

# Beton prefabrike ilköğretim binalarında dış duvar - çevre kirliliği ilişkisi

Caner GÖÇER\*, Bilge IŞIK

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Bilgisi Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

## Özet

*Değişen eğitim sistemine ve süresine bağlı olarak eğitim yapılarının hızla inşa edilmesi zorunluluğu, prefabrike sistemlerin kullanımını ve bu sistemlerin birçok açıdan geliştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Eğitim yapılarının beton esaslı prefabrike sistemlerle yapılması durumunda üretim maliyetinin, hızının ve yapım kolaylıklarına ilişkin sistemlerin değerlendirilmesi zorunluluğunun yanında, sistemlere ait kabuk bileşenlerinin de ısıtma enerjisi bakımından etkinliğinin değerlendirilmesi, problem noktalarının belirlenmesi ve çözüm önerilerinin sunulması gerekmektedir. Sekiz yıllık eğitim sistemimde yaklaşık 300.000 derslik kapasiteli eğitim yapılarının yapımı söz konusu olmakta ve ısıtma enerjisi tüketimini çok az düzeyde azaltacak bir çözümün geliştirilmesiyle bile yapı toplamında büyük oranda enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Yapı kabuğunun büyük bir yüzdesini oluşturan dış duvarların betonarme prefabrike sistemlerle oluşturulması durumunda olası sistemlerin duvar tiplerinin problem noktalarının ısıtma enerjisi tüketim verilerine bağlı olarak kirlitici emisyonlarının değerlendirilmesi bu çalışmanın ana konusunu oluşturmaktadır. Çünkü betonun ısı geçirgenlik direncinin düşük oluşu ve prefabrike sistemlerde birleşimlerde meydana gelen ısı köprüleri büyük miktarda enerji kayıplarına neden olmakta; bunun sonucunda da binanın yaşam dönemi maliyetleri artmaktadır. Bunlara ek olarak, yüksek yakıt tüketimi nedeniyle atık gaz emisyonlarının yükselmesi çevre kirliliğinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle bina tasarımında ısıtma enerjisi kapsamında etkin sistemlerin araştırılması ve çözümlerin geliştirilmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır.*

**Anahtar Kelimeler:** Prefabrike dış duvar, ısıtma enerjisi, çevre kirliliği, kirlitici emisyonları.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar:Caner GÖÇER. gocercan@itu.edu.tr; Tel: (212) 236 62 08.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Bilgisi Programı'nda tamamlanmış olan "Beton esaslı prefabrike ilköğretim binalarında ısıtma enerjisine bağlı enerji kazanımı çevre kirliliği ve ısıtma ekonomisi kriterlerinin değerlendirilmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 22.02.2006 tarihinde dergiye ulaşmış, 18.12.2006 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.11.2007 tarihine kadar dergiye gönderilmiştir.

## External wall specifications and pollution relation in concrete based prefabricated elementary school buildings

### Extended abstract

*The necessity quickly built educational buildings due to the changes in the education system and education periods punctuates the necessity of using prefabricated systems and development in these systems in many aspects. The low heat permeability resistance of concrete and the heat bridges occurring in the joints of the prefabricated systems cause great heating energy losses; and thus life cycle cost of the building increase. In case educational buildings are made via concrete based prefabricated systems, systems regarding production costs, speed and building eases should be evaluated along with the evaluation of heating energy efficiency of the external components of such systems, determination of problematic points and presentation of solution proposals. In case the outer coverings which are highly made of external walls, are made of concrete prefabricated systems, evaluation of problematic points of wall types of possible systems in view of heating energy efficiency and pollution emissions is the main subject of this study. Additionally, increase in carbon dioxide emissions due to high fuel consumption causes pollution.*

*Atmosphere, defined as the gas layer surrounding the earth has been through many transformations for approximately two billion years. Consequently, concepts of “Atmospheric Pollution” and “Air Pollution” have emerged. The most general definition of Atmospheric Pollution can be made as “presence of foreign materials in the atmosphere in concentrations or periods that may be harmful for human health, other species, ecological balance and materials”.*

*This study generally reveals the problem points in the classification of concrete based prefabricated external wall options and evaluation of energy efficiency. Primarily general classification of concrete based prefabricated external wall elements and external wall options to be used in the construction of educational structures have been determined. Thereafter, energy efficiency criteria for the options have been determined and problem points in inspection of heating energy efficiency of the external wall have been discussed. Building typologies and re-*

*lated external wall options have been listed. External wall options to be evaluated related to the building typology has been classified in general groups and sub groups under those general groups. The general group called structure bearing system setup has been divided into four subgroups namely; horizontal effect, vertical effect, horizontal-vertical effect and straight effect. Width based general group consists of three subgroups named, narrow, average and wide subgroups. General group related to bearing is divided into self bearing, borne and bearing subgroups. Regarding to the basic criteria the change energy efficiency in prefabricated external wall panels combinations depending on triple conditions consisting of one ideal and two problematic options in relation to every subgroup were constituted. The triple status in line with the subgroups can be summarized as ideal solution (without heat bridges), heat bridge in the pointing, heat bridge in the panel body. Concrete is material that has high heat permeability value. Concrete based prefabricated external wall elements can be applied to the building so as to create heat bridges in the panel body in relation to the production technology or joint systems. When the spaces called pointing between the concrete based prefabricated external wall panels are not insulated, massive thermal losses occur. It is possible to find solutions to the above mentioned problem points or in other words; to establish correct application options. Therefore, it is assumed that transparent parts do not create a problem or there were no air leaks at the problem points, and it has been aimed to evaluate heating energy efficiency only in concrete based prefabricated external wall options and problem points of thereof. Also, heat current in the problem points of the option have been assumed to be vertical and in single direction and possible lateral heat currents have been ignored.*

*Finally it is devoted to calculation and evaluation of atmospheric pollutant emissions of the options. In evaluation of the pollutant emissions of the options established according to the surface layout, panel width and bearing status, the surface panels in which seamless heat insulation is applied in “pre-positioned” pointings and panel bodies that completely cover the bearing system elements have the lowest heating energy consumption and therefore cause minimum level of pollutant emissions.*

**Keywords:** External prefabricated wall, heating energy consumption, pollution, pollutant emissions.

## **Giriş**

Enerji kavramı ekonomik gelişim ve sosyal yaşam kalitesi üzerinde büyük rol oynamaktadır. Enerji tüketimi ve buna bağlı çevre problemlerinin yaşam kalitesini kabul edilebilir ölçülerin ötesinde olumsuz etkilemesinin önüne nasıl geçileceği halen tartışılan ve ileriye yönelik ara-yışların devam ettiği bir konudur. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre bugünkü enerji üretim ve tüketim alışkanlıklarının aynen devam etmesi durumunda, 2020 yılında dünya enerji ihtiyacının 1995 yılına göre %65 artacağı ve bu ihtiyacın %92'sinin fosil yakıtlardan karşılanacağı tahmin edilmektedir. Bu senaryoya göre aynı dönemde atmosferdeki karbon emisyonları %70 artacaktır (Bodkin, D.B.1982).

