

Sabit ve Jerk Faktörü ile Değişen İvmeli Hareketin Sayısal Dinamik Analizi

*¹Recep Yılmaz, ²Ahmet Samancı

*¹Tübitak UME, Ulusal Metroloji Enstitüsü, Gebze-Kocaeli, Türkiye

²Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Türkiye

Özet

Bilgisayar destekli sayısal tasarımlar endüstride deneme yanılma yöntemi kullanılarak kaybedilecek zaman ve maliyetin çoğu zaman önüne geçmektedir. Fakat tasarımı gerçekleştirilen ürünün gerçek çalışma koşulları iyi bir yakınsama ile modellenemezse sayısal tasarımlar yanıltıcı olabilmektedir. Sunulan bu çalışmada, endüstride servo motor sürücülerinde sıklıkla kullanılan jerk kavramı açıklanmış ve sabit ivmeli harekete ait sayısal dinamik analizde, hız, konum ve ivme gibi kinematik parametrelerin sabit bir jerk değeri ile kontrol edilmesiyle test parçasında meydana gelen gerilme ve deformasyon değişimleri incelenmiştir. Gerçekleştirilen analizlerde sabit ivmeli hareket yerine 300 jerk değeri ile kontrol edilen ivmeli hareket kullanıldığı takdirde aynı sınır şartlarında analiz sonucu modelde meydana gelen maksimum gerilme ve deformasyon değerlerinde ki farkın sırasıyla 17,9 MPa ve 346,1 µm olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Jerk, Sayısal dinamik analiz, Jerk kontrol, Sabit ivmeli hareket

Abstract

Computer aided numerical designs often avoid the time and cost to be lost by using trial-and-error method in the industry. However, if the actual working conditions of the designed product cannot be modeled with good convergence, numerical designs can be misleading. In this study, the concept of jerk, which is frequently used in servo motor drives in the industry, is explained and stress and deformation changes in the test piece are followed by controlling kinematic parameters such as speed, position and acceleration with a constant jerk value in numerical dynamic analysis of constant acceleration motion. In the analyzes performed, if the acceleration motion controlled with 300 jerk value was used instead of constant acceleration motion, the difference in maximum stress and deformation values in the model under the same boundary conditions was found to be 17.9 MPa and 346.1 µm respectively.

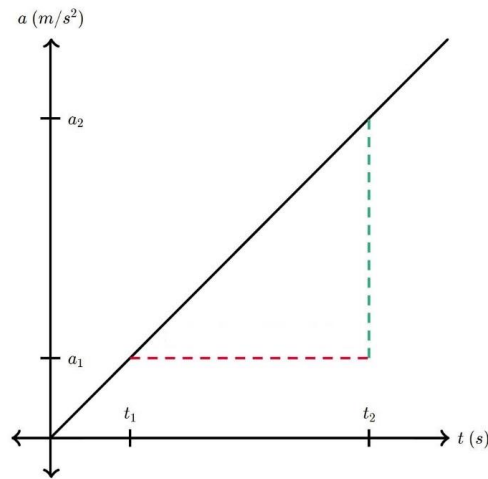
Key words: Jerk, Numerical dynamic analysis, Jerk control, Motion with constant acceleration

