

SANDVIÇ YAPILARDA KENAR INSERT BAĞLAYICILARINA GRUP ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Muhammet Mustafa ABAY¹
Doç. Dr. Elmas SALAMCI³
Gazi Üniversitesi, Ankara

Abdulkadir ÇEKİÇ²
Hasan AKÇE⁴
Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. Ankara

ÖZET

Havacılık ve uzay sistemlerinde yaygın olarak kullanılan sandviç yapılarda özellikle yüksek yük aktarımı bölgelerinde en yaygın kullanılan çözümlerden biri insert bağlayıcılardır. Insert bağlayıcılarının birbirlerine yakın olarak yerleştirildiği bölgelerde grup etkisinden kaynaklı olarak taşıma kapasitesinin düştüğü bilinen bir durumdur. ECSS(European Cooperation for Space Standardization) insert el kitabında kenar insertleri tanımlı olmadığından ve geometrik olarak tanımlı insertlerden farklı olduğu için anlatılan teorik hesaplara uygun değildir. Bu çalışmada kenar insert bağlayıcıları taşıma kapasitesinin grup etkisinden dolayı ne kadar düştüğü araştırılmıştır. Sonlu elemanlar modelleri oluşturularak tek bir insert bağlayıcısının, görece uzak yerleştirilmiş iki insert bağlayıcısının ve görece yakın yerleştirilmiş iki insert bağlayıcısının üç farklı yöndeki yükleme altındaki taşıma kapasiteleri kıyaslanmıştır. Üç farklı yöndeki taşıma kapasitelerinde düzlemsel yüklemelerde düzlem dışı yüklemesine göre daha az etkilendiği gözlemlenmiştir.

GİRİŞ

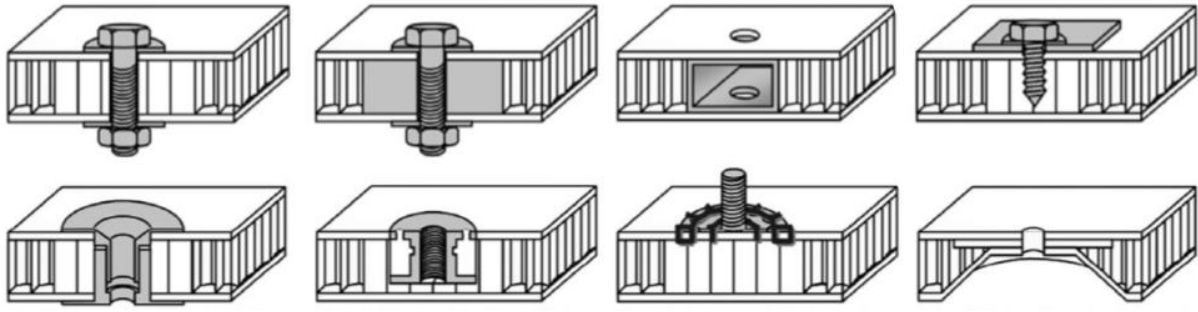
İki ince güçlü ve katı yüzey malzemesi ve kalın, hafif ve zayıf bir çekirdekten meydana gelen sandviç yapıların dayanımının ve katılığının ağırlığına oranları yüksektir bunun yanında termal ve akustik yalıtım, yüksek enerji soğurumu ve yüzebilme gibi birçok avantajlı yönü vardır. Bu avantajları için havacılık ve uzay sektörü başta olmak üzere birçok alanda yaygın şekilde kullanılır [Zenkert1997]. Sandviç panellerin başka alt parçalar ya da braketlerle bağlandığı bölgeler potansiyel kırılım bölgeleridir. Özellikle bal peteği yapılarında panel üzerine dişli açımı literatürde bulunmamaktadır. Şekil 1’de görüldüğü gibi bölgesel yükleri sandviç yapısına yayan bir çok metod mevcuttur. Özellikle havacılık ve uzay yapılarında hücreli çekirdek içine dolan yapıştırıcı bir malzeme(potting) ile entegre edilen dişli insert bağlayıcılar bu amaç için kullanılmaktadır. [Heimbs, Pein. 2009]

