

ISI YALITIM MALZEMESİ OLARAK POLİÜRETAN KÖPÜĞÜN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ, ÜRETİMİ VE İNCELENMESİ

Hakan AYDIN, İsmail EKMEKÇİ

Özet - Bu çalışmada, günümüzde birçok kullanım alanına sahip poliüretan köpük malzemesi hakkında bilgiler verilmektedir. Poliüretan malzemenin kullanım ve ısı özellikleri, kimyasal yapısı ve elde etme yöntemlerinden bahsedilecektir.

Anahtar kelimeler - Poliüretan, ısı özellikler, kimyasal yapı

Abstract - In this case, it has been given information about the polyurethane foam material, which nowadays a plenty of usage field. It will be mentioned, the using and thermal characteristics of the polyurethane material, chemical structure and also the methods of obtaning.

Key Words - Polyurethane, thermal characteristics

I. GİRİŞ

Üretan kimyasının başlangıcı 1849 yıllarına gider. O yıllarda Wurtz ve Hoffman izosiyanat ve hidroksil bileşimini kapsayan bir reaksiyonu kayda geçmişlerdi. Dr. Otto Bayer 1937 yılında reaksiyon için ticari bir kullanım yolu buldu ve endüstri naylon ile rekabet etmek için polyester esaslı üretan polimerlere yönelmeye başladı. İkinci dünya savaşının başlamasıyla temel malzemelerin azalması, fiberler, köpükler ve kaplamalar için üretan malzemelerin geliştirilmesi zorunlu kılındı. Başlangıç olarak polyester polyol bileşikleri ve dizosiyanatlar kullanıldı. Fakat proses oldukça zordu ve maliyetler oldukça yüksekti. Sonuç olarak poliüretan endüstrisi hidroksil malzemeleri yerine başka malzemeler aramaya başladı ve 1957 yılında çok geniş köpük özelliklerine ve oldukça düşük maliyete sahip polyesterler ortaya çıktı.

Hakan Aydın Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Esentepe Kampüsü, Sakarya.
İsmail EKMEKÇİ Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Esentepe Kampüsü, Sakarya

Silikon blok kopolimerlerinde kullanılmasıyla bu gelişme bütün sıvı malzemelerin döküm kafasında

karıştırılarak dökülmesi işlemini (one-shot process) mümkün kıldı. Bu durum üretan endüstrisinin çok büyümesine neden oldu.

Trikloroflorometan (R-11) gibi yeni tip köpürtme malzemelerinin kullanılmaya başlanmasıyla, katı üretan köpüklerin üretimi kolaylaştı. Bu köpükler önce izolasyon daha sonra süsleme ve yapısal uygulamalarda kullanıldı.

II. KATI ÜRETAN KÖPÜKLERİN KULLANIM ALANLARI

1. Buzdolapların izolasyonunda,
2. Rüzgar sörflerinde,
3. Sıcak su tanklarında,
4. Boruların izolasyonunda,
5. Termoelektrik elemanlar vasıtasıyla ısıtma ve soğutma yapmak için konteynerlerin izolasyonunda,
6. Duvarlar için sandviç panellerde.

Katı üretan köpüklerin diğer malzemelere nazaran birkaç avantaja sahip olması, onun hızlı bir şekilde gelişmesine yardımcı olmuştur

a) İzolasyon: Katı üretan köpüğü çok etkili izolasyon malzemesidir. Verilen bir kalınlıkta, diğer izolasyon malzemelerine nazaran ısı transferine karşı çok büyük direnç gösterir.

b) Hafif Ağırlık: Katı üretan köpüğü sandviç konstrüksiyonlarda kullanılabilir ve bu konstrüksiyonlara yüksek dayanım ve hafif ağırlık sağlar.

c) Kalıplanabilme: Üretan karışımının genişleme özelliğinden dolayı çok karışık şekiller ve boşluklar doldurabilir. Dekoratif amaçlar için çok detaylı kalıp yüzeyleri kopya edilebilir.

d) Yapışma: Katı üretan, köpürtme esnasında metal, kağıt, tahta, plastik ve taş gibi malzemelere yapışır. Kesilmiş köpük çok genel yapıştırıcılarla yapıştırılabilir.

e) Yüzme Kabiliyeti: Sıkı hücre yapısından dolayı, katı üretan köpük çok az su emer. 40 kg/m³

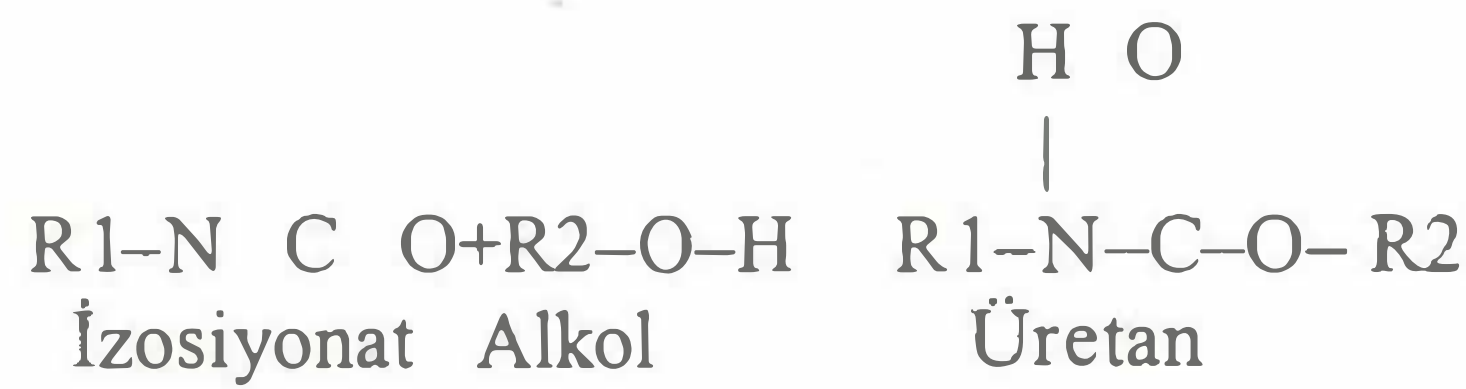
yoğunluğundaki bir köpük kendi ağırlığının 25 katı kadar bir ağırlığı su üzerinde taşıyabilir.