1. Giriş

Hız - zaman grafiğindeki keskin kenarlar mekanik sistemleri doğal (rezonans) frekanslarında salınım yapma konusunda uyarıcı eğilimindedirler. Yani sarsıntıya sebep olabilmektedirler. Adım miktarı büyüdükçe, bu eğilim de artmaktadır. Bir sistem, beklenen performansa göre rijit değilse, sarsıntı kontrolü (jerk kontrol), hız köşelerini yuvarlayabilmektedir. Bu durum, rezonans salınımını uyaran frekansların genliğini azaltmaktadır. Sonuç olarak, ivme faktörleri daha yüksek değerlere ayarlanabilmektedir. Jerk kontrolü, mekanik bir sistem çok rijit olduğu zaman daha az önem teşkil etmektedir. Buradaki rijitlik, sistemin uyarılması kolay olmayan yüksek doğal frekanslara sahip olduğu anlamına gelmektedir. Bu terimlerin tümü tasarım performansına göredir. Böylece dinamik hareket bir jerk kontrolü ile sağlandığı zaman, sabit ivmeli harekete göre hala iyi bir kararlılık sunan daha az sağlam bir sistem elde edilebilir. Bunun anlamı daha az rijitlik ile kütleden kazanç sağlanarak sağlamlıktan taviz vermemektir. Birçok büyük makine doğal olarak dengesizdir yani çok düşük frekanslarda rezonansa girme eğilimleri yüksektir. Bu makinelerin ticari üretim oranlarına ulaşmak için yeterince kararlı hale getirilmesi oldukça zordur. Titreşim kontrolü ve diğer filtreleme yöntemleri olmadan, bugünün daha kısa çevrim süreleri, daha sıkı doğruluk ve yüzey kalitesi gereksinimleri bağlamında pratik olmayabilir. Jerk kullanımının avantajlarından yararlanan bir makinede, sadece köşelerde değil, sarsıntı kontrolünü çalışırken görmekte mümkün olmaktadır. [1, 2, 3] Bu çalışmada, SolidWorks simulation programı kullanılarak gerçekleştirilen sayısal dinamik analizlerde [4], ivme değerinin sabit bir jerk değeri ile kontrol edilmesiyle, sabit ivmeli harekete göre, hız, konum ve ivme gibi kinematik parametrelerdeki değişim çeşitli grafiklerle incelenmiş ve elde edilen gerilme ve deformasyon değerleri paylaşılmıştır.

2. Jerk

Jerk ivme değişiminin zamana olan oranıdır. Hız değerini yumuşatmak için ivme değerinin hızlandırılması anlamına gelmektedir. Buna ivmenin ivmesi de denilebilir. Bir diğer deyişle ivmenin zaman ile değişimi yani eğimidir. Jerk değeri için sarsım terimi de kullanılabilir. Sarsıntılı hareket olarak da adlandırılabilir. [3]. İvmenin sabit bir jerk değeri ile kontrol edildiğinde zamanla değişimi Şekil 1’de gösterilmiştir.



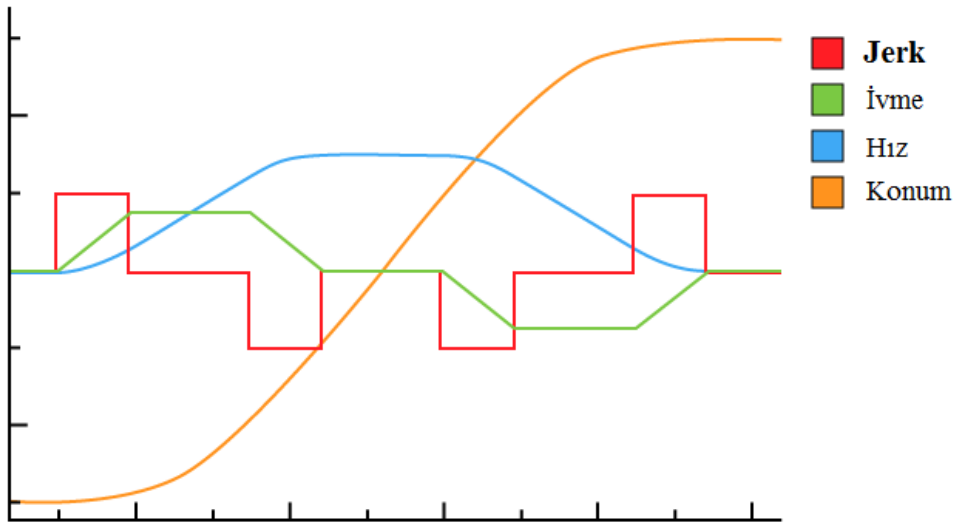
Şekil 1. Sabit bir jerk değeri ile kontrol edilen ivmenin zamanla değişimi [3]