Yukarıdaki artış eğiliminin sürmesi durumunda ise, 2100 yılına kadar küresel ortalama sıcaklığın 1 ile 3.5 °C arasında yükselmesi ve buna bağlı olarak deniz seviyesinin yükselip, küçük adalar ile sahil şehirlerinin su altında kalması ve sıra dışı iklim değişimlerinin oluşması ile tarım ve insan yerleşiminin olumsuz etkilenmesi söz konusu olacaktır. Bu durumda, asıl üzerinde durulması gereken konu artan enerji talebini karşılamak için hangi enerji kaynaklarının kullanılması gerektiğidir. Japonya'nın Kyoto kentinde Aralık 1997'de düzenlenen ve "Sera Gazları Emisyonları Konusunda Kyoto İklim Değişim Protokolü" olarak adlandırılan toplantının katılımcı ülkeleri bugünkü ve gelecek nesillerin enerji üretim ve tüketim alışkanlıklarını değiştirmeye yönelik uzun vadeli bir süreci başlatmış oldular. Küresel ısınmanın gerçek ve ciddi bir sorun olduğunu kabul eden katılımcı ülkeler, 2008-2012 yılları arasında sera gazları emisyonlarını 1990'lı yıllardaki seviyesinden %5 daha aşağıya çekme konusunda bağlayıcı karar almışlardır. Enerji kullanımını kişisel alışkanlıkları değiştirerek veya bunlar üzerinde kısıtlamalar getirerek azaltmak kolay değildir. Bu nedenle, kısa vadede doğalgaz gibi daha az karbon yoğun yakıtlara geçilmesi eğiliminin artarak devam edeceği düşünülmektedir (Bodkin, D.B. 1982).

Eğitim yapılarının değişen eğitim sistemine ve süresine bağlı olarak hızla inşa edilmesi zorunluluğu, prefabrike sistemlerin kullanımını ve bu

sistemlerin birçok açıdan geliştirilmesi gereğini ortaya koymaktadır. Eğitim yapılarının beton esaslı prefabrike sistemlerle yapılması durumunda üretim maliyetinin, hızının ve yapım kolaylıklarına ilişkin sistemlerin değerlendirilmesi zorunluluğunun yanında, sistemlere ait kabuk bileşenlerinin de ısıtma enerjisi tüketimi bakımından etkinliğinin değerlendirilmesi, problem noktalarının belirlenmesi ve çözüm önerilerinin sunulması gerekmektedir. Sekiz yıllık eğitim sisteminde yaklaşık 300.000 derslik kapasiteli eğitim yapılarının yapımı söz konusu olmakta ve ısıtma enerjisi tüketimini çok az düzeyde azaltacak bir çözümün geliştirilmesiyle yapı toplamında büyük oranda enerji tasarrufu sağlanmaktadır (Mert, 2001).

Özellikle ülkemizde prefabrikasyonun gerektiği düzeyde disiplinler arası bir çalışma şekline sahip olmayışı prefabrike sistemlerin birleşim yerlerinde ısı kayıplarına neden olan çözümlerin uygulandığı gerçeğini ortaya koymaktadır. Betonun ısı geçirgenlik direncinin düşük oluşu ve prefabrike sistemlerde birleşimlerde meydana gelen ısı köprüleri büyük miktarda enerji kayıplarına neden olmakta; bunun sonucunda da binanın ısıtma sistemine ait kirlenici emisyonları artmaktadır. Bu çalışmada yapı kabuğunun büyük bir yüzdesini oluşturan dış duvarların betonarme prefabrike sistemlerle oluşturulması durumunda olası sistemlerin duvar tiplerinin problem noktalarının ısıtma enerjisi tüketim verilerine bağlı olarak kirlenici emisyonları belirlenmiş ve gerekli değerlendirmeler yapılmıştır.

## **Eğitim binalarına uygulanacak dış duvar türlerinin belirlenmesi**

Dünyada eğitim yapılarının prefabrike sistemlerle uygulanması giderek yaygınlık kazanmıştır. Bunun temel nedenleri arasında eğitim binalarının tiplendirilmiş bir planlama biçimine sahip olması, standartlaşmış yapım kalitesi, hızlı nüfus artışı, esnek tasarımın gerektirdiği demontabl yapım sistemi, çok sayıdaki rasyonel üretimlerin ekonomik olması gibi etkenleri sıralayabiliriz. Temel Eğitim Projesi kapsamında, Türkiye'de yaklaşık 300.000 derslik kapasiteli ilköğretim yapısının kısa sürede inşa edilmesi zorunluluğu doğmuştur.

İlköğretim binalarının prefabrike sistemlerle uygulanmasında, tekrar eden eleman sayısının kitlesel üretim için yeterli olması, eleman tip sayısının en aza indirilmesi, üretim-taşıma-montaj evrelerinde rasyonelliğin sağlanması, bina fonksiyonlarına uygunluğun gerçekleştirilmesi, çevreye uyumun sağlanması, yapım-kullanım maliyetinin en aza indirilmesi, estetik beklentilere cevap verilebilmesi ve depreme dayanıklılık kriterlerinin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Türkiye koşullarında hammadde temininin kolay ve ucuz olması, yüksek miktarda üretimin sağlanabilmesi, mevcut üretim tesislerinin üretim biçimi gibi nedenler göz önünde bulundurulduğunda ilköğretim binalarının beton esaslı prefabrike sistemlerle inşa edilmesi en rasyonel çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada beton esaslı prefabrike sistemler kapsamında bir sınırlandırma söz konusudur.