III. POLİÜRETAN KÖPÜĞÜN KİMYASAL YAPISI

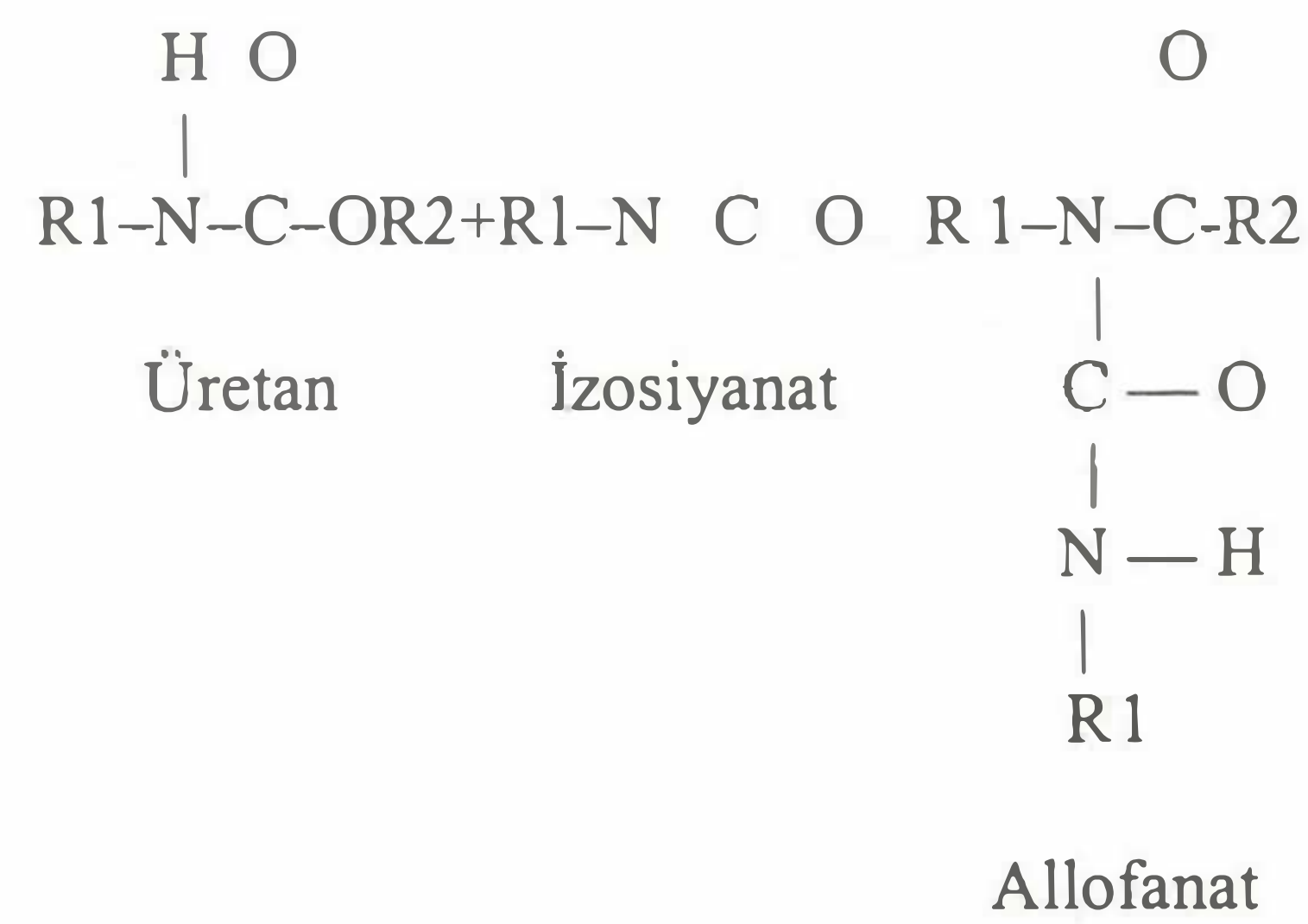
Temel üretan reaksiyonu bir izosyanat grubu ve aktif bir hidrojene sahip olan bir bileşik arasında olmaktadır. Bu tanıma uyan çok miktardaki bileşikler arasından en önemlileri şunlardır;

- Alkol
- Su
- Primer ve sekonder aminler
- Karboksilik asid grupları
- Amidler
- Üretan hidrojeni

Kimyasal olarak bir izosyanat ve bir alkol arasındaki reaksiyon şu şekilde gösterilebilir;



Di veya poli fonksiyonel izosyanat ve di veya poli fonksiyonel alkol (genellikle polyol olarak isimlendirilir) kullanıldığı zaman, karışık bir polimer yapı elde edilir. Ayrıca üretan grubundaki hidrojen atomu allofanat meydana getirmek için yüksek sıcaklıklarda izosyanatla reaksiyona girer.



Köpük elde etmek için polimer, bir köpürtme malzemesi vasıtasıyla polimerizasyon esnasında köpürtülür.

Kimyasal köpürme, izosyanatla suyun reaksiyonu vasıtasıyla dengesiz bir karbamik asit oluşturmakla meydana getirilir. Ayrıca karbamik asid bir primer amin ve kabondioksit ayrışır. Primer aminde izosyanatla reaksiyona girerek üre meydana getirir.

