

## Expancel Mikrokürelerinin Testliner Kağıdında Kullanılabilirliğinin Araştırılması

### Investigation of the Usability of Expancel Microspheres in Testliner Paper

 Hülya VARLIBAŞ BAŞBOĞA<sup>1</sup>,  Arif KARADEMİR<sup>1</sup>

#### Özet

Hammadde tedarikinde ciddi sıkıntı yaşayan kâğıt sektöründe ormanların yanında alternatif kaynaklar konusu ve özellikle atık kâğıtların daha verimli işlenmesi üzerine yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Son yıllarda kâğıtların geri dönüşüme katılım oranlarının artması, kâğıt üretim sistemine dahil olan geri dönüştürülmüş kâğıtların kullanım miktarlarının artmasına da sebep olmuştur. Bu anlamda artan geri dönüşüm sayısı sonucu elyaf özelliklerindeki düşmelere bağlı olarak çok çeşitli katkı kimyasalları ve dolgu maddeleri kullanımı da doğal olarak artmaktadır. Kâğıt üretiminde kullanılan temel maddeler lifsel maddeler, su ve lifsel olmayan yardımcı maddeler olacak şekilde genel bir sınıflandırma yapılabilir. Lifsel olmayan yardımcı maddeler arasında dolgu maddeleri, katkı maddeler, tutundurucu maddeler, su itici ve yanma geciktirici kimyasal maddeler gibi gruplara ayırmak mümkündür. Kâğıtta dolgu maddeleri opaklığın artırılmasında, yüzey düzgünlüğünün sağlanmasında, baskı kalitesinin iyileştirilmesi, temini kolay ve ekonomik olması, enerji tasarrufu sağlaması gibi sebeplerinden ötürü kâğıt üretiminde sıklıkla tercih edilmektedirler. Yapılan çalışmada Expancel adıyla üretilen bir kimyasal bileşenin kâğıt üretiminde bir dolgu maddesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Sonuçlar kâğıt sektörü için umut vericidir. Ayrıca elde edilen sonuçlar ışığında Expancel kullanımı ile kâğıtlarda hacimsel artış olmuş, kâğıtların eğilme(bükülme) değerlerini yükseltmiştir. Expancel katılımı kâğıtların hava direncini artırmış, aşırı katılım da ise hava dirençlerinde düşme meydana gelmiştir. Mukavemet değerlerinde ise kısmi bir düşüş olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Expancel, hacimsel artış, kâğıtta eğilme(bükülme), hava geçirgenliği

#### Abstract

In the paper sector, which has serious problems in the supply of raw materials, intensive researches are carried out on alternative resources besides forests and especially on the more profitable processing of waste paper. The increase in paper recycling participation rates in recent years has also led to an increase in the amount of recycled paper included in the paper production system. In this sense, the use of various additive chemicals and fillers naturally increases due to the decrease in fiber properties as a result of increasing recycling numbers. A general classification can be made as the basic materials used in paper production are fibrous materials, water and non-fibrous auxiliaries. Fillers in paper are frequently preferred in paper production due to reasons such as increasing opacity, ensuring surface smoothness, improving printing quality, being easy and economical to supply, and providing energy saving. In the study, the usability of a chemical component produced by the name of Expancel as a filler in paper production was investigated. The results are promising for the paper industry. In addition, with the use of Expancel in the light obtained, there was a bulk increase in the papers and the stiffness values of the papers increased. Expancel participation has increased the air resistance of the papers, and excessive participation causes a decrease in air resistance. There was a partial decrease in strength values.

**Keywords:** Air resistance, bulk, expancel, fillers, stiffness

## 1. Giriş

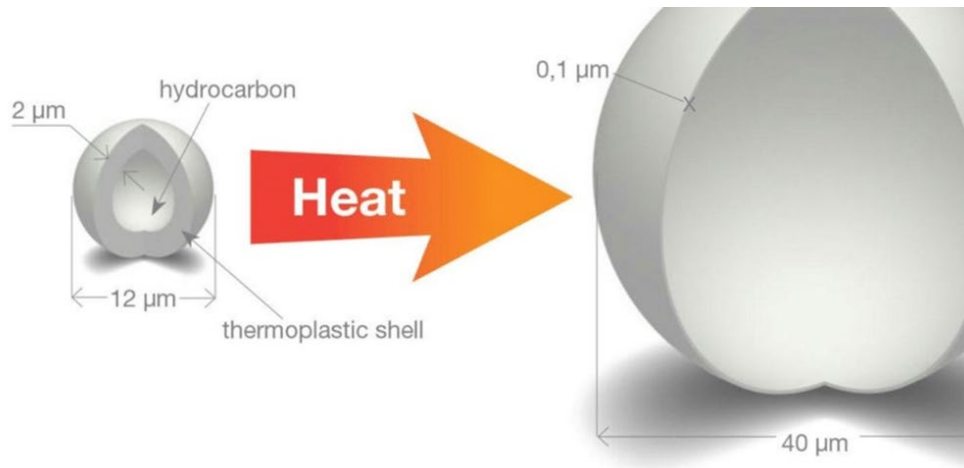
"Ambalaj sattığını korumalı ve koruduğunu da satmalı" sloganı ile kağıt, plastik, cam, metal, ahşap ve bileşik malzeme altı ana başlığa ayrılan ambalajın, en önemli işlevlerini özetlemektedir (Aboura ve ark., 2004). Kağıt ambalaj grubuna ait oluklu mukavva Türkiye’de 2016 yılında 2.280 ton üretilerek en çok üretilen kağıt ambalajlarından (Bayrak ve ark., 2020). Bu başarı, bu malzemenin ürünün iyi korunmasını sağlaması, düşük maliyetli olması ve biyolojik olarak bozunabilir olduğu kadar geri dönüştürülebilir olması gibi çeşitli özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Anonim, 2023a; Di Russo ve ark., 2023; Anonim, 2023b).