Beton esaslı prefabrike sistemleri ilköğretim binalarının uygulanması kapsamında değerlendirdiğimizde, bina fonksiyonlarına uygunluk, çevreye uyum, tasarım- kullanım esnekliği sağlayabilme, yapım-kullanım maliyetinin uygun oluşu ile estetik beklentilere cevap verebilme kriterleri bakımından hücre sistemlerin uygun olmadığını; iskelet ve panel sistemlerin yapısal kuruluş özellikleri ile sahip olduğu birçok çözüm seçeneği nedeniyle uygun yapım sistemleri olduğunu söyleyebiliriz.

Beton esaslı prefabrike dış duvara ait sınıflandırma biçimine bağlı olarak ilköğretim yapılarının üretiminde kullanılacak dış duvar seçeneklerini ve bunlara gelebilecek kısıtlamaları kısaca belirlemek yararlı olacaktır. Genişlikleri bakımından beton esaslı prefabrike dış duvarları incelediğimizde, dar, orta boy ve geniş panel seçeneklerinin tümünün kullanılabilirliğini söyleyebiliriz. Geniş paneller taşıma ve montaj aşamalarında zorluk yaşanmaması için 720 cm'den büyük olmamalıdır.

Kesit kuruluşlarındaki katmanlaşma düzeni bakımından beton esaslı prefabrike dış duvarları incelediğimizde, tek katmanlı panellerin yalıtımsız olmasından dolayı hiçbir durumda kulla-

nılamayacağını söyleyebiliriz. Çift katmanlı paneller ise ısı yalıtımından oluşan iç veya dış katman ile betonarme taşıyıcı katmandan meydana gelir. Çift katmanlı prefabrike duvar sistemleri ısı yalıtım katmanının sıva gerektirmesi nedeniyle en uygun seçenek olma özelliğini taşımamaktadır. Üç katmanlı dış duvar sistemlerini incelediğimizde, sandviç duvar olarak adlandırılan bu tür duvarların her katmanının temel bir işlevi olması ve bu nedenle bir dış duvardan beklenen performans özelliklerinin en üst düzeyde karşılanması söz konusu olmaktadır. Sandviç duvarları daha detaylı olarak incelediğimizde, dış etkenlere karşı koruma görevi gören ve estetik açıdan istenilen yüzey dokusunu taşıyan "dış katman", ısı yalıtım görevini üstlenen "iç katman" ile duvar veya bina yüklerini taşıyan "iç katman" olarak tanımlanan kısımlar söz konusu olmaktadır.

Kat yüksekliği bakımından ilköğretim yapılarında kullanılacak dış duvar sistemlerini incelediğimizde, tercihen bir katlı cephe panellerinin kullanılmasının taşıma ve montaj kolaylığı bakımından daha uygun olduğunu, iki kat yüksekliğindeki panellerin de bazı durumlarda kullanılabilirliğini söyleyebiliriz. Parapet elemanlar ile küçük parçalı bileşenler çok fazla birleşim yerine sahip olmaları nedeniyle montaj ve derz işçiliğini arttırmaktadır. Bu durumda yapım süresi ve maliyeti de artmaktadır. Bunlara ek olarak derzlerde ve birleşimlerde hatalı uygulama veya zamanla oluşabilecek bozulmaların riski de artacaktır (Freedman, 1991).

Bina taşıyıcı sistemi ile olan konumsal çeşitliliğe göre ilköğretim yapılarında beton esaslı prefabrike dış duvar sistemlerini incelediğimizde, ön, yarı ön ve ara konumlu üç seçeneğin de teknik açıdan uygulanabilirliğini; ancak en ideal seçeneğin montaj sistemi nedeniyle ısı yalıtımını kesintiye uğratmayacak ön konumlu seçenek olduğunu söyleyebiliriz. Yarı ön konumlu sistemlerde de ısı yalıtımını kesintiye uğratılmadan veya ek bir yalıtım yapılarak ısı köprüsüz çözümler oluşturulabilmektedir. Ancak ara konumlu dış duvarlarda bina taşıyıcı sistem elemanları olan kolon, döşeme veya iç duvar alınlarının dış ortamla temas etmeleri nedeniyle oluşabilecek ısı köprüleri önlenememektedir.

Sonradan yapılacak ısı yalıtımı ise iskele ve sıva gerektirdiği için prefabrike yapım sistemine uygun olmayan bir çözümlerle karşılaşılmış olacaktır.

Taşıyıcılık bakımından ilköğretim yapılarında kullanılacak beton esaslı prefabrike dış duvar sistemlerini incelediğimizde, kendini taşıyan, taşınan ve taşıyıcı üç duvar türünün de kullanılabilirliğini söyleyebiliriz. Beton esaslı prefabrike yapım sistemlerinde daha çok taşıyıcı ve taşınan duvar sistemlerinin kullanıldığını görmekteyiz. Kendini taşıyan duvar sistemleri de iki katı geçmeyen uygulamalarda kullanılmaktadır.

Yukarıda kısaca incelemiş olduğumuz ilköğretim yapılarının üretiminde kullanılacak beton esaslı prefabrike dış duvar sistemlerine ait olası seçeneklerin özellikleri ve sınırlamalarına dayalı olarak enerji etkinliğinin denetlenmesine ilişkin problem noktalarını ortaya koymadan önce enerji etkinlik kavramı ve buna bağlı kriterlerin incelenmesi yararlı olacaktır.

### **Problem noktalarının belirlenmesi**

Beton esaslı prefabrike bir dış duvarda duvarın toplam ısı geçirgenliğini arttıracak birçok kritik nokta bulunmaktadır. Bu kritik noktaları problem noktaları olarak adlandırabiliriz. Bu durumda dış duvar elemanını opak ve saydam kısımlar olarak iki grupta incelemek daha yararlı olacaktır. Opak kısımlara ilişkin toplam ısı geçirgenliğini etkileyebilecek problem noktaları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir:

- Dış duvar panellerinin birleşim noktalarında (derzler) oluşabilecek ısı köprüleri ve hava sızıntısı,
- Panel bünyelerinde panellerin konstrüktif olarak birbirine bağlanmasını sağlayan firketeler veya donatılar nedeniyle oluşabilecek ısı köprüleri.