Şekil 1’de ivmenin belli bir zaman dilimi içerisinde linear olarak arttığı görülmektedir. İvmenin eğiminden jerk değerine ulaşılabilir.

$$eğim = \frac{(a_2 - a_1)}{(t_2 - t_1)} = \frac{\Delta a}{\Delta t} \quad (1)$$

$$Jerk (Sarsım) = \frac{\Delta a}{\Delta t} \quad (2)$$

Jerk zaman grafiği altındaki alandan ivme değerleri, elde edilen ivme zaman grafiği altındaki alandan hız değerleri ve yine hız zaman grafiği altında kalan alandan konum değerleri bulunabilir. Jerk, ivme, hız ve konuma ait ilişki örneği Şekil 2’de gösterilmiştir.

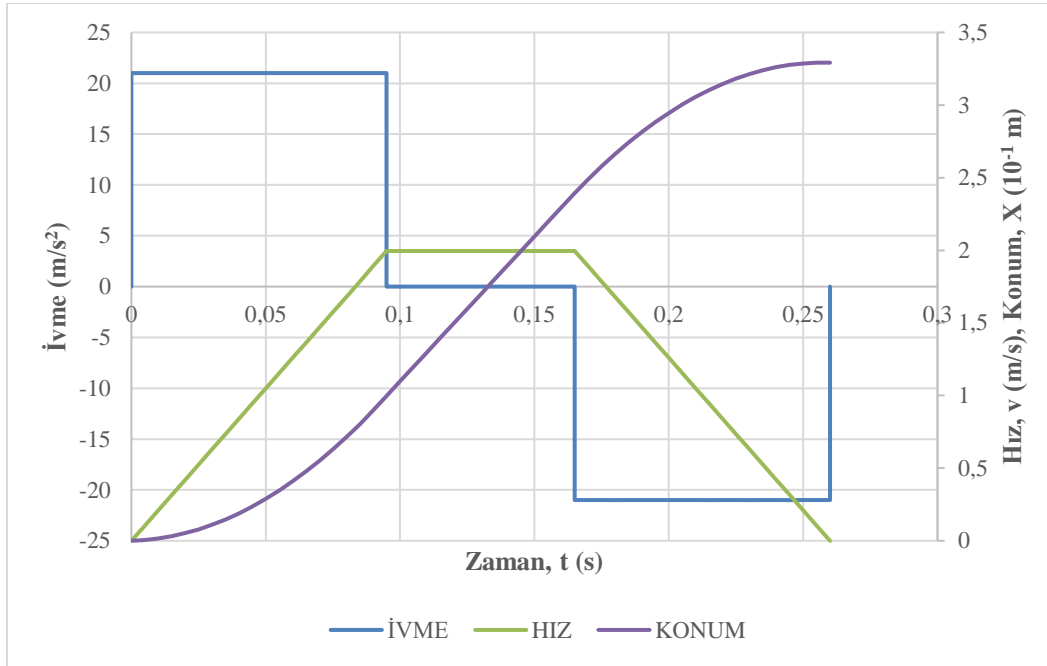


Şekil 2. Jerk, ivme, hız ve konum ilişkisi [2]

Şekil 2’de sabit bir jerk değerine karşılık linear olarak artan ve azalan ivme değerleri görülmektedir. Yine linear olarak artış ve azalış gösteren ivme değerine bağlı olarak parabolik olarak artan ve azalan hız değeri görülmektedir. Hız değeri de parabolik olarak artış ve azalış gösterdiği için konum grafiği hiperbolik bir hal almaktadır.