Köpürme, trikloroflorometan (Freon-11) gibi kaynama noktası düşük sıvı veya kaynama noktası oda

sıcaklığının biraz üzerinde başka bir sıvı kullanılarak fiziksel olarak elde edilir. Ekzotermik üretan reaksiyonu karışımı ısıtır ve köpürtme malzemesinin buharlaşmasına neden olur. Böylece polimerize olan kütlelerin genişlemesiyle hücrel bir yapı oluşur.

Son zamanlarda çevre bilincinin artmasıyla beraber Freon-11 gazı kullanımı, yerini pentan gazı ve benzeri gazlara bırakmıştır.

IV. POLİÜRETAN ÜRETİM TEKNİKLERİ

IV.1. Poliüretan Üretiminde Kullanılan Prosesler

Formülasyonu kontrol etmek ve istenen fiziksel özellikleri elde etmek için genellikle 4 farklı proses tekniği kullanılır.

1. One-Shot Sistemi: Bu sistemde bütün komponentler belirli oranlarda ayrı ayrı karıştırıcıya pompalanır ve karıştırma işleminden sonra döküm yapılır.

2. İki Komponent Sistemi: Bu sistemde polyol, silikon, katalizör ve köpürtme malzemesi önceden karıştırılır (Komponent B). Daha sonra izosyanat (Komponent A) eklenerek reaksiyon elde edilir. Bu sistemin avantajı şudur; sadece iki komponent karıştırıcıya girmektedir. Bununla beraber formülasyonu değiştirmek one-shot sistemi kadar kolay değildir.

3. Kısmi Ön Polimer Sistemi: Gerçek ön polimerde polyol tamamıyla izosyanatla reaksiyona girer. Daha fazla izosyanata sahip olan bu karışım daha sonra su ile reaksiyona girerek köpük elde edilir. Bu proses katı üretan köpük üretiminde kullanılamaz, çünkü ön polimerlerin viskozitesi çok yüksektir.

4. Froth (Köpük) Sistemi: Froth sistemde köpürtme malzemesinin (R-11) üçte bir oranı yerine düşük kaynama noktasına sahip olan diklorodiflorometan (R-12) kullanılır. R-12 düşük kaynama noktasından (-28 °C) dolayı ayrı olarak karıştırıcıya verilir ve döküm kafasından malzeme basıldığı anda ön köpürme başlar.

IV.2. Poliüretan Üretim Teknikleri

Katı üretan köpüklerin uygulama alanları hızlı bir şekilde büyümektedir. Katı üretanın diğer malzemelerle birleşimi gittikçe artarak önem kazanmaktadır. Önemli uygulama alanları hakkında bilgi, aşağıda kısaca belirtilmiştir.

a) Blok Döküm: Katı üretan köpük üretiminde en eski uygulama alanıdır. Bu uygulamada ağaç veya metal kalıp içersine, bütün komponentler karıştırılarak dökülür ve köpürtme elde edilir. Belli bir süreden sonra sistem ve kalıba bağlı olarak köpük, blok halinde kalıptan çıkarılır. Blok, kürlenmenin tamamlanması için birkaç gün bekletilir ve istenen şekle göre kesilir.

Köpüğü kalıptan kolay bir şekilde çıkarmak için ayırıcı bir malzeme, balmumu veya kağıt kullanılır.

Bu üretim metodunun avantajları; ilk yatırım maliyetinin düşüklüğü, ölçü, yoğunluk ve formülasyonun istenen özelliklere kolayca getirilebilmesidir. Bununla beraber bu methoda işçilik ve köpük fire oranı yüksektir. Bu methoda sadece bir karıştırıcı, kalıp, karıştırma kabı ve bir teraziye ihtiyaç vardır. Kalıbın uzunluğu ve genişliği sınırsızdır. Sadece karıştırıcının tipi ve ölçüleri sınırlayıcı faktördür. Bloğun yüksekliği düzensiz yoğunluk dağılımından kaçınmak ve 35 kg/m^3 standart yoğunluk elde etmek için 80-90 cm'yi geçmemelidir.

Blok döküm sisteminde kremalaşma zamanı yüksektir (45-60 sn). Çünkü uygun karıştırma ve döküm için yeterli zamana ihtiyaç vardır. Kremalaşma başlamadan önce döküm yapılmalıdır. Her karıştırmadan sonra karıştırıcı bir çözücü malzeme ile temizlenmelidir. Elle karıştırma veya karıştırıcı kullanma yerine bir döküm makinası kullanılabilir. Bununla beraber büyük kalıpları doldurmak için büyük kapasiteli döküm makinaları gereklidir. Çünkü kremalaşma zamanı köpüğün hatalı çıkmasını önlemek için uzatma imkanı yoktur.

80-90 cm yüksekliğindeki blokların yoğunluğu 50 kg/m^3 civarında gelebilir. Yüksek yoğunluk elde etmek için yüksekliğin düşürülmesi gereklidir.

b) Levha Döküm: Çok miktarda köpük üretimi istenen yerlerde sürekli döküm gözönüne alınmalıdır. Bu durumda reaksiyon karışımı hareketli bir döküm kafası ile üzeri köpüğün rahat çıkarılması için kağıt kaplanmış konveyör üzerine dökülür. Köpürme esnasında kenarlar dikey konveyörler vasıtasıyla desteklenir.