¹ Muhammet Mustafa ABAY, E-posta: m.mustafaabay@gmail.com

² Abdulkadir ÇEKİÇ, E-posta: abdulcadir.cekic@tai.com.tr

³ Doç. Dr. Elmas SALAMCI, E-posta: esalamci@gazi.edu.tr

⁴ Hasan AKÇE, E-posta: hasan.akce@tai.com.tr

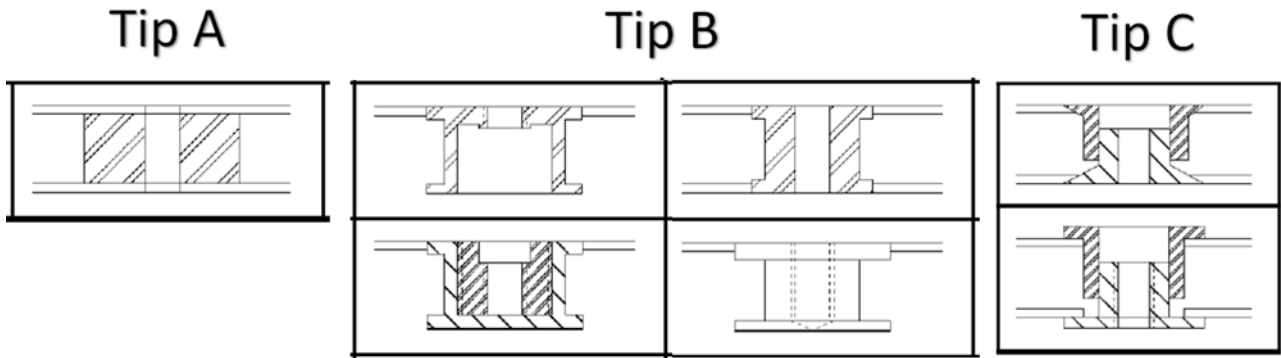


Şekil 1: Farklı Sandviç Panel Bağlantı Metotları

Insert Bağlayıcı Tipleri

Literatürde insert bağlayıcılar farklı şekillerde sınıflandırılır. ECSS insert el kitabı[ESA2011] insert bağlayıcılarını sandviç yapılarına bağlanma şekline göre üç sınıfa ayırmıştır (Şekil 2).

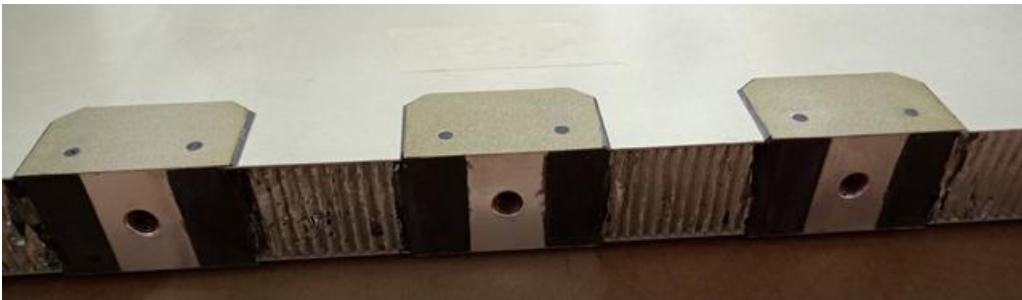
- Tip A: Sandviç üretimi sırasında aynı zamanda yapıştirılan
- Tip B: Var olan sandviçe termoset reçine kullanılarak entegre edilen
- Tip C: Var olan sandviçe mekanik bağlama ya da vidalama ile hazırlanan insertlerdir.



