

BETONARME YAPIM SİSTEMLERİNİN EKOLOJİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

TÜLAY ESİN¹, NİLAY COŞGUN²

ÖZET

Yapı üretiminin her bir aşamasında oluşan çevresel etki yapının toplam çevresel etkisini belirlemektedir. Bu nedenle yapıların çevreye duyarlı, ekolojik/ sürdürülebilir özelliğe sahip olabilmesi için her aşamanın ekolojik özellikler taşıması önemlidir. Betonarme yaşam döngüsünün bütün aşamaları ile bu malzemenin bileşenleri olan çimento ve çelik ile ilgili önemli çevresel kaygılar bulunmaktadır.

Bu çalışmada, betonarme yapım sistemlerinin üretim süreçlerinin çevresel etkileri analiz edilerek ekolojik açıdan değerlendirilmektedir. Çalışmanın yapım sistemlerinin ekolojik yönden daha uygun hale getirilmesine ışık tutacağı düşünülmektedir.

Betonarme yapım sistemleri, kullanılan malzemeler ortak (beton+çelik) olmasına rağmen; seçilen kalıp sistemleri, kullanılan ekipmanlar, malzeme miktarı, uygulama, betonun üretim şekli, eleman üretim yerleri gibi birçok farklılıklar içermektedir. Yapım sistemleri arasındaki bu uygulama farklılıkları çevresel etkilerin değişik değerler ve biçimlerde oluşmasına neden olmaktadır. Tasarımlarda, yapım sistemleri belirlenirken hız, maliyet

¹ Doç. Dr., GYTE, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Çayırova - Gebze - Kocaeli
tesin@gyte.edu.tr, 0262 653 84 97

² Yrd. Doç. Dr., GYTE, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü Çayırova - Gebze - Kocaeli
nilaycosgun@gyte.edu.tr, 0262 653 84 97

ve kalite ile birlikte çevre dostu olma özelliğinin de aranması ekonomik ve önemli çevresel yararlar sağlayacaktır.

1. GİRİŞ

Yapı üretim faaliyetleri, doğal kaynak tüketerek ve atık üreterek çevresel dengeleri olumsuz yönde etkilemektedir. Üretimin çeşitli aşamalarında oluşan çevresel etkiler, yapının toplam çevresel etkisini belirlemektedir. Yapı yaşam döngüsü içinde yapı üretim süreci diğer süreçlere göre daha kısa olmasına rağmen, bu süreçteki olumsuzluklar yapıların toplam çevresel etkisini önemli ölçüde arttırmaktadır. Yapıların çevreye duyarlı, ekolojik/sürdürülebilir özelliğe sahip olabilmesi için üretimin her aşamasının ekolojik özellikler taşıması önemlidir.

“Çevre dostu üretim teknolojilerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasının özendirilmesi” maddesinin yer aldığı, 1999 Davos Zirvesi Birleşmiş Milletler Küresel İlkeler Sözleşmesi’ne (Global Compact Program) 20 ülkeyle birlikte Türkiye de katılmıştır. Türkiye Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı’nda da [1], “sürdürülebilir kalkınma hedefleri çerçevesinde, temiz üretim koşullarının mutlaka karşılanması gerekliliği” belirtilmiştir. Ancak, 2003 yılı İlerleme Raporu’nda çevresel korumanın diğer politikalara entegrasyonu alanında ilerleme kaydedilmediği açıklanmaktadır [2]. Bu bağlamda, her sektörde olduğu gibi yapı sektöründe de çevre dostu üretim teknolojilerinin tercih edilmesi günümüzde beklenen ekolojik bir yaklaşım olmaktadır. Yapı üretiminde doğal kaynakları etkin kullanan ve çevreyi daha az kirleten teknolojilere yönelişin, bir çok çevresel ve ekonomik yararlar sağlayacağı açıktır.

Türkiye’de Devlet İstatistik Enstitüsü son beş yıllık veri ortalamasına göre, ülkemizde ruhsatı alınmış yapıların yaklaşık %90’ında betonarme yapıım sistemleri uygulanmaktadır [3]. Ancak, betonarme yapıların yaşam döngüsünün bazı aşamaları ile betonarmenin ana malzemelerinden çimento ve çelik ile ilgili çevresel kaygılar bulunmaktadır.