Biyobozunur ürünler, çevrenin korunmasına katkı sağladıkları için giderek daha fazla talep görmektedir. Ayrıca çevre korumaya ilişkin yeni Avrupa Birliği hükümleri, çeşitli ambalaj malzemelerinin geri dönüştürülebilirlik kotalarının yanı sıra ağırlıkta azalma sınırı getirmektedir (Allaoui ve ark., 2011). Tüketici, kağıt ürünlerinin kalitesini pürüzsüzlük, parlaklık ve his (dokunma) gibi özelliklerin kombinasyonu ile değerlendirir. Özellikle kağıt için daha yüksek bir kalınlık gösteren dokunsal geri bildirim, ürünün yüksek kalitede olduğu izlenimini verir. Bununla birlikte, kağıdı daha kalın yapmak genel olarak daha fazla kağıt hamuru kullanmayı gerektirir, böylece kağıt daha ağır ve daha pahalı olur. İlave kağıt hamuru eklemekten daha kalın bir kağıt üretmek için, kağıt üretim endüstrisinde ağırlığı ve maliyeti düşürürken daha kalın bir kağıt hissi yaratmak için düşük yoğunluklu dolgu maddeleri olarak işlev gören bir dizi parçacıklı katkı maddesi kullanılmaktadır (Jogikalmath ve ark., 2015).

Hammadde tedarikinde ciddi sıkıntı yaşayan kağıt sektöründe ormanların yanında alternatif kaynaklar konusu ve özellikle atık kâğıtların daha verimli işlenmesi üzerine yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Son yıllarda kağıtların geri dönüşüme katılım oranlarının artması, kağıt üretim sistemine dahil olan geri dönüştürülmüş kağıtların kullanım miktarlarının artmasına da sebep olmuştur. Bu anlamda artan geri dönüşüm sayısı sonucu lif özelliklerindeki düşmelere bağlı olarak çok çeşitli katkı kimyasalları ve dolgu maddeleri kullanımı da doğal olarak artmıştır (Karademir, 2023).

Kağıt üretiminde kullanılan bazı kimyasal maddelerle kağıt mukavemet değerlerinde ciddi bir azalmaya sebebiyet vermeden daha hafif veya ağırlığın sabit kalmasıyla daha dolgun (hacimli) bir üretim gerçekleştirilebilmektedir. Bu kimyasal maddelerden birisi olan Expancel, içerisinde sıcaklıkla hacimsel artım yapan (sıvı izobütan) ve etrafı koruyucu kapsülle (vinilidin klorid ve akrilonitril kopolimeri) sarılmış, 5-6 mikron yarıçaplı küresel

parçacıklar halinde üretilmiş ve genelde %40 konsantrasyonda nakliyesi yapılan bir kağıt katkı kimyasalıdır (Wang ve ark., 2014). Expancel piyasada kağıt üretiminde alternatif bir reçete oluşturmuştur. Termal olarak genişleyen mikroküreler, ısıtıldığında genişleyen bir çekirdek/kabuk yapısına sahip polimerik parçacıklardır. Mikroküre çekirdeği düşük kaynama noktasına sahip doymuş bir hidrokarbon içerirken kabuk, hidrokarbonun kaçmasını önleyen gaz geçirmez bir termoplastik polimerden oluşmaktadır (Jonsson ve ark., 2010; Cheney ve ark., 2012). Ortam sıcaklıklarında polimer kabuk serttir. Ancak polimer kabuk ısıtıldığında yumuşar, hidrokarbon ise iç basıncı artırır. Gazın genişmesi ile iç basıncı artıracak ve dolayısıyla mikroküreleri ağırlıkta herhangi bir değişiklik olmaksızın Şekil 1’deki gibi orijinal boyutlarının 30-40 katına kadar genişletecektir (Lindberg, 2015). Mikroküreler soğutulduktan sonra, polimer kabuk genişlemiş durumda sertleşerek hacmin korunmasını sağlamaktadır. Bu şekilde mikrokürelerin yoğunluğu yaklaşık  $1100 \text{ kg/m}^3$ ’ten yaklaşık  $30 \text{ kg/m}^3$ ’e düşürülebilmektedir. Ayrıca mikrokürelerin özellikleri, polimer kabuk bileşimi, hidrokarbonun kaynama noktası ve mikrokürelerin boyutu gibi parametrelere bağlıdır (Jonsson ve ark., 2010). Kağıt içerisinde tutunan Expancel taneciklerinin termoplastik dış koruyucu kapsülleri, lifler arası tam olarak kuvvetli bağlar gelişmeden önce, sıcaklığın  $70^\circ\text{C}$ ’e çıkması ile yumuşar hacimsel artım özelliği olan içerik (sıvı izobütan) aktive olur. Normal şartlarda Expancel’in hamurda tutunum oranının, negatif yüklü koruyucu kapsül içeriğinden dolayı %50 civarında olduğu bildirilmiş bu nedenle, katılımdan sonra bir tutundurucu kullanımı önerilmiştir (Wang ve ark., 2014).



**Şekil 1.** Expancel mikrokürelerinin sıcaklıkla değişimi (Nie ve Lin, 2015).

Genişletilmiş mikroküreler, genişmeyen bir köpürme maddesi görevi görebileceğinden çoğunlukla hafif dolgu maddesi olarak kullanılır, ürünün yoğunluğunu azaltabilir ve titreşimleri azaltıp sesi yutabilir. Ayrıca yüksek elastikiyet özelliği ile

çatlaklara ve su emmeye karşı koruma sağlamaktadır. Sıkıştırılabilir yapısı ile şok dirençlerine karşı dayanım gösterebilmektedirler (Lindberg, 2015).

Geliştirilen ürünlerde genişletilmiş mikroküreler kullanılarak daha pürüzsüz bir yüzey elde edilebilmektedir. Expancel mikroküreler otomobillere yönelik gövde altı kaplamalarda, korozyon direnci ve gürültü azaltmada (Jonsson ve ark., 2010), suni deri için süet gibi yüzey efektlerinin yanı sıra kumaşlar ve duvar kağıdı üretiminde istenen efektleri oluşturmak için, dolgu macunlarında ve kaplamalarda, çatılarda ısı korumasında, ayakkabı tabanı üretiminde, baskı mürekkepleri, tenis topları ve ayrıca gıda ambalajlamada da (Cheney ve ark., 2012), şişe mantarlarında, kağıt bardak üretimi, tekstil, poliüretanlar, PVC-plastikler (Garbacz ve Dulebova, 2020) gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Gardfords, 2013; Gadhavve ve Gadhavve, 2022; Anonim 2023b).