Şekil 2: ECSS'e göre Insert Tipleri

Kenar Insert Bağlayıcısı

ECSS'te tanımlı olan bir çok insert bağlayıcının dışında ihtiyaç duyulan özel tip insert bağlayıcılar da bulunmaktadır. Özellikle spesifik bağlantı bölgelerinde (örn; erişimin kısıtlı olduğu bölgeler, panel kenarları ve kenara yakın bölgeler) bağlantıya ihtiyaç duyulduğunda özel tip insertler kullanılabilir. Bu çalışmada yer alan kenar insert bağlayıcısı bulunduğu panelin başka bir panelin normali doğrultusunda bağlanabilmesini sağlamaktadır. [Ge Qi,2020] benzer bir insert bağlayıcı tipi üzerinde bir çalışma yapmıştır. Üretim şekli itibarıyla ECSS sınıflandırmasında Tip A ya da Tip B grubuna dahil olabilmektedir. Çalışmaya dahil edilen insert bağlayıcı tipi panel üretiminden sonra panele entegre edilen bir insert bağlayıcıdır (Şekil 3).



Şekil 3: Kenar Insert Görüntüsü

Grup Efkettin insert dayanımına etkisi

İki insert bağlayıcı aynı anda yüklemeye maruz kalırsa her bir insertin statik dayanım kapasitesi diğer insertin gerilim alanından dolayı düşüş gösterir. Insert bağlayıcının dayanımı grup efekttten kaynaklanan dayanımdaki düşüş oranı ile çarpılarak hesaplanır[ESA2011].

$$P_{SS1}^* = n_{S1} \times P_{SS1} \quad (1)$$

Bu formülde; P_{SS1}^* insert 1'in insert 2'den dolayı azalmış dayanımını, P_{SS1} insert 1'in ilk durumdaki dayanımını ve n_{S1} insert 2 ile aynı anda yüklenmiş olan insert 1'deki dayanımın düşüş oranını temsil etmektedir.

İnsert bağlayıcılar sektörde oldukça çok sayıda ve bazı bölgelerde çok yakın olarak yerleştirilmek zorunda olabiliyor. Böyle durumlarda insertlerin diğer insertlerden etkilenmesinden kaynaklı azalmış dayanım değerleri güvenlik katsayıları hesaplanırken kullanılır. Bundan dolayı analitik hesabı mümkün olmayan kenar insert bağlayıcılarına grup etkisinin tespiti oldukça önemlidir.

ECSS Grup Efkett Analitik Metodu

ECSS metoduna göre grup etkisi, insert bağlayıcılarını aynı yönde ve farklı yönde yüklenmesine göre iki gruba ayrılarak incelenmiştir. ECSS'te tanımlı olan insertler silindirik geometriye sahip oldukları için potting yarıçapına göre hesap yapılmaktadır. İki insertin merkezleri arasındaki mesafe potting yarıçaplarının toplamının 5 katından büyük ise uzak insert olarak nitelendirilir ve birbirlerine etkisi bulunmaktadır. İki insertin merkezleri arasındaki mesafe potting yarıçaplarının toplamının 5 katından küçük ya da eşit ise bu durumda da yakın insert olarak isimlendirilir. Aynı yönlü yükleme altındaki insertlerin grup etkisinden kaynaklı taşıma kapasitesi düşüş faktörü;

$$a \leq 5 (b_{p1} + b_{p2}) \quad (2)$$

ise;

$$n_a = \frac{b_{p1}/b_{p2}}{1 + b_{p1}/b_{p2}} \left(1 + \frac{a}{b_{p1}} \times \frac{1}{b_{p1}/b_{p2}} \right) \quad (3)$$

$$a > 5 (b_{p1} + b_{p2}) \quad (4)$$

ise;

$$n_a = 1 \quad (5)$$

Denklemlerde geçen a iki insertin merkezleri arasındaki mesafeyi, b_{p1} ve b_{p2} insert dolgu malzemesi (potting) yarıçaplarını, n_a ise taşıma kapasitesindeki düşüşü temsil etmektedir. Ters yönlü yükleme altındaki insertlerin grup etkisinden kaynaklı taşıma kapasitesi düşüş faktörü n_t ise;

$$n_t = 0.9 \quad (6)$$

olarak verilmiştir. [ESA 2011]

