

## KURUTUCU DÖNER TAMBUR YÜZEYİNDE GERİLME ANALİZİ VE DİZAYN ÇALIŞMASI

<sup>1</sup>Göksel SARAÇOĞLU ve <sup>2</sup>Ahmet YAPICI

<sup>1,2</sup>Mustafa Kemal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,  
HATAY

<sup>1</sup>[goksel.saracoglu@icloud.com](mailto:goksel.saracoglu@icloud.com), <sup>2</sup>[ayapici@mku.edu.tr](mailto:ayapici@mku.edu.tr)

(Geliş/Received: 31.05.2013; Kabul/Accepted in Revised Form: 06.06.2013)

**ÖZET:** Bu çalışmada, kimyevi gübre üretim prosesinde yer alan bir kurutucu döner tamburun civatalı flanş bağlantı bölgelerinde meydana gelen çatlama probleminin kök nedeni, sonlu elemanlar metodu kullanılarak irdelenmiştir. Yapılan incelemelerde, şekil bağlantısından dolayı gerilme yığılmasının meydana geldiği ve bu yığılmadan dolayı ortaya çıkan ortalama gerilmenin yorulma dayanımını düşürdüğü tespit edilmiştir. Malzemenin Wöhler eğrisi hazırlandıktan sonra, Gerber ve Goodman teorileri baz alınarak yorulma ömrü hesaplanmıştır. Sınırlı ömre sahip olduğu tespit edilen şekil bağlantısı yerine, manto takviyeli alın kaynak bağlantısı, model üzerinde geliştirilmiş ve analizler tekrar edilmiştir. Yapılan incelemelerde, bağlantı dizaynının revize edilmesi ile, gerilme yığılmasının ve yorulma çatlaklarının önlenebileceği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kurutucu tamburu, Goodman, Gerber, Yorulma, Sonlu elemanlar yöntemi

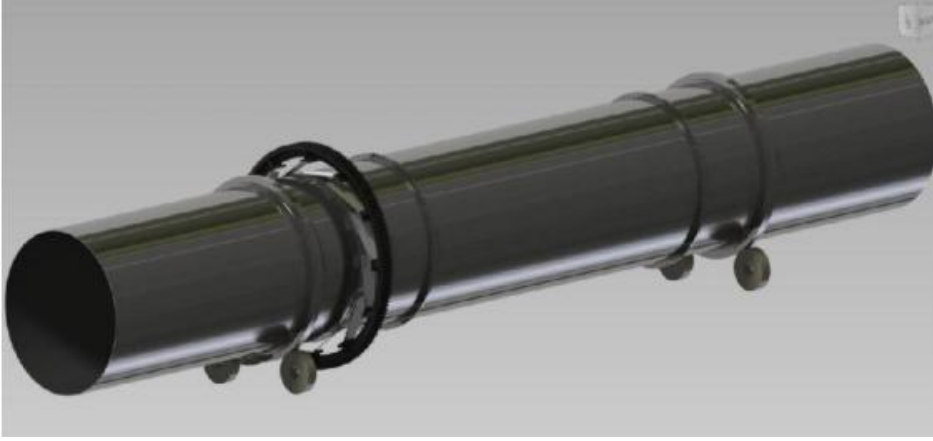
### Stress Analysis on the Cylindrical Body of a Rotary Dryer and Design Study

**ABSTRACT:** In this study, the crack growth problem occurring on the bolted flange connections of a rotary dryer which is in the process of fertilizer production was investigated using finite elements method. At the end of the analyses, it was determined that the bolted flange connection type is the cause of stress concentration effect and this type of connection had an average stress which lowered the endurance limit. After preparing the Wöhler curve, fatigue life was calculated on the basis of theories of Goodman and Gerber. Instead of bolted flange connection type, mantle reinforced butt welding connection was developed and adapted on the dryer and stress analyses were repeated. It was observed that stress concentration and fatigue cracking problem could be prevented with the revision of the connection design.

**Keywords:** Rotary dryer, Goodman, Gerber, Fatigue, Finite elements method

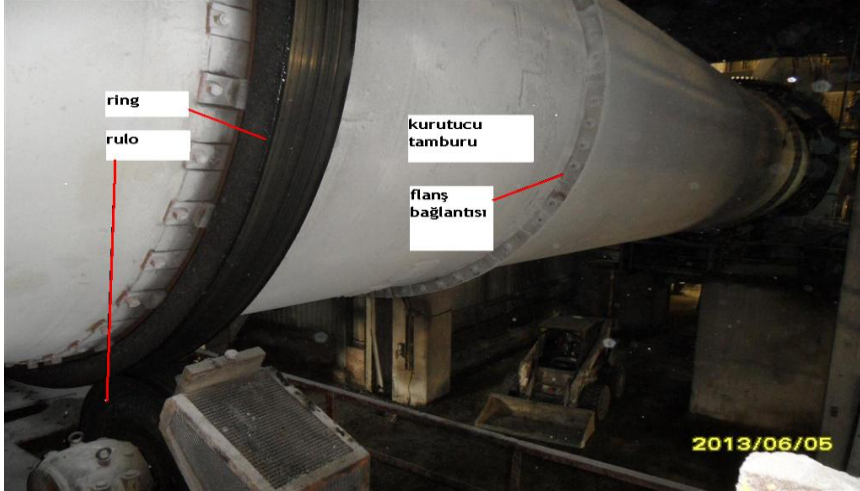
#### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kimyevi gübre üretim prosesinde üretilen ürünün granül (küre) hale gelmesinde döner tamburlardan yararlanır. Ürünün kurutulması, soğutulması ve kaplanması işlemleri bu ekipmanlarda gerçekleştirilir (Şekil 1.1.).



