

Deniz Boru Hattı Üzerine Etkiyen Hidrodinamik Kuvvetlerin Dalga Geliş Açısı İle Değişimi

Begüm Yurdanur VAROL^{1*}, Dilay YILDIRIM¹, Ümit GÖKKUŞ¹

¹Celal Bayar Üniversitesi , İnşaat Mühendisliği , Manisa, Türkiye

ÖZET: Son yıllarda enerji ihtiyacı ile birlikte boyut ve sayı bakımından artan deniz boru hatlarının tasarımındaki temel gereksinim; gerek inşaa, gerekse işletme süreçlerinde çevresel kuvvetlerin boru etrafında oluşturacağı yatay ve düşey su hareketlerinin doğru belirlenmesidir. Dalga kökenli hidrodinamik kuvvetler, boru hattı tasarımını etkileyen en önemli çevresel faktörlerden biridir. Tespit kitleleri üzerinde askıda tasarlanmış batık bir boruya etkiyen dalgalar; boru eksenine dik, paralel ve açılı olarak ilerlemektedir. Bu durumda boru eksenini üzerindeki dalga şekli zamanla değişmektedir. Bir periyot sonrası ilk konumuna gelen dalga şekli, devrimsel bir yörünge takip eder. Dalgaların boruya dik bileşeni vasıtasıyla boruya yanal yük etkimesi ve bu yükün zamanla değişmesi, belli bir şiddetteki yanal yükün boru eksenini boyunca ilerlemesi sonucunu doğurmaktadır. Bu çalışmada; askıdaki boruların eksenini ile dalga ilerleme yönü arasındaki açının 0^0 , 45^0 ve 90^0 olması durumunda oluşacak hidrodinamik kuvvetlerin değişimi, Stokes 3.Mertebe Dalga Teorisi kullanılarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deniz Boru hattı , Hidrodinamik Kuvvet, Stokes 3.Mertebe Dalga Teorisi.

Variation Of The Hydrodynamic Forces Effecting On Pipeline With The Wave Incident Angle

ABSTRACT: Basic requirement in the design of marine pipelines which are increasing in terms of size and number with the need of energy in recent years, is determining the correct horizontal and vertical water movement will be brought about by the environmental forces in constructed and operating processes. Hydrodynamic forces based on wave, are one of the most important environmental factors which effect the design of the pipelines. Waves, impacting on a submerged pipeline, designed to suspended on the masses of fixing, move on perpendicular to the pipe axis, parallel and at an angle. In this case wave form on the axis of the pipe varies with time. Waves get influence the lateral load by component of the wave perpendicular to the pipe and this load changes over time. This reason caused to a certain magnitude load moving along the axis of the pipe.

In this study; various of the hydrodynamic forces that will occur when the angle between the axis of the hanging pipe and direction of the wave is 0^0 , 45^0 , 90^0 , examined by using Stokes Third Order Wave Theory.

Keywords: Marine Pipeline , Hydrodynamic Force, Stokes 3rd.Order Wave Theory

1. GİRİŞ

Deniz ortamında ilk olarak petrol-doğalgaz iletiminde kullanılan boru hatları; son yıllarda evsel-endüstriyel atık suların deniz deşarjlarında, endüstriyel tesislerin denizden soğutma suyu alım-boşaltım sistemlerinde ve enerji-haberleşme kablolarının deniz geçişlerinde sıkça kullanılmaktadır.[1]

Boru hattı tasarımının amacı; hattın ekonomik ömrü içerisinde işletme ve bakım masrafını minimum kılacak, müsaade edilen risk sınırını aşmayacak, imalat-inşaa-koruma maliyetini en aza indirecek boru hattı güzergahını ve stabil boru boyutlarını seçmektir. Bunu

gerçekleştirirken, doğal ortamın, inşa-işletme-bakım yöntemlerinin ve değişen teknolojik durumun tasarımda ortaya çıkaracağı kısıtlar göz önünde bulundurulmalıdır. Bu kısıtlardan; oşinografik, batımetrik ve geoteknik kökenli çevresel parametreler, teknik ve ekonomik bakımdan en uygun güzergahın saptanmasında önemli rol oynarken, dalga kökenli çevresel kuvvetler de boru hattının stabilitesi üzerinde etkilidir.

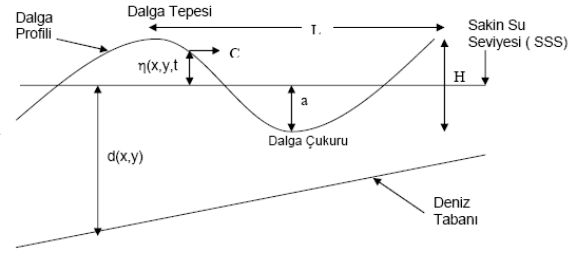
Deniz tabanına serbestçe oturan veya askıda tasarlanan boru ile etrafını çevreleyen akım alanında dalga kökenli su hareketi, hidrodinamik kuvvetlerin doğmasına neden olmaktadır. Bu kuvvetlerin hesaplanmasında deniz suyunun yoğunluğu, kinematik

*Sorumlu Yazar: Begüm Yurdanur VAROL, begum.dagli@bayar.edu.tr

viskozitesi, boru deniz tabanı arasındaki açıklık, boru çapı, rölatif pürüzlülük, dalga geliş doğrultusu ile boru eksenini arasındaki açı, önemli rol oynayan parametrelerdir. Literatürde, deniz yapıları üzerine etkiyen dalga kuvvetlerinin statik ve dinamik analizi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Teng ve Nath, su altı boru hatlarına gelen dalga ve akımdan kaynaklanan kuvvetleri incelemişlerdir. Okyanus dalgalarının, çoğunlukla akımdan kaynaklandığını ve batık deniz yapılarına gelen hidrodinamik kuvvetlerin, akışkan elemanın kinematığı ve dinamiği ile doğrudan ilişkili olduğunu okyanus altında yapılan birçok boru hatları ve açık deniz yapılarını araştırarak ortaya koymuşlardır.[2] Pranesh ve Man, su altında askıda duran boru hatlarına gelen hidrodinamik kuvvetleri deneysel olarak değişik derinliklerde araştırmışlar, borunun tabana olan değişik yüksekliklerini, boru çapının su derinliğine oranı ve iki komşu paralel boru arasındaki uzaklığın etkisini incelemişlerdir.[3] Ballet ve Hobbs, boru hattında taşınan sıvıların deniz suyu ile aralarındaki yoğunluk ve ısı farkından dolayı borulara gelen kuvvetleri incelemişlerdir.[4] Fredsoe ve Sümer, boru hatlarına gelen dalga, dalga ve akımın beraber olması hallerinde çeşitli boru düzenekleri için araştırma yapmışlardır. 1993 yılında yapmış oldukları çalışma; dalga ve akımın beraber etkimesi halinde tabanda oluşan kesme gerilmesi ve bu gerilimden kaynaklanan etkileşimin hesaplanması amacı yapmış oldukları deneyleri içermektedir.[5] Gökkuş “Bilgisayar Destekli Deniz Altı Boru Tasarımı” adlı çalışmasında boru hatlarını projelendirirken bilgisayar kullanılması gerekliliğinden bahsetmiştir. Dalgaların istatistiksel analizini ve stabilite hesabını yapan bir program yazmıştır.[6] Wu ve Riha; deniz tabanına oturan boru hatlarına, fırtınalar nedeni ile etkiyen kuvvetleri inceleyerek “Tabandaki Boru Hattının Stabilitesinin Zaman Değişkenli Güvenilirlik Analizi” isimli bir yöntem geliştirmiştir.[7] Cokgör ve Avcı, laboratuvardaki açık kanalda, akım ve dalganın birlikte bulunması halinde, tabana oturan ve tabana kısmen gömülü silindirik borulara etkiyen hidrodinamik kuvvetler ve bu kuvvetlerle ilgili parametreleri deneysel olarak araştırmışlardır.[8] Gündemir; su altındaki borulara etkiyen kuvvetleri araştırmıştır. Akım ve dalga nedeniyle boru hattına etkiyen kuvvetlerle ilgili mevcut deneysel sonuçlarla nümerik neticeleri karşılaştırmıştır.[9] Bu çalışma kapsamında ise; dalga geliş açısındaki değişimin hidrodinamik kuvvetler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. 0° , 45° , 90° için hidrodinamik kuvvetler hesaplanmıştır. Dalga boyu, su parçacığının hız ve ivmesi ile su yüzü profili Stokes 3.Mertebe Dalga Teorisi kullanılarak belirlenmiştir. Su parçacığı hızına bağlı sürüklenme ve kaldırma kuvvetleri ile su parçacığı ivmesine bağlı atalet kuvvetleri Morison denklemi yardımı ile hesaplanarak, yatay ve düşey kuvvetler karşılaştırmıştır. Sayısal uygulama ile desteklenen çalışmada kritik kesit reaksiyonu meydana getirecek olan maksimum kuvveti veren kritik geliş açısı belirlenmiştir.