Saydam kısımlar olarak adlandırdığımız pencerele ilgili toplam ısı geçirgenliğini etkileyebilecek problem noktaları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir :

- Doğrama - duvar birleşimindeki ısı köprüleri ve hava sızıntısı,
- Doğrama - doğrama birleşimindeki ısı köprüleri ve hava sızıntısı,
- Doğrama bünyesindeki ısı köprüleri,
- Doğrama - cam birleşimindeki ısı köprüleri ve hava sızıntısı.

Beton ısı geçirgenlik değeri çok yüksek bir malzemedir ve bu nedenle bina dış kabuk elemanlarında yalıtılmadığı durumlarda veya yalıtımın kesintiye uğradığı durumlarda büyük enerji kayıplarına neden olur. Beton esaslı prefabrike dış duvar elemanları üretim teknolojisine veya birleşim sistemlerine bağlı olarak panel bünyesinde ısı köprüsü meydana getirecek şekilde yapıya uygulanır. Bunlara ek olarak beton esaslı prefabrike dış duvar panellerinin arasındaki derz olarak tanımlanan boşluklar da yalıtılmadığı zaman büyük oranda ısı kayıpları meydana gelmektedir (Yücesoy, 1989).

Diğer dış duvar uygulamalarında olduğu gibi, beton esaslı prefabrike dış duvar sistemlerinde de saydam kısımları oluşturan pencerelerde ısı performansı etkileyen ve yukarıda sıralanan problem noktaları oluşabilmektedir.

Yukarıda sözü edilen problem noktalarının çözümünü sağlamak veya bir başka deyişle doğru uygulama seçeneklerini oluşturmak mümkündür. Bu nedenle, bu çalışmada, saydam kısımların ısı performans bakımından problem oluşturmadığı ve hiçbir problem noktasında hava sızıntısı meydana gelmediği varsayılarak, sadece beton esaslı prefabrike dış duvar seçenekleri ve bunlara bağlı problem noktalarına dayalı olarak enerji etkinliğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, seçeneklere ait problem noktalarında ısı akımının dik doğrultuda ve tek yönlü olduğu varsayılarak, oluşabilecek yanal ısı akımları ihmal edilmiştir (Yaşar, 1989).

### **Problem noktalarına bağlı seçenek gruplarının belirlenmesi**

İlköğretim yapılarının üretiminde kullanılacak beton esaslı prefabrike dış duvar sistemlerine ait olası seçenekler ile ısı problem noktalarına bağlı olarak dış duvar seçeneklerinin belirlenmesi

gerekmektedir. Seçenekler belirlenirken beton esaslı dış duvar panellerinin:

- Genel gurupları ile
- Genel guruplara bağlı alt gurupları şeklinde bir sınıflandırma sistemi oluşturulmuştur.

Genel guruplar üç kısımda toplanmıştır. Genel gurupları aşağıdaki gibi özetleyebiliriz:

- Bina taşıyıcı sistem düzeni,
- Panel genişliği,
- Taşıyıcılık.

Bina taşıyıcı sistem düzeni olarak adlandırılan genel gurup, yatay etki, düşey etki, yatay-düşey etki ve düz etki olmak üzere dört alt guruba ayrılmıştır. Genişliğe bağlı genel gurup dar, orta boy ve geniş olmak üzere üç farklı alt guruba sahiptir. Taşıyıcılığa bağlı genel gurup da kendini taşıyan, taşınan ve taşıyıcı olmak üzere üç farklı alt guruba sahiptir (Chudley, 1999). Prefabrike dış duvar panellerinde enerji etkinliği değiştiren temel kriterlere göre de her alt gurup seçeneğine bağlı olarak iki problemlilik ve bir ideal seçenekten oluşan üçlü duruma bağlı kombinasyonlar oluşturulmuştur. Alt gurup seçeneklerine bağlı olarak oluşturulan iki problemlilik seçenek derzlerde ve panellerde meydana gelen ısı köprülerine bağlı olarak oluşturulmuştur. Alt seçenek guruplarına bağlı olarak oluşturulan üçlü durum aşağıdaki gibi özetlenebilir :

- İdeal çözüm (ısı köprüsüz),
- Derz bünyesinde ısı köprüsü,
- Panel bünyesinde ısı köprüsü.

Derzlerdeki ısı köprülerinin derz boşluklarının yalıtılmaması, panellerdeki ısı köprülerinin panel kenarlarında betonarme iç ve dış katmanın birbirine çelik donatılarla bağlanması sonucunda meydana geldiği varsayılmıştır. Çünkü uygulanmış beton esaslı prefabrike bina örneklerinde ısı köprüsüne sahip örneklerin çoğu panellerin birbirine bağlantısını sağlayan donatılarla ısı yalıtımın kesintiye uğratılmasından kaynaklanan konstrüktif nedenlere dayanmaktadır.

Genel guruplara bağlı on alt gurup ve bunlara bağlı üçlü durum her binaya ait otuz seçeneği karışımıza çıkarmaktadır. Bu çalışmada bina ölçeğinde otuz seçeneğe ait ısıtma enerjisi tüketim değeri hesaplanmış ve bu oranlara bağlı olarak gerekli emisyon oranları belirlenmiştir.

Seçeneklere ait kodlama sisteminden söz etmek değerlendirme bölümünde algılamının kolaylaştırılması bakımından yararlı olacaktır. Toplam beş basamaklı kodlama sisteminde ilk basamak tipolojiyi, ikinci basamak bina numarasını, üçüncü basamak genel gurup türünü, dördüncü basamak alt gurup satır numarasını, beşinci basamak ısı köprüsünü tanımlayan durum sütununu ifade etmektedir.