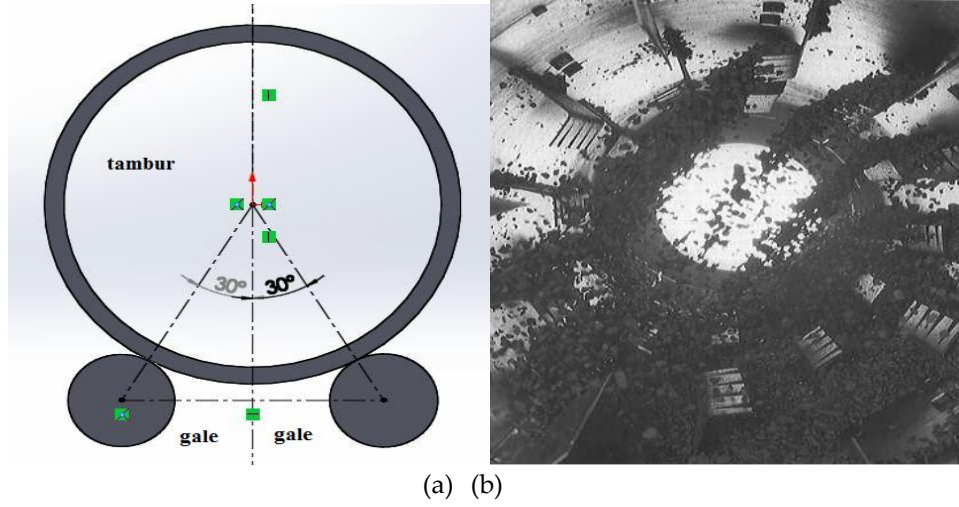
Şekil 1.1. Kurutucu tamburunun katı modelinden görünüm (Solid model of the rotary dryer)

İncelenen kurutucu tamburu, 1986 yılında devreye girmiştir. Boyu 28 metre ve iç çapı 3,75 metre olan döner tamburun cidar kalınlık değeri 18 mm'dir (Şekil 1.2.). Dört adet destek rulosu üzerinde, kendi eksenini etrafında yuvarlanma hareketi yapan döner tamburun üzerinde iki adet ring ve bir adet fener dişlisi bulunmaktadır. Fener dişli, tahrik mekanizmasından elde edilen dönme momentini tambura aktarırken; ringler, destek ruloları üzerinde tamburun taşınmasını ve yuvarlanmasını sağlar. Tamburun cidar kalınlığı, ringlerin ve fener dişlisinin bulunduğu kısımlarda 35 mm'ye ulaşmaktadır.



Şekil 1.2. Kurutucu tamburunun genel görünümü (General view of the rotary dryer)

Destek ruloları, rulo merkezi ile tambur merkezini birleştiren eksen ile düşey eksen arasındaki açı 30° olacak şekilde konumlanmıştır (Şekil 1.3.).



Şekil 1.3. Destek rulo oryantasyonu  
(Orientation of the rollers)

Şekil 1.4. Tambur içerisindeki raflar  
(Flights mounted on the inner surface of dryer)

Proseste üretilen nemli ürün, kurutucu tamburuna bir oluk (chute) vasıtasıyla transfer edilir. Ürün ve sıcak hava akımı, tambur içerisinde aynı yönlüdür. Ürünün tambur içerisinde sıcak hava akımı ile harmanlanması, tamburun iç yüzeyine monte edilmiş raflar vasıtasıyla gerçekleşir (Şekil 1.4). Dakikada 2,5 devir yapan tamburun raflarına dolan ürün, tamburun üst noktasına yakın bir konumda raflardan boşalmaya başlar ve tambur eksenine doğrultusunda ilerleyen sıcak hava akımı ile harmanlanmış olur. Ürünün tambur içerisinde ilerlemesi, tamburun yatay düzleme göre sahip olduğu  $1,3^\circ$  eğim ile gerçekleşir. Saatte normalde 105 ton, maksimum kapasitede ise 120 ton ürünün kurutulduğu döner tamburda, ürünün tamburda kalma süresi 60 dakikadır.

Yanma odasında üretilen sıcak havanın prosesteki en yüksek sıcaklık değeri  $170^\circ\text{C}$ 'dir. Bu sıcaklık değeri, normal şartlar altında tambur malzemesinin dayanımını düşürebilecek seviyenin altındadır. Kurutucu tamburu, işletme ortamına hazır olarak getirilmiş üç adet silindirik yapının civatalı flanş bağlantısından meydana gelmiştir. Devreye girdiği tarihten bir süre sonra, flanş bağlantılarının civata yuvalarında mikro çatlaklar tespit edilmiş, zamanla bu çatlaklar ilerleme göstermiş ve tamburun silindirik yüzeyine sirayet etmiştir (Şekil 1.5.). Tesis ve ekipman hâlen faal durumdadır ve ekipmandaki çatlama problemi devam etmektedir.



Şekil 1.5. Tamburun flanş bağlantı bölgesinde fiili durum (Present state of the connection region)

Tespit edilen çatlaklar için yeterli onarım zamanı bulunmadığı durumlarda, çatlak ilerlemesini önlemek için çatlak uc kısmına matkap ile delik açılarak çatlak uc gerilimi azaltılmaya çalışılmaktadır. Yeterli bir onarım zamanı söz konusu olduğunda, çatlağın başlangıç noktasındaki civata demonte edilmekte, hem tambur iç yüzeyinde ve hem de dış yüzeyinde kaynak ağzı açılarak kaynaklı onarım ve dolgu çalışması yapılmaktadır.

Bu çalışmada, kurutucu tamburun ANSYS Workbench ortamında statik ve yorulma analizi gerçekleştirilmiştir. Statik analizde, tambur bünyesindeki eşdeğer gerilmelerin flanş bağlantısında maksimum değere ulaştığı ve tamburun dönme hareketi neticesinde, bir bant aralığında hareket ettiği tespit edilmiştir. Bu bant aralığından doğan ortalama gerilme, Goodman eğrisi gözönüne alınarak dikkate alınmış (Marudachalam, 2011) ve tambur için hesap edilen yorulma gerilmesi limit değerini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Gerçekleştirilen yorulma analizinde ortaya çıkan eşdeğer alternatif gerilme değeri, Goodman ve Gerber eğrilerinin her birine taşınarak, kurutucu tamburun flanş bağlantı bölgesi için yorulma ömrü ayrı ayrı tayin edilmiştir. Tambur bünyesinde yorulma çatlaklarının meydana gelmesini önlemek amacıyla, gömlek takviyeli alın kaynak uygulaması dizayn edilmiş ve tambur modeline adapte edilmiştir. Analizler tekrar edildiğinde, kurutucu tamburunda bağlantı dizayn değişikliği bu yönde gerçekleştirildiği takdirde, yorulma çatlaklarının önlenilebileceği görülmüştür.