Betonarme yapıım sistemleri şimdiye kadar kalite, maliyet, yapıım süresi, deprem güvenliği gibi çeşitli açılardan araştırmalara konu olmuştur. Bu çalışmada ise, betonarme yapıım sistemlerinin üretim süreçleri çevresel etkiler açısından irdelenerek, ekolojik bir değerlendirilme yapılacaktır. Bu değerlendirmede, yapının taşıyıcı sisteminin oluşturulması sürecinde betonarme yapıım sistemlerinin (geleneksel iskelet sistem, tünel kalıp yapıım sistemi, prefabrike yapıım sistemleri) hammadde, enerji ve su tüketimi, emisyon ve katı atık üretimi, gürültü oluşumu ve habitata etkisi gibi ekolojik

kriterler açısından olumlu ve olumsuz yönlerinin ortaya konması amaçlanmıştır. Çalışmanın, olumsuzlukların azaltılmasına/giderilmesine yönelik yapılacak çalışmalara temel oluşturacağı düşünülmektedir.

2. BETONARME YAPIM SİSTEMLERİNİN ÜRETİM SÜREÇLERİNİN ÇEVRESEL ETKİ ANALİZİ

Betonarme yapım sistemlerinin hepsinde aynı malzeme kullanılmasına rağmen; yapı elemanları üretim yöntemi ve yerleri, üretimde kullanılan ekipmanlar, kalıp sistemleri, beton üretim şekli ve miktarı gibi bir çok açıdan farklılıkları bulunmaktadır. Bunlar, çevresel etkilerin değişik seviyeler ve biçimlerde oluşmasına neden olmaktadır. Yapı üretim sürecinde çevresel değerler üzerinde oluşan olumsuzlukları en aza indirecek çözümler için öncelikle bunların nedenlerinin anlaşılması gerekmektedir.

Bu bölümde, betonarme yapım sistemlerinin üretim sürecini oluşturan aşamalar ve kullanılan malzemeler ekolojik açıdan analiz edilecektir. Sistemlerin ekolojik analizi ve değerlendirilmesi, malzemelerin doğadan elde edilmesiyle başlayıp taşıyıcı sistemin tamamlanmasını kapsayan süreci kapsayacaktır. Analiz çalışmasında, tahmini kıyaslama yapılarak bir derecelendirme (0: etkisiz, 1: düşük, 2: orta, 3: yüksek, 4: çok yüksek) yöntemi kullanılacak tablo halinde sunulacaktır. Yapım sistemlerinin toplam çevresel etki düzeyleri değerlendirilmeye çalışılacaktır. Alt yapı işlemleri ve taşıyıcı sistemin tamamlanmasından sonraki yapım işlemleri değişken olabileceğinden çalışma dışı bırakılmıştır. Çalışma kapsamında;

- Geleneksel İskelet Yapım Sistemi
- Tünel Kalıp Yapım Sistemi
- Prefabrike Yapım Sistemleri (iskelet sistem, panel sistem) ele alınmıştır.

2.1. Malzeme Analizi

Beton hazırlanma ve şekil verilebilme kolaylığı, mukavemet yüksekliği, yapım süresi kısalığı, dış etkilere karşı dayanıklılık vb. özellikleriyle günümüzde en yaygın şekilde kullanılan yapı malzemesidir. Bunların içinden dayanıklılık, betona ekolojik açıdan önemli bir özellik katmaktadır.

Yapılarda kullanılan malzemelerin ekolojik özellikleri kullandıkları yapılara da yansımaktadır. Çalışma konusu olan yapım sistemlerinde aynı malzeme kullanıldığı için, malzeme nedeniyle oluşan çevresel etki hepsinde aynı olmakta, ancak kullanılan malzeme miktarı etki seviyesini

değiştirmektedir. Ayrıca, betonun geleneksel yöntemle veya hazır beton tesislerinde üretilmelerine bağlı olarak da çevresel etki değişmektedir.

Sistemlerde kullanılan betonarme, yaşam döngüsü boyunca doğal hammadde ve enerji tüketimi ile katı atık ve zararlı emisyon üretimi nedeniyle çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkide bulunmaktadır. Beton bileşimini yaklaşık %34 oranında ince agrega, %48 oranında iri agrega, %12 oranında çimento ve %6-12 oranında su oluşturmaktadır. Worldwatch Enstitüsü verilerine göre [4], yapılaşma faaliyetleri her yıl küresel olarak kullanılan taş, çakıl ve kumun % 40'ını tüketmektedir.