3. Sabit İvmeli Hareket

Sabit ivmeli harekette kullanılan zaman adımı miktarı 5 ms’dir. Her bir zaman adımı ve karşılık gelen ivme değeri elle girilip yapılmakta ve öncelikle hız değeri hesaplanmakta ve ardından hesaplanan hız değeri de kullanılarak konum değeri elde edilmektedir. Her bir noktadaki konum kendisinden bir önceki adımda hesaplanan konum değeri ile toplanarak istenilen noktadaki toplam konum değerine ulaşılmaktadır. Tablo 1’de sabit ivmeli harekete ait parametreler verilmiştir. Tablodaki ivme değerlerinin sabit olduğu göz önüne alınırsa bu şekilde gerçekleştirilen bir hesaplama için konum zaman, hız zaman ve ivme zaman grafikleri Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Sabit ivmeli hareket ivme – zaman, hız – zaman ve konum - zaman grafikleri

Şekil 3’de ivme değerinin 0.095 saniye boyunca 21 m/s^2 olduğu ardından sıfır değerine indiği ve 0.165 saniye değerine kadar bu şekilde devam ettiği daha sonra tekrar negatif yönde 21 m/s^2 değerine gittiği ve 0.26 saniye değerinde sıfıra gittiği görülmektedir. Hız değeri ise 0.095 saniye boyunca lineer olarak artmakta, 0.165 saniye değerine kadar sabit 2 m/s ile devam etmekte ve bu değerden 0.26 saniye değerine kadar lineer olarak azalmakta ve sıfır değerine gelmektedir. Konum değeri ise diğer iki değer olan ivme ve hız değerlerine bağlı olarak 0.26 saniye boyunca toplamda 329.175 mm yol almaktadır. [5]

Tablo 1. Sabit ivmeli hareket parametre hesapları

$t \text{ (ms)}$	$X \text{ (mm)}$	$a \text{ (m/s}^2\text{)}$	$g \text{ (m/s}^2\text{)}$	$v \text{ (}10^{-3}\text{ m/s)}$
5	0.525	21	2.1	105
10	1.575	21	2.1	210
15	3.150	21	2.1	315
20	5.250	21	2.1	420
25	7.875	21	2.1	525
30	11.025	21	2.1	630
35	14.700	21	2.1	735
.
.
.
250	328.650	-21	-2.1	210
255	329.175	-21	-2.1	105
260	329.175	-21	-2.1	0

4. Sabit Jerk ile Kontrol Edilen İvmeli Hareket

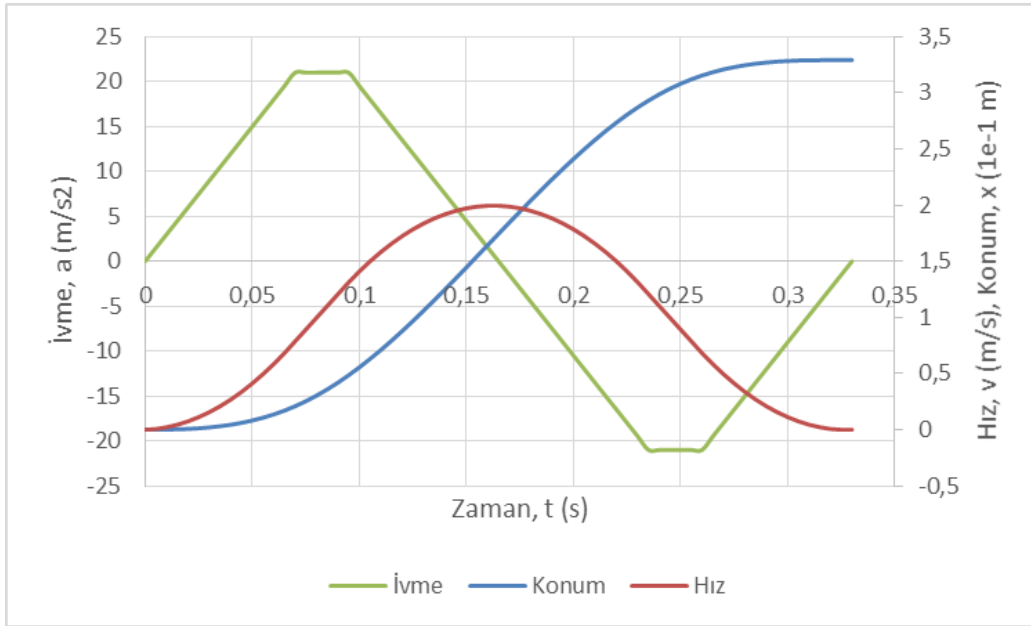
Sabit jerk ile kontrol edilmiş ivme değerlerinin kullanıldığı dinamik hareket parametreleri Tablo 2’de verilmiştir. Lineer olarak artan ve azalan ivme değerleri hesaplanırken kullanılan sabit jerk değeri 300’dür. Tablo 2’de 0.005 ve 0.01 saniyelerine karşılık gelen sırasıyla 1,5 m/s² ve 3 m/s² ivme değerleri Denklem 2’de yerine koyulduğunda Denklem 3’de jerk değeri 300 olarak elde edilmektedir.