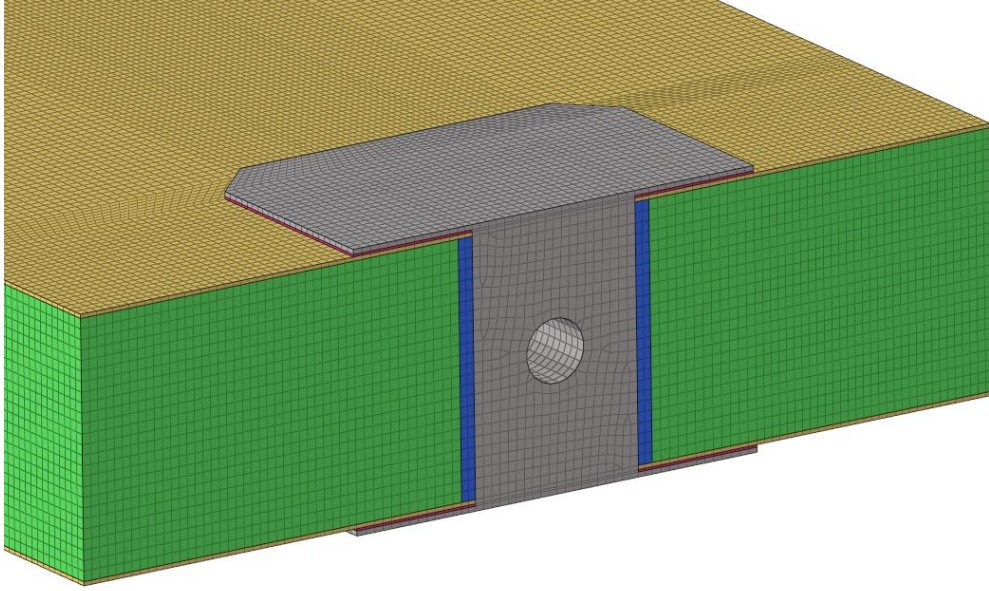
Kenar insert bağlayıcılarında geometrik farklılıklarından dolayı bu analitik yöntemin kullanılması mümkün değildir.