Bunların doğadaki kaynaklarından çıkarılışları sırasında, kullanılan yöntemle ilgili olarak, bitki ve hayvan yaşam alanlarının yok olması, topoğrafik değişiklik, erozyon, toz emisyonları, gürültü, görüntü kirliliği, su tüketimi ve kirliliği gibi olumsuzluklar meydana gelmektedir [5]. Taş ocaklarında uygun olmayan yöntemlerle yapılan üretimde 20 m'den 200 m'ye kadar varabilen yükseklikte yataklar oluşmakta ve doğal yapının bozulması yanında iş güvenliği açısından da sakıncalı durumlar ortaya çıkmaktadır [6]. Agreganın kayalarından elde edilmesi durumunda ise, kırma işlemi için enerji tüketilmektedir. Ayrıca, bazı kayaların radon gazı içerme tehlikesi olduğundan, bu tür agregaların kullanıldığı betonun insan sağlığına etkileri ile ilgili endişeler bulunmaktadır [7]. Agregada ve kum akarsu yataklarından elde edilirlerken akarsu tabanında sınırlar değişmekte ve yine yaşam alanları olumsuz etkilenmektedir.

Hammaddelerin elde edilmesi sırasında kullanılan ekipmanların tükettikleri enerji ile uzaklığa bağlı olarak değişen taşıma enerjisi, beton üretiminin enerji etkinliğine yansımaktadır. Fakat betonun enerji etkinliğini olumsuz yönde etkileyen en önemli faktör, çimentonun üretim sürecinin enerji yoğun olmasıdır. Yapılmış bir çalışmaya göre, beton üretimi için tüketilen toplam enerjinin %94'ünün çimento üretiminden kaynaklanmaktadır. Bunu %5.9'luk oranla kırma taş takip etmektedir [8]. Ülkemizde 35.000.000 ton/yıl üretim miktarıyla çimento sektörü önemli miktarda enerji (110 Kws/ton enerji, 100kg/ton fuel-oil, 185 kg/ton kömür) tüketmektedir [9].

Betonarme yapılarda, donatı ve kalıp malzemesi olarak kullanılan çeliğin de enerji yoğun bir malzeme olması ekolojik yönden olumsuz olarak değerlendirilmektedir.

Metaller, yapı malzemeleri arasında, hammaddelerinin çıkarılışı, üretimi ve taşınmalarıyla ilgili olarak tükettikleri enerji (embodied energy) açısından en yüksek çevresel etkiye sahiptir [10]. Bir kg betonun üretimi için yaklaşık 1 MJ enerji tüketilirken, bir kg çeliğin üretimi için ise yaklaşık 25 MJ enerji

tüketildiği belirtilmektedir [11]. Çeliğin yaşam döngüsünün ilk aşaması olan madencilik aktiviteleri sırasında oluşan toprak ve habitat kaybı ile üretiminden kaynaklanan hava ve su kalitesi bozulması gibi olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır [12]. Donatı ve kalıp malzemesi olarak kullanıldığında çelikle ilgili bu özellikler betonarmeye de yansımaktadır.

Yukarıda açıklanan nedenlerle tüketilen ve genellikle fosil kaynaklı olan enerji kullanımı nedeniyle sera gazı denilen zararlı emisyonlar oluşmaktadır. Çimento üretiminde enerji gereksinimi için fosil kaynaklar yanında doğal gaz, kullanılmış makine yağları ve araba lastikleri gibi atıkların kullanılması, bunların azalmasına katkıda bulunsa bile, yanmadan dolayı yine zararlı emisyonlar ortaya çıkmaktadır. Çimento üretimi sırasında, sera gazları yanında ağır metaller, hidrokarbonlar ve karbonmonoksit gibi atmosferi kirlletici diğer kimyasallar da yayılmaktadır [5].

Geleneksel betonarme yapım sistemlerinde kalıp malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılan ahşap, yenilenebilir bir kaynağa sahip olmasına rağmen, bir ağacın büyümesi uzun zaman almaktadır. Dolayısıyla bu malzemenin elde edilmesinde özenli bir üretim planlaması yapılmadığı takdirde, bir çok ekolojik ve fiziksel işleve sahip ormanlar ve buradaki yaşam alanları olumsuz olarak etkilenmektedir.

Beton üretim aşamasındaki çevresel kaygılar ise beton üretim yöntemine göre değişmektedir. Dünyada ve ülkemizde gittikçe yaygınlaşan hazır beton üretimi, bir çok yönden geleneksel yöntemle üretilen betona göre üstünlükleri olmakla birlikte, gerekli önlemler alınmadığında çevresel açıdan olumsuz durumlar yaratabilmektedir. Hazır beton üretim aşamalarında en büyük çevresel kaygı su tüketimi ve su kirliliğidir. Tranmiksellerin ve tesis alanının yıkanması ile oluşan atık suların denetimi kirliliğin azaltılması açısından önemlidir [13]. Yıkama alanlarında her gün bir aracın yıkanması için yaklaşık 2.273.000 lt su tüketilmekte ve yıkama suyunun alkanite seviyesi pH 12 den daha yüksek olabilmektedir [8]. Toz emisyonları, katı atık oluşumu ve enerji gereksinimi de hazır beton üretiminde çevresel sorun olarak görülmektedir.