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

### 2.1. Tamburun modellenmesi (Modelling of Rotary Dryer)

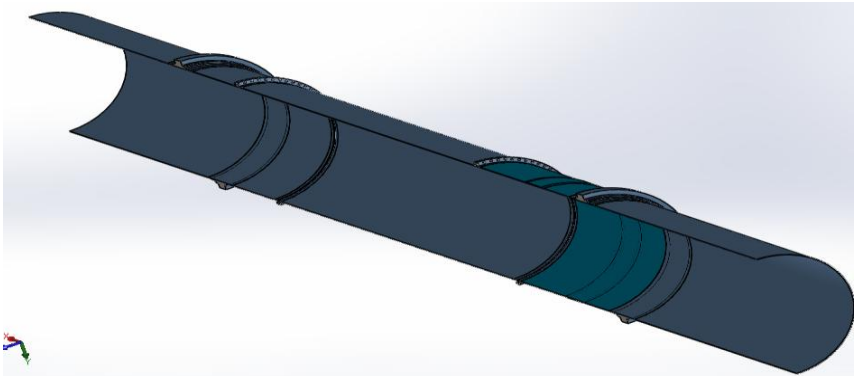
Analizi kolaylaştırmak için, tamburun sadece silindirik yapısı modellenmiş, destek ve kılavuz ruloları, tambur eğimi, fener dişli ve pinyon dişliye yer verilmemiştir. Normalde, dönme yönünde relatif harekete sahip olan ringler, bünyeye bütünleşik olarak modellenmiştir.

Tamburun katı modellemesi sırasında, şekil bağlantısını oluşturan civata başı-flanş, somun-flanş ve flanş çiftleri arasındaki temas, sürtünme 'frictional' olarak tanımlanmış ve sürtünme katsayısı 0,3 olarak düşünülmüştür.

Kurutucu tamburunun silindirik yapısı, kazan çeliği olarak da adlandırılan, ASTM A 285 Grade C malzemesinden imâl edilmiştir. Bağlantıda kullanılan civatalar, DIN 931 normunda ve 5.6 kalite seviyesindedir (Tablo 2.1.).

Tablo 2.1. Tambur ve civata malzeme özellikleri (Material features of the rotary dryer and its bolts)

| Malzeme          | Çekme dayanımı (MPa) | Akma dayanımı (MPa) | Poisson Oranı | Elastikiyet modülü (GPa) | Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> ) |
|------------------|----------------------|---------------------|---------------|--------------------------|--------------------------------|
| Tambur malzemesi | 379                  | 208                 | 0,3           | 210                      | 7,86                           |
| Civata malzemesi | 500                  | 300                 | 0,3           | 210                      | 7,85                           |



Şekil 2.1. Tambur modelinin simetrik görünümü (Symmetric view of the dryer model)

Cıvatalı flanş bağlantıya sahip kurutucu döner tamburu, şekil bağlantısından dolayı nonlineer geometrik yapı sunmaktadır. Böyle bir geometrik yapıda statik analiz rahatlıkla çalıştırılabilmesi için, tamburun simetrisinden faydalanılmıştır. Simetri özelliği, aynı zamanda, analiz süresini kısaltması açısından da önemli bir fonksiyonu vardır (Şekil 2.1.).

## 2.2. Tamburun ağ yapısının oluşturulması (Meshing of The Model)

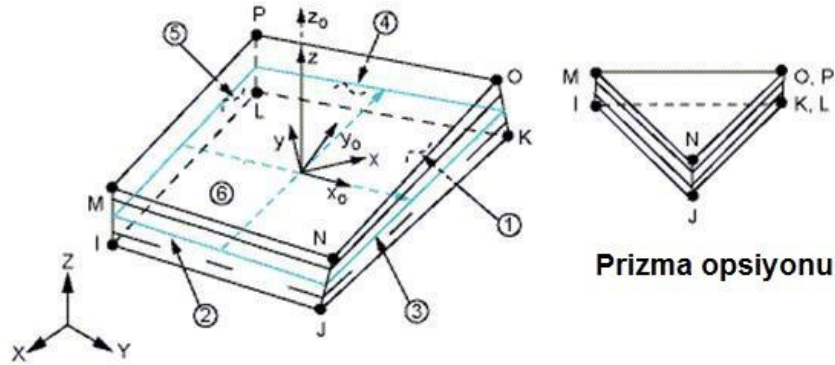
Tambur modelinin ağ yapısı teşkil edilirken, 'sweep' metodu kullanılmıştır. 'Sweep' metodu, kendi ekseninde dönen düz silindirik modellerde kullanılabilen, serbest sisteme göre çok daha az sayıda eleman ve nod sayısı meydana getirebilen, üçgen ve dörtgen prizmatik elemanların verimli olarak kullanılabilirdiği bir metottur (Sharcnet, 2010).

'Sweep' metodunda, Tablo 2.2. de belirtilen ayarlar kullanılmıştır.

Tablo 2.2. Kurutucu tamburu ağ örülmesi detay ayarları (Adjustment of mesh details)

| Ağ ayar öğeleri       | Seçimler       |
|-----------------------|----------------|
| Element Midside Nodes | Dropped        |
| Src / Trg Selection   | Automatic Thin |
| Free Face Mesh Type   | Quad / Tri     |
| Element Option        | Solid Shell    |

Eleman tipi olarak kullanılan Solid Shell (SOLSH190), kabuk kalınlığı boyunca sadece bir elemanın kullanılması istenilen kabuk modeller için uygundur. Her biri üç adet yerdeğiştirme serbestlik derecesine sahip, sekiz nodlu, kabuk tipinde bir elemandır (Imaoka, 2008).