2. DALGA TASARIM PARAMETRELERİNİN HESABI

Deniz ve okyanuslarda oluşan dalga hareketinin en tipik özelliği periyodik bir yapıya sahip yani düzenli olmasıdır. Ancak periyodik dalgaların matematiksel olarak ifade edilmeleri oldukça zordur. Eğer dalga yüksekliği; dalga boyu ve su derinliği ile karşılaştırıldığında yeterince küçükse, matematiksel ifadeler lineer formda tariflenebilir. Büyük genlikli dalgalarda ise dalga tepesi ve çukuru arasındaki asimetri ve kütle taşınımı, lineer olmayan; *Stokes Dalga Teorisi*, *Cnoidal Dalga Teorisi*, *Solitary Dalga Teorisinin* kullanılmasını gerektirmektedir. Dalga parametreleri, belirlenen dalga teorisine bağlı olarak hesaplanır. [10] Bu çalışmada dalga tepesinin daralıp yükselmesi ve dalga çukurunun yayvanlaşıp derinleşmesi sonucu oluşan, daha büyük yatay ve düşey hız değerleri ve bunlara bağlı olarak daha büyük hidrodinamik kuvvetlerin elde edildiği *Stokes 3. Mertebe Dalga Teorisi* kullanılarak dalga tasarım parametreleri hesaplanmıştır.



Şekil 1. Dalga Parametreleri

Şekil 1’de gösterilen, iki dalga tepesi arasındaki yatay uzunluk dalga boyunu vermektedir. *Stokes 3. Mertebe* teorisine göre;

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \cdot \tanh kd \left[1 + \left(\frac{2\pi a}{L} \right) \frac{5 + 2 \cosh 2kd + 2 \cosh^2 2kd}{8 \sinh^4 kd} \right] \quad (2.1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada g; yerçekimi ivmesini, T; periyodu, a; genliği, d; su derinliğini göstermektedir.

Dalga sayısı $\left(k = \frac{2\pi}{L} \right)$, açısal dalga frekansı $\left(\omega = \frac{2\pi}{T} \right)$

ile hesaplanır. Dalganın su seviyesinden itibaren yaptığı yer değiştirme, su yüzü profilini verir ve;

$$\eta(x,t) = -a^3 f_3(k,d) \cos(kx - \omega t) + \sum_{n=1}^3 a^n f_n(k,d) \cos[n(kx - \omega t)] \quad (2.2)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Kullanılan $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$ sabitleri su derinliği ve dalga sayısına bağlı katsayılar olup;

$$f_1(k,d) = 1 \quad (2.3)$$

$$f_2(k, d) = \frac{k}{4} \left[\frac{3}{\tanh^3(kd)} - \frac{1}{\tanh(kd)} \right] \quad (2.4)$$

$$f_3(k, d) = \frac{3}{32} k^2 \left[4 + \frac{8}{\sinh(kd)} + \frac{5}{\sinh^3(kd)} + \frac{3}{\sinh^6(kd)} \right] \quad (2.5)$$

şeklinde ifade edilir. [11]. Boru hattının başlangıcından, hidrodinamik kuvvetin hesaplanacağı noktaya kadar olan yatay uzaklık; x değiştiğinde, deniz tabanı ve boru hattı eğimine bağlı d su derinliği, f_n katsayıları da değişir. Su yüzü profili ile sakin su seviyesi arasındaki düşey mesafe z , toplam derinlik ($S=d+z$) ile gösterilirse; akışkan zerresinin yatay ve düşey hızları;

$$\begin{aligned} u &= c(F_1 \cdot \cosh kS \cdot \cos \theta \\ &+ F_2 \cdot \cosh 2kS \cdot \cos 2\theta \\ &+ F_3 \cdot \cosh 3kS \cdot \cos 3\theta) \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} v &= c(F_1 \cdot \sinh kS \cdot \sin \theta \\ &+ F_2 \cdot \sin 2kS \cdot \sin 2\theta \\ &+ F_3 \cdot \sinh 3kS \cdot \sin 3\theta) \end{aligned} \quad (2.7)$$

şeklinde hesaplanır. $c = \frac{L}{T}$ dalga yayılma hızını ve $\theta = kx - \omega t$ ise faz açısını göstermektedir. Hız terimlerinin hesaplanabilmesi için gerekli olan F_n sabitleri ise derinlik, genlik ve dalga sayısına bağlı olarak denklem (2.8), (2.9) ve (2.10) ile hesaplanır. [11]

$$F_1 = \frac{k \cdot a}{\sin kd} - (k \cdot a)^2 \cdot \frac{\cosh^2 kd \cdot (1 + 5 \cosh^2 kd)}{8 \cdot \sinh^5 kd} \quad (2.8)$$

$$F_2 = \frac{3}{4} \cdot (k \cdot a)^2 \cdot \frac{1}{\sinh^4 kd} \quad (2.9)$$

$$F_3 = \frac{3}{64} \cdot (k \cdot a)^3 \cdot \frac{11 - 2 \cosh 2kd}{\sinh^7 kd} \quad (2.10)$$

3. HİDRODİNAMİK KUVETLER

Dalga, açık denizden kıyıya doğru ilerlerken birtakım fiziksel olaylar etkisindedir. Bir noktaya dikkatle bakıldığında görülecektir ki: dalgalar bir yükselip bir alçalmaktadır. Bu hareket silindirik bir yapı etrafında sürüklenme, atalet ve kaldırma kuvvetlerinin oluşmasına neden olur. Sürüklenme kuvveti, kararlı akımdaki viskoz bir akışkan içindeki cisim üzerine etkiyen normal gerilmeler ve kayma gerilmelerinden oluşan kuvvettir. Boru yüzeyine ve teğetsel doğrultuda olan sürüklenme kuvvetine ilave olarak boru üzerine bir nevi çarpma şeklinde dağılan suyun kütesinin ve

ivmesinin belirlediği kuvvet atalet kuvveti olarak tanımlanır. Ayrıca tabana yakın veya serbestçe oturmuş olan boru hatlarında bu kuvvetlere ilave olarak boru hattını kaldırmaya çalışan hidrodinamik kaldırma kuvvetleri de meydana gelir. [10]

Dalganın periyodik salınımından dolayı küçük hacimli silindirik bir yapının etrafındaki akım alanında meydana getireceği değişimler yereldir ve oluşan sürüklenme, atalet (yatay yönde), kuvvetleri Morison denklemi ile;

$$F_I = C_M \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot u' \quad (\text{Atalet Kuvveti}) \quad (3.1)$$

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho \cdot D \cdot u \cdot |u| \quad (\text{Sürüklenme Kuvveti}) \quad (3.2)$$

$$F_H = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho \cdot u \cdot |u| + C_M \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot u' \quad (3.3)$$

(Toplam Yatay Kuvvet)

şeklinde hesaplanır.