2.2. Geleneksel İskelet Yapım Sistemi

Geleneksel yapım sisteminin en belirgin özelliği, üretimin tümünün inşaat alanında ve yoğun insan gücüyle gerçekleşmesidir. Teknolojik gelişmelere rağmen ülkemizde yaygın olarak uygulanan yapım sistemidir. Çalışmada, geleneksel iskelet yapım sisteminin üretim sürecinde ahşap kalıp kullanıldığı, beton ve donatının da şantiyede hazırlandığı kabul edilmiştir.

Geleneksel yapım sisteminde taşıyıcının oluşturulma süreci; hammaddenin çıkarılması (Gİ1), malzemenin üretimi (Gİ2) (çimento,

agrega, donatı, kalıp), malzemenin yapı alanına taşınması (Gİ3), ahşap kalıpların ve donatının hazırlanması (Gİ4), beton üretimi (Gİ5), beton dökümü (Gİ6), bakım ve kürleme (Gİ7), kalıpların sökülmesi (Gİ8) aşamalarını içermektedir.

Geleneksel sistemde hammadde tüketimi, beton üretimi aşamasında olmaktadır. Kalıplık kereste ve iskele ihtiyacı, 100 m²'lik bir yapıda yaklaşık olarak 30 m³ civarındadır. Bu keresteler kalıp malzemesi olarak en fazla 10 defa kullanılabilir [14]. Bu durum kaynak korunumu açısından olumsuzluk yaratmaktadır.

Enerji tüketimi açısından analiz edildiğinde, geleneksel sistemin beton üretimi ve beton dökümü aşamalarında kullanılan ekipmanların (betonyer, dam vinci) özelliği nedeniyle enerji tüketimi düşük düzeydedir.

Bu sistemde su tüketimi ise, beton üretimi ile bakım ve kürleme aşamalarında olmaktadır. Kürleme aşamasında, özellikle yaz aylarında, su tüketimi artmaktadır.

Geleneksel yapım sisteminde, katı atık oluşumu beton üretimi ile kalıp ve donatının hazırlanması aşamalarında yüksek düzeydedir. Beton üretimi şantiyede geleneksel yöntemle gerçekleştirilirken, malzeme miktarının tam olarak ayarlanamaması durumunda atık oluşabilmektedir. Beton dökümü aşamasında çevreye beton sıçraması nedeniyle de düşük düzeyde katı atık oluşabilmektedir. Kalıpların sökülmesi sırasında ahşap parçacıkları ve sökülen çiviler çevrede kirlilik oluşturmaktadır. Kalıpların hazırlanmasında ve betonyer ile dam vincinin çalışması sırasındaki gürültü de yakın çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir.

Geleneksel sistemde kalıp, donatı ve beton üretimi şantiyede gerçekleştiğinden, bunların depolandığı ve hazırlandığı alanlarda habitat bozulmakta, dolayısıyla doğal ortama olumsuz etki yaratmaktadır. (Tablo 2)

2.3. Tünel Kalıp Betonarme Yapım Sistemi

Tünel kalıp yapım sistemi belirli bir ön yatırımı gerektirmektedir. Sistem büyük çapta ve sürekli üretimler için uygundur. Bu sistemde büyük boyutlu ve ağır kalıpların taşınmasında yoğun enerji tüketen vinçler kullanılmaktadır. Kullanılan vinçlerin verimliliği açısından yapı alanının genel yerleşme planı önemli etkindir. Yapıların konumlandırılmasında, aynı vinçle en az iki yapının üretilmesi, sistemin rasyonelliğini artırmaktadır.

Çalışmada, bu yapım sisteminin üretim sürecinde şantiyede hazır beton tesisinin olduğu kabul edilmiştir. Tünel kalıp yapım sisteminde taşıyıcının oluşturulma süreci; hammaddenin çıkarılması (TK1), malzemenin üretimi (TK2) (çimento, agrega, donatı, kalıp), malzemenin yapı alanına taşınması (TK3), kule vinç montajı-kalıp elemanları ön montajı-hazır beton tesisinin

kurulması, çalışma platformlarının-tünel kalıpların-donatı ve tesisat elemanlarının yerleştirilmesi (TK4), beton üretimi (TK5), beton dökümü (TK6), bakım ve kütleme (TK7), kalıpların sökülmesi (TK8) aşamalarını içermektedir.