Şekil 2.2. SOLSH190 ağ elemanı (SOLSH190 mesh element) (Wang, 2006)

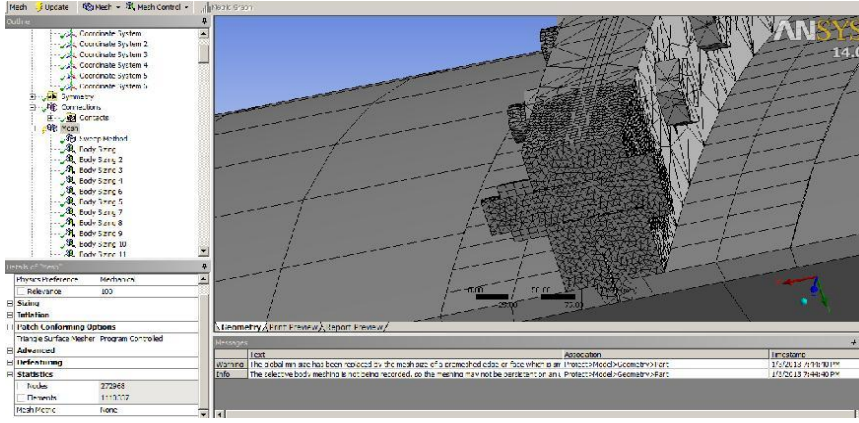
Tamburun çeşitli kısımlarında seçilen eleman boyutları Tablo 2.3'te yer almaktadır.

Tablo 2.3. Kurutucu tamburunda kullanılan eleman boyutları (Dimensions of the mesh element varying on the dryer body sections)

| Model bölgeleri                         | Eleman büyüklüğü |
|---|------------------|
| Düz silindirik yüzeyler                 | 150 mm           |
| Bandaj kısımları                        | 150 mm           |
| Flanşlar ve bitişik silindirik yüzeyler | 80 mm            |
| Cıvata ve somunlar                      | 20 mm            |

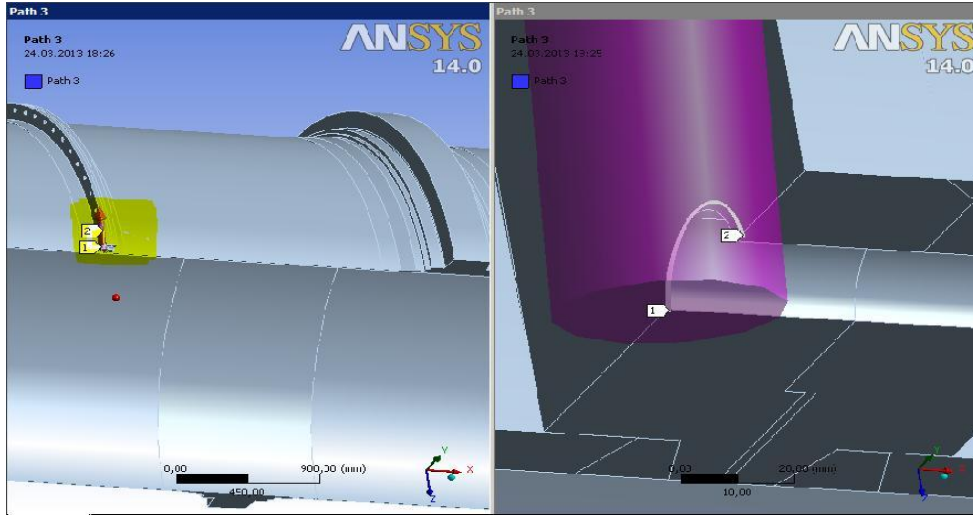
Tamburun simetrik yapısında, 'sweep' metoduna göre kullanılan eleman sayısı 1.110.337 adet ve düğüm sayısı 273.968 adettir.

ANSYS Workbench'te, tamburun simetri kesme yüzeyinde ve bu kesme yüzeylerine en uzak konumda yer alan yan flanş bağlantı bölgelerinde daha ince ağ yapısı oluşturulması için, 'sphere of influence' özelliği kullanılmıştır (Imaoka, 2008). Küre yarıçapı 100 mm olarak tanımlanmış ve 5 mm büyüklüğünde ağ elemanı kullanılmıştır (Şekil 2.3.).



Şekil 2.3. Flanş kesit bölgesinde ince ağ örülmesi (Fine meshing at the flange connection area)

ANSYS'te 'path' özelliği kullanılarak, tamburun flanş bağlantısının simetri kesme yüzeyinde yer alan civata deliklerinde çemberler oluşturulmuştur. Civata başının oluşturabileceği tekil yüklerin elimine edilmesi için, yüzeyin 1 mm derinliğinde oluşturulan bu çemberlerde meydana gelen gerilmelerin değeri ve grafik olarak elde edilmesi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.4.).



Şekil 2.4. Flanş civata yuvasında 'path' oluşturulması (Applying path feature at the bolt hole)

### 2.3. Sınır Şartlarının Girilmesi (Applying Supports and Constraints)

Tambur ringlerinin rulolarla temas eden dış yüzeylerinde 'cylindrical support' tanımlaması yapılmıştır. Bu tanımlamada, dönme hareketine izin verilmiş, aksel ve radyal yönde sınırlama getirilmiştir. Tamburdaki ürün ağırlığı, maksimum kapasite olarak alınmış ve 'bearing load' tanımı kullanılmıştır. Simetri özelliğinden dolayı, ağırlığın yarı değerleri kullanılmıştır. Civata bağlantısında 'bolt pretension' özelliği kullanılmış ve 140.000 N kuvvet değeri girilmiştir.

#### 2.4. Ters Koşul Statik Analiz Şartları (Analysis of Reverse Conditioned Dryer)

Kurutucu tamburunda yorulma analizinin gerçekleştirilmesi, 180° faz farkına sahip iki durumun statik analizlerinin 'solution combination' özelliği altında, 'non proportional' yükleme tipi ile birleştirilmesi yoluyla elde edilir (Browell, 2006). Bu amaç doğrultusunda, ikinci statik analiz modülü sisteme dahil edilerek, yerçekimi ve yük değerlerinin yönleri 180° değiştirilmiş, bu hâlde statik analiz çalıştırdıktan sonra yorulma analizine geçilmiştir.