Orman ürünleri alanında yapılan çalışmalarda Shalbafan ve ark., 2012' de sandviç panel üretiminde orta tabaka için expancel mikroküreleri ve polistren kullanmışlardır. Levhanın mukavemet değerlerinde polistrenin daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir. Kağıt ve mukavva için ise Expancel, kalınlığı artırmak ve kartonu daha hacimli yapmak için kullanıldığı ve sadece %1 Expancel ile hacim ve kalınlıkta %20 ila %25'lik bir artış elde edilebileceği belirtilmiştir. Expancel içeren bir baskı mürekkebi kullanılarak 3 boyutlu bir yüzey elde edilebileceği ise Lindberg tarafından raporlanmıştır (Lindberg 2015). Meekum ve Wangkheeree, 2017 yılında yapmış oldukları çalışmada okaliptüs liflerinden epoksi reçine yardımıyla hafif sandviç paneller üretmişlerdir. Sandviç panellerin orta tabakasında ise expancel mikroküreleri, etil asetat ve 4,4' oksibis (benzen sülfonil hidrazit) üç farklı köpük ajanı kullanılmıştır. Ayrıca başka bir çalışmada, daha hafif yonga levhalar elde edilmesi amacıyla, yonga levha üretiminde orta tabakada expancel mikroküreleri kullanılmıştır (Monteiro, 2020). Bir başka çalışmada ise Expancel mikroküreleri düşük yoğunluklu lif levhaların üretiminde kullanılmıştır (Monteiro ve ark., 2018). Triantafillopoulos ve Koukoulas (2020), tek kullanımlık kağıt kahve bardaklarında expancel mikroküreleri kullanılmıştır. Chehade, (2022) ise karton üretiminde expancel mikroküreleri kullanmıştır. Yapılan çalışmada kartonun fiziksel özelliklerinde iyileşmeler olduğunu belirtmiştir (Chehade, 2022). Expancel mikroküreleri birçok alanda kullanılmasına rağmen kağıt üretiminde kullanımı ile ilgili yapılan çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Özellikle ağırlığın ve mukavemetin önemli olduğu kağıt ambalaj sektöründe bu tip hafif malzemelerin tercih edilmesi avantaj sağlayabileceği düşünülmektedir. Bu sebeple yapılan önceki çalışmalar Expancel mikrokürelerinin oluklu mukavva üretiminde kullanılabilirliğini araştırmak için ilham kaynağı oluşturmuşlardır.

Türkiye’de kağıt ve karton ürünleri, üretiminde hammadde ve girdi tedarikinde rakipleri ile karşılaştırıldığında sınırlı olanaklara sahiptir ve selüloz temininde önemli ölçüde dışa bağımlıdır. Atık kağıtların yeniden değerlendirilmesi ile dışa bağımlılık azaltılmaya çalışılsa da yeryüzündeki lifsel hammaddenin azalmasıyla kullanılan kimyasal maddelerin miktarı artmaya başlamıştır. Yapılan bu çalışmada Expancel kimyasal maddesinin oluklu mukavvada kullanılan testliner kağıt üretiminde dolgu maddesi olarak kullanılabilme olanakları ile daha az lif kullanılarak daha kalın ve esnek bir testliner kağıdı elde edilebilirliği araştırılmıştır. Ayrıca çalışmada iki farklı CK Expancel mikroküreleri kullanılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

## **2. Materyal ve Yöntem**

### **2.1. Materyal**

Bu çalışmada, ince elekten geçmiş ve herhangi bir kimyasal madde içermeyen Kahramanmaraş Kağıt Fabrikasından (KMK) temin edilen testliner hamuru kullanılmıştır. Dolgu kimyasalı olarak ise Caran Kimya’dan temin edilen Caran Expancel (CK Expancel) numuneleri; PST 50 A (P5) ve PST 850 W (P8) kullanılmıştır.

### **2.2. Yöntem**

100 gr/m<sup>2</sup> gramajda deneme kağıtları yarı otomatik Rapit Köthen cihazında üretilmiştir. Cihazın formasyon eleği kısmında önce hava tahrikli karıştırma aşaması, süzülme ve vakum sistemi mevcuttur. Elek üzerinde oluşan, vakumlanan ve ıslak preslenen kağıtlar, cihazın kurutma kısmında, tek tarafı 110°C sıcak yüzey teması ve diğer tarafı oluşan buharı vakumlayan tabla arasında, emici kağıtlar arasına sıkıştırılmış olarak %5 rutubet derecesine ulaşıncaya kadar kurutulmuştur.