Tünel kalıp yapım sistemi perde duvar ve döşeme sisteminden oluştuğu için iskelet sistemlere oranla beton ve donatı kullanımı fazladır. Bu nedenle hammadde tüketimi yüksek düzeydedir. Bununla birlikte, duvar ve döşeme donatısı olarak hasır çelik kullanıldığından atık oluşumu önemli ölçüde azalmaktadır. Ayrıca, çelik tünel kalıpların kullanım tekrarının ahşap kalıba oranla çok daha fazla olması kaynak korunumu açısından önemlidir.

Tünel kalıpların, donatının yerleştirilmesi ve sökülmesinde yoğun vinç kullanımı nedeniyle enerji tüketimi yüksektir. Beton santrali ve tünel içi ısıtıcılarla kütleme işlemi de sistemin enerji tüketimini artırmaktadır. Yoğun enerji kullanımı nedeniyle yüksek düzeyde emisyon oluşmaktadır. Beton üretim tesisinin oluşturduğu çevresel etkilere bölüm 2.1’de değinilmiştir.

Tünel kalıp yapım sisteminde kütleme işlemi buhar sistemi ile yapılıyorsa su tüketimi olmaktadır. Üretimde kullanılan ekipmanların (beton santralindeki ekipmanlar, kalıp yerleştiren vinçler) gürültüsü de olumsuz çevresel etki yaratmaktadır. Tünel kalıpların ön montajının yapıldığı ve hazır beton tesisinin kurulduğu alanda doğal ortam olumsuz etkilenmektedir. (Tablo 2)

2.4. Prefabrike Yapım Sistemleri

Prefabrike yapım sistemlerinde üretimin büyük bir bölümü fabrikada gerçekleşmektedir. Teknoloji fabrikada üretim, şantiyede montaja dayalı olduğu için oldukça yüksek ön yatırım gerektirmektedir. Ayrıca, teknolojinin ambalajlama, stoklama ve taşıma zorlukları bulunmaktadır.

Prefabrike yapım sistemlerinde (iskelet sistem, panel sistem) taşıyıcının oluşturulma süreci; hammaddenin çıkarılması (PSX1), malzemenin üretimi (PSX2) (çimento, agrega, donatı, kalıp), malzemenin üretim tesisine taşınması (PSX3), hazır yapı elemanlarının üretimi (PSX4), hazır yapı elemanlarının yapı alanına taşınması (PSX5), kule vinç montajı-hazır yapı elemanlarının yapı alanında depolanması (PSX6), hazır yapı elemanlarının montajı (PSX7) aşamalarını içermektedir.

Diğer yapım sistemlerinde yapı alanında gerçekleştirilen işlemlerin çoğu, bu sistemlerde üretim tesisinde gerçekleştirildiği için, enerji tüketimi çok yüksektir. Prefabrike yapı elemanı üreten bir tesisten alınan bilgilerde; yapı elemanı üretiminde tüketilen elektrik enerjisinin yaklaşık 14KWh/m³, yakıtın ise 3.00 lt/m³ olduğu ifade edilmiştir.

Bu sistemlerde, elemanların taşıma araçlarından şantiyeye indirilmesi, depolanması ve şantiyedeki montaj işlemleri vinçlerle yapılmaktadır. Bu nedenle, bu aşamalarda da yoğun enerji tüketilmekte, bunun sonucunda da emisyon oluşumu artmaktadır. Hazır yapı elemanlarını üretim tesisinden yapı alanına taşıyan ağır vasıtalar trafikte problemlere yol açarken enerji tüketimini de artırmaktadır. Prefabrike yapı elemanları için optimum taşıma mesafesinin 300 km olduğu belirtilmektedir [15].

Yapı elemanı üretim tesisinin her biriminde ayrı bir beton üretim tesisi bulunmaktadır. Bu da, bu konuda daha önce değinilen (Bölüm 2.1) olumsuzlukların artmasına yol açmaktadır. Prefabrike eleman üretim tesisinde su geri dönüşüm sisteminin olması su korunumu açısından önemlidir. Yine edinilen bilgiler doğrultusunda; 1 m³ betonarme hazır yapı elemanı üretiminde tüketilen su miktarının yaklaşık 0.55 m³ olduğu görülmüştür.

Prefabrike elemanların üretimi sırasında oluşan yüksek gürültü özellikle tesislerde çalışanlar için olumsuz etki yaratabilmektedir. Yapı alanında ise vinç gürültüsü etkindir. Bu sistemde, taşıyıcı elemanlar fabrikada üretildiği için katı atık oluşumu denetlenebilmekte ve bu yolla meydana gelen olumsuz etki azaltılabilmektedir.