$$Jerk = \frac{\Delta a}{\Delta t} = \frac{(a_2 - a_1)}{(t_2 - t_1)} = \frac{(3 - 1.5)}{(0.01 - 0.005)} = \frac{1.5}{0.005} = 300 \quad (3)$$

Tablo 2. Jerk kontrolü ile elde edilmiş hareket parametreleri (J=300)

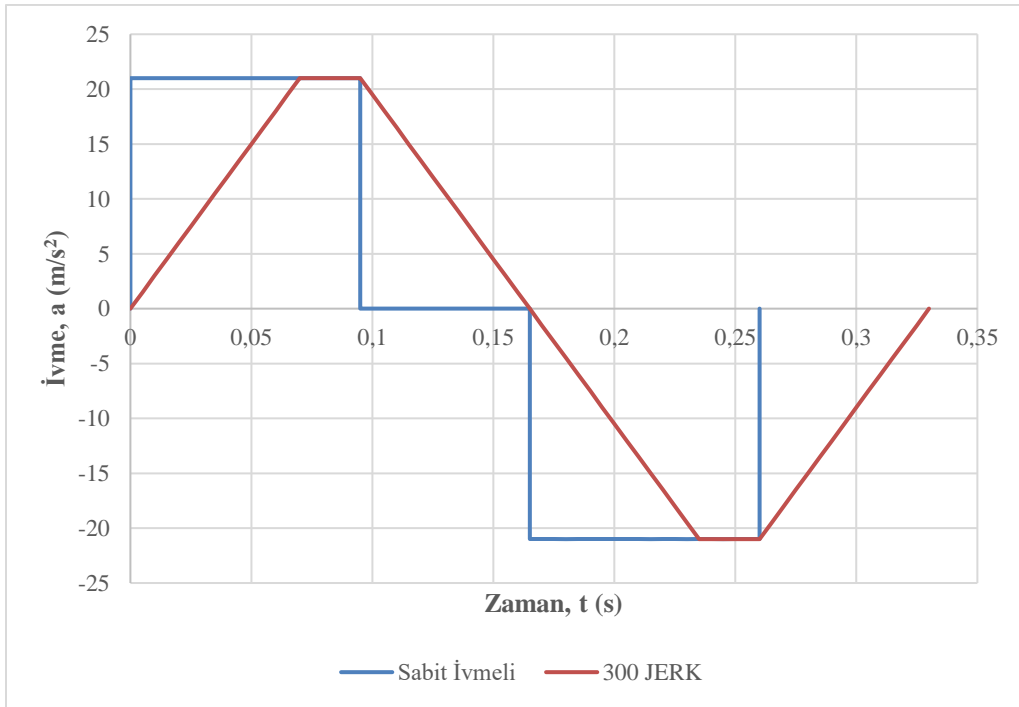
<i>t</i> (ms)	<i>X</i> (mm)	<i>a</i> (m/s ²)	<i>g</i> (m/s ²)	<i>v</i> (10 ⁻³ m/s)
5	0.038	1.5	0.2	7.5
10	0.150	3.0	0.3	22.5
15	0.375	4.5	0.5	45.0
20	0.750	6.0	0.6	75.0
25	1.313	7.5	0.8	112.5
30	2.100	9.0	0.9	157.5
35	3.150	10.5	1.1	210.0
40	4.500	12.0	1.2	270.0
45	6.188	13.5	1.4	337.5
50	8.250	15.0	1.5	412.5
55	10.725	16.5	1.7	495.0
60	13.650	18.0	1.8	585.0
65	17.063	19.5	2.0	682.5
70	21.000	21.0	2.1	787.5
.
.
.
320	329.175	-3.0	-0.3	7.5
325	329.175	-1.5	-0.2	0.0
330	329.175	0.0	0.0	0.0