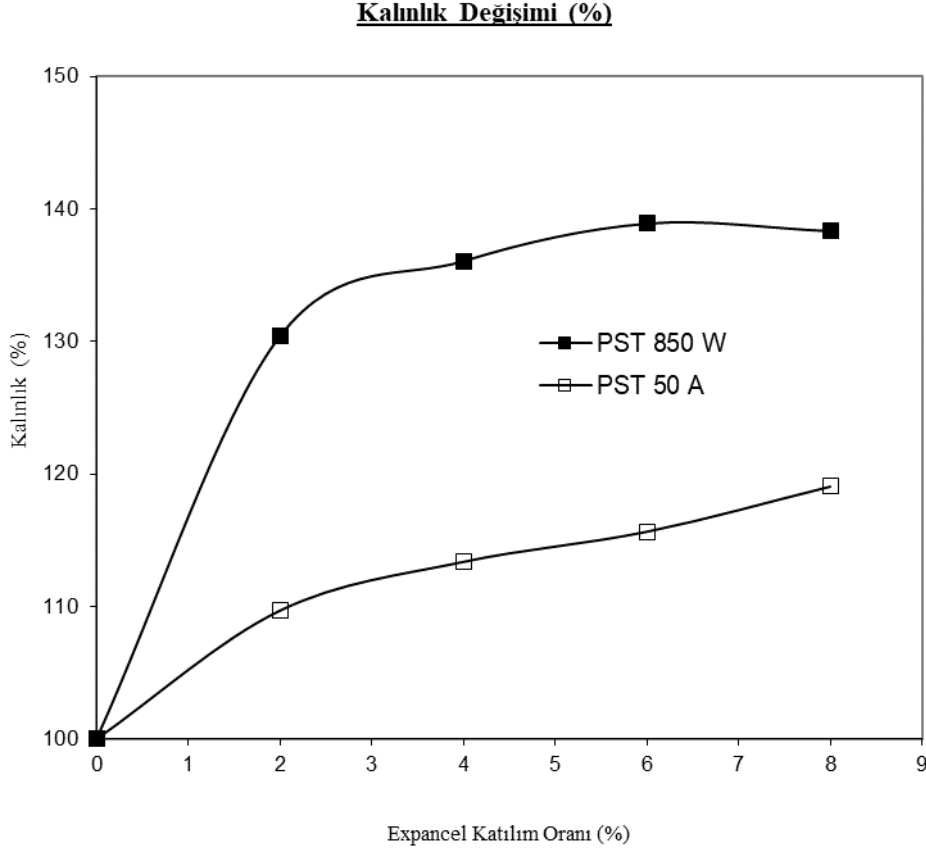
CK Expancel numuneleri firmadan temin edildiği şekli ile kullanılmış ekstra herhangi bir seyreltme işlemi yapılmamıştır. Kimyasallar, tam kuru lif gramajına oranla sırasıyla %2, 4, 6 ve 8 değerlerinde, %1 kesafetteki hamur süspansiyonuna katılmış ve yeterli süre homojen karıştırma yapılmıştır. Kimyasal katılım aşamasından sonra hamur kesafeti % 0,5 civarına düşürülmüş ve el kağıtları üretilmiştir. Kağıt üretim sırasında hamurun pH değerinde herhangi bir ayarlama yapılmamış ve başka hiçbir kimyasal (tutunma, mukavemet vb) kullanılmamıştır. Üretim sırasında hamur pH değerinin 7,0 ve 7,3 civarında olduğu belirlenmiştir. Üretilen kağıtlar ilgili standartlara (TAPPI T 402 om-88) göre kondisyonlandıktan sonra, sırasıyla gramaj (TAPPI T 410 om-08), kalınlık (TAPPI T 411 om-89), kopma (TAPPI T 404 om-87), hava geçirgenliği (TAPPI T 547 om-12) ve

Lorentzen & Wettre (L&W) kağıtların eğilme (bükülme) değerleri (TAPPI T 489 om-92) test edilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Oluklu mukavva hamuru ile CK Expancel (CKE) kimyasalları kullanılarak 100 gr/m<sup>2</sup> gramajda el kağıtları başarılı bir şekilde üretilmiştir. Yapılan testler sonucunda CKE'lerin katılımı ile kağıtların bazı özelliklerinde ciddi değişimler olduğu görülmüştür. Üretilen kağıtların hacimsel değişimlerini belirlemek için yüzdece kalınlık değişimleri belirlenmiştir. Üretilen el kağıtlarının CKE kullanım oranı ile yüzdece kalınlık değişim oranını gösteren etkileşim grafiği Şekil 2'de sunulmuştur. Şekil 2'deki etkileşim grafiği incelendiğinde kağıt matris yapısında tutunmuş olan kapsüllerin şişmesi ve genişlemesi neticesinde, kağıt kalınlık değerlerinde oldukça fark edilir bir artış olduğu görülmektedir. İçerisinde CKE içermeyen kontrol grubu kağıt örnekleri ile CKE içeren kağıt örnek gruplarını karşılaştırıldığında yüzdece kalınlık artışının olduğu dolayısıyla kullanılan her iki CKE kimyasalının kağıt içerisinde tutunduğunu ve matris içerisinde olduğunu söylemek mümkündür. Wang ve ark. (2014) yapmış oldukları çalışmada Expancelin hamurda tutunum oranının, negatif yüklü koruyucu kapsül içeriğinden dolayı %50 civarında olduğunu bildirilmiş bu nedenle, katılımından sonra bir tutundurucu kullanılmasını önermişlerdir (Wang ve ark., 2014). Rahmaninia ve Khosravani 2015 yılında yaptıkları çalışmada herhangi bir tutundurucu kimyasal madde kullanmadan ürettikleri testliner kağıtlarında tutunma oranlarının % 50 ile % 55 arasında olduğunu belirtmiştir. Literatürden yola çıkılarak çalışma kapsamında tutunma oranı yaklaşık % 50 olarak ele alınmıştır (Rahmaninia ve Khosravani, 2015). Şekil 2'deki yüzdece kalınlık artım grafiğinden görüldüğü üzere, CKE' nin kullanım miktarının artması ile üretilen el kağıtlarının hacimleri de buna paralel olarak artmaktadır. P8 kimyasalının kullanıldığı kağıt gruplarının kalınlık artışları P5 grubu kağıt gruplarının aynı kullanım oranına göre belirgin bir şekilde daha yüksek elde edilmiştir. Her iki CKE kimyasalının %2'lik ilk yüklemesi ile kalınlık artış değerleri keskin bir şekilde artsa da sonra ki yüklemelerde grafikteki artış eğiminin azaldığı görülmektedir. Özellikle P8 grubu Expancel kimyasalının kullanıldığı grupların %6 kullanım oranından sonra CKE miktarındaki artışın kağıtların kalınlık artışında bir etkisinin olmadığı ve %8 kullanılan grupların kalınlık artış değişimi ile %6 kullanılan kağıt grupların değerlerinin birbirine yakın aralıkta olduğunu söylemek mümkündür. Bunun yanı sıra P5 CKE kimyasalının kullanım oranının artması ile kalınlık değerlerinde ki artış eğimi her ne kadar azalsa da kalınlık değerlerinde yükselme devam etmektedir. Fakat daha az kimyasal kullanımı bakımından düşünüldüğünde P8 CKE