Prefabrike yapım sistemlerinde, iskelet ve panel sistemlerin çevresel etkiler açısından farklılıkları hammadde ve enerji tüketiminde ortaya çıkmaktadır. Prefabrike panel sistemde, iskelet sisteme oranla beton ve donatı tüketimi daha fazladır. Üretim ve montaj aşamasında ise daha fazla eleman taşındığı için prefabrike iskelet yapım sisteminde enerji tüketimi artmaktadır [16]. (Tablo 2)

3. BETONARME YAPIM SİSTEMLERİNİN EKOLOJİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, sistemlerin üretim süreçlerinin analizinde tahmini kıyaslama yapılarak derecelendirilen çevresel etkilerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapım sistemlerinin üretim aşamaları hammadde, enerji ve su tüketimi, katı atık, emisyon ve gürültü oluşumları ile habitat bozulması açılarından derecelendirilmiştir. Tabloda düşey yönde, yapım sistemlerinin her bir çevresel etki kriteri açısından toplam derecesi, yatay yönde ise yapım sistemlerinin her bir aşamasının toplam çevresel etki derecesi belirlenmiştir. Tablo 2’de elde edilen veriler değerlendirildiğinde;

Tablo 2- Betonarme Yapım Sistemlerinin Üretim Süreçlerinin Çevresel Etki Analizi

Yapım sistemleri	Üretim aşamaları	Çevresel Etki Kriterleri							Toplam etki
		Hammadde tüketimi	Enerji tüketimi	Su tüketimi	Katı atık	Emisyon	Gürültü	Habitat bozulması	
Geleneksel İskelet Yapım Sistemi	Gi1	1	3	2	1	3	3	4	17
	Gi2	3	3	1	1	3	1	1	13
	Gi3	0	3	0	0	3	1	0	7
	Gi4	1	0	0	2	0	2	2	7
	Gi5	2	1	1	3	1	2	2	12
	Gi6	0	1	0	1	1	1	0	4
	Gi7	0	0	2	0	0	0	0	2
	Gi8	0	0	0	2	0	1	0	3
	Toplam	7	11	6	10	11	11	9	65
Tünel Kalıp Yapım Sistemi	TK1	1	3	2	1	3	3	4	17
	TK2	3	4	2	1	4	1	1	16
	TK3	0	3	0	0	3	1	0	7
	TK4	0	2	0	0	2	2	2	8
	TK5	4	2	2	2	2	2	1	15
	TK6	0	2	0	0	2	2	0	6
	TK7	0	2	2	0	2	0	0	6
	TK8	0	2	0	0	2	2	0	6
	Toplam	8	20	8	4	20	13	8	81
Prefabrik İskelet Yapım Sistemi	PSi1	1	3	2	1	3	3	4	17
	PSi2	3	4	2	1	4	1	1	16
	PSi3	0	3	0	0	3	1	0	7
	PSi4	2	4	3	2	4	3	0	18
	PSi5	0	3	0	0	3	1	0	7
	PSi6	0	2	0	0	2	2	0	6
	PSi7	0	4	0	0	4	2	0	10
	Toplam	6	23	7	4	23	13	5	81
Prefabrik Panel Yapım Sistemi	PSP1	1	3	2	1	3	3	4	17
	PSP2	3	4	2	1	4	1	1	16
	PSP3	0	3	0	0	3	1	0	7
	PSP4	4	4	3	2	4	3	0	20
	PSP5	0	3	0	0	3	1	0	7
	PSP6	0	2	0	0	2	2	0	6
	PSP7	0	3	0	0	3	2	0	8
	Toplam	8	22	7	4	22	13	5	81
Çevresel etki düzeyi		0: etkisiz 1: düşük 2: orta 3: yüksek 4: çok yüksek							

Gi1, TK1, PSi1,
PSP1:hammad.çıkır.
Gi2, TK2, PSi2, PSP2:malz. üretimi
Gi3, TK3, PSi3, PSP3:taşıma

Gi4, TK4 :kalıp-donatı hazırlık
Gi5, KT5 :beton üretimi
Gi6,TK6 :beton dökümü
Gi7, TK7 :bakım ve kürleme
Gi8, TK8 :kalıpların sökülmesi

PSi4, PSP4:hazır elem. üretimi
PSi5, PSP5:eleman taşıma
PSi6, PSP6:eleman depol.-vinç
montajı
PSi7, PSP7:elemanların montajı