### Isıtma enerjilerinin hesaplanması

İlköğretim yapılarının beton esaslı prefabrike yapı sistemleri ile uygulanmasında oluşabilecek problem noktalarına dayalı olarak genel guruplar ve bunlara bağlı alt gurup seçeneklerinin ısıtma enerjisi tüketim değerlerinin hesaplanması sonucu belirlenen enerji tüketim değerlerine göre etkinlik konusu değerlendirilecektir. Seçenekler arası etkinliğin değerlendirilmesinde karşılaştırma yapabilmek amacıyla en düşük düzeyde ısıtma enerjisi tüketim değerine sahip olan seçenek veya seçenek gurubu en etkin seçenek kabul edilip, diğer seçeneklerin etkinlik yüzdeleri belirlenmiştir.

Seçeneklere ait bina tipolojileri ısıtma enerjisi tüketim değerleri bilgisayar programı aracılığıyla yapılmıştır. Tüm bina tipolojisi kapsamında seçenek değerlerinin doğru bir şekilde karşılaştırmasını yapmak amacıyla her bina tipolojisi aynı plan geometrisinde ve bodrumsuz olarak düşünülmüştür. Yönlendirmede ise dersliklerin güney yönde konumlandırılması söz konusudur (Sullivan ve Cole, 1974). Ayrıca kat yüksekliğinin mümkün olduğunca düşük tutulmasının ısıtma enerjisi tüketimini olumlu yönde etkilemesi nedeniyle hesaplamalarda 2.60m yükseklik düşünülmüştür (Yılmaz, 1988). Genel guruba bağlı alt gurup seçeneklerine ait boyutsal çeşitliliğin tümünün tek bir bina boyutunda uyumlu olduğu modüler büyüklüklere göre bina boyutları belirlenmiştir. Milli Eğitim Bakanlığı tarafın-

dan şube sayısına bağlı olarak belirlenen toplam beş adet ilköğretim bina tipolojisi bulunmaktadır. Prefabrike yapım sistemlerinde bina büyüklüğü kaynakların rasyonel kullanımı bakımından önemli bir kriter durumundadır. Bu nedenle dış duvara ait problem noktalarına bağlı olarak emisyon oranlarının belirlenmesinde örnek bina olarak beş şubeli, en büyük tipoloji büyüklüğü üzerinde hesaplamalar yapılacaktır. T5 binası olarak adlandırabileceğimiz bina üç katlı olup, 18.00 – 151.20 metre büyüklüğündedir. T5 kodlu bina türünün seçilmesinin temel nedeni en büyük bina olmasının getirdiği yüksek eleman sayısı ve buna bağlı düşük yapım maliyetidir. Ayrıca öğrenci başına düşen en düşük alana sahip olması nedeniyle T5 kodlu bina türü öğrenci sayısına bağlı en düşük ısıtma enerjisi tüketimi değerlerine sahiptir.

Seçeneklere ait ısıtma enerjisi tüketim değerlerinin hesaplanmasında kullanılacak bilgisayar programından kısaca söz etmek yararlı olacaktır. Isıtma enerjisi tüketim değerlerinin hesaplanmasında MS EXCEL 97 tablolama programı kullanılmıştır. Bu programda, yapının geometrik özellikleri ve dış kabuk katmanlaşma düzenine ait veriler girilerek dört iklim bölgesi için gerekli ısıtma enerjisi tüketim değeri çok hızlı ve doğru bir şekilde hesaplanabilmektedir. Programda yanlışlığı önlemek için sadece başlangıç değerlerinin girilmesine izin verilmekte; diğer değerler TS 825'e uygun bir şekilde otomatik olarak hesaplanmaktadır (TSE, 1998).

Isıtma enerjisi tüketimi değerleri yıllık olarak ele alınmıştır. T5 bina tipolojisi bazında yapılan değerlendirmelerin hepsi 2. iklim bölgesine ait enerji tüketim değerleridir. Bunun nedeni Türkiye ölçeğinde uygulanması önerilen beton esaslı prefabrike ilköğretim binalarının çoğunun 2. iklim bölgesi kuşağında olmasıdır.

Doğalgazın içeriğindeki madde miktarı bulunduğu kaynağa göre değişik oranlarda olmaktadır ve bu durum doğalgazın verimini, yani birim hacmine göre ürettiği kalori miktarını etkilemektedir. Türkiye'de kullanılan BOTAS'ın açıkladığı doğalgaza ait içerik ve verim durumuna bağlı olarak üretilen kalori miktarı mak-

simum 10427 Kcal/m<sup>3</sup>, minimum 8100 Kcal/m<sup>3</sup> oranında olmaktadır. Bu çalışmada hesap değeri her seçenek için ortalama değer olan 9000 Kcal/m<sup>3</sup> değeri kullanılmıştır.

T5 kodlu bina tipolojisine ait genel guruplara bağlı alt gurup seçeneklerinin yıllık ısıtma enerjisi tüketim değeri ve buna bağlı doğalgaz tüketim oranı Tablo 1'de görülmektedir.

### **Atmosferik kirlenme**

Yerküreyi çevreleyen gaz tabakası olarak tanımlanan atmosfer, yaklaşık iki milyar yıldan günümüze kadar birçok değişikliğe uğramıştır. Hızlı nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme sonucunda meydana gelen kirlenme, tüm canlıların yaşamsal aktiviteleri için doğal bir ortam olan atmosferin doğal yapısının bozulmasına sebep olmuştur.

Fosil içerikli enerji kullanımı ile ortaya çıkan hava kirliliği ve etkileri sadece canlılar değil, yapı ve yapı malzemeleri üzerinde de önemli değişimler meydana getirmiştir. Bunların sonucunda 'Atmosferik Kirlilik', 'Hava Kirliliği' kavramları ortaya çıkmıştır. Atmosferik kirliliği en genel anlamda 'atmosferde, belirli fiziksel şekillerde, yabancı maddelerin insan sağlığına, diğer canlılara, ekolojik dengeye ve eşyalara zararlı olabilecek konsantrasyonda ve sürelerde bulunması' şeklinde tanımlayabiliriz (Tünay ve Alp, 1996). Hava kirliliğinin yeryüzündeki yaşamsal faaliyetler açısından büyük bir öneme sahip olması, canlı ve cansız bütün öğelere olan etkilerinin bilinmesini gerekli kılmış ve bu gereklilik hava kirliliğinin, birçok meslek disiplini içinde olduğu gibi, mimarlık disiplini içerisinde de ele alınmasını zorunlu kılmıştır.