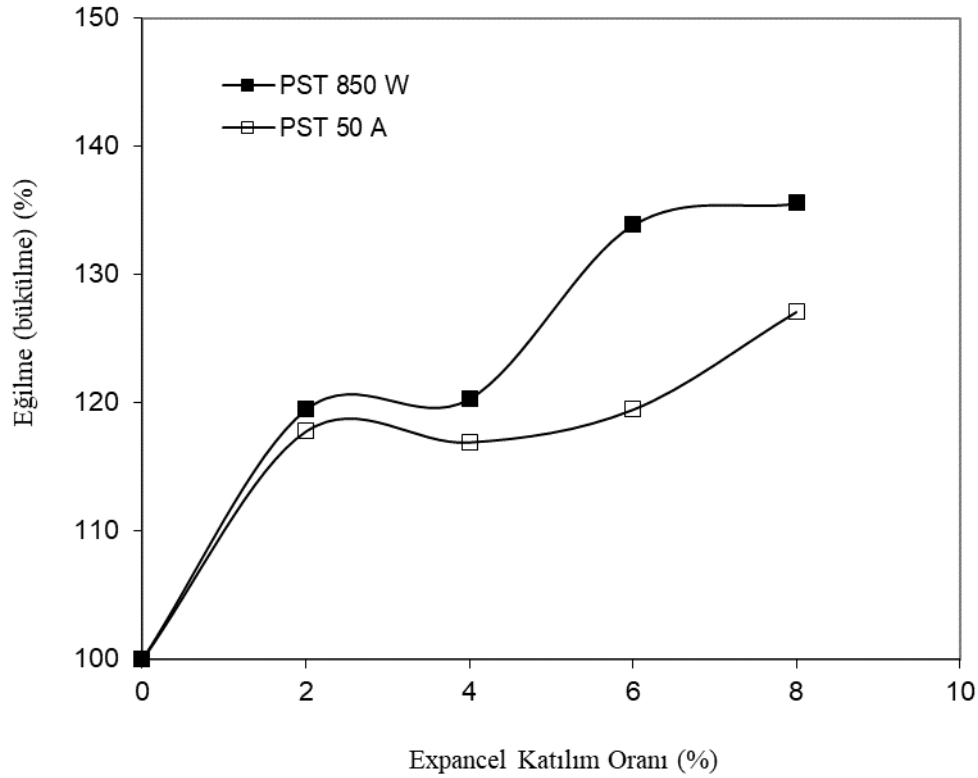
kimyasalının %2 kullanılması ile P5 CKE kimyasalının %8 kullanıldığı kağıt gruplarına göre daha yüksek hacimde kağıtlar elde edildiği görülmektedir. Bir anlamda CK Expancel kağıt içerisinde kapalı hava kapsülleri (close cell) oluşturmuş, lifler arasını açmış ve böylece hacimsel kabarma (bulk increase) meydana getirmiştir. Yapılan önceki çalışmalarda expancel mikrokürelerinin kullanımıyla üretilen kartonun hacminin arttığı belirtilmiştir (Chehade, 2022). Elde edilen sonuçlar önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir.



**Şekil 2.** CK Expancel mikrokürelerinin testliner kağıdının kalınlık özelliklerine etkileri.

Kalınlıktaki artış, kütle artışından değil, sadece lifler arası boşluk alanlarının artmasından dolayı olduğu için, elde edilen kağıtların eğilme (bükülme) değerlerinde de yükselme görülmüştür (Şekil 3). Hacimsel artış ile kağıtların eğilme (bükülme) değerleri de yükselmiştir. Sertlik değerleri incelendiğinde kalınlık değerlerinde daha fazla artış gösteren hafif dolgu malzemesi olarak da bahsedilen P8 CKE kürelerinin %2 katılım oranından başlayarak aynı kullanım oranında P5 CKE kürelerinin kullanıldığı gruplara göre daha yüksek sonuçlar verdiği görülmektedir. Her iki CKE kürelerinin kullanım miktarının artması ile kalınlık değerlerine benzer olarak sertlik değerlerinde de artışlar meydana gelmiştir. Kalınlığın artmasıyla kağıtların eğilme (bükülme) değerlerinin arttığı sonucu literatürde de benzer olarak raporlanmıştır (Wang, 2007).