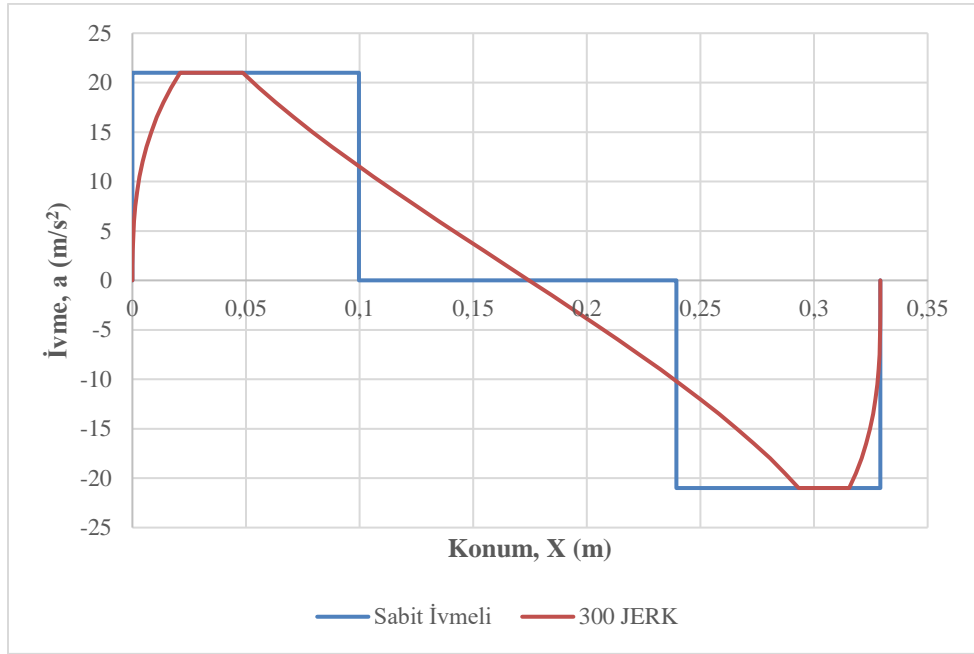
Tablo 2’deki ivme değerlerinin lineer olarak arttığı göz önüne alınırsa bu şekilde gerçekleştirilen bir hesaplama ait konum zaman, hız zaman ve ivme zaman grafikleri Şekil 4’de gösterilmiştir.