Döküm hattı sonunda köpük kesilir ve stoklanır. Daha sonra istenen formda kesilir. Bu sistemde dışarıya akmayı önlemek için genellikle kısa kremalaşma zamanı kullanılır.

c) Püskürtme: Püskürtme tekniğinde, hızlı bir şekilde reaksiyona giren üretan karışımı direk olarak üzerinde köpüreceği bir tabaka üzerine püskürtülür. Tabakanın yüzeyi kurudur ve toz, kir ve yağ yoktur. Üretan karışımı yüzeye çok iyi yapışır ve ince tabaka halinde köpük meydana gelir. Bu tip uygulamalar sık sık

izolasyon işleminde kullanılır (özellikle tank izolasyonu).

Bu uygulamalar için özel püskürtme ekipmanı gereklidir. Dikey yüzeylerde akmayı önlemek için kısa kremalaşma zamanı (4-5 sn) olmalıdır. Yüzey sıcaklığı çok düşükse püskürtme yapılmamalıdır. Köpüğün kalınlığı yanma tehlikesini minimize etmek için 3-5 cm'yi geçmemelidir. İstenen kalınlığı elde etmek için üst üste püskürtme yapılabilir.

d) Dökme: Bu methoda köpürmenin yapılacağı bir boşluğa reaksiyon karışımı dökülür. Bu methodun en önemli uygulama alanı buzdolabı endüstrisidir. Köpüğün izolasyon özelliklerinin çok iyi olmasından dolayı duvar kalınlığı önemli oranda düşmüştür. Dış ölçüler değişmeden iç hacim % 30 oranında büyümüştür. Bundan başka köpüğün buzdolabı duvarına çok iyi yapışması ile ölçüsel stabilite, yapısal kuvvetlendirme ve hafiflik sağlanmıştır. Döküm tekniği bütün boşlukların tamamıyla doldurulmasını sağlar, fakat oyuklu duvarlar $0,5-1,0 \text{ kg/cm}^2$ civarında basınçla direnç göstermelidirler. Destek için maça kullanılabilir. Gövde kalıp içersine yerleştirilir ve üretan karışım, arka kısımdan gövdenin içine dökülür. Köpürme ve kürlenmeden (7 dk. veya daha az) sonra gövde kalıptan çıkartılır.

Panellerde aynı şekilde yapılır. Fakat panel, yoğunluk ve fiziksel özellikleri etkileyecektir. Yatay pozisyonda döküm yapılan panellerde çok kaliteli köpük elde edilir. Dikey pozisyondaki kalıplarda kabarmanın üst kısma kadar olmama ihtimali vardır.

İyi bir köpük akışı ve yapışma elde etmek için kalıbın ısısının yükseltilmesi gerekmektedir. Bundan başka sıcaklık değişimi yoğunluğu belirli bir oranda etkiler. Yüksek sıcaklık düşük yoğunluğa neden olacaktır.

e) Çift Bant Haddeden Geçirme: Bu metod panellerin sürekli üretimi için kullanılır. Karıştırılmış komponentler, iki hareketli tabaka arasına dökülür veya püskürtülür. Bu tabakalar bükülebilir (kağıt) veya katı (ağaç, metal) olabilir. Köpük reaksiyon esnasında tabakalara yapışır. Ölçüsel olarak yeteri kadar stabil duruma gelinceye kadar alt ve üst konveyörlerden basınç yapılır. Konveyörlerin hızı sürekli üretim yapmak için 2-20 m/dk. arasında değişebilir.

Bu sürekli üretim tekniği ile, proses esnasında düşük basınç kullanmakla çok iyi özellikte panel üretilebilir. Alt tabaka üzerinde üretan komponentlerin çok iyi yayılması için, döküm kafası hareketli bir kol üzerine takılır. Panellerin kalınlığı döküm sistemi ve konveyörler yardımıyla değiştirilebilir. Bu yeni üretim tekniği ile 2 mm ile 15 cm arasında veya daha fazla kalınlık elde edilebilir. Köpük konveyörden çıktıktan

sonra istenilen ölçüde kesilir. Bu teknikte ek bir kürlenme periyodu önerilmektedir.

f) Kalıplama: Katı üretilen köpükleri sürekli olarak yeni pazarlara girmiştir. Bunlardan biride yüksek yoğunluklu kalıplama pazarıdır. İşçilik maliyetlerinin artması, iyi kalitede ağaçların kıtlanması ve daha pahalı olması, yeni üretim tekniklerini zorunlu kılmıştır.

Yüksek yoğunluklu katı üretilen köpüğü kalıplama tekniği dökme tekniğine benzemekte, fakat uygulama tamamen farklıdır. Dayanım ve yüzey kalitesi çok önemlidir ve özel işlem gerekmektedir.

Bu uygulama için, kauçuk gibi elastik malzemelerden yapılmış kalıplar kullanılır. Bu kalıplar pahalı olmayıp aynı zamanda daha çabuk üretilmektedir. Çok sık kullanılan malzemeler silikon lastiği ve üretilen kauçuğudur.

Kalıplanmış parçadan ayırıcı malzeme çıkarılmalıdır. Bu operasyon fazla işçilik gerektirdiği için bariyer kaplama metodu kullanılmaya başlanmıştır. Bariyer kaplama vernik esaslıdır ve sadece silikon lastik kalıplarında kullanılabilir. Köpürme esnasında önceden kalıba püskürtülmüş olan kaplama köpürmüş parça üzerine geçer. Bariyer kaplama parçaya düzenli bir renk verir ve kaplamayı çıkarmaya gerek yoktur. İstenen dayanım özelliklerine göre köpüğün yoğunluğu 60-400 kg/m³ arasında kolayca değiştirilebilir. Kalıptan çıkarma zamanı sistemin tipine ve parçanın kalınlığına bağlıdır, ve normal olarak 5 ila 15 dakika arasında değişmektedir.