Atmosferik kirlenmeye neden olan kirleticiler, atmosferde değişik şekillerde bulunmaktadır. Kirlenmeye neden olan kaynaklardan atmosfere doğru yayılan kirleticiler, birincil kirleticiler, atmosferde bulunan birincil kirleticiler ile atmosferik faktörler arasındaki kimyasal reaksiyonlar sonucunda meydana gelen kirleticiler de ikincil kirleticiler olarak tanımlanır. Birincil kirleticiler kükürtdioksitler, azotoksitler karbonoksitler ve

Tablo 1. Seçeneklerin yıllık ısıtma enerjisi ve doğalgaz tüketim değerleri

Genel Guruplar	Alt Guruplar	İdeal Çözüm (Isı Köprüsüz)		Derzlerde Isı Köprüsü		Panellerde Isı Köprüsü				
		Kod	Enerji Tüketimi (Kwh/Yıl)	Doğalgaz Tüketimi (M <sup>3</sup> /Yıl)	Kod	Enerji Tüketimi (Kwh/Yıl)	Doğalgaz Tüketimi (M <sup>3</sup> /Yıl)	Kod	Enerji Tüketimi (Kwh/Yıl)	Doğalgaz Tüketimi (M <sup>3</sup> /Yıl)
Cephe Düzeni	Yatay Etki	T5C11	486479	46485	T5C12	496299	47424	T5C13	523136	49988
	Düşey Etki	T5C21	440618	42103	T5C22	448171	42825	T5C23	478411	45714
	Yatay-Düşey Etki	T5C31	509044	48641	T5C32	518627	49557	T5C33	545308	52107
	Düz Etki	T5C41	414115	39570	T5C42	421744	40299	T5C43	451740	43166
Panel Genişliği	Dar	T5G11	414115	39570	T5G12	424574	40570	T5G13	466197	44547
	Orta	T5G21	414115	39570	T5G22	421744	40299	T5G23	451740	43166
	Geniş	T5G31	414115	39570	T5G32	420471	40178	T5G33	444463	42470
Taşıyıcılık	Kendini Taşıyan	T5T11	414115	39570	T5T12	419057	40043	T5T13	439052	41953
	Taşınan	T5T21	414115	39570	T5T22	418209	40178	T5T23	460751	44027
	Taşıyıcı	T5T31	414115	39570	T5T32	420471	40178	T5T33	445746	42593

partiküllerden oluşmaktadır. İkincil kirleticiler ise asit yağmurları, nitrikasit ve smogdan oluşmaktadır.

### Kirletici emisyon oranlarının hesaplanması

Japonya'nın Kyoto kentinde Aralık 1997'de düzenlenen ve "Sera Gazları Emisyonları Konusunda Kyoto İklim Değişim Protokolü" olarak adlandırılan toplantıda kısa vadede doğalgaz gibi daha az karbon yoğun yakıtlara geçilmesi eğiliminin artması zorunluluğu vurgulanmıştır.

Doğalgazın diğer alternatif yakıt türlerine oranla içerdiği zehirli gaz oranının düşük olmasının yanında, yakıldıkları kazanların veriminin yüksek olması da önemli bir özellik teşkil etmektedir. Özellikle kömür yakılması halinde çevreye yayılan katı parçacıklar kazan yüzeylerini kaplayarak verimi ve ısı kapasiteyi düşürür. Ayrıca bir kazanın ısı veriminin yüksek olması kazanı terk eden duman gazlarının sıcaklığının

düşük olmasına bağlıdır. Fuel oil veya kömür yakılması durumunda, kükürtoksitlere bağlı asit korozyonu nedeniyle duman sıcaklıkları fazla düşemez ve verim kaybı meydana gelir. Ekonomik açıdan yakıt türlerini karşılaştırdığımızda, temizlik, depolama, yakıt hazırlama ve kül atma maliyetleri göz önüne alınırsa doğalgaz kullanımının gerek yatırım, gerekse işletme maliyetlerinde önemli kazançlar sağladığını söyleyebiliriz.

Kullanım kolaylığı, ekonomik oluşu ve ekolojiye olumlu katkısı gibi temel nedenlerle bu çalışmada kirletici emisyonlarının hesaplanmasında ısıtma sisteminin yakıcısı olarak sadece doğalgaz esas alınmıştır. Bu bölümdeki temel amaç problem noktaları ve türlerine bağlı olarak oluşan seçeneklerin birbirleri ile karşılaştırmalarına olanak sağlayacak verileri oluşturmaktır.

Kirletici emisyonlarına ilişkin çarpan değerleri İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü danışmanlığında oluşturulmuştur. Çarpanların oluşturulmasında girdi verileri BOTAŞ'ın



açıkladığı doğalgaz özelliklerine ve piyasadaki doğalgaz yakıcı sistemlerinin performans değerlerine bağlı olarak belirlenmiştir. Buna göre altı temel kirlenici emisyonuna ait çarpanlar aşağıda sıralanmıştır :

Karbondioksit (CO <sub>2</sub> )	: 1.92 kg /m <sup>3</sup>
Kükürtdioksit (SO <sub>2</sub> )	: 0.00000384 kg /m <sup>3</sup>
Azotoksit (NO <sub>x</sub> )	: 0.001504 kg /m <sup>3</sup>
Karbonmonoksit (CO)	: 0.00064 kg /m <sup>3</sup>
Partikül Madde (PM)	: 0.0000304 kg /m <sup>3</sup>
Toplam Organik M. (TOM)	:0.000176 kg /m <sup>3</sup>

Yukarıdaki çarpanlara göre T5 kodlu binanın seçenek guruplarına bağlı kirlenici emisyon oranları Tablo 2’de görülmektedir.