Eksenel kuvvetin yanısıra oluşacak hidrodinamik kaldırma kuvvetini (düşey yönde) veren bağıntı;

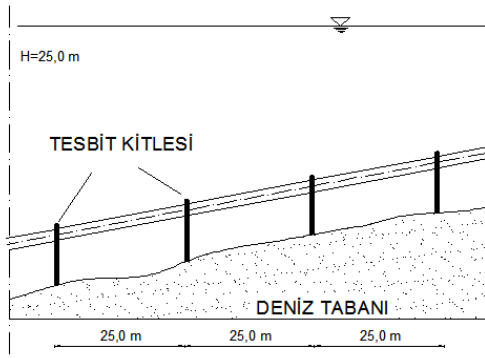
$$F_L = \frac{1}{2} \cdot C_L \cdot \rho \cdot D \cdot u^2 \quad (\text{Kaldırma Kuvveti}) \quad (3.4)$$

şeklinde dir.

Burada; C_M kütle katsayısını, C_D sürüklenme katsayısını, C_L kaldırma kuvveti katsayısını, u su tanecığının hızını, u' akımın ivmesini, ρ birim hacim ağırlığını, D silindirik yapının çapını göstermektedir.

4. SAYISAL UYGULAMA

Şekil 2'de gösterilen deniz boru hattı, 25'er metre aralıklarla yerleştirilen tespit kitleleri ile deniz tabanına sabitlenmiştir.



Şekil 2. Deniz Boru Hattı

Tek bir açıklığın iki yanında bulunan, boru hattını koruyan ve dengede tutan tespit kitleleri, deplasman ve momentin bulunmadığı mesnet şartlarını sağlamaktadır.

Tablo 1 Deniz Boru Hattı Tasarımına İlişkin Veriler

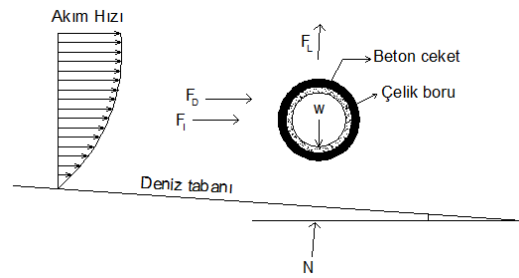
Veriler	Değerleri
Su derinliği	25,0 m
Çelik boru dış çapı	1,0 m
Çelik boru iç çapı	0,986 m
Tasarım dalga yüksekliği	6,0 m
Tasarım dalga periyodu	6,0 sn
Atalet kuvveti sabiti (C_M)	2,0
Sürüklenme kuvveti sabiti (C_D)	1,0
Kaldırma kuvveti sabiti (C_L)	0,95
Dalga geliş açısı (α)	$0^0-45^0-90^0$
Boru hattı eğimi (m)	%5

Boru hattının zemine gömülmeden, deniz tabanının 20 cm üzerinden geçirilen kısmına, boru hattı ile dalga geliş yönü arasındaki açının 0^0 , 45^0 ve 90^0

olması durumlarında etkiyen hidrodinamik kuvvetler Tablo 1'de verilen tasarım parametreleri dikkate alınarak, çalışma kapsamında ayrı ayrı hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Çalışmada akıntı etkisi dikkate alınmamıştır.

4.1. Hidrodinamik Dalga Kuvvetleri Hesabı

Akım ve dalga boru hattı yüzeyinde yarattıkları basınç farkı ve sürtünme nedeni ile boruya kuvvet uygulamaktadır. Şekil 3'de eğimli bir deniz tabanında, askıda bulunan boruya etkiyen kuvvetler gösterilmiştir.

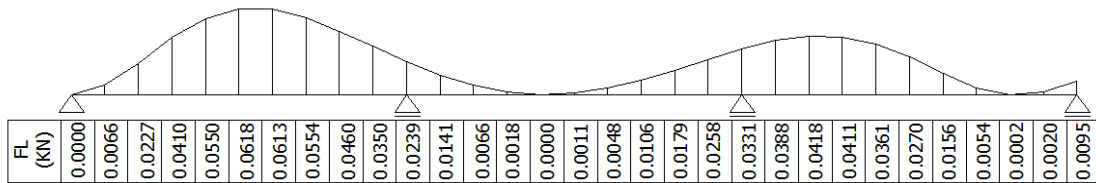
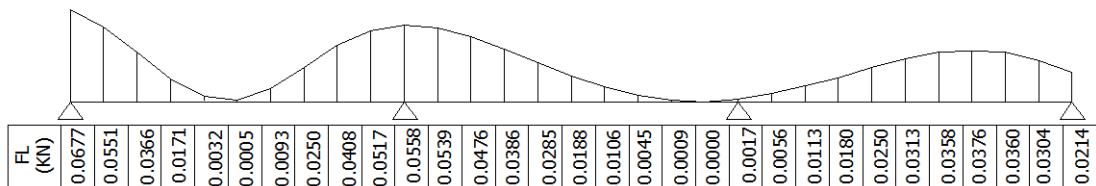


