	1,52

Hesaplama aracı üretimdeki ve şantiye sahasındaki uygulamaya yönelik koşullarla ilgili verilere de ihtiyaç duymaktadır. Bu koşullar elbette sınırsız bir değişkenlikte olabilir ama bu örnek için aşağıdaki parametreler kullanılmıştır:

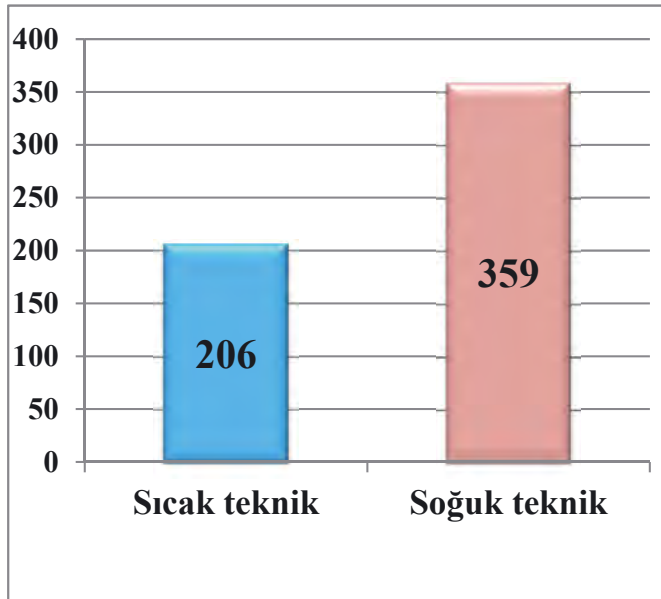
- Hammaddelerin kaynaklarından üretim tesisine nakliyesinde ulusal veri tabanında yer alan ortalama değerler kullanılmıştır.
- Ortalama kapasitede bir transmikser ile nakliye mesafesi (tek sefer) 20 km'dir.

- Hazır beton tesisinde gaz tüketimi 0.25 m³ / m³'tür.
- Hazır beton tesisinde elektrik tüketimi (yeşil enerji) 3.9kWh/ m³'tür.
- Dizel tüketimi (iç nakliye-bobcat) 0,2 m³ / m³'tür.
- Harici ısıtma için propan gazı kullanılmıştır.

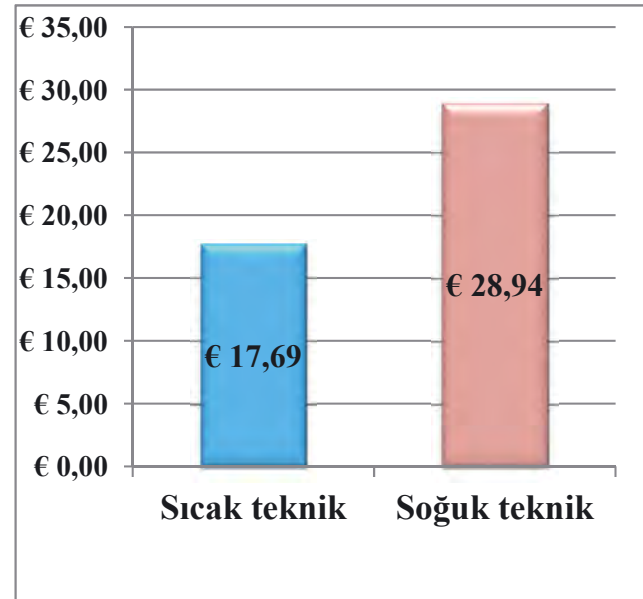
YDA hesaplamasının sonuçları Tablo 3, Figür 2 ve 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3: Beton karışımları için CO₂ (kg/ m³) ve ECI (€/m³)

	Sıcak teknik	Soğuk teknik
Hammadde	139	315
Hammadde (ulaşım)	26,5	30,2
Hazır beton üretimi	3,4	3,4
Hazır beton nakliyesi	4,5	4,5
Bina inşaatı (propan gazı)	27,1	0,0
Yıkım fazı	5,5	5,5
Toplam CO ₂	206	359
ECI	€ 17,69	€ 28,94



Figür 2: CO₂ (kg/m³)



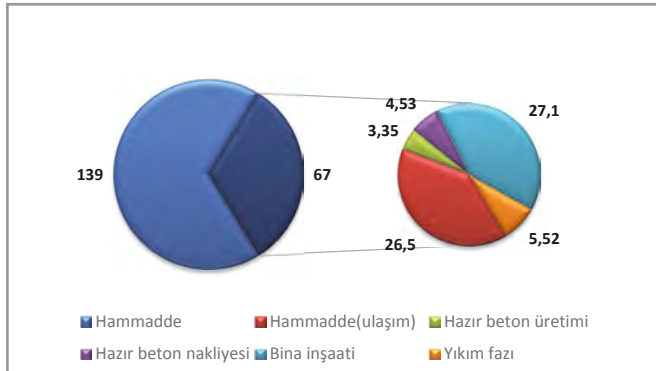
Figür 3: ECI (€/m³)