YÖNTEM

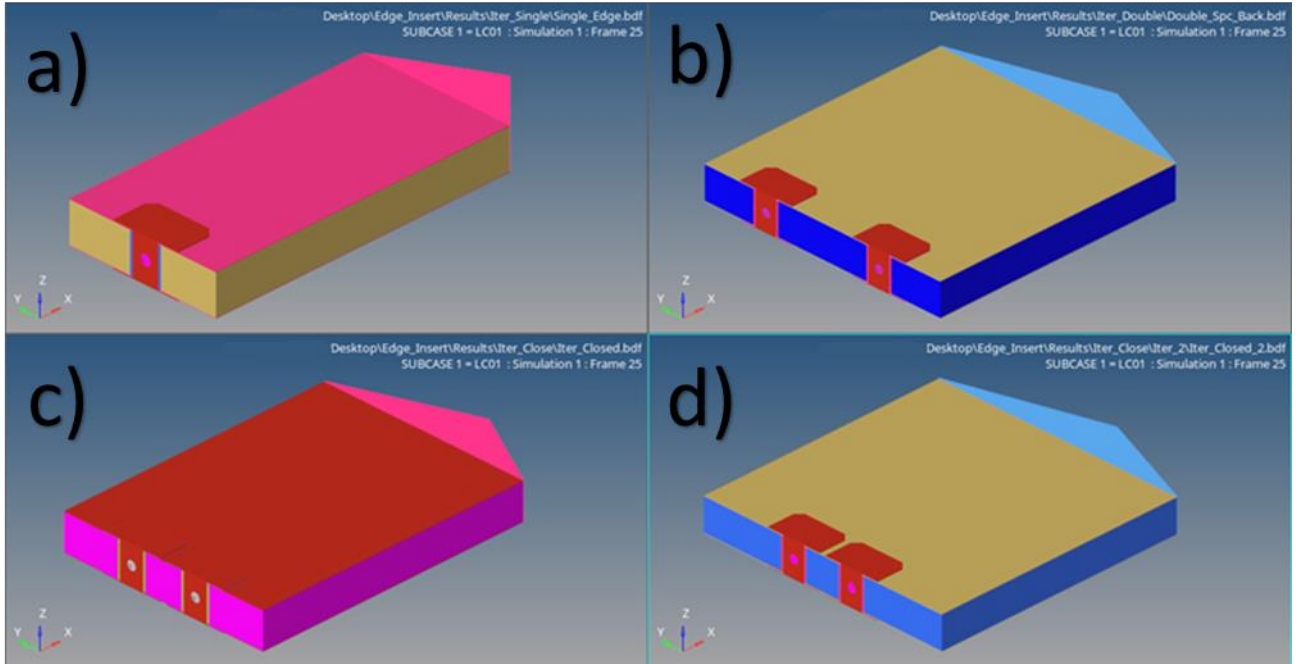
Grup etkisinden kaynaklı taşıma kapasitesindeki düşüşün sebebi insertlerin birbirlerine yakınlığından kaynaklı stres konsantrasyonunun oluşmasıdır. [ESA 2011] Bunu gözlemlemek için bir insert içeren panel sonlu elemanlar metodu ile modellenmiştir. ECSS analitik metodunda belirtilen, insert bağlayıcılarının birbirlerini etkilememesi için gerekli mesafeyi tespit edebilmek için iki inserti içeren bir kupon panel modeli katı olarak modellenmiştir. Taşıma kapasitesindeki düşüşü tespit edebilmek için ise birbirine oldukça yakın iki insert bağlayıcı sonlu elemanlar metodu ile modellenmiştir. Yan kenarlara olan etkiyi de gözlemlemek için bir model daha hazırlanmıştır. Hazırlanan dört modele (Şekil 5) üç yükleme yönünde ayrı ayrı kuvvet uygulayarak insert çevresindeki stresler kıyaslanmıştır ve taşıma kapasitesindeki düşüş oranı tespit edilmiştir.

FEM Modeli:

Yük dağılımını daha gerçekçi görebilmek için FEM modeli üç boyutlu (solid elemanlar ile) oluşturulmuştur. Bal peteği yapı katı bir şekilde modellenmiştir ve anisotropik özellik atanmıştır. Diğer kısımlar için isotropik malzeme kullanılmıştır (Şekil 4). Bunyawanichakul ve ark[Bunyawanichakul 2005,2008], Raghu ve ark[Raghu 2008], Nguyen ve ark[Nguyen 2012] ve Heimbs ve Pein [Heimbs, Pein. 2009] insert bağlayıcılarının sonlu elemanlar modelini oluşturmuşlar ve güzel sonuçlar elde etmişlerdir.