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSIONS)

#### 3.1. Eşdeğer Gerilme Değerleri (Von Mises Stress Values)

Tambur flanş kesitlerinde yer alan cıvata deliklerindeki gerilme değerleri, flanş bağlantısında yer alan bir adet cıvata deliğinde, tamburun dönme hareketi sırasında maruz kalacağı gerilme değerlerini verecektir. Tamburun flanş bağlantısının bir noktasında, tambur çevrimi boyunca tespit edilen gerilme değerleri Tablo 3.1. ve Şekil 3.1. de yer almaktadır.

Tablo 3.1. Flanş cıvata yuvasının bir çevrim boyunca maruz kaldığı gerilme değerleri (Stress values of a flange bolt hole encountered during one cycle of the dryer)

| Tambur koordinatı         | Gerilme değeri |
|---------------------------|----------------|
| Tamburun üst kot seviyesi | 136 MPa        |
| Tamburun alt kot seviyesi | 89 MPa         |
| Orta kot seviyesi         | 69 MPa         |

Eşdeğer gerilmeleri meydana getiren asal gerilmelerin (tümünün) bası karakterli olduğu ve yorulma probleminin, bası karakterli asal gerilmelerin değişiminden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

#### 3.2. Yorulma dayanımının belirlenmesi (Determining of Endurance Limit)

Laboratuvar şartlarında, numune malzemesinin yorulma dayanımı, çekme dayanımının yaklaşık yarısı kadardır (Marudachalam, 2011).

Kurutucu tamburunun geometrik yapısı ve çalışma şartları göz önüne alındığında, tespit edilen yorulma dayanımının Tablo 3.2.'de değerleri verilen faktörlerle düzeltilmesi gerekir (The IIT Kharagpur).

Tablo 3.2. Yorulma dayanımı düzeltme faktörleri (Correction factors of endurance limit)

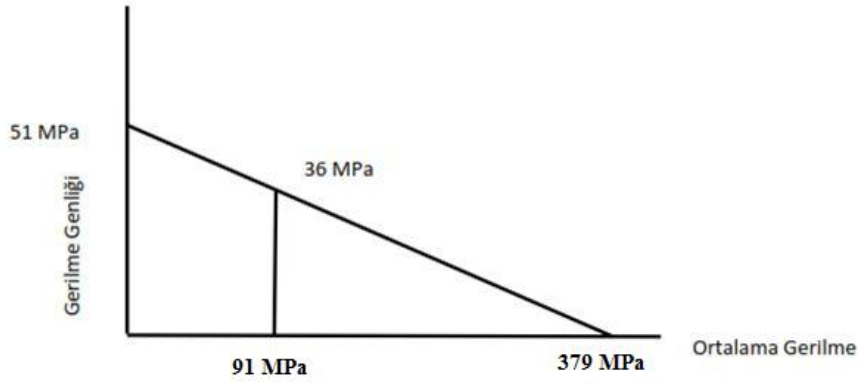
| C <sub>büyük</sub> | C <sub>yük</sub> | C <sub>yüzey</sub> | C <sub>sıcaklık</sub> | C <sub>güvenilirlik</sub> |
|--------------------|------------------|--------------------|-----------------------|---------------------------|
| 0,6                | 1,0              | 0,65               | 1,0                   | 0,702                     |

O halde, yorulma dayanım limit değeri,

$$\sigma'_{SM} = \frac{1}{2} * \sigma_k * C_{büyük} * C_{yük} * C_{yüzey} * C_{sıcaklık} * C_{güvenilirlik}$$

$$\sigma'_{SM} = 51 \text{ MPa}$$

seviyesinde tespit edilir. Bu değer, herhangi bir ortalama gerilme değerinin olmadığı durum için geçerlidir. Halbuki, flanş bağlantı bölgesinde 91 MPa seviyesinde ortalama gerilme değeri tespit edilmiştir. Yorulma gerilmesi limit değerinin ortalama gerilmeye göre düzeltilmesi gerekmektedir. Bu düzeltme işlemi, Goodman eğrisi vasıtasıyla gerçekleştirilir ve 36 MPa seviyesinde gerilme limit değeri tespit edilir (Şekil 3.1.).



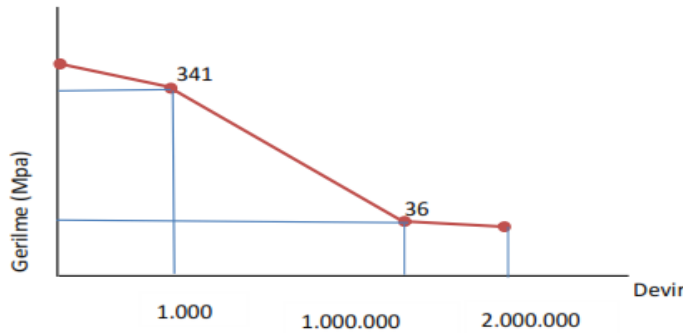
Şekil 3.1. Yorulma dayanımının Goodman teorisine göre revize edilmesi (Modifying endurance limit using Goodman method)

İkinci kez düzeltilmiş olan yorulma gerilmesi limit değeri tespit edildikten sonra, tamburun yorulma analizinin gerçekleştirilmesi için, malzemenin Wöhler eğrisinin (S-N eğrisinin) ortaya çıkartılması gerekmektedir.

Wöhler eğrisinde, çeşitli ömür aralıkları için geliştirilmiş ampirik formüller bulunmaktadır (Tablo 3.3.). Bu ampirik formüller kurutucu tamburu için çalıştırıldığında, Şekil 3.2.'deki eğri elde edilir.