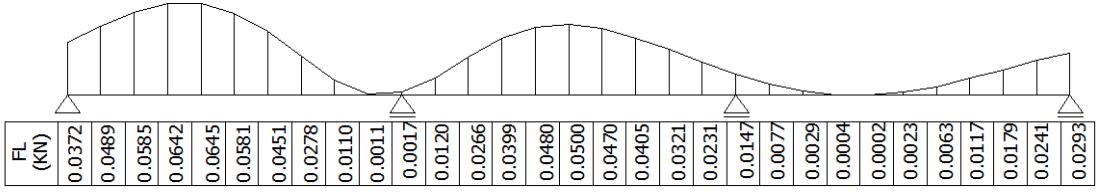
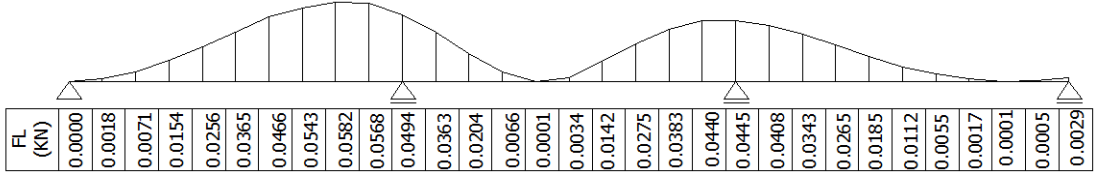
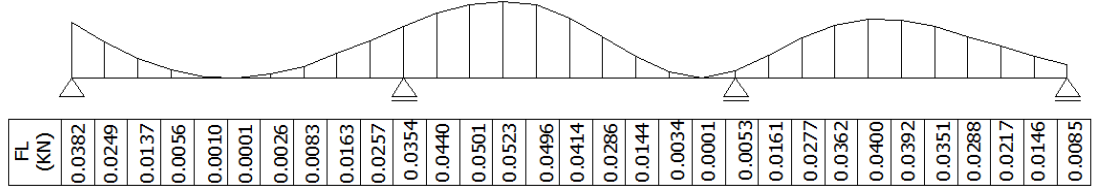
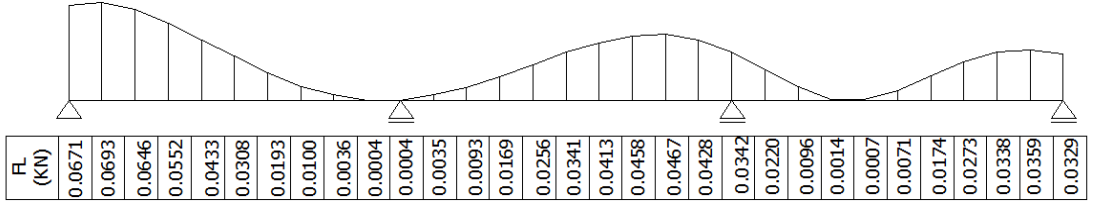
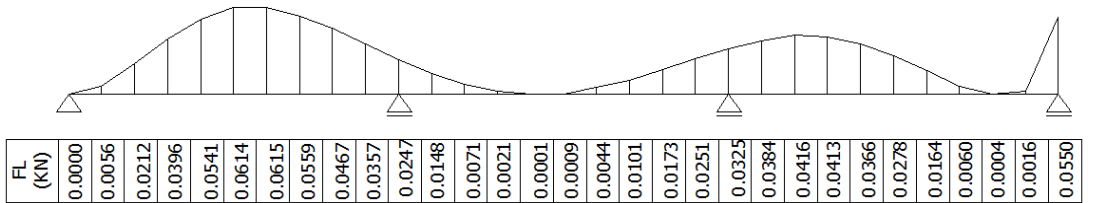
Şekil 3. Boruya Etkiyen Hidrodinamik Kuvvetler

Burada N normal kuvveti, w ise borunun sıvı içerisine batmış durumdaki ağırlığını ifade eder.

4.1.1. $\alpha=0^0$ İçin Hidrodinamik Dalga Kuvvetleri Hesabı

Dalganın deniz boru hattı eksenine paralel gelmesi sonucu, dalga boru üzerinde, araçların köprü üzerinden geçmesine eşdeğer şekilde hareket etmektedir. İnişli çıkışlı yayılı yük olarak düşey doğrultuda boru hattına tesir eden dalga, hidrodinamik kaldırma kuvvetine sebep olmaktadır. FL şeklinde ifade edilen bu kuvvet hesaplanırken, kuvvetin etki ettiği yöndeki hız değerleri dikkate alınmıştır.

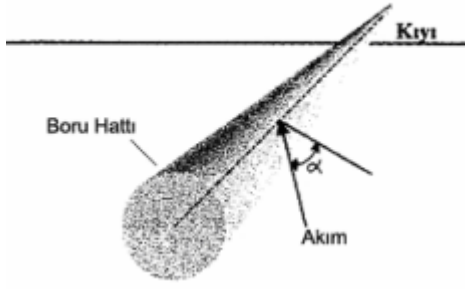
Şekil 4. $\alpha=0^0$, t=0 s için Hidrodinamik Kaldırma Kuvveti (F_L) DeğerleriŞekil 5. $\alpha=0^0$, t=1 s için Hidrodinamik Kaldırma Kuvveti (F_L) Değerleri

Şekil 6. $\alpha=0^\circ$, $t=2$ sn için Hidrodinamik Kaldırma Kuvveti (F_L) DeğerleriŞekil 7. $\alpha=0^\circ$, $t=3$ s için Hidrodinamik Kaldırma Kuvveti (F_L) DeğerleriŞekil 8. $\alpha=0^\circ$, $t=4$ s için Hidrodinamik Kaldırma Kuvveti (F_L) DeğerleriŞekil 9. $\alpha=0^\circ$, $t=5$ s için Hidrodinamik Kaldırma Kuvveti (F_L) DeğerleriŞekil 10. $\alpha=0^\circ$, $t=6$ s için Hidrodinamik Kaldırma Kuvveti (F_L) Değerleri

Şekil 4-10' da her bir açıklık on eşit parçaya ayrılmış ve elde edilen 2,5 m'lik her bir kesite etkiyen kuvvetler hesaplanarak boru hattının altındaki satırda belirtilmiştir. Kuvvetlerin boru hattı üzerinde ölçekli çizimleri kuvvet ve su yüzü profilinin birbirine benzerliğini ortaya koymaktadır. Periyot boyunca değişen kuvvetler incelendiğinde, $t=1$ s ve $t=5$ s anında kuvvetin en büyük değerlere ulaştığı, $t=3$ s anında ise en küçük değerlerde seyrettiği görülmektedir.

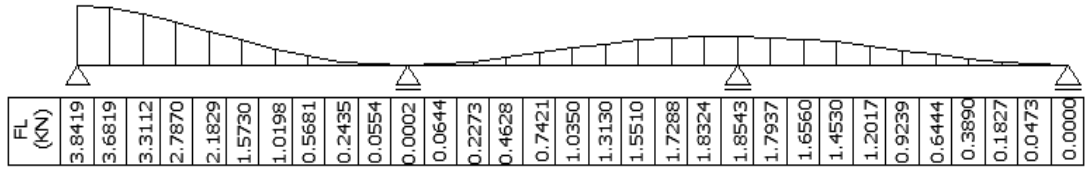
4.1.2. $\alpha=45^\circ$ için Hidrodinamik Dalga Kuvvetleri Hesabı

Dalganın deniz boru hattı eksenine üzerine 450° lik açı gelmesi sonucu, boru etrafında oluşan su hareketi boruya yanallı itme uygulayarak sürüklemeye çalışacak ve bu harekete karşı direnç yani atalet kuvveti oluşacaktır.

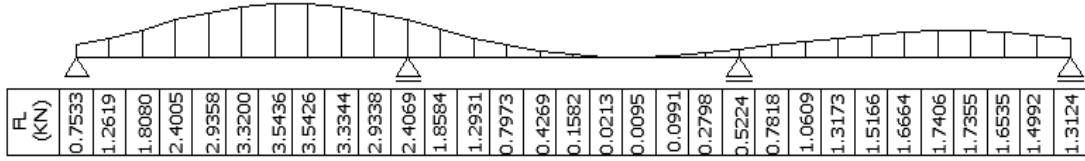


Boru hattı üzerinde sürüklenme ve atalet kuvvetlerini içeren F_H hidrodinamik eksenel kuvvet ile beraber hidrodinamik kaldırma kuvveti de oluşmaktadır.