Köpük sistemi su veya R-11 ile köpürtme yapılabilir. R-11 kullanılan sistemlerde dış yüzeylerde daha kalın kabuk meydana gelir. Çünkü florokarbon yüzeyde buharlaşacak ve orada daha yüksek yoğunluk meydana gelecektir.

Normal olarak elastik kalıpların ömrü, kalıpların karmaşıklığına bağlı olarak 100 ile 400 sayıkl arasında değişmektedir. Kalıplar aşırı derecede doldurulmamalıdır. Çünkü ömürleri kısacaktır. % 10 ile % 15 arasında fazla şarj en iyi sonucu verecektir.

V. POLİÜRETAN KÖPÜĞÜN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Poliüretan katı köpüğün fiziksel özellikleri 35 kg/m³ yoğunluk için aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 1. 35 kg/m³ yoğunluğundaki katı üretilen köpüğün fiziksel özellikleri

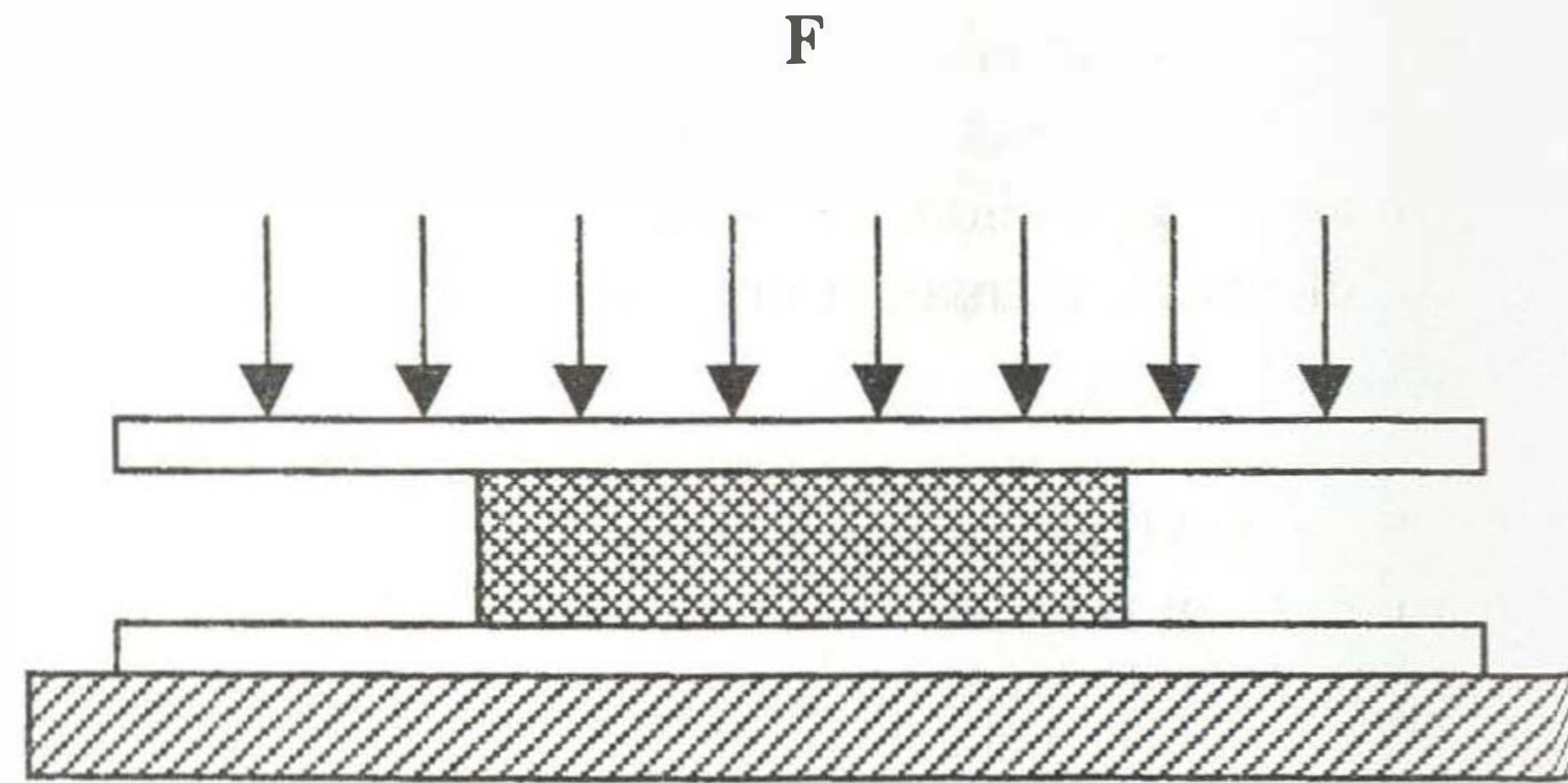
Kapalı Hücre (Porozite)	% 90	ASTM D 1940
Su Buharı Difüzyon Direnç Faktörü	30-100 µ	TS 2193 TS 10981
Su Emme	% 2 (Hacim)	ASTM D 2127
Nemden Yıpranma (%100 RH, 70°C)	%5-10 Hacim Değişmesi	ASTM D 2126

Poliüretan köpüğün sıcaklık karşısında dayanımı sınırlıdır. Sürekli olarak 110-120°C sıcaklıklarında kullanılabilir. Kısa süreli, geçici olarak da 200-250°C sıcaklıklarında çalışabilir.

V.1. MEKANİK ÖZELLİKLER

V.1.1. Basma Dayanımı

En önemli mekanik özellikler basma ve bükme dayanımıdır. Basma dayanımı kare veya daire şeklinde kesilmiş numunelerle ölçülür. Ölçüler kullanılan test metoduna bağlıdır. Köpük iki paralel plaka arasında sıkıştırılır. F kuvveti yüzde olarak farklı sıkıştırma değerlerinde ölçülür (max. 10). (Şekil 1).