**Eğilme (bükülme) Değerinde Değişim (%)**

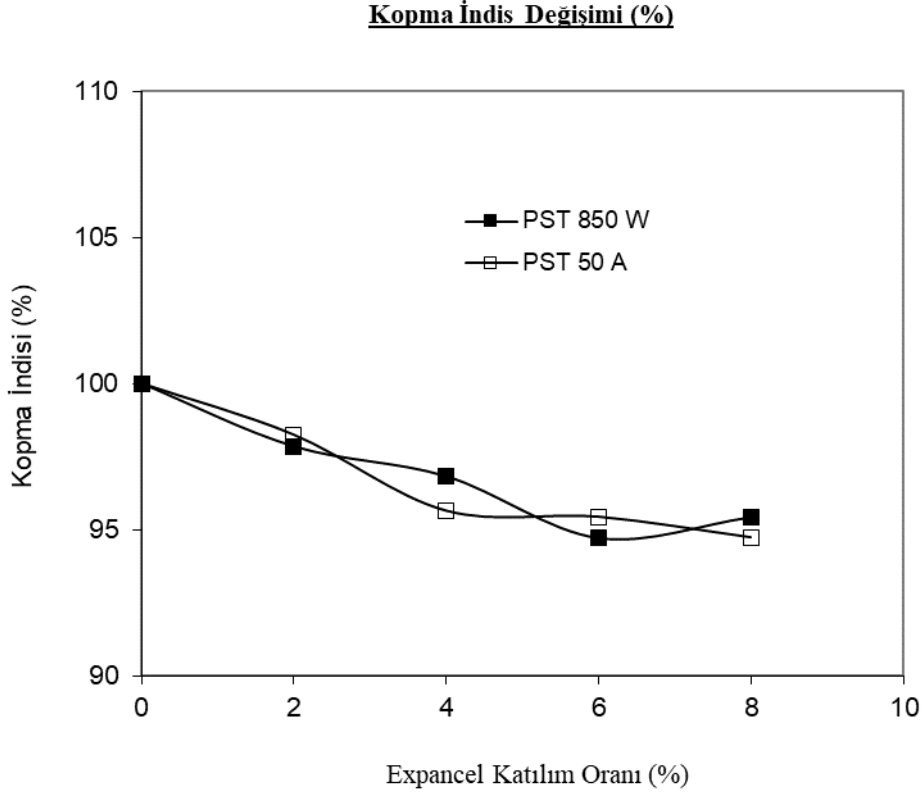


**Şekil 3.** CK Expancel mikrokürelerinin testliner kağıdının eğilme (bükülme) özelliklerine etkileri.

CKE kürelerinin kağıtlarda meydana getirdiği hacimsel artış, kopma indisi ve kopma uzunluğu değerlerinde beklendiği gibi düşüş olarak kendini göstermiştir (Şekil 4 ve 5). Ağırlık sabit iken, meydana gelen hacimsel artış, lifler arası temas alanlarının küçülmesine, dolayısıyla oluşabilecek lif-lif bağlarının azalmasına neden olmaktadır. Lifler arası temas alanının azalması, doğrudan kağıt mukavemetini olumsuz etkileyecektir (I'anson ve ark., 2006). Şekil 3 ve 4 incelendiğinde Expancelin meydana getirdiği hacimsel artışa rağmen kağıtların kopma indisi ve kopma uzunluk değerlerini en fazla %5 oranında düşürdüğü görülmektedir.

Hacimsel artım yapan taneciklerin, genleşmeleri ile lifler arasını açmalarına rağmen, taneciklerle veya tanecik kapsülleri ile lifler arasında da belli oranda bir bağlanmanın gerçekleştiği söylenebilir. Aksi takdirde, bu araştırmada görülen hacimsel artım, sadece liflerin temas alanlarının azalması sonucu oluşmuş olsaydı, mukavemet değerlerindeki düşmeler çok daha büyük olabileceği düşünülmektedir.

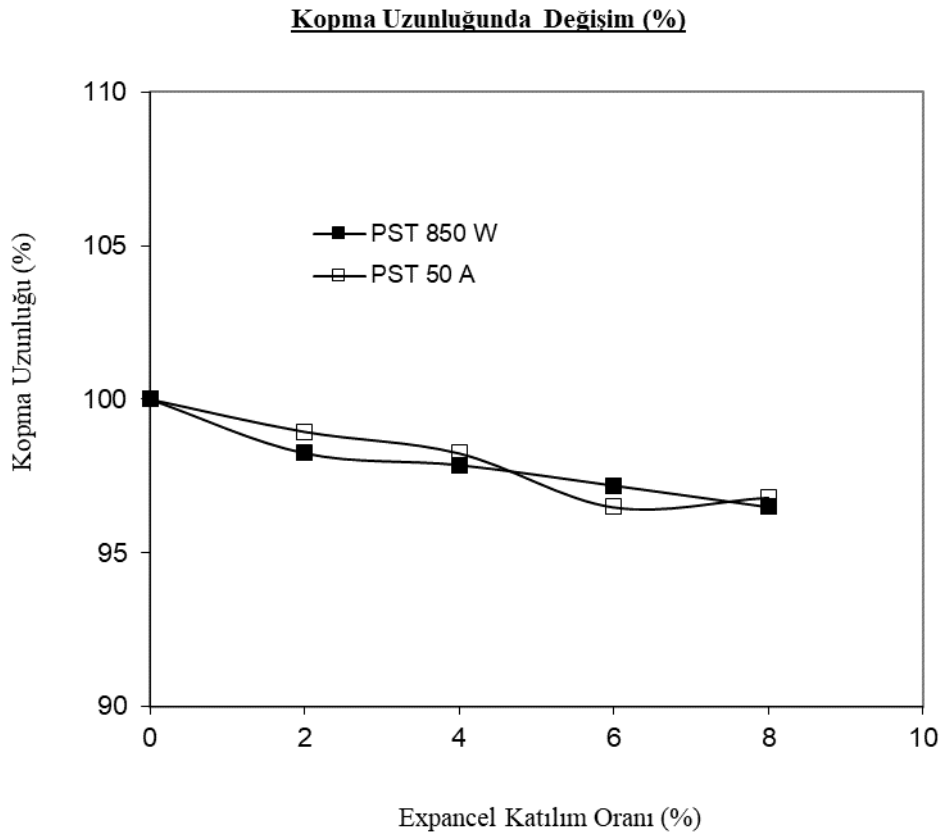




**Şekil 4.** CK Expancel mikrokürelerinin testliner kağıdının kopma indisi özelliklerine etkileri.

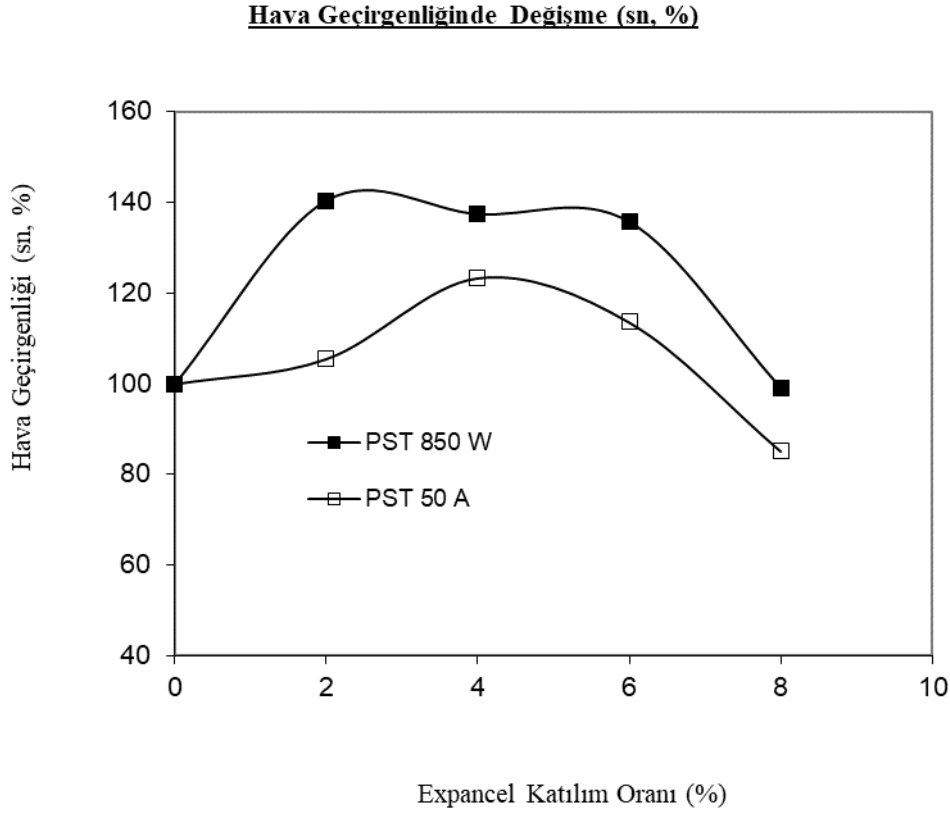
Mukavemet değerlerinde yaklaşık %5'lik düşüş her iki expancel mikrokürelerinin kullanıldığı test kağıtlarında da benzer şekilde bulunmuştur. Kısaca özetle şunu söylemek mümkündür; CK Expancel, lif-lif temas alanını azaltmakta ise de bunun yerine lif-tanecik (veya kapsül)-lif alanları oluşturmakta ve böylece kağıtlarda kopma indisindeki azalmalar çok aşırı meydana gelmemektedir.