3. Tartışma

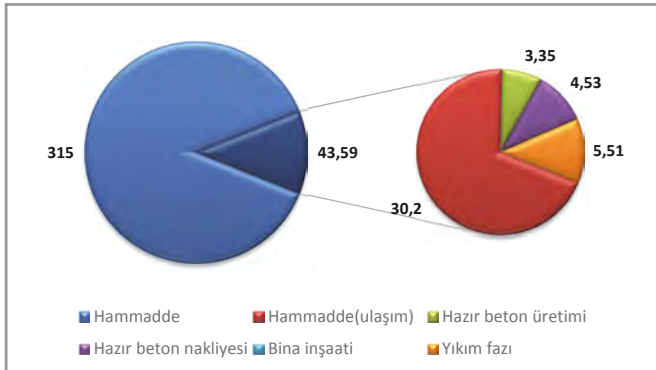
3.1 Hammadde etkisi

Fark oldukça açıktır. Sıcak teknik yani harici ısıtma sistemi kullanılan katkılı çimentolu beton hem CO₂ ayak izi hem de çevresel maliyet göstergesi (ECI) açısından çok daha iyi sonuç ortaya koymaktadır. Burada sıcak tekniğin çevresel açıdan çok daha olumlu bir yöntem olduğu görülmektedir. Bu sonuca neden olan ana etken ağırlıklı olarak düşük klinker içeren çimentonun kullanılmış olmasıdır. Bu örnekte katkılı çimento olarak CEM III/B (yüksek fırın cürufu çimento) tercih edilmiştir. Ayrıca, açığa çıkan sonuç katkılı çimento kullanım oranının (%100) artışına paralel olarak iyileştirilmeye müsaittir. Bu durum da ortalama günlük hava sıcaklığının 12°C'den yüksek olması ile mümkün olabilmektedir. Öte yandan YDA (LCA) hesaplama aracı Hollanda'da üretilen CEM III çimentosuna ait ortalama değerleri kullanmaktadır. %70 yüksek fırın cürufu içeren CEM III/B çimentosunun gerçek çevresel değerleri ile hesaplama yapıldığında daha gerçekçi ve olumlu bir tablo ortaya çıkacaktır.

Tüm proseslerin CO₂ ayak izi oluşumuna ve çevresel maliyete etkisi Figür 4 ve 5'te gösterilmiştir. Figürlerde görüleceği gibi CO₂ ayak izi oluşumunda etkili iki ana bileşen daha mevcuttur. Bunlar hammadde nakliyesi ve sıcak teknikte betonun harici olarak ısıtılmasıdır.



Figür 4: Sıcak tekniğin katkıları (kg CO₂/m³)



Figür 5: Soğuk tekniğin katkıları (kg CO₂/m³)

3.2 Isıtma etkisi (sıcak teknik)

Kalıptaki betonu ısıtmadan kaynaklı açığa çıkan CO₂ emisyonu propan gazının tüketim miktarına bağlıdır. Ortam (hava) sıcaklığına bağlı olarak emisyon değeri değişebilmektedir. Kalıp içindeki betonu ısıtmanın nedeni beton basınç dayanımının 16 saat içinde 14 MPa değerine ulaşması ve sonrasında kalıpların sökülmesidir. Bu sürenin uzatılması aslında CO₂ emisyonunun daha az olmasına neden olmaktadır ancak kısıtlı bir planlamaya sahip inşaat projelerinde süreyi esnetmek gibi bir durum söz konusu olmamaktadır. Elbette hafta sonu için bu durum farklıdır. 14 MPa değerine ulaşmak için daha fazla zaman söz konusudur ve bu nedenle ısıtma koşullarını ve beton karışımını bu sürece adapte etmek gerekebilir. Dayanım kazanım hızı daha yavaş beton kullanımı mümkün olmaktadır. En sürdürülebilir betonun cuma günleri döküldüğü söylenebilir.

3.3 Nakliye etkisi

Hammaddelerin nakliyesi kaynaklı çevresel etkinin CO₂ emisyonu oluşumunda etkin üçüncü parametre olduğu görülmektedir. Hollanda'da nakliye ağırlıklı olarak deniz yolu ile yapılmaktadır. Daha önce bahsedildiği gibi hesaplama varsayılan veriler ile yapılmaktadır. Nakliye mesafeleri SKB ulusal veri tabanından alınmaktadır ayrıca Hollanda pazarındaki ortalamalar kullanılmaktadır. Bir beton tesisinin çimento fabrikasına ya da agrega sağlayan bir kaynağa yakın bir lokasyonda bulunması nakliye kaynaklı çevresel etkinin düşük olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle yerel ve yakın kaynaklardan malzeme kullanmak oldukça önemlidir.

4. Sonuç

Beton üreticileri gün geçtikçe BREEAM ya da LEED gibi yeşil bina sertifika sistemlerine yönelik betonun çevresel etkileri için sorumlu tutulacaktır. YDA hesaplama aracı ile her bir beton karışımının karmaşık olarak görülen çevresel etkisi kolayca hesaplanabilmektedir. Bu yazıda örnek olarak verilen iki farklı teknik ile uygulanan betonun oldukça farklı çıkan çevresel performansı bu hesaplama aracının etkinliğini göstermektedir. Ortaya çıkan sonuç hem beton karışımı hem de uygulama/yapım tekniklerine yönelik cevap bekleyen soruları önümüze getirmektedir. Geri dönüşümlü betonun etkisi nedir? Uçucu kül içeren betonun çevresel etkisi nedir? Prefabrik betona kıyasla hazır betonun etkisi nedir?

Kaynaklar

- [1] Duurzaam beton - Trending topics, Betonplatform, 1994, ISBN 978-90-71806-00-1
- [2] Cement, beton en CO₂, feiten en trends - Cement&Beton Centrum