Şekil 1. Basma dayanımı test numunesi

Basma dayanımı ISO 844'e göre test edilir. Yukarıdaki şekilde gösterildiği üzere numune iki plaka arasında konur ve kuvvet uygulanmaya başlar. % 10 basma değerine gelindiğinde basma mukavemeti aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\sigma = 10^3 \times F / A_0$$

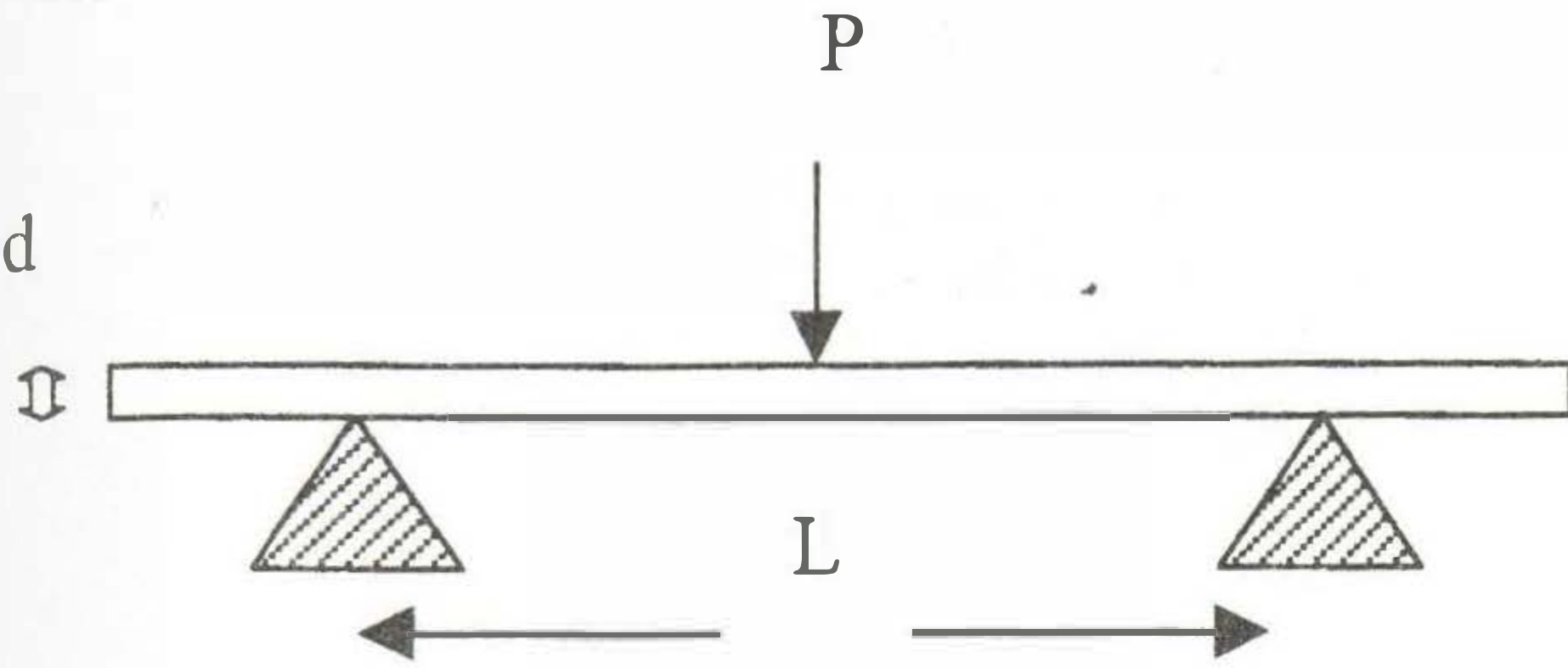
σ : Basma dayanımı (kPa)

F : Kuvvet (Newton)

A₀ : Numunenin kesit alanı (mm²)

V.1.2. Bükme Dayanımı

Bükme dayanımı uzun dikdörtgen şeklinde kesilen numunelerle ölçülür. Numune iki destek üzerine yerleştirilir ve köpük kırılıncaya kadar ortasına kuvvet uygulanır.



Şekil 2. Bükme dayanımı test numunesi

Bükme dayanımı testi ISO 1209'a göre yapılır.

$$S = \left[\frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} \right] \text{ kPa}$$

- L : İki destek arasındaki mesafe
P : Kırılma anındaki kuvvet
b : Numunenin genişliği
d : Numunenin kalınlığı

V.2. Isıl Özellikler

Poliüretan köpük beş yıl süreyle ortam sıcaklıklarında testlere tabi tutulmuş ve sonuç olarak katı poliüretan köpüklerin ısı iletkenlik katsayısının ilk 2 veya 3 ay içinde hafifçe artmakta ve daha sonra sabit kaldığı görülmüştür.

Isı iletkenlik katsayısı zamana bağlı olmayan çok değişik faktörlere bağlıdır. Bu faktörlere örnek olarak kapalı hücre yüzdesi (porozite), numunenin kalınlığı (daha kalın üretilen numunelerde üretim şekline bağlı olarak daha uzun kalıp bekleme süresinin etkisiyle kapalı hücre yüzdesi (porozite) daha yüksek olmakta ve daha uzun yayılma zamanı ile daha yavaş ısı iletkenlik katsayısı değişimi sağlanmaktadır.), hücre boyutu, köpürtme malzemesinin tipi ve diğer faktörler gösterilebilir. Şekil 3. ve Şekil 4. 'te sıcaklık ve yoğunluğa bağlı olarak ısı iletim katsayısının değişimi gösterilmektedir.