Tablo 3.3. S-N eğrisi formülasyon tablosu (Formulation table for Wohler curve) (Haghighi, 2007)

| Devir sayısı            | Yorulma dayanımı   |
|-------------------------|--|
| $< 10^3$                | $0.9 \cdot \sigma_k$   |
| $10^3$ ile $10^6$ arası | $\frac{(0.9 \sigma_k)^2}{\sigma_{SM}''} N^{-(1/3) \log(0.9 \sigma_k / \sigma_{SM}'')}$ |
| $> 10^6$                | $\sigma_{SM}''$  |



Şekil 3.2. Kurutucu tamburu S-N eğrisi (Wohler curve of the rotary dryer)

Tablo 3.4. Yorulma analizi 'solution combination' ayar seçim tablosu (Setting table of solution combination for ANSYS fatigue analysis)

| Ayar öğeleri                    | Seçimler           |
|---------------------------------|--------------------|
| $K_f$ (yorulma dayanım) faktörü | 0,8 mm             |
| Yükleme tipi                    | 'Non proportional' |
| Analiz tipi                     | 'Stress life'      |
| Ortalama gerilme düzeltme       | Goodman            |

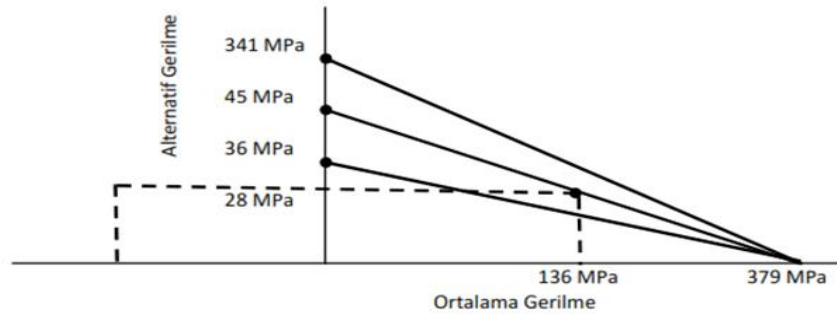


Tambur malzemesinin S-N eğrisinin verileri, ANSYS programının 'engineering data' kısmına girilir ve yorulma analizi için 'solution combination' özelliği kullanılır (Browell, 2006). Bu özellik altında, 180° faz farklı iki statik analiz, aşağıdaki ayarlar kullanılarak birleştirilir (Tablo 3.4.).

### 3.3. Goodman Metoduna Göre Yorulma Ömrünün Belirlenmesi

(Determining of Fatigue Life Based on Goodman Theory)

Yorulma analizi çalıştırıldığında, eşdeğer alternatif gerilme değerinin 45 MPa seviyesinde olduğu tespit edilmiştir. Bu gerilme değeri, Von Mises gerilmesi baz alınarak ANSYS tarafından hesaplanmıştır. Aynı şartlar altında fakat 'Signed Von Mises' gerilme türü baz alındığında, eşdeğer alternatif gerilme değerinin 28 MPa seviyesinde olduğu görülmüştür (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Goodman teorisine göre yorulma ömrünün tayin edilmesi (Determining fatigue life using Goodman method)

Diyagramın negatif (bası) tarafında, ordinat değeri 28 MPa olan herhangi bir noktadan başlayarak, yatay doğrultuda ve sağ tarafa doğru ilerleyen çizgi, eşdeğer alternatif gerilme değeri 45 MPa olan eğimli çizgi ile kesiştirildiğinde tespit edilen nokta, flanş bağlantısının civata delik yüzeyindeki gerilme bandını meydana çıkarmaktadır. Bu noktanın ortalama gerilmesi 136 MPa ve gerilme salınımları 28 MPa'dır. Hatırlanacağı üzere, S-N diyagramı, aşağıdaki formülasyonlarla gerçekleştirilmektedir (Al-Bahkali, 2007):

$$N = N_0 (\sigma_{eş-alt} / \sigma_{SM}'')^{1/b} \quad (3.1.)$$

$$b = - (1/3) \log (0,9\sigma_k / \sigma_{SM}'') \quad (3.2.)$$

$\sigma_{eş-alt}$  = Eşdeğer alternatif gerilme,

$\sigma_k$  = Çekme dayanımı,

$\sigma_{SM}''$  = Ekipmana ve ortalama gerilmeye göre revize edilmiş yorulma dayanımı,

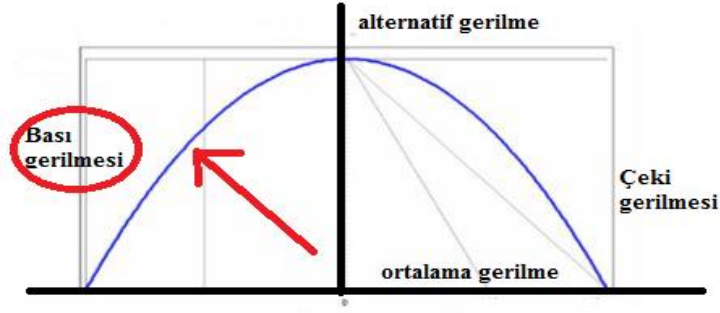
$N_0$  =  $10^6$  devir.

Tespit edilen gerilme değerleri, sırası ile (3.2) ve (3.1) numaralı formüllerde yerlerine konulup çalıştırıldığında, Goodman teorisine göre, flanş civata deliğinde 503.839 devirden sonra çatlama probleminin meydana geleceği görülmektedir. Yılda 320 gün çalışıldığı düşünüldüğünde, 0,43 yıl gibi bir süreye karşılık gelecektir.

### 3.4. Gerber Metoduna Göre Yorulma Ömrünün Belirlenmesi

(Determining of Fatigue Life Based on Gerber Theory)

Von Mises gerilmesi baz alındığında, flanş bağlantısının civata yuvasında tespit edilen eşdeğer alternatif gerilme değeri 33 MPa'dır. ANSYS yorulma analizinde 'signed Von Mises' gerilmesi baz alındığında, eşdeğer alternatif gerilme değerinin aynı olduğu görülmektedir.



Şekil 3.4. Gerber eğrisi (Gerber curve)

Gerber Teorisinde,

$$(\sigma_a / \sigma_{es-alt}) + (\sigma_m / \sigma_k)^2 = 1 \quad (3.3.)$$

$\sigma_a$  = Alternatif gerilme,

$\sigma_m$  = Ortalama gerilmeyi göstermektedir.