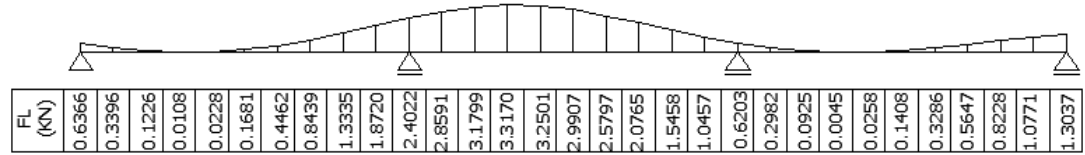
Şekil 11. Akışla Açık Yapan Boru Hatları



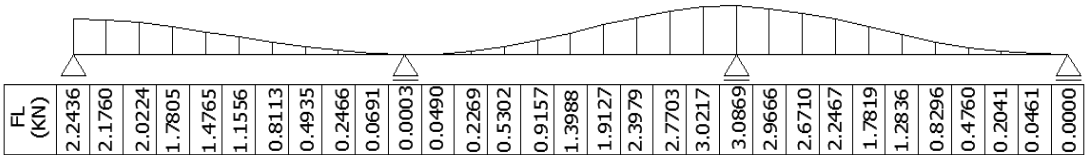
Şekil 12. $\alpha=45^\circ$, $t=0$ s için Hidrodinamik Kaldırma Kuvveti (F_L) Değerleri



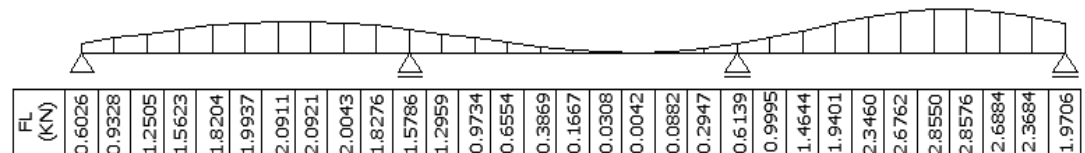
Şekil 13. $\alpha=45^\circ$, $t=1$ s için Hidrodinamik Kaldırma Kuvveti (F_L) Değerleri



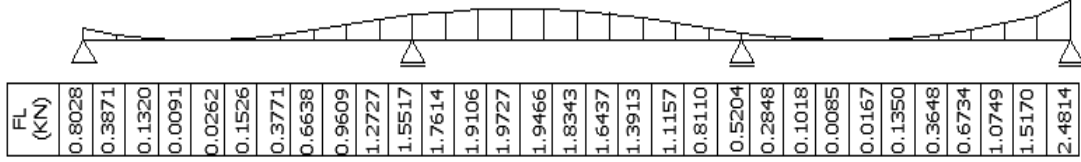
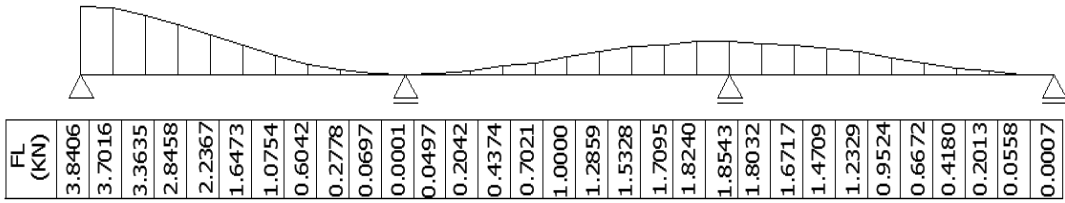
Şekil 14. $\alpha=45^\circ$, $t=2$ s için Hidrodinamik Kaldırma Kuvveti (F_L) Değerleri



Şekil 15. $\alpha=45^\circ$, $t=3$ s için Hidrodinamik Kaldırma Kuvveti (F_L) Değerleri

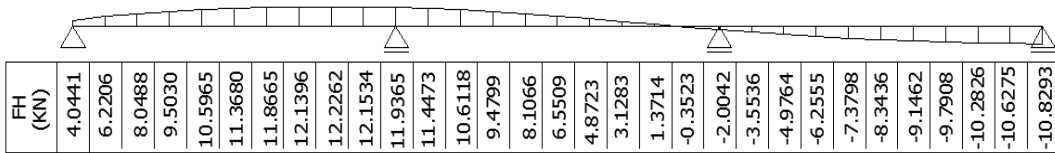
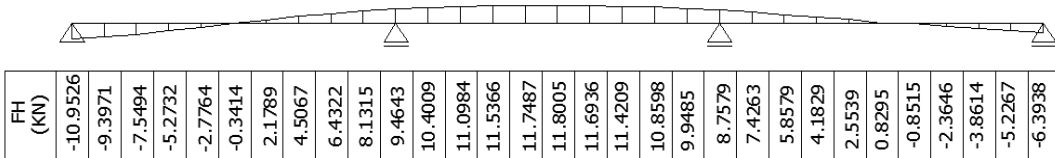
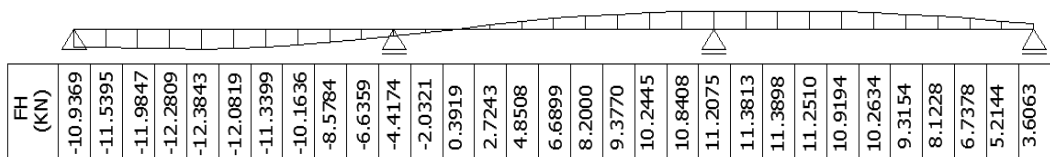


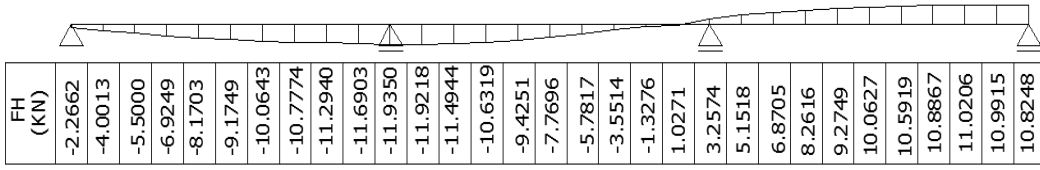
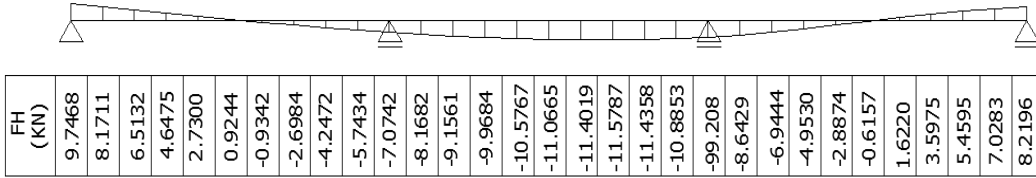
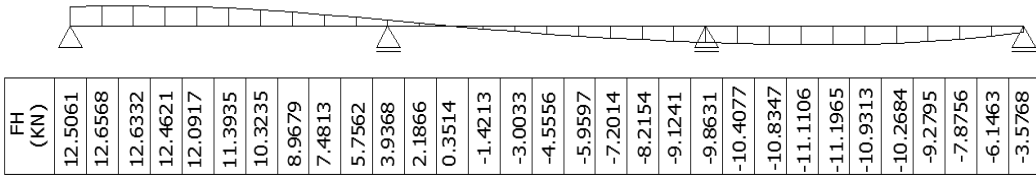
Şekil 16. $\alpha=45^\circ$, $t=4$ s için Hidrodinamik Kaldırma Kuvveti (F_L) Değerleri

Şekil 17. $\alpha=45^\circ$, $t=5$ s için Hidrodinamik Kaldırma Kuvveti (F_L) DeğerleriŞekil 18. $\alpha=45^\circ$, $t=6$ s için Hidrodinamik Kaldırma Kuvveti (F_L) Değerleri

Yatay hız dalga tepesi altında maksimum değere sahiptir. Düşey hız ise; dalga profilinin ortalama su seviyesinden aşağı doğru salınma başladığında maksimum, yukarı doğru salınma başladığında ise minimum olur. Hidrodinamik kuvvetleri veren

bağıntılar hız ve ivme terimlerini içerdiğinden, hız değiştiğinde hidrodinamik kuvvetler de değişir. Dalganın 45° 'lik açı ile boru hattına etkideği durumda oluşan hidrodinamik kaldırma kuvveti, $t=0$ s ve $t=6$ s anında en büyük değerlere ulaşmaktadır.