- Yapım sistemlerinin hepsinde hammaddenin elde edilmesi (Gİ1, TK1, PSİ1, PSP1) ve işlenmesi (Gİ2, TK2, PSİ2, PSP2) aşamasında çevresel etki düzeyi yüksek (17-13,16) çıkmıştır. Bunda en önemli etken çimento ve çelik üretimidir. Aynı malzeme kullanılmasına rağmen geleneksel sistemin dışındaki sistemlerde çelik kalıp kullanımı bu etkiyi artırmaktadır.
 - Geleneksel iskelet sistemde, çevresel etki sıralamasında beton üretimi (Gİ5) ikinci sırada (etki düzeyi: 12) yer almaktadır. Bu aşamada, enerji tüketimi çok az olmasına rağmen, gürültü oluşumu, habitatın bozulması ve özellikle katı atık üretimi olumsuz durumlar yaratmaktadır. Yine bu sistemde, malzemelerin yapı alanına taşınmasında (Gİ3) enerji tüketimi ile kalıp ve donatıların hazırlanması (Gİ4) sırasında gürültü ve katı atık oluşumu ve habitat bozulması gibi çevresel etkiler toplam çevresel etkiyi artırmaktadır. Bütün aşamalar göz önüne alındığında ise, hammadde tüketimi ile su tüketiminden dolayı oluşan etkinin daha az olduğu görülmektedir.
 - Tünel kalıp yapım sisteminde, beton üretiminden (TK5) kaynaklanan çevresel etki düzeyinin (15), hammaddenin elde edilişi (TK1) ve üretimi (TK2) aşamalarından sonra oluşan en fazla etki olduğu anlaşılmaktadır. Taşıyıcı elemanların duvar ve döşemelerden oluşması, hammadde tüketimini, dolayısıyla da çevresel etkiyi artırmaktadır. Çevresel etki kriterleri açısından, sistemin enerji tüketiminin ve bu yolla oluşan emisyonların fazlalığı (20) olumsuzluk yaratmaktadır. Gürültü sorunu ise ikinci sırayı almaktadır. Bu sistemde katı atıkların çok az (4) olması ise olumlu olarak değerlendirilmektedir.
 - Prefabrike yapım sistemlerinde, yapı elemanı üretimi (PSİ4, PSP4) aşamasında oluşan çevresel etki en yüksek (18, 20) düzeydedir. Bunun dışındaki üretim aşamalarında oluşan çevresel etkinin daha az olduğu görülmektedir. Çevresel etki kriterleri açısından değerlendirildiğinde ise, enerji tüketimi, emisyon ve gürültü sorunun dikkat çektiği (23, 22, 13), buna karşılık katı atık oluşumu ve habitat bozulmasının oldukça az (4, 5) olduğu ortaya çıkmaktadır. Prefabrike panel yapım sisteminde taşıyıcı alanının daha fazla olması (döşeme+panel) hammadde tüketimini artırmaktadır. Prefabrike iskelet sistemde ise vinç kullanımı daha fazla [16] olduğundan enerji tüketimi de fazladır.
- Yapım sistemleri karşılaştırmalı olarak değerlendirildiğinde ise;
- Tünel kalıp yapım sistemi ile prefabrike sistemlerin toplam çevresel etkiler açısından eşdeğer düzeyde (81) olduğu görülmektedir. Geleneksel yapım sisteminin çevresel etkisi ise daha düşük (65) düzeydedir. Tünel

kalıp yapım sistemi ile prefabrike sistemlerde yoğun enerji tüketimi ve bu yolla oluşan emisyon nedeniyle toplam çevresel etki düzeyi artmaktadır.

- Çevresel etki kriterleri açısından karşılaştırma yapıldığında, yapım sistemlerinde hammadde tüketimi ve su tüketimi açısından birbirlerine yakın değerler ortaya çıkmaktadır. Prefabrik iskelet sistemde döşemede hasır çelik kullanımı donatı miktarını geleneksele göre azaltmakta, prefabrike panel ve tünel kalıp sistemlerinde ise, taşıyıcı elemanların (duvar ve döşeme) daha fazla alandan oluşması malzeme tüketimini artırmaktadır [16].
- Enerji tüketimi açısından geleneksel sistemin dışındaki sistemler olumsuz olarak değerlendirilmektedir (geleneksel: 11, diğerleri: 20, 22, 23). Geleneksel sistemde enerji tüketimi sadece hammadde elde edilmesinde ve malzeme üretiminde olurken, tünel kalıp sisteminde ağır vinçlerin kullanımı ve kütleme işlemleri, prefabrike yapım sistemlerinde ise fabrikada yapı elemanı üretimi, elemanların yapı alanına taşınma ve montaj için vinç kullanımları sırasında olmaktadır [16]. Emisyonlar da enerji kullanım miktarına bağlı olarak artmıştır.
- Katı atık oluşumu, geleneksel sistemin değerlendirilmesinde önemli rol oynarken (10), diğerlerinde oldukça az etkidir (4). Geleneksel sistemde hemen bütün aşamalarda atık oluşurken, diğerlerinde fabrika üretiminde atık kontrolü yapılabilmekte ve yeniden kullanılabilir. Bu sistemlerde atık oluşumu daha çok hazır beton üretiminden kaynaklanmaktadır.
- Gürültü bütün sistemlerde eşdeğer düzeydedir. Geleneksel ve tünel kalıp yapım sistemlerinde yakın çevreyi rahatsız eden gürültü, diğerlerinde fabrikada üretim sırasında yapı içinde oluşmakta ve işçi sağlığı için olumsuz bir durum ortaya çıkarmaktadır.
- Habitat bozulması ise en çok geleneksel ve tünel kalıp sistemlerinde (8,9) prefabrike sistemlere (5) göre daha fazladır. Prefabrike sistemlerde hammaddenin elde ediliş ve işleniş dışındaki aşamalarda habitata olumsuz bir etki olmamaktadır.