### **Cephe düzenleme gurubuna bağlı değerlendirme**

Cephe düzenleme gurubunda, bina taşıyıcı sistem elemanlarını bir bütün olarak örten “düz etki” görünümüne sahip, derzlerde ve panel bünyesinde kesintisiz ısı yalıtımının uygulandığı T5C41 kodlu seçenek, en az ısıtma enerjisi tüketim değerine sahip olduğu için en düşük kirlenici emisyon oranlarına sahip seçenektir. Buna bağlı olarak düz etkili cephe düzenlerinde derzlerin ısı yalıtımı ile yalıtılmaması % 2 (T5C42), panel bünyesinde meydana gelen ısı köprüsü ise %9 oranında daha fazla kirlenici emisyonu oluşmasına yol açmaktadır (T5C43).

Yatay etkili seçeneklerde giriş elemanlarının oluşturduğu alın hatlarının yalıtılmamasından dolayı T5C41 nolu en ideal seçeneğe oranla %15 daha fazla kirlenici emisyonu oluşmaktadır (T5C11). Yatay etkili cephe seçeneklerinde derzlerin yalıtılmaması % 2’lik bir kirlenici emisyonu üretirken (T5C12), panel bünyesinde oluşan ısı köprüleri % 6 oranında kirlenici emisyonu oluşturmaktadır (T5C13). Bu durumda etkinlik yüzdesi en yüksek olan seçenek ile aradaki fark % 21 oranında olmaktadır (T5C41-T5C13).

Düşey etkili seçeneklerde kolonların yalıtılmamasından meydana gelen kirlenici fazlalığı % 7 oranındadır (T5C21). Derzlerin yalıtılmaması ile meydana gelen kirlenici fazlalığı %1 iken

(T5C22), panel bünyesinde oluşan ısı köprüleri % 6 oranında daha fazla kirlenici üretmektedir (T5C23). En ideal seçenek ile T5C23 seçeneği arasındaki fark % 14 oranında olmaktadır.

Yatay ve düşey etkiye sahip seçeneklerde kolon ve girişlerin oluşturduğu ısı köprüleri % 9 oranında kirlenici oluşturmaktadır (T5C31). Derzlerin yalıtılmamasından meydana gelen ısı köprüleri % 1’lik kirlenici fazlalığı oluştururken (T5C32), panellerin bünyesindeki ısı köprüleri % 4’lük kirlenici fazlası meydana getirmektedir (T5C33). Bu durumda en ideal seçeneğe göre % 24’lük bir kirlenici fazlalığı söz konusu olmaktadır.

### **Panel genişliğine bağlı değerlendirme**

Panel genişliğine bağlı seçenek gurubunda ısı yalıtımının derzlerde ve panel bünyesinde kesintisiz olarak uygulandığı dar, orta, geniş büyüklükte her üç seçenek aynı oranda kirlenici emisyonuna sahiptir. Toplam derz uzunluğu en yüksek olan dar panelli T5G12 kodlu seçenekte derzlerde oluşan ısı köprüleri nedeniyle %3’lük düzeyde kirlenici fazlalığı oluşmaktadır. Panel bünyesinde oluşan ısı köprüleri dar panellerde % 10 ‘luk (T5G13), orta boy panellerde % 9’luk (T5G23), geniş panellerde % 6’lık (T5G33) kirlenici fazlalığı oluşmaktadır. Panel genişliği azaldıkça, toplam derz ve panel bünyelerinde oluşan ısı köprüsü uzunluğu artmakta; bu durumda kirlenici emisyonlarını artırmaktadır. Burada dar panelli, derzlerde ve panel bünyesinde ısı köprüsüne sahip T5G13 kodlu seçenekte en etkin seçeneğe oranla % 13’lük kirlenici fazlalığı meydana gelmektedir. Geniş panellerde bu oran % 6 düzeyindedir (T5G33).

### **Taşıyıcılığa bağlı değerlendirme**

Isı yalıtımının derzlerde ve panel bünyesinde kesintisiz olarak uygulandığı üç alt guruptaki her seçeneğin ısıtma enerjisi tüketimi en düşük ve aynı değerdedir. Bu nedenle her üç alt guruptaki üç seçeneğin kirlenici emisyonları aynı ve en düşük seviyededir. Buna bağlı olarak kendini taşıyan ve taşıyıcı seçeneklerde derzlerde oluşan ısı köprüleri % 2’lik oranda kirlenici oranını artırmaktadır (T5T12 ve T5T32). Taşınan seçeneklerde bu oran % 1 düzeyindedir (T5T22).