5. Sabit İvmeli Hareket ve Sabit Jerk ile Kontrol Edilen İvmeli Hareket Karşılaştırması

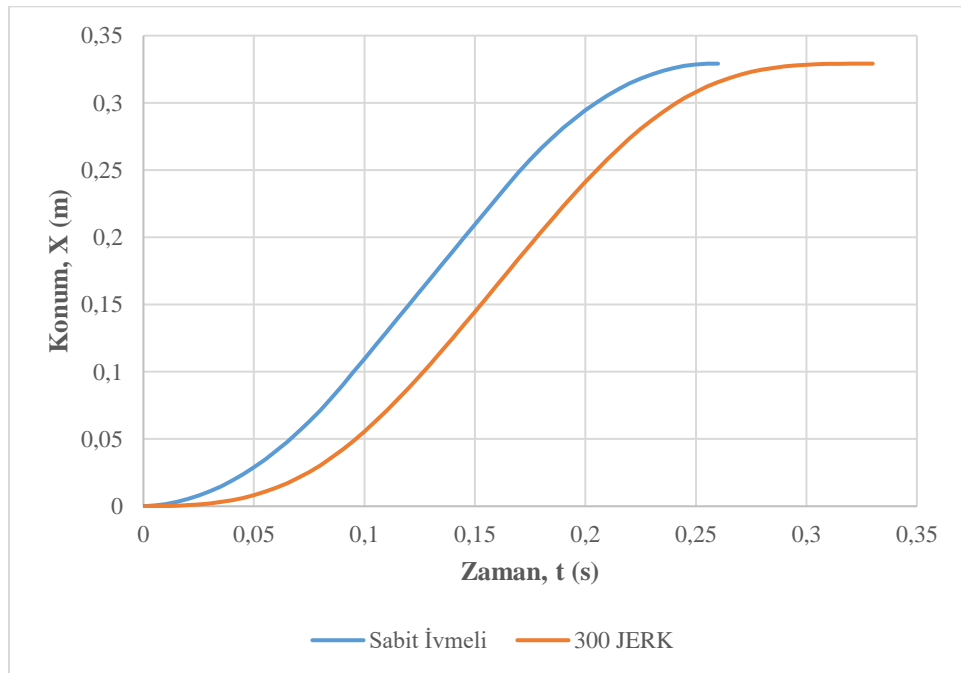
Sabit ivmeli hareket ve 300 jerk ile yönetilen jerk kontrollü ivmeli harekete ait karşılaştırmalı ivme zaman ve ivme konum grafikleri sırasıyla Şekil 5’de ve Şekil 6’da verilmiştir.





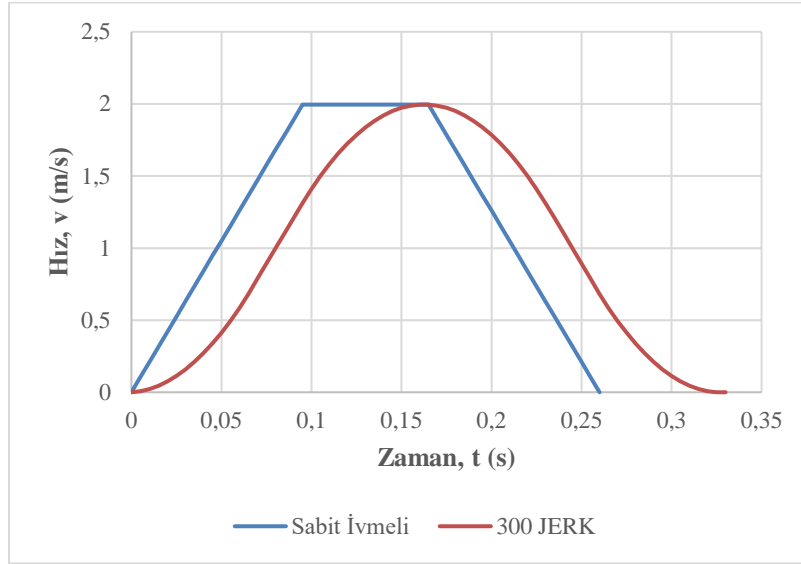
Şekil 6. Sabit ivmeli hareket ve 300 jerk ile kontrol edilen ivmeli hareket karşılaştırmalı ivme - konum grafiği

Tablo 2’de dikkat edilirse sabit ivmeli hareket parametreleri kullanıldığı zaman (Tablo 1) 0.26 saniyede alınan 0.329175 m’lik yol 0.33 saniyede alınmaktadır ve her bir zaman adımına karşılık gelen hız ve konum değerleri de farklılık göstermektedir. Karşılaştırmalı konum zaman grafiği Şekil 7’de verilmiştir.