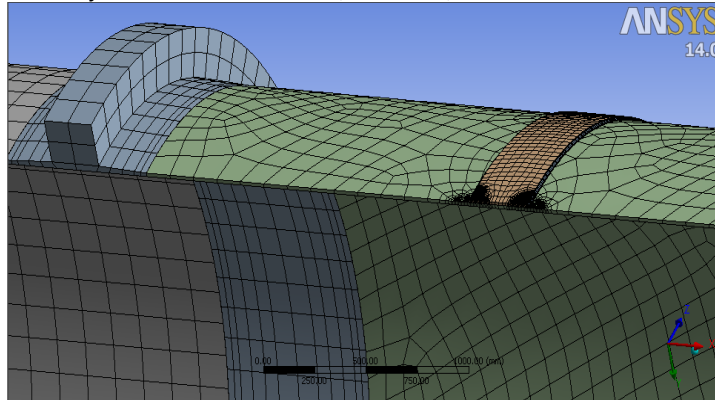
Değerler, (3.3.) numaralı formülasyonda yerine konulursa, eşdeğer alternatif gerilme ( $\sigma_{es-alt}$ ) 32 MPa olarak elde edilir ki, ANSYS Workbench eşdeğer alternatif gerilme analizinde elde edilen değere çok yakındır. Bu değer, (3.1.) numaralı formülde yerine konulursa, 1.435.954 devir (yaklaşık 1,25 yıl) ömür değerine ulaşılır.

Gerber teorisi, gerek bası karakterli ortalama gerilmeyi dikkate alması ve gerekse de sünek malzemelere daha uyumlu olduğu için, bu teori ile üretilen yorulma ömrünün gerçeğe daha yakın olduğu düşünülmüştür.

### 3.5. Bağlantı Dizaynının Revize Edilmesi (Redesigning of Connection Design)

Flanş bağlantı bölgesi, sahip olduğu şekil özelliği nedeniyle, kuvvet akış çizgilerinin bozulmasına ve gerilimin belli yerlerde toplanmasına neden olmaktadır. Bu olumsuz durum, gerek fiili durumda ve gerekse de gerçekleştirilmiş olan statik ve yorulma analizlerinde kendisini göstermiştir. Bağlantı bölgesi, tamburun silindirik yapısına şekil açısından ne kadar benzerlik gösterirse ve yalın olursa, gerilim yığılmaları o denli azalacak ve lokal yorulma probleminin önüne geçilebilecektir.

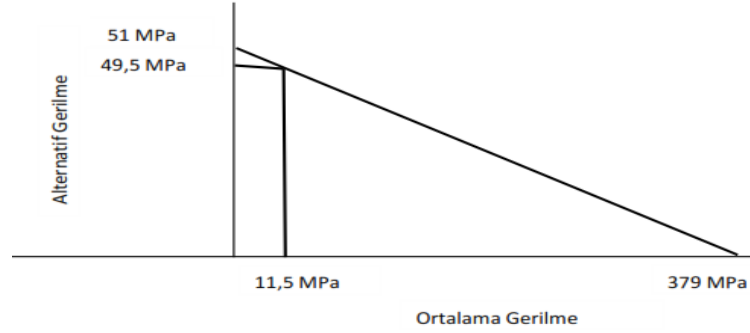
Kuvvet akış çizgilerinin tambur boyunca düzenli seyretmesi için, tamburun flanş bağlantısının kesilip alınması ve tambur seksiyonlarının alın altına kaynak edilerek birleştirilmesi ve bağlantı bölgesinin dış yüzeyine ikinci gömlek takviyesi düşünülmüştür (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Alın kaynaklı ve manto takviyeli kurutucu tamburu (Rotary dryer with mantle reinforced butt welding connection type)

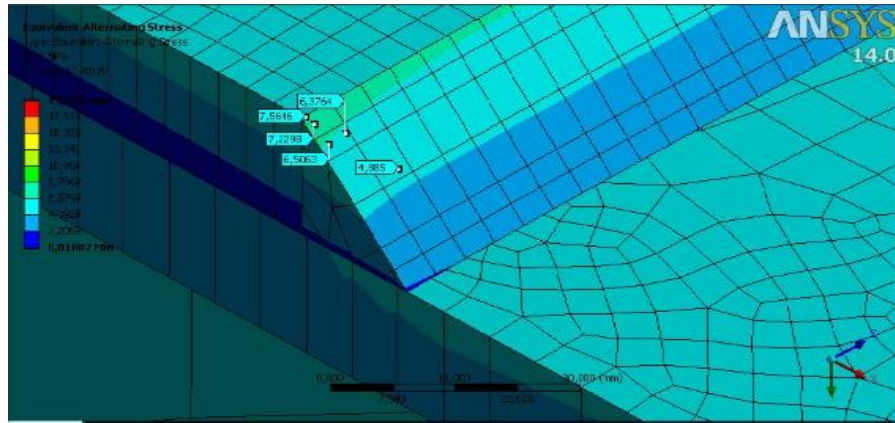
Ekipmanın statik eşdeğer (Von Mises) analizinde gömlek bağlantı bölgesi yakından incelendiğinde, maksimum gerilmenin, tamburun en üst pozisyonundaki gömleğin yan kaynak dikişinde meydana

geldiği ve yaklaşık 22 MPa seviyesinde gerçekleştiği, tamburun yan pozisyonunda bu değer 1 MPa seviyesine indiği ve tamburun alt pozisyonunda ise tekrar yükselişe geçerek 19 MPa seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Maksimum gerilme dalgalanması incelendiğine göre, bu iki gerilme değeri, mutlak farkı en büyük olacak iki değerdir. Bu iki değer ortalama 11,5 MPa olarak hesap edilir ve Goodman yöntemi ile yorulma gerilmesi limit değerinin düzeltilmesi gerekir. Şekil 3.6.'daki Goodman yönteminde, düzeltilmiş yorulma dayanım değeri 49,5 MPa olarak hesap edilmiştir.