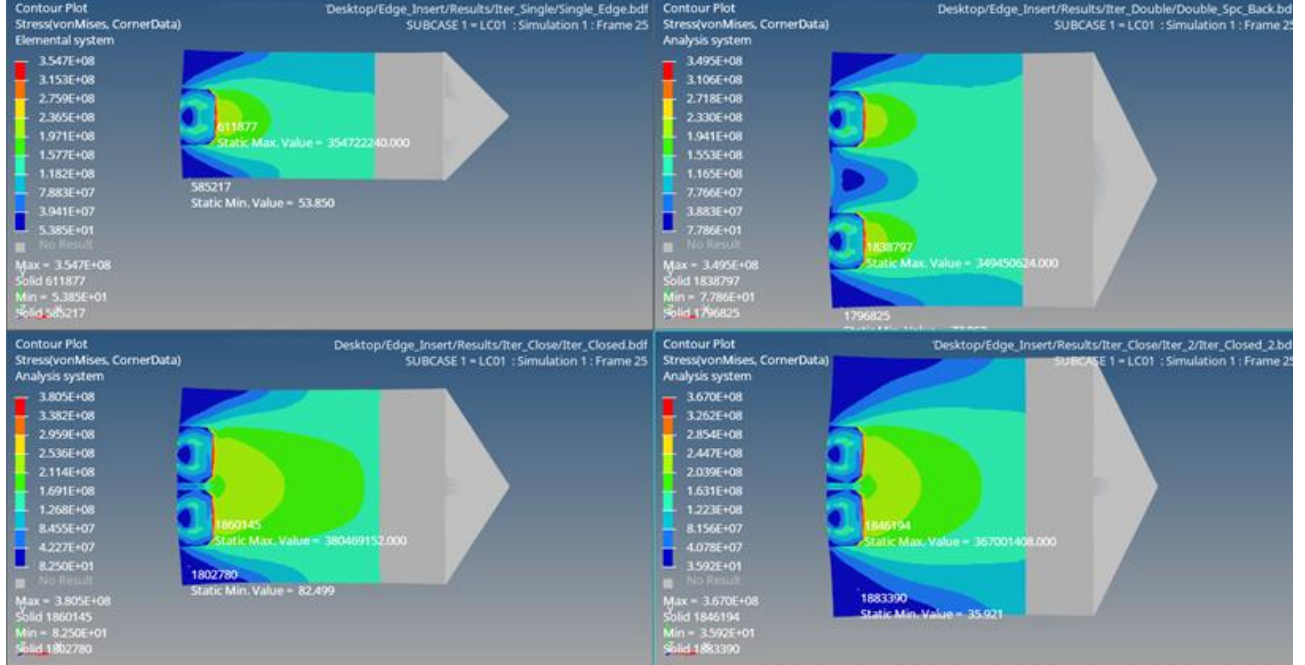
Şekil 4: Sonlu Elemanlar Modeli



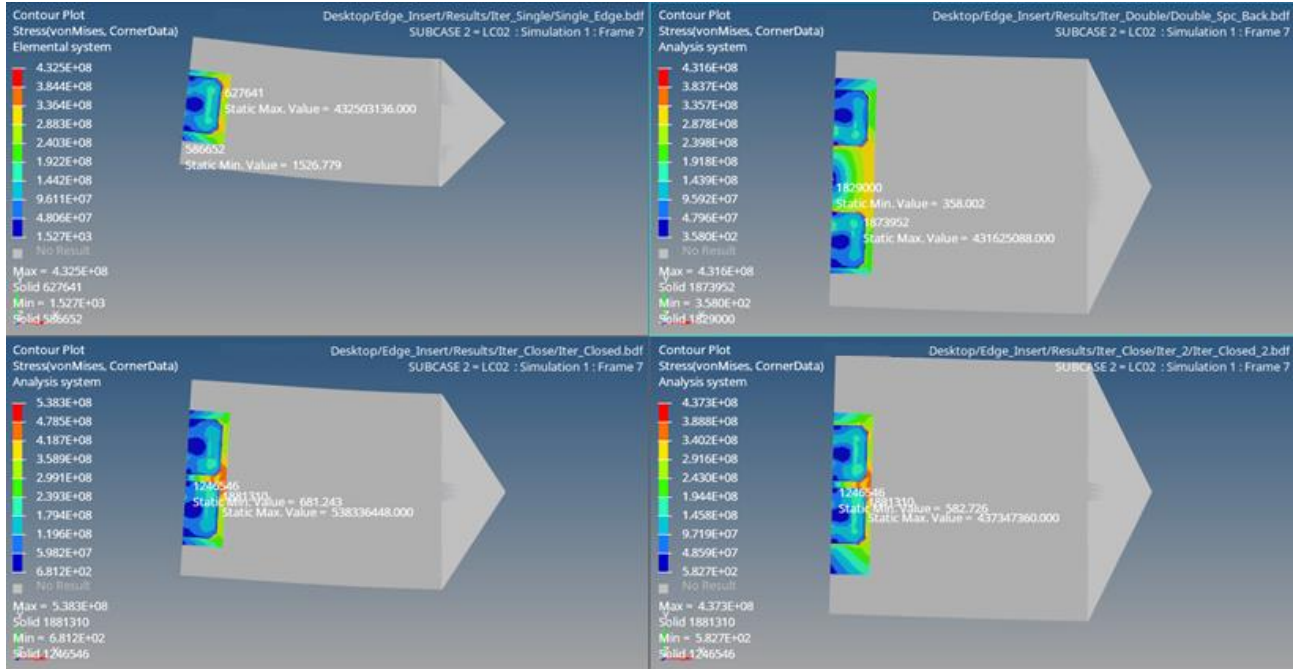
Şekil 5: a) Tek insertli, b) İki uzak insertli, c) Aynı kenar uzaklıkta iki yakın insertli ve d) Uzun kenar uzaklıkta iki yakın insertli Sonlu elemanlar modeli

UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

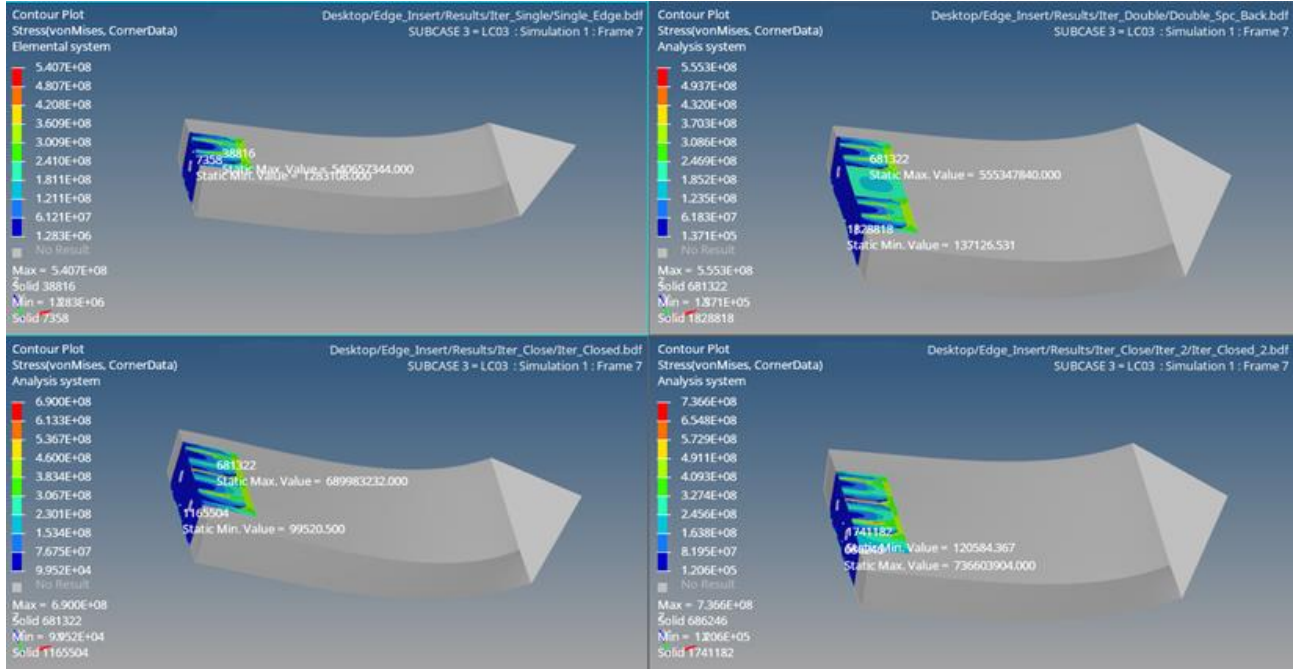
Oluşturulan dört farklı modele üç yönde ayrı ayrı kuvvetler uygulanmıştır. X, y ve z eksenine doğrultusunda bu üç yükleme sırayla düzlemsel 1, düzlemsel 2 ve düzlem dışı yükleme olarak isimlendirilmektedir. Yükleme sonuçlarında stres dağılımları incelenerek stresler kıyaslanmıştır. Artış oranına göre insertin taşıma kapasitesinin düştüğü kabul edilmiştir. Analiz sonuçları Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 6: Düzlemsel-1 yükleme sonuçları