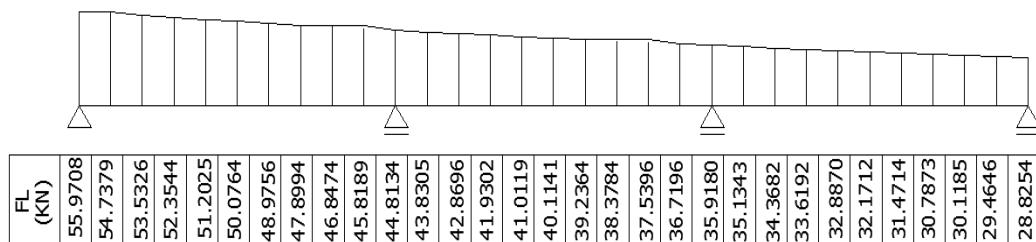
Şekil 19. $\alpha=45^\circ$, $t=0$ s için Hidrodinamik Eksenel Kuvvet (F_H) DeğerleriŞekil 20. $\alpha=45^\circ$, $t=1$ s için Hidrodinamik Eksenel Kuvvet (F_H) DeğerleriŞekil 21. $\alpha=45^\circ$, $t=2$ s için Hidrodinamik Eksenel Kuvvet (F_H) Değerleri

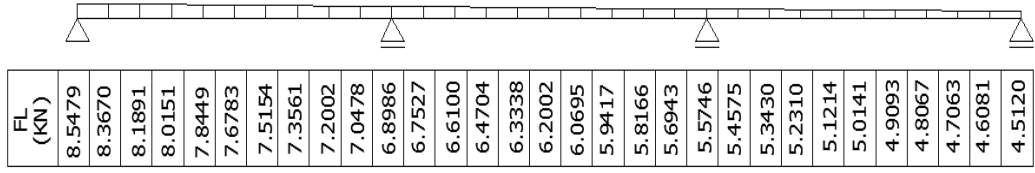
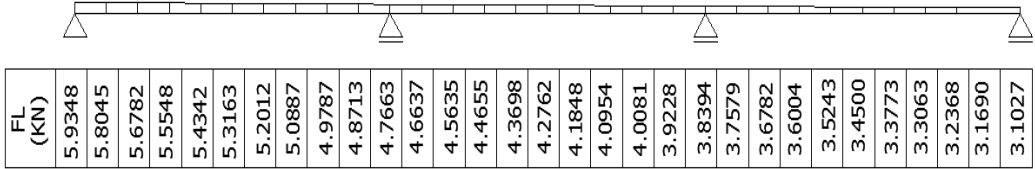
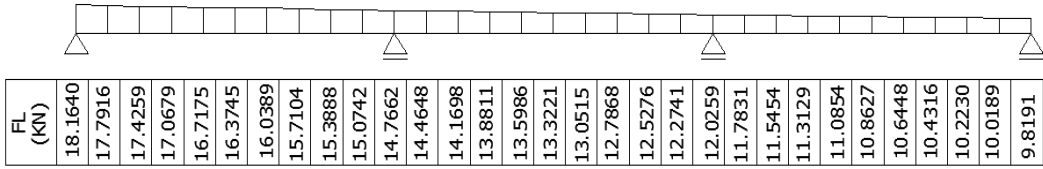
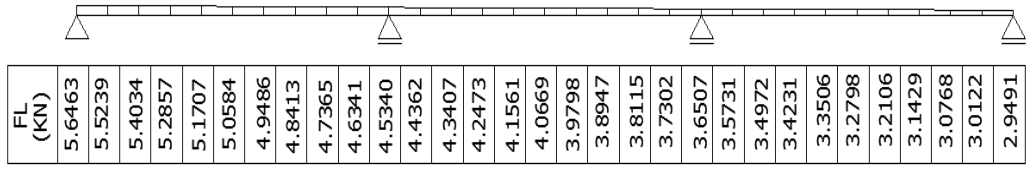
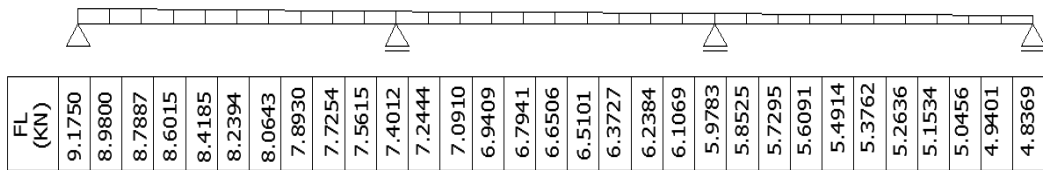
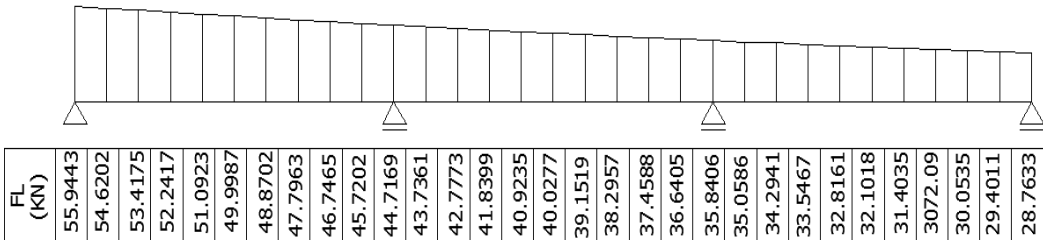
Şekil 22. $\alpha=45^0$, $t=3$ s İçin Hidrodinamik Eksenel Kuvvet (F_H) DeğerleriŞekil 23. $\alpha=45^0$, $t=4$ s İçin Hidrodinamik Eksenel Kuvvet (F_H) DeğerleriŞekil 24. $\alpha=45^0$, $t=5$ s İçin Hidrodinamik Eksenel Kuvvet (F_H) DeğerleriŞekil 25. $\alpha=45^0$, $t=6$ s İçin Hidrodinamik Eksenel Kuvvet (F_H) Değerleri