P8 ve P5 koduyla üretilen test kağıtlarının kopma uzunluğunun verildiği Şekil 5 incelendiğinde başlangıçları 100 birim sayılan mukavemet değerlerinin yaklaşık %5 oranında azalma gösterdiği kopma indisi sonuçları ile paralel şekilde ilerlemiştir. Aynı zamanda kullanılan expancel mikrokürelerinin kopma uzunluğunda birbirlerine benzer sonuçlar vermişlerdir.



**Şekil 5.** CK Expancel mikrokürelerinin testliner kağıdının kopma uzunluklarına etkileri.

CK Expancel katılımının, kağıtların hava geğirgenliği değerlerinde meydana getirdiği değişim Şekil 6'da görölmektedir. Hava geğirgenliği testi, bir kağıdın 6,4 cm<sup>2</sup> alanlık kısmının bir yüzeyinden diğer yüzeyine 100 cm<sup>3</sup> hacmindeki havanın sabit basınç altında geğmesi için gereken zamanın saniye olarak değeri şeklinde hesaplanmıştır. Dolayısıyla Şekil 6'da referans kâğıdının değeri 100 kabul edilerek yapılan hesaplamada, değerin 100 üzerine çıkması kağıtların hava geğirgenliğinin azaldığını ifade etmektedir.



**Şekil 6.** CK Expancel mikrokürelerinin testliner kağıdının hava geçirgenliği özelliklerine etkileri.

Kağıtların hava geçirgenliği, kağıtlar içerisinde bulunan boşluk alanlarından ziyade, alt ve üst yüz arasında bağlantılı olan geçiş kanallarıyla doğrudan orantılıdır. Dolayısıyla kağıt içerisindeki boşlukların açık veya kapalı ve birbirlerine bağlantılı olup olmadığı çok önemlidir. Kısaca literatürde “open cell-close cell” diye tabir edilen teoriye göre, içerisinde kapalı hava kapsülleri olan bir kağıdın hava geçirgenliğine karşı göstereceği direnç yüksek olacaktır. Diğer bir ifade ile hava geçirgenliği değeri yükselecektir. Expancel katılımı ile aslında kağıt içerisinde çok sayıda kapalı hücreler, hava kapsülleri meydana getirilmiştir. Dolayısıyla ilk katılım seviyelerinde kağıtların hava direnci belli seviyede artmışken, ilerleyen dozajlama sonunda, kapsüller arası kapiler geçiş bölgeleri oluştuğu için hava geçişinin kolaylaştığı tahmin edilmektedir.

#### 4. Sonuçlar

Araştırma sonunda şunları söylemek mümkündür;

- CK Expancel mükemmel derecede kağıtlarda hacimsel artış yapmakta, buna karşın oldukça düşük seviyede ve kaçınılmaz olarak kopma indisi ve kopma uzunluk değerlerinde düşmelere neden olmaktadır.
- Kağıtlarda hacimsel artış ve kağıtların eğilme değerlerinde yükseltme özellikleri açısından PST 850 W numunesi, PST 50 A'ya göre çok daha etkili olmuştur.
- CK Expancel tutunumunu artırmak için kimyasal dozajı sonrası bir tutundurucu kullanılması önerilebilir.
- Özellikle kartonlarda orta katta (ara katlarda) kullanılması tavsiye edilebilir. Orta katta meydana gelen hacimsel artış sonucu oluşabilecek mukavemet düşmeleri st ve alt katların desteği ile çok daha aza indirilebilir, etkisiz hale getirilebilir.
- CK Expancel, dereceli artan bir sıcaklık rejiminde ve silindirli kurutucular kullanıldığında daha iyi fonksiyon yapmaktadır.
- CK Expancel, kağıtların eğilme değerlerini yükseltmektedir.
- Kağıtların hava geçirgenliği CK Expancelin ilk dozajlarında düşmekte, ilerleyen katılımlarda artış göstermektedir.
- Expancel malzemede hacimsel artım yaptığı için, özellikle ısı ve ses yalıtımı için üretilen levha, kağıt ürünleri ve bazı kompozitlerin üretiminde kullanılabilir.