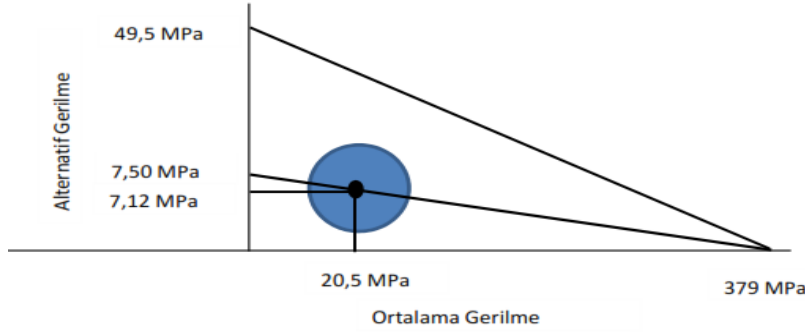
Şekil 3.6. Gömlek takviyeli bağlantı dizaynında yorulma dayanımının Goodman eğrisine göre düzeltilmesi (Modifying fatigue life using Goodman method of rotary dryer with mantle reinforced butt welded connection)

Gömlek bağlantılı tamburun her iki yük yönünde statik analizlerinin toplamından üretilen yorulma analizi, flanş bağlantılı tamburun yorulma analizi sırasında yapılan ayarlar ile aynı şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu şartlar altında çalıştırılan analiz sonucunda, gömleğin yan kaynak dikişleri üzerinde eşdeğer alternatif gerilme değerinin yaklaşık 7,5 MPa seviyesinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Yorulma analizi, 'Signed' Von Mises gerilme türünde çalıştırıldığında, değer 7,12 MPa seviyesinde meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7. Gömlek takviyeli tamburun bağlantı bölgesinde eşdeğer alternatif gerilme değeri (Equivalent alternating stress value at the mantle reinforced connection area of the dryer)

ANSYS yorulma analizinden elde edilen eşdeğer alternatif gerilme analizlerinden bir tanesi, 'Signed Von Mises' gerilmesi ile gerçekleştirilmiştir. 'Signed Von Mises' gerilmesinin negatif bölgeden geleceği düşüncesi ile ordinatta 7,12 MPa seviyesini kesecek yatay doğru oluşturulmuştur (Şekil 3.8.). Von Mises gerilmesinden üretilen 7,50 MPa gerilim değeri, modelin eşdeğer alternatif gerilme değeridir. Absisteki 379 MPa çekme gerilmesi değerinden, ordinatta yer alan 7,50 MPa gerilme değerine çizilen eğimli çizgi, 7,12 MPa yatay doğrusu ile birleştirildiğinde, kesişme noktası, gömleklili tamburun dayanım noktasını oluşturacaktır. Bu nokta, Goodman çizgisinin altında kalan emniyetli bölgededir ve gömlek bağlantılı tamburun, mevcut şartlar altında sürekli ömre sahip olacağını belirtir.



Şekil 3.8. Gömlek takviyeli tamburun bağlantı bölgesinin yorulma ömrünün tespit edilmesi (Determining fatigue life of mantle reinforced connection area of the dryer)

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION and SUGGESTIONS)

Silindirik gövdesinde homojen gerilim dağılımı olması gereken ağır devirli ve yüksek tonajlı döner tamburların yapısında, kuvvet akış çizgilerini bozacak ve gerilme yığılmasına neden olacak bağlantılara yer verilmemesi gerektiği, böyle dizayna sahip ekipmanlarda yorulma problemleri ile karşılaşılmasının kaçınılmaz olduğu görülmektedir. Bu tip döner tamburda karşılaşılan yorulma problemlerini kalıcı olarak önlemenin zor olduğu tespit edilmiştir.

İyileştirme sürecinde geliştirilen ve adapte edilen gömlek takviyeli bağlantı dizaynında, gerilme yığılmaları ile karşılaşmadığı görülmektedir. Gömlek takviyeli bağlantıya sahip tamburda karşılaşılan gerilmeler irdelendiğinde, sürekli ömre sahip olacağı tespit edilmiştir.

Flanşlı bağlantıda meydana gelen asal gerilmelerin negatif karakterli (bası karakterli) olduğu görülmektedir. Literatürde, statik bası gerilmelerinin yorulma problemine yol açmayacağı belirtilir (Boardman,1990). Kurutucu tamburu flanş bağlantısında karşılaşılan bası karakterli asal gerilmelerin, tamburun her devrinde, alt ve üst limit değerler arasında dalgalanma gösterdiği ve yorulma probleminin iki değer arasında gidip gelen bası karakterli gerilmelerden meydana geldiği görülmektedir.

Kurutucu tamburunda uzun vadeli lokal çözümün sağlanması için, flanş bağlantısının sistemden uzaklaştırılması ve gömlek takviyeli bağlantı dizaynına yer verilmesi gerekmektedir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Al-Bahkali, E., 2007, Mechanical Engineering Design Lecture Note, Third Edition, King Saud University, Saudi Arabia.
- Boardman, B., 1990, Fatigue Resistance of Steels, ASM Handbook, Volume 1, pp. 673-688.
- Browell, R., 2006, Calculating and Displaying Fatigue Results, [www.ozeninc.com](http://www.ozeninc.com), ANSYS Workbench 11 Tutorial.
- Haghighi, 2005, Performing a Fatigue Analysis, ANSYS Tutorial, <https://engineering.purdue.edu>, ziyaret tarihi: 15 Ocak 2013.
- Imaoka, S., 2008, Using New Meshing Features in ANSYS Workbench Simulation, ANSYS Advantage, Volume 2, Issue 2.
- Marudachalam, D., Kanthavel, K. and Krishnaraj, R., 2011, Optimization of Shaft Design Under Fatigue Loading Using Goodman Method, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 2, Issue 8.
- Sharcnet, Ansys 13 Dökümantasyonu, <http://www.sharcnet.ca>, ziyaret tarihi: 30 Mart 2013.
- The IIT Kharagpur, Design for Dynamic Loading, <http://nptel.iitm.ac.in>, ziyaret tarihi: 15 Aralık 2012.
- Wang, E., 2006, Thin Wall Structure Simulation, International ANSYS Conference, Almanya.