Şekil 7: Düzlemsel-2 Yükleme Sonuçları



Şekil 8: Düzlem Dışı Yükleme Sonuçları

Analiz modelleri a ve b incelendiğinde stres dağılımlarının aynı olduğu ve streslerinden oldukça yakın değerler olduğu görülmektedir. Bu sonuç analiz modeli b'nin yeterince uzak yerleştirildiğini göstermektedir. D analiz modeli a ve b ile kıyaslandığında düzlemsel 1 ve düzlemsel 2 yüklemelerindeki stres artışının oldukça düşük olduğu görülmektedir. Düzlem dışı yüklemelerde ise yaklaşık %25 oranında bir artış görülmektedir. C modeli kıyaslandığında ise düzlemsel 1, düzlemsel 2 ve düzlem dışı yüklemelerde sırayla %7, %20 ve %22'lik bir artış görülmektedir.

SONUÇ

Tek insertli ve insert konumuna göre hazırlanmış diğer modellerin üç farklı yükleme altındaki analizleri sonucunda elde edilen değerlere göre kenar insertlerinin birbirine olan konumlarının - özellikle yan kenarlara yeterince uzak bölgelerde- düzlemsel 1 ve düzlemsel 2 yüklemeler altında pek etkisi olmadığı ama düzlem dışı yüklemelerde birbirlerine göre konumlarının önemli bir hal aldığı gözlemlenmiştir.

Kaynaklar

- Bunawanichakul P, Castanie B, Barrau JJ. *Experimental and numerical analysis of inserts in sandwich structures*. Appl Compos Mater 2005;12(3-4):177-91.
- Bunawanichakul P, Castanie B, Barrau JJ. *Non-linear Finite Element Analysis of Inserts in Composite Sandwich Structures*, 2008 Composites Part B, 39(6): 1077-1092.
- European Space Agency, "ECSS-E-HB-32-22A: Insert Design Handbook," no. March.p. 488, 2011.
- Ge Qi, Yun-Long Chen, Philip Rauschen, Kai-Uwe Schrödr, Li Ma, Characteristics of an improved boundary insert for sandwich panels with lattice truss cores, Aerospace Science and Technology 107 (2020), 106278
- Heimbs S. Pein. M, Failure *Behaviour of HoneyComb Sandwich Corner Joints and Inserts*, Composite Structures 89, 2009, 575-588
- Nguyen K,H. Park Y.B, Kweon J.H, Choi J,H. *Failure Behaviour of Foam-Based Sandwich Joints under pull-out Testing*, Composite Structures 94,(2012),617-624
- Raghu N, Battley M, Southward T. *Strength variability of inserts in sandwich panels*. In: Eighth international conference on sandwich structures, Porto; 6-8 May 2008. p. 558-69.
- Zenkert D, *The handbook of sandwich construction*. London: Emas, 1997.