Tablo 2. Seçeneklerin yıllık kirletici emisyonları

	Kirleticiler	İdeal Çözüm		Derzlerde Isı Köpr.		Panellerde Isı Köpr.	
		Kod	Emisyon (Kg/Yıl)	Kod	Emisyon (Kg/Yıl)	Kod	Emisyon (Kg/Yıl)
<b>Cephe Düzzenleme Gurubunu</b>	<b>Yatay Etki</b>	CO <sub>2</sub>	89251		91054		95977
		SO <sub>2</sub>	0.178	T5C12	0.182	T5C13	0.192
		NO <sub>x</sub>	70		71.3		75.1
		CO	29.7		30.3		32
		PM	1.4		1.44		1.52
		TOM	8.2		8.35		8.8
	<b>Düşey Etki</b>	CO <sub>2</sub>	80837		82224		87770
		SO <sub>2</sub>	0.161	T5C21	0.164	T5C23	0.175
		NO <sub>x</sub>	63.3		64.4		68.8
		CO	26.9		27.5		29.3
		PM	1.28		1.3		1.4
		TOM	7.4		7.53		8.04
	<b>Yatay-Düş. Etki</b>	CO <sub>2</sub>	93390		95149		100045
		SO <sub>2</sub>	0.186	T5C31	0.190	T5C33	0.2
		NO <sub>x</sub>	73.2		74.5		78.4
		CO	31.2		31.8		33.4
		PM	1.48		1.5		1.58
		TOM	8.56		8.72		9.17
	<b>Düz Etki</b>	CO <sub>2</sub>	75975		77374		82878
		SO <sub>2</sub>	0.152	T5C41	0.154	T5C43	0.166
		NO <sub>x</sub>	59.5		60.6		64.9
		CO	25.3		25.8		27.7
		PM	1.2		1.22		1.31
		TOM	6.96		7.1		7.6
<b>Dar</b>	CO <sub>2</sub>	75974		77894		85530	
	SO <sub>2</sub>	0.151	T5G11	0.155	T5G13	0.171	
	NO <sub>x</sub>	59.5		61		67	
	CO	25.3		26		28.6	
	PM	1.2		1.23		1.35	
	TOM	6.96		7.14		7.84	
<b>Orta</b>	CO <sub>2</sub>	75974		77374		82878	
	SO <sub>2</sub>	0.151	T5G21	0.154	T5G23	0.166	
	NO <sub>x</sub>	59.5		61		67	
	CO	25.3		25.8		27.6	
	PM	1.2		1.22		1.31	
	TOM	6.96		7.1		7.6	
<b>Geniş</b>	CO <sub>2</sub>	75974		77374		82878	
	SO <sub>2</sub>	0.151	T5G31	0.154	T5G33	0.163	
	NO <sub>x</sub>	59.5		60.5		63.9	
	CO	25.3		25.7		27.1	
	PM	1.2		1.22		1.29	
	TOM	6.96		7.07		7.47	
<b>Kendini Taşınan</b>	CO <sub>2</sub>	75974		76882		80549	
	SO <sub>2</sub>	0.151	T5T11	0.153	T5T13	0.161	
	NO <sub>x</sub>	59.5		60.2		63.1	
	CO	25.3		25.6		26.9	
	PM	1.2		1.21		1.28	
	TOM	6.96		7.05		7.4	
<b>Taşınan</b>	CO <sub>2</sub>	75974		76727		84531	
	SO <sub>2</sub>	0.151	T5T21	0.153	T5T23	0.169	
	NO <sub>x</sub>	59.5		60.2		66.2	
	CO	25.3		25.6		28.2	
	PM	1.2		1.21		1.34	
	TOM	6.96		7.03		7.75	
<b>Taşıyıcı</b>	CO <sub>2</sub>	75974		77141		81778	
	SO <sub>2</sub>	0.151	T5T31	0.154	T5T33	0.163	
	NO <sub>x</sub>	59.5		60.4		64.1	
	CO	25.3		25.7		27.3	
	PM	1.2		1.22		1.3	
	TOM	6.96		7.07		7.5	

Panel bünyelerindeki ısı köprüleri nedeniyle oluşan kirlenici oranı kendini taşıyan panellerde % 4 (T5T13), taşınan panellerde % 10 (T5T23), taşıyıcı panellerde % 5 düzeyinde olmaktadır (T5T33). Derzlerde ve panel bünyelerinde oluşan ısı köprüsüne bağlı kirlenici fazlalığı en çok T5T23 kodlu seçenekte %11 düzeyinde olmaktadır.

## Sonuçlar

Cephe düzenine, panel genişliğine ve taşıyıcılığa bağlı olarak oluşturulan seçeneklere ait kirlenici emisyonlarının değerlendirilmesinde bina taşıyıcı sistem elemanlarının tamamen örtüldüğü “ön konumlu”, derzlerde ve panel bünyelerinde ısı yalıtımının kesintisiz uygulandığı cephe panelleri en düşük ısıtma enerjisi tüketim değerleriyle en düşük düzeyde kirlenici emisyonlarına sahiptir.

En ideal seçeneğe oranla en yüksek kirlenici emisyonu fazlalığı % 24'lük bir oranla yatay ve dikey cephe görünümüne sahip, derzlerde ve panel bünyesinde ısı köprülerinin olduğu T5C33 kodlu seçeneğe aittir.. Derzlerde ve panellerde oluşan ısı köprülerine sahip seçenekler kapsamında en düşük kirlenici emisyon artışı % 4'lük oranla T5T13 kodlu kendini taşıyan panel ile T5G33 kodlu geniş panel seçeneğidir.

Yukarıdaki verileri genel anlamda özetleyecek olursak öncelikle ısı köprülerine bağlı problem noktalarına bağlı kirlenici emisyonları artışının enerji tüketim artışıyla doğru bir orantı sergilediğini söyleyebiliriz. İlköğretim yapılarının beton esaslı prefabrikte sistemlerle uygulanması durumunda öğrenci başına düşen kirlenici emisyonu oranı cephe elemanlarında oluşacak ısı köprülerine bağlı olarak seçilen cephe düzeni,

panel genişliği ve panel taşıyıcılığı ile bina tipolojisine ve kat sayısına bağlı olarak enerji tüketim değerlerinde olduğu gibi en ideal seçenekle en olumsuz seçeneğin kirlenici oranlarının oldukça yüksek bir oranda farklılaştığını görmekteyiz.

## Kaynaklar

- Bodkin, D.B., (1982). *Environmental Studies*, Charles E. Merrill Publishing Company, Columbus, Ohio.
- Mert, İ., (2001). Betonarme prefabrikte yapı sistemlerinin ilköğretim binalarına uyabilirlik olanaklarının değerlendirilmesine yönelik bir model önerisi, *Doktora Tezi*, M.S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Freedman, S., (1991). *Architectural Precast Concrete: A Material for the 21. Century, Exterior Wall Systems: Glass and Concrete Technology Design and Construction*, ASTM Publication, Philadelphia.
- Yücesoy, L., (1989). Isı köprüsü olarak iskelet yapı elemanları, *İskelet Yapılarda Dış Duvarlar Sempozyumu*, Yapı Endüstri Merkezi, İstanbul.
- Yaşar, Y., (1989). Paralel yüzeyli ısı köprüsü içeren yapı elemanında yüzey sıcaklıklarının hesaplanmasında kullanılacak bir yöntem, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Chudley, R., (1999). *Construction Technology*, Addison Wesley Longman Limited, Essex.
- Sullivan, P. E. ve Cole, R. J., (1974). The thermal performance of school buildings, *Journal of Architectural Research*, **3/2**, May, 6-7.
- Yılmaz, Z., (1988). Hazır cephe elemanlarının boyutlarının iklimsel konfor ve enerji tasarrufuna etkisi, *Beton Hazır Elemanlar Sempozyumu*, Yapı Endüstri Merkezi, İstanbul, 14 Nisan, 1-7.
- TSE 825, (1998). Binalarda ısı yalıtımı kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Tünay, O. ve Alp, K., (1996). *Hava Kirlenmesi Kontrolü*, İstanbul Ticaret Odası, İstanbul.