4.1.3. $\alpha=90^0$ İçin Hidrodinamik Dalga Kuvvetleri Hesabı

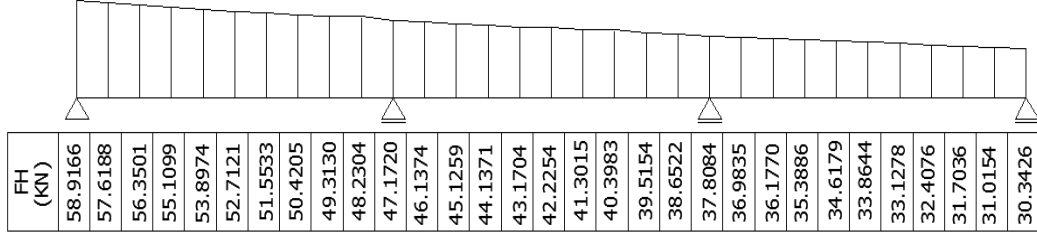
Yatay hızlar dalga tepesi altında dalga yayılma doğrultusunda buna karşın dalga çukuru altında ters doğrultudadır. Bu da hidrodinamik eksenel kuvvetin belirli aralıklarda basınç belirli aralıklarda da çekme olarak etkimesine neden olmaktadır. Şekil 19-25'te görüldüğü gibi eksenel kuvvet, basınç durumunda en büyük değerine $t=5$ s anında ulaşırken çekme kuvveti olarak en etkili olduğu zaman $t=2$ s anıdır

Dalganın boru hattı eksenine 45^0 ' lik açı ile gelmesi durumunda olduğu gibi 90^0 ' lik açı ile gelmesi durumunda da oluşan kuvvetler sürükleme, atalet ve kaldırma kuvvetleridir. Periyot boyunca boru hattına etkiyen kuvvetin değişimi 1 sn' lik aralıklar ile ölçekli olarak çizilerek her kesit için hesaplanan değerler altındaki satırda yazılmıştır.

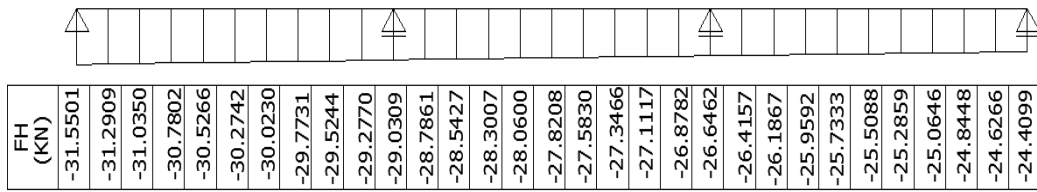
Şekil 26. $\alpha=90^0$, $t=0$ s İçin Hidrodinamik Kaldırma Kuvveti (F_L) Değerleri

Şekil 27. $\alpha=90^0$, $t=1$ s İçin Hidrodinamik Kaldırma Kuvveti (F_L) DeğerleriŞekil 28. $\alpha=90^0$, $t=2$ s İçin Hidrodinamik Kaldırma Kuvveti (F_L) DeğerleriŞekil 29. $\alpha=90^0$, $t=3$ s İçin Hidrodinamik Kaldırma Kuvveti (F_L) DeğerleriŞekil 30. $\alpha=90^0$, $t=4$ s İçin Hidrodinamik Kaldırma Kuvveti (F_L) DeğerleriŞekil 31. $\alpha=90^0$, $t=5$ s İçin Hidrodinamik Kaldırma Kuvveti (F_L) DeğerleriŞekil 32. $\alpha=90^0$, $t=6$ s İçin Hidrodinamik Kaldırma Kuvveti (F_L) Değerleri

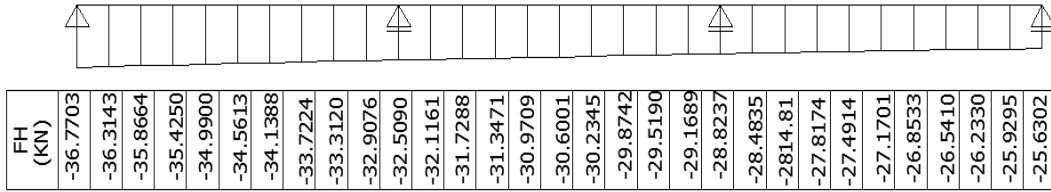
Şekil 26-32' de görüldüğü gibi , hız değerine bağlı olarak değişen hidrodinamik kaldırma kuvveti $t=0$ s ve $t=6$ s anında en büyük değere ulaşır.



Şekil 33. $\alpha=90^\circ$, $t=0$ s İçin Hidrodinamik Eksenel Kuvvet (F_H) Değerleri



Şekil 34. $\alpha=90^\circ$, $t=1$ s İçin Hidrodinamik Eksenel Kuvvet (F_H) Değerleri



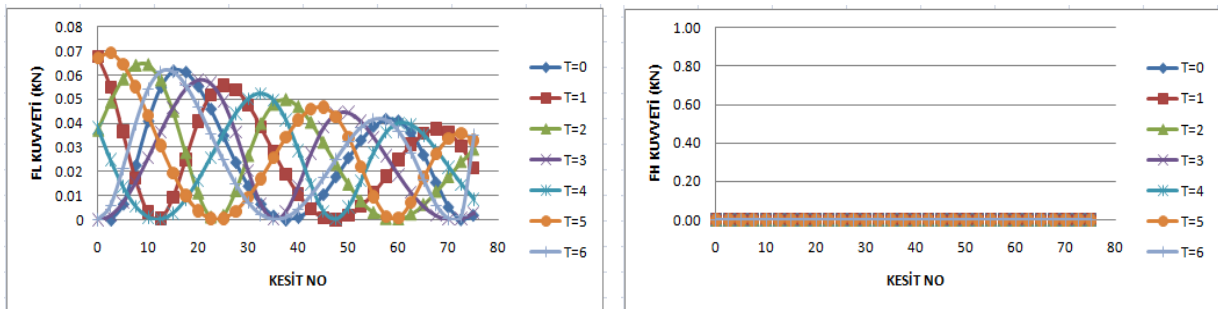
Şekil 35. $\alpha=90^\circ$, $t=2$ s İçin Hidrodinamik Eksenel Kuvvet (F_H) Değerleri

Hidrodinamik eksenel kuvvet ise, $t=0$ s ve $t=6$ s anında birbirine yakınsar ve en büyük değerlere ulaşır.

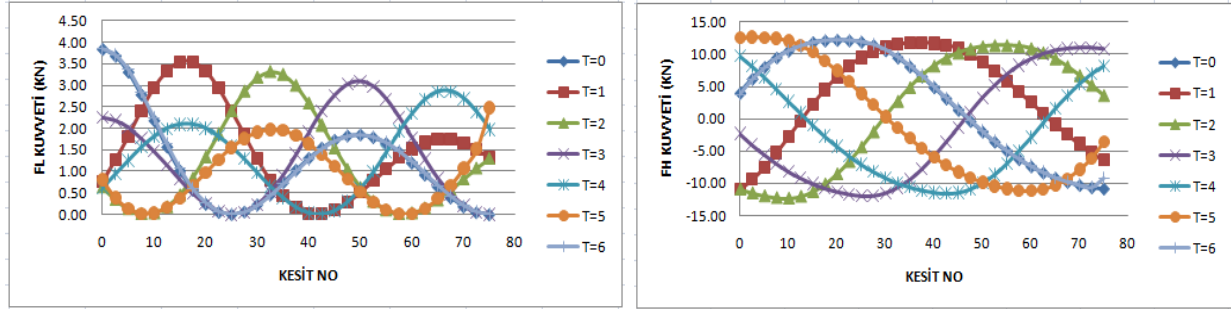
90° ile etkimesi durumları için Morison denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