#### Teşekkür

Bu alışmada CK Expancell kimyasalını temin eden Caran Kimya'ya teşekkür ederiz. Atık kâğıtların temin edilmesi, hamurlaştırma ve kağıt yapma süreçlerinin gerçekleştirilmesi ve özellikle sonuçların değerlendirilmesinde katkı yapan Kahramanmaraş Kağıt Fabrikası ve Varaka Kağıt Sanayi A.ř. teknik ekibine teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- Anonim, (2023a). <https://www.ankutsan.com/tr/blog/oluklu-mukavva-ve-surdurulebilirlik#:~:text=Oluklu%20mukavva%2C%20esnek%20ve%20yumu%C5%9Fak,nakliye%20ara%C3%A7lar%C4%B1nda%20minimum%20yer%20kaplar.> Erişim Tarihi: 18.09.2023.
- Anonim, (2023b). <https://www.youtube.com/watch?v=2jPBemBUWIk>. Erişim Tarihi: 26.04.2023.
- Aboura, Z., Talbi, N., Allaoui, S. & Benzeggagh, M.L. (2004). Elastic behavior of corrugated cardboard: experiments and modeling. *Composite Structures*. Volume 63, Issue 1, January 2004, Pages 53-62.
- Allaoui, S., Aboura, Z. & Benzeggagh, M.L. (2011). Contribution to the modelling of the corrugated cardboard behaviour *Physics arXiv: Classical Physics Corpus* arXiv:1110.5417, Doi:<https://doi.org/10.48550/arXiv.1110.5417>.
- Bayrak, H., Bayrak, C. ve Güvendikler, M.E. (2020). Doğu Marmara Kağıt Sektör Raporu. Doğu Marmara Kalkınma Ajansı İzmit/KOCAELİ Erişim Adresi: [www.marka.org.tr](http://www.marka.org.tr). Erişim Tarihi: 26.04.2023.
- Cehade, A. (2022). Expancel mikrosfärernas påverkan på bestyrkningsmet och bestruken kartong(The impact of Expancel microspheres on coating and coated paperboard). Karlstads Universitet. Sağlık, Doğa ve Teknoloji Fakültesi Kimya Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, İsveç.
- Cheney, S.S., Thellen, C. & Ratto, J.A. (2012). Investigation of Expandable Polymeric Microspheres for Packaging Applications. U.S. Army Natick Soldier Research, Development and Engineering Center Natick, Massachusetts 01760-5018. Technical Report Natick/Tr-12/020.
- Di Russo, F.M., Desole, M.P., Gisario, A. & Barletta, M. (2023). Evaluation of wave configurations in corrugated boards by experimental analysis (EA) and finite element modeling (FEM): the role of the micro-wave in packaging design. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2023;126(11-12):4963-4982. doi: 10.1007/s00170-023-11397-y. Epub 2023 Apr 25.
- Gadhve, R. & Gadhve, C. (2022) Application of thermally expandable microspheres in adhesives: review. *Open Journal of Polymer Chemistry*, 12, 80-92. doi: 10.4236/ojchem.2022.122005.

- Garbacz, T. & Dulebova, L. (2020). Processing of selected properties of extruded recycled plas-tics. *Chemistry, Technology and Application of Substances*. Vol. 3, No. 1, 2020.
- Gardfords, T. (2013). Synthesis and Evaluation of Expancel® Microspheres. ‘Degree Project in Engineering Chemistry’, Umeå University, Sweden.
- I’anson, S.J., Karademir, A. & Sampson, W.W. (2006). Specific contact area and the tensile strength of paper, *APPITA Journal*, 59(4):297-301.
- Jogikalmath, G., Soane, D.S. & Schneider, A. (2015). Bulk and Stiffness Enhancement in Papermaking. U.S.Patent No. 8,926,796 B2, 2015
- Jonsson, M., Nordin, O., Kron, A.L. & Malmström, E. (2010). Thermally expandable microspheres with excellent expansion characteristics at high temperature. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 117, 384–392.
- Karademir, A. (2023). *İnsan, Kağıt ve Medeniyet*. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Sanat Fabrikası Konferansı 09 Mayıs 2023 İstanbul/Türkiye.
- Lindbergh, E. (2015). ‘Investigation of making nonwoven textiles with wood fibres and papermaking technique’. Degree project in surface coating technology, second level. KTH, Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden.
- Meekum, U. & Wangkheeree, V. (2017). Designing the wood foam core for manufacturing of lightweight sandwich structure engineered wood. *BioResources*, 12(4), 9001-9023.
- Monteiro, S., Martins, J., Magalhães, F.D. & Carvalho, L. (2018). *Lightweight wood composites:challenges, production and performance springer series on polymer and composite materials* (SSPCM) Ed. Susheel Kalia Lignocellulosic Composite Materials. S:293-322.
- Monteiro, S.C.C. (2020). ‘Development of low-density particleboards bonded with starch-based adhesive’. Doktora Tezi, Faculty of Engineering of the University of Porto. S.67.
- Nie, Z. & Lin, Y. (2015). Fabrication of porous alumina ceramics using hollow microspheres as pore-forming agent. *Journal of the korean society of manufacturing technology engineers* · August 2015, 24(4):368-373.
- Rahmaninia, M. & Khosravani, A. (2015). Improving the Paper Recycling Process of Old Corrugated Container Wastes. *Cellulose Chemistry And Technology* 49 (2), 203-208.
- Shalbfan, A., Luedtke, J., Welling, J.& Thoemen, H. (2012). Comparison of foam core materials in innovative lightweight wood-based panels. *Eur. J. Wood Wood Prod.* , 70, 287–292.

- TAPPI T 402 om-88, (1988). Kağıt Örneklerinin 23 C %50 bağıl nemde kondisyonlanması standardı, Technical Association for the Pulp, Paper, and converting Industry. Amerika.
- TAPPI T 410 om-08, (2013). Kağıt örneklerinin gramaj ağırlıklarının belirlenmesi, Technical Association for the Pulp, Paper, and converting Industry. Amerika.
- TAPPI T 411 om-89, (1989). Kağıt örneklerinin kalınlıklarının belirlenmesi, Technical Association for the Pulp, Paper, and converting Industry. Amerika.
- TAPPI T 404 om-87, (1987). Kağıt örneklerinin kopma değerlerinin belirlenmesi, Technical Association for the Pulp, Paper, and converting Industry. Amerika.
- TAPPI T 547 om-12, (2012). Kağıt örneklerinin hava geçirgenliği değerlerinin belirlenmesi, Technical Association for the Pulp, Paper, and converting Industry. Amerika.
- TAPPI T 489 om-92, (1992). Kağıt örneklerinin Lorentzen & Wettre (L&W) eğilme (bükülme) değerlerinin belirlenmesi, Technical Association for the Pulp, Paper, and converting Industry. Amerika.
- Triantafillopoulos, N. ve Koukoulas, A.A. (2020). The future of single-use paper coffee cups: current progress and outlook. *BioResources* 15(3) 7260-7287.
- Wang, H. (2007). 'Predicting the physical properties of paper and optimizing the bending stiffness of paperboards through numerical modeling'. Yüksek Lisans Tezi, Zhengzhou Üniversitesi Çin.
- Wang, L., Yang, X., Zhang, J., Zhang, C. & He, L. (2014). The compressive properties of expandable microspheres/epoxy foams. *Composites: Part B* 56, 724–732.