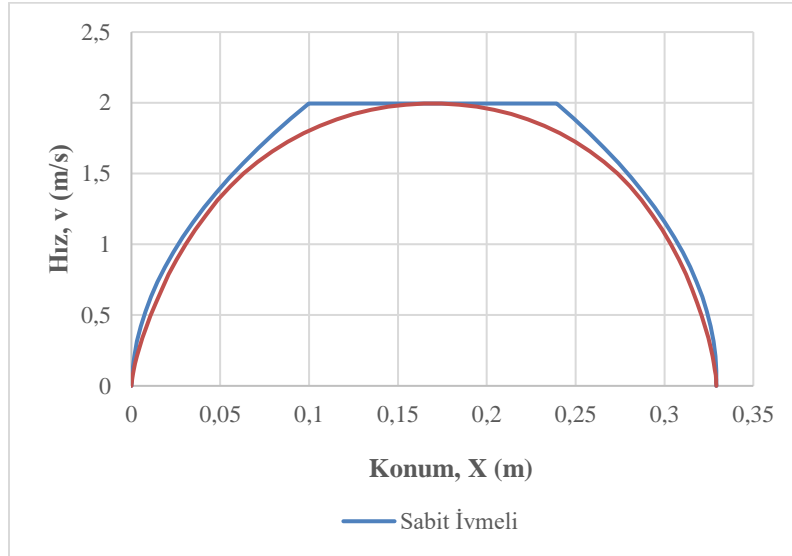


Şekil 7. Sabit ivmeli hareket ve 300 jerk ile kontrol edilen ivmeli hareket karşılaştırmalı konum - zaman grafiği

Sabit ivmeli hareket ve 300 jerk ile yönetilen jerk kontrollü harekete ait karşılaştırmalı hız zaman ve hız konum grafikleri sırasıyla Şekil 8’de ve Şekil 9’da verilmiştir.

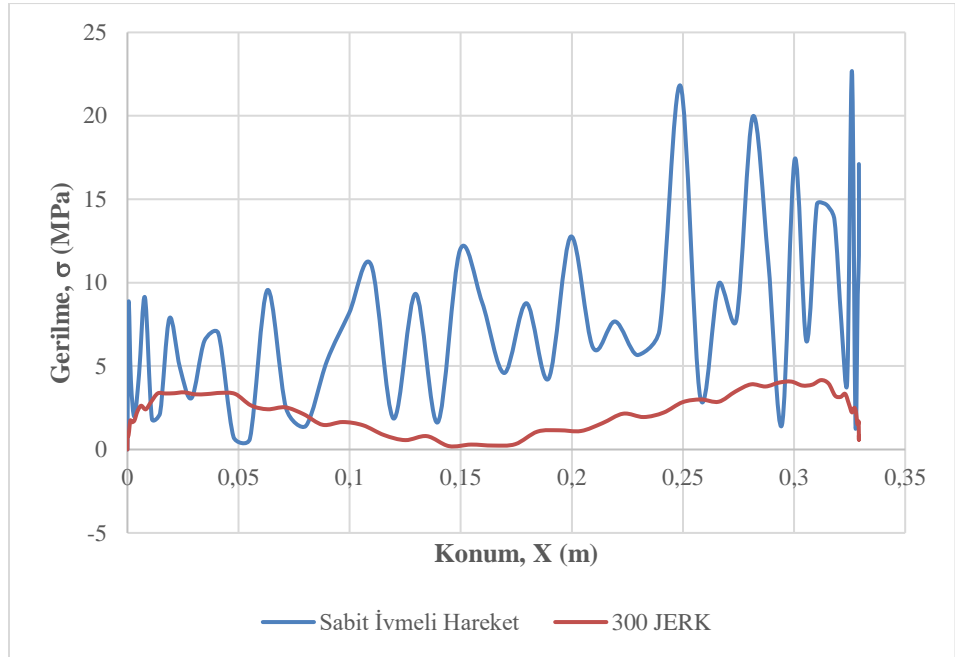


Şekil 8. Sabit ivmeli hareket ve 300 jerk ile kontrol edilen ivmeli hareket karşılaştırmalı hız - zaman grafiği