4. SONUÇ

Tünel kalıp, prefabrike iskelet ve prefabrike panel yapım sistemlerinde üretim süreçlerinin, büyük oranda enerji tüketimi ve emisyonlar açısından olumsuzluk yarattığı, geleneksel sistemde enerji tüketiminin bunlara göre oldukça az, ancak katı atık oluşumu açısından daha olumsuz olduğu söylenebilir. Betonarmenin hammaddesini oluşturan malzemelerin

kaynağından elde ediliş ve üretimi sırasında oluşan çevresel etkileri azaltıcı yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Yapı üretiminde hazır beton kullanımının yaygınlaşması için çalışmalar yoğunlaştırılmalı, hazır beton üretim alanlarında ise çevresel etkileri azaltıcı önlemler alınması konusunda yaptırımlar uygulanmalıdır. Ayrıca yoğun enerji tüketimi nedeniyle, yüksek düzeyde toplam çevresel etki yaratan yapım sistemlerinde enerji tüketimini azaltıcı yöntemlerin geliştirilmesi yerinde olacaktır. Ülkemizin *İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi*'ne taraf ülkeler arasında yer almasıyla da bu konunun önemi artmıştır.

KAYNAKLAR

1. DPT, (2000), *Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Bilim ve Teknoloji Özel İhtisas Komisyonu Raporu*, 2528-ÖİK: 544, Ankara
2. DPT, (2003), *Türkiye'nin Avrupa Birliğine Katılım Sürecine İlişkin 2003 Yılı İlerleme Raporu*, Ankara.
3. Devlet İstatistik Enstitüsü, www.die.gov.tr
4. Ngowi, A.B. (2001), "Creating Competitive Advantage by Using Environment-Friendly Building Processes" Building and Environment 36 Issue 3, P.291-298.
5. Willis A.M., (1998) "Concrete and not so Concrete Impacts" Information Ecology EcoDesign Foundation.
6. DPT, (2001), *Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu*, 2615-ÖİK: 626, Ankara.
7. Concrete-AIA Committee on the Environment, <http://www.aiacolorado.org>
8. BuildingGreen, (1993), *Cement and Concrete: Environmental Considerations* EBN Volume 2, No.2, www.buildinggreen.com
9. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği
10. Metals-AIA Committee on the Environment, <http://www.aiacolorado.org/>
11. Bensahel, J.F., Besnainou, J., Landfield, A., (1998), "Life Cycle Assessment Comparison Between Steel And Concrete In Building", The International Conference on Steel in Green Building Construction, Orlando, USA.
12. Davison, M., Persmann, J., Reid, J., Stange, J., Weins, T., "Green Building Materials", AWATgreen/ERS 285 study, <http://www.adm.uwaterloo.ca>
13. Coşgun, N., Esin, T., (2004) "Hazır Beton Üretiminin "Çevresel Etkiler" Açısından Değerlendirilmesi", Beton 2004 Hazır Beton Kongresi, İstanbul
14. Apay, A., (1982), *Türkiye'de Konut Sorunu ve Çözümünde Geliştirilen Yeni Teknolojiler*, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Müh.-Mim. Fak.
15. Ayaydın, Y., (1989), *Büyük Açıklıklı Prefabrike Betonarme Yapılar*, Kurtiş Matbaası, İstanbul.
16. Sey, Y., Tapan, M., (1987), *Toplu Konut Üretiminde Uygulanan Yapım Sistemlerinin Analizi ve Değerlendirilmesi*, TÜBİTAK YAE, no: U.6