Aşağıda Tablo 2.'de poliüretan köpük ve diğer izolasyon malzemelerinin mukavemet değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Buna göre poliüretan köpüğün yoğunluğunun artması ile basma ve bükme dayanımlarının lineer olarak artış gösterdiği görülmektedir.

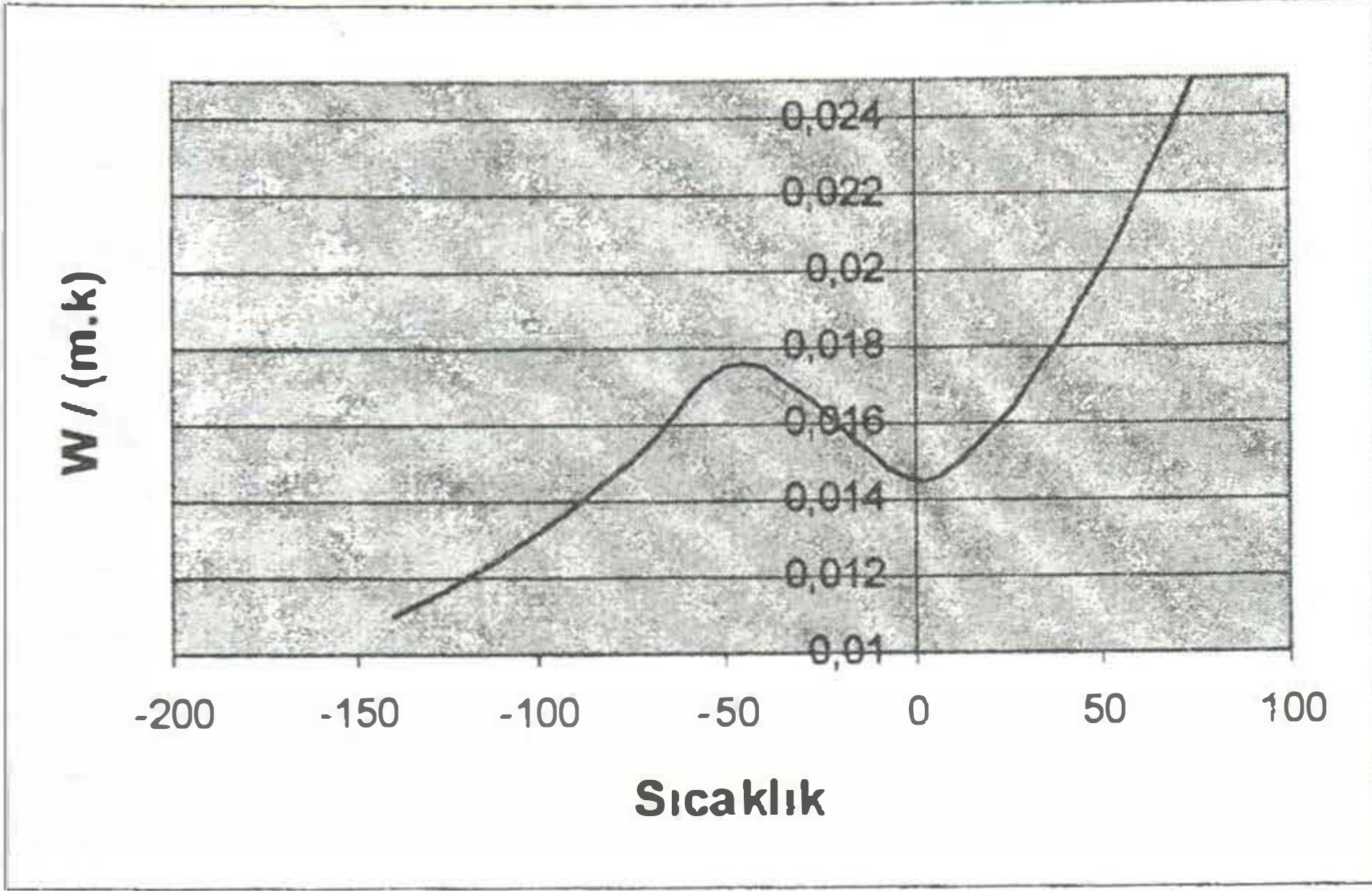
Tablo 2. Poliüretan köpükle diğer izolasyon malzemelerinin karşılaştırılması

Malzeme Cinsi	Yoğunluk kg / m ³	Basma Dayanımı kPa	Bükme Dayanımı KPa
Katı Üretan Köpük	30	200	300
Katı Üretan Köpük	60	500	1000
Katı Üretan Köpük	90	900	1800
Katı Üretan Köpük	600	17000	40000
Polistren Köpük (Kabartılmış)	30	200	500
Polistren Köpük (Kalıptan çekilmiş)	30	250	700
Mantar	90	100	200
Camyünü	90	20	550
Taşyünü	90	20	550

Tablo 3.'de oda sıcaklığı şartlarında poliüretan köpüğün, diğer yalıtım malzemeleri ile ısı iletkenlik değeri olarak karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırmalı tabloya göre poliüretan köpüğün diğer yalıtım malzemelerine göre daha düşük bir ısı iletim katsayısına sahip olduğu görülmektedir.