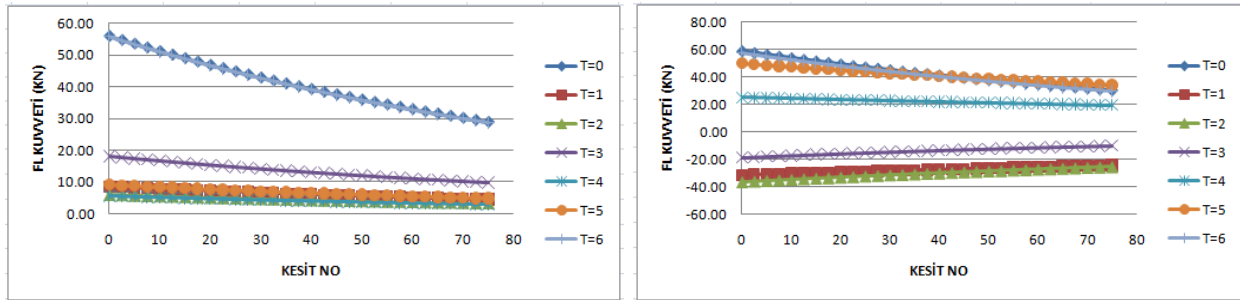
Hidrodinamik dalga kuvvetlerinin boru hattı üzerinde oluşturacağı en olumsuz koşulları belirlemek amacıyla sinüsoidal dalga hareketine maruz boru hattı üzerindeki kuvvetler, dalganın 0° yani paralel, 45° ve



Şekil 40 $\alpha=0^\circ$ İçin Hidrodinamik Dalga Kuvvetlerinin Periyot Boyunca Değişimi



Şekil 41 $\alpha=45^0$ İçin Hidrodinamik Dalga Kuvvetlerinin Periyot Boyunca Değişimi



Şekil 42 $\alpha=90^0$ İçin Hidrodinamik Dalga Kuvvetlerinin Periyot Boyunca Değişimi

Şekil 40-42’de periyot boyunca kuvvet değişimi gösterilmiştir. Yapılan üç ayrı hesap karşılaştırıldığında; en olumsuz şartlar, dalga geliş doğrultusu ve boru hattı eksenindeki açının 90^0 olması durumunda, $t=0$ ve $t=6$ s anında ortaya çıkmaktadır. Kuvvetin dalga geliş açısına göre boru hattı üzerinde bazen basınç bazen de çekme oluşturması nedeni ile sadece dalganın dik geldiği durum için elde edilen kuvvet değerlerinin kullanımı, hatalı tasarımlara sebep olabilmektedir. Aynı kesit için dalganın farklı geliş açıları altında, basınç ve çekme kuvveti değerleri de bu çalışmada olduğu gibi kontrol edilmelidir. En emniyetli ve ekonomik tasarım ancak kesitin hem kritik basınç kuvvetine hem de kritik çekme kuvvetine karşı stabilitesinin bozulmadığı durumda yapılabilir.

6. SONUÇ

Dünyada açık deniz faaliyetleri son yıllarda hızla artmaktadır. Bu artış kıyı ve deniz yapılarının önemini daha da artırmaktadır. Özellikle açık deniz yapıları grubuna giren denizaltı boru hatlarının yanı sıra denizlerdeki petrol platformları, depolama tankları, tanker yükleme platformlarının, tasarım ve tatbik aşamasında dinamik kuvvetlerin önemi çok büyüktür. Yapının optimum boyut ve maliyetinin belirlenmesi ancak en etkili hidrodinamik kuvvetin doğru şekilde hesabı ve uygulaması ile mümkün olmaktadır. Bu da kuvvetlere etkileyen değişken parametrelerin doğru takip edilmesini gerektirir. Bu çalışma kapsamında

hidrodinamik kuvvetlerin oluşumunda etkili bir parametre olan dalga geliş doğrultusu ve boru hattı eksenindeki açı değişimi ele alınmıştır. Özellikle lineer teoremin geçerliliğini yitirdiği bölgede elde edilen hız, ivme değerleri ve bunlara bağlı hidrodinamik kuvvetlerin yıkıcı etkisinden korunmak için boru hattı gibi deniz yapılarının projelendirilmesinde farklı dalga geliş açıları için hesap gerekliliği sayısal sonuçlar ile desteklenmiştir.

REFERANSLAR

- [1]. Luynenburg R.W.E., Corbishley T.J. Pipeline Span Detection Assessment and Correction, Offshore Oil & Gas Pipeline Technology Seminar (De la Mare, R.G., editor), London, 1980
- [2]. Teng, C. C. And Nath, J. S., “Forces On Horizontal Cylinder Towed in Waves” , American Society of Civil Engineer, ASCE, 1022-1040 (1986).
- [3]. Pranesh, M. R. R. And Man, J. S., “Wave-Tubular Member-Wave and Current Interaction”, Journal of Waterway, 760-774 (1998).
- [4]. Ballet, J. P. and Hobbs, R. E., “Asymmetric Effects of Prop Imperfections on the Upheaval Buckling of Pipelines”, Thin-Walled Structures, 355-373 (1992).
- [5]. Fredsoe, L. And Sumer, B. M., “Bed Shear Stress Measurements over a Smooth Bed in Three Dimensional Wave-Current Motion”, Institute of Hydrodynamics and Engineering (ISVA), Coastal Engineering, 277-316 (1993)

- [6]. Gökkuş, Ü., “Computer-Aided Design of Submarine Pipelines”, Water Science TEchnology, 233-241 (1995).
- [7]. Wu, Y. T. and Riha, D.S., “8th American Society of Civil Engineer Special Conference on Probabilistic Mechanics and Structural Reliability”, American Society of Civil Engineer, ASCE, 312-325 (2000).
- [8]. Cokgor, S. and Avcı, I., “Hydrodynamic Forces on Partly Buried Tandem Twin Pipelines in Current”, Ocean Engineering , 28:1349-1360 (2001).
- [9]. Gündemir, O. ve Taştan K., “Boyuna Yivli Pürüzlülüğün Akımın Boruya Uyguladığı Sürükleme Kuvveti Üzerine Etkisi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Vol 23, No 3, 637-644 (2008)
- [10]. Yalçın, Y. , Çevik, E., Kıyı Mühendisliği, Beta Basım A.Ş., İstanbul, 2009
- [11]. Goda, Y., Random Sea and Design of Maritime Structures, Advanced Series on Ocean Engineering, Vol.15. World Scientific, Singapore., 2000.
- [12]. Chakrabarti, S.K., Hydrodynamics of Offshore Structures, Computational Mechanics Publications, Springer-Verlag, Berlin, 1987.
- [13]. Clauss, G., Açık Deniz Altında Boru Döşeme Tekniği Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, İstanbul, 1986.
- [14]. Coastal Engineering Manual, Chapter 1, Water Wave Mechanics , Part 2, U.S. Army Coastal Engineering Research Center, 2006.
- [15]. Dağlı, B.Y., 2008. Deniz Boru Hattı Dinamik Analizi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Manisa.
- [16]. Dean, R.G., Dalrymple, R.A., Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists, vol 2. World Scientific. , 1998.
- [17]. Petti M., Third Order Analysis of Nonlinearities Bounded to Narrow Banded Spectra, The International Society of Offshore and Polar Engineers, Vol. 4- No.1994
- [18]. Sarpkaya, T. , Isaacson, M., Mechanics of Wave Forces on Offshore Structures, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1981.
- [19]. Sümer, B.M., Fredsoe, J., Hydrodynamics around Cylindrical Structures, Advanced Series on Ocean Engineering, vol. 12. World Scientific., 1997.