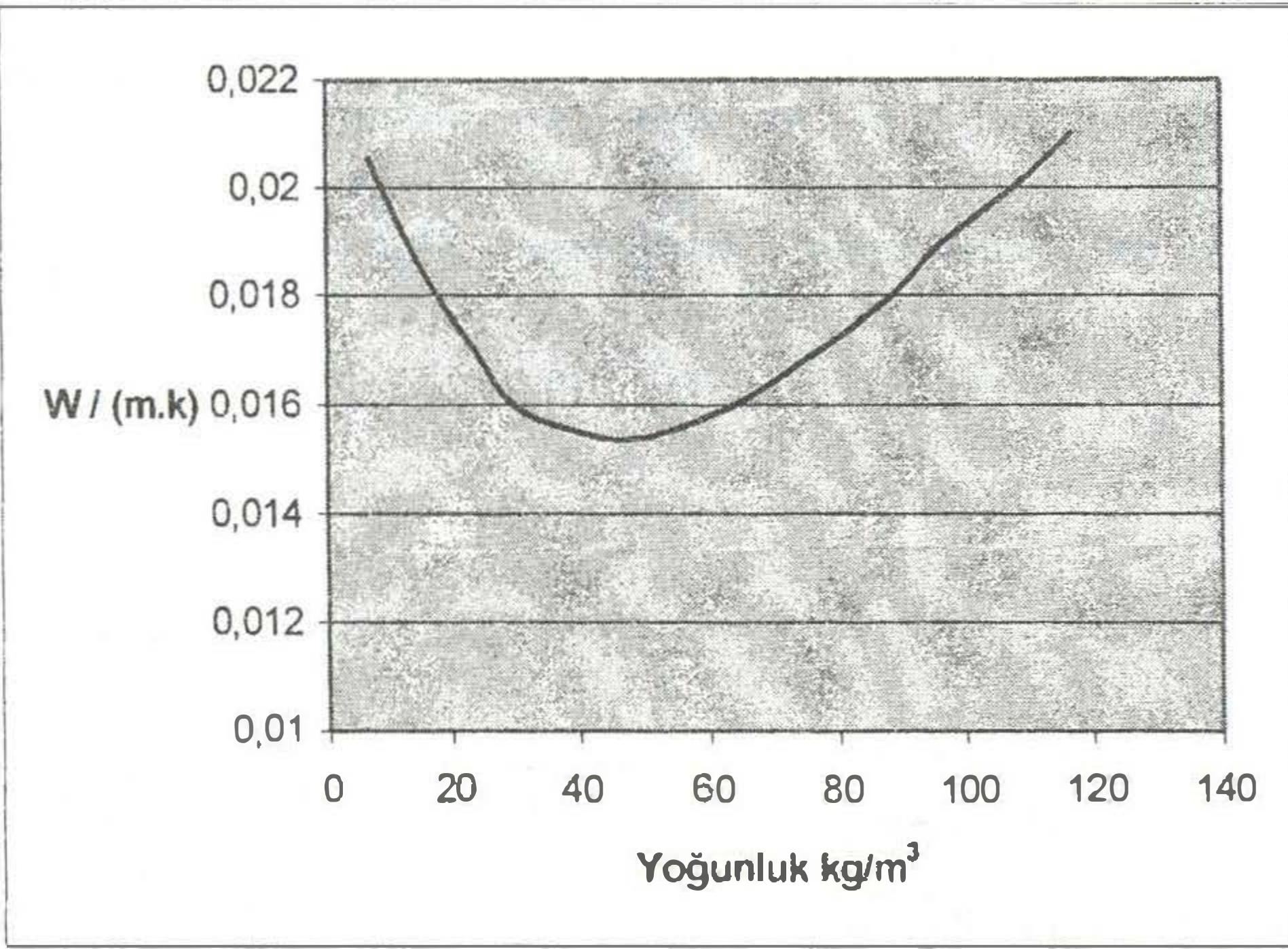
Tablo 3. Oda sıcaklığında izolasyon özellikleri - ısı iletkenlik katsayısı - (Bu değerler malzemenin yaşlanmasına, yoğunluğuna ve diğer faktörlere göre değişebilir.)

Malzeme Cinsi	Isı İletkenli Katsayısı W / (m.k)
Katı Üretan Köpüğü (R-11 ile köpürtülmüş)	0.014 – 0.021
Katı Üretan Köpüğü (Su ile köpürtülmüş)	0.019 – 0.026
Polistren Köpük (Kabartılmış)	0.030 – 0.036
Polistren Köpük (Kalıptan çekilmiş)	0.027 – 0.029
Camyünü - Taşyünü	0.035 – 0.041
Mantar	0.041 – 0.046
Cam Köpüğü	0.052 – 0.076
Alçı Taşı	0.070 – 0.087



Şekil 3. 35 kg/m³ yoğunluğunda sıcaklığın katı poliüretan köpük ısı iletim katsayısı λ üzerindeki etkisi

Şekil 3.'de Poliüretan köpüğün ısı iletkenlik katsayısının sıcaklığa bağlı olarak değişimi verilmiştir. Grafığe göre ısı iletim katsayısının düşük sıcaklıklarda daha düşük değerlerde olduğu, sıcaklığın artmasıyla beraber ısı iletim katsayısında da lineer bir artış olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Oda sıcaklığında, katı poliüretan köpük yoğunluğunun ısı iletkenlik katsayısı üzerindeki etkisi

Şekil 4.'de Poliüretan köpüğün yoğunluğa bağlı olarak ısı iletim katsayısının (λ) değişimi verilmiştir. Grafığe göre λ değeri en düşük değerini 40 kg/m³ 'te almaktadır. Bunun dışında yoğunluk değerindeki değişme ısı iletim katsayısını düşürmemektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Tek-iz İzolasyon ve Yapı Elemanları Sanayii A.Ş. Kalite Kontrol Bölümü - Ümraniye
- [2] DOW Türkiye - Dilovası
- [3] ASTM D 1940 Standardı
- [4] ASTM C 355 Standardı
- [5] ASTM D 2127 Standardı
- [6] ASTM D 2126 Standardı
- [7] ISO 844 Standardı
- [8] ISO 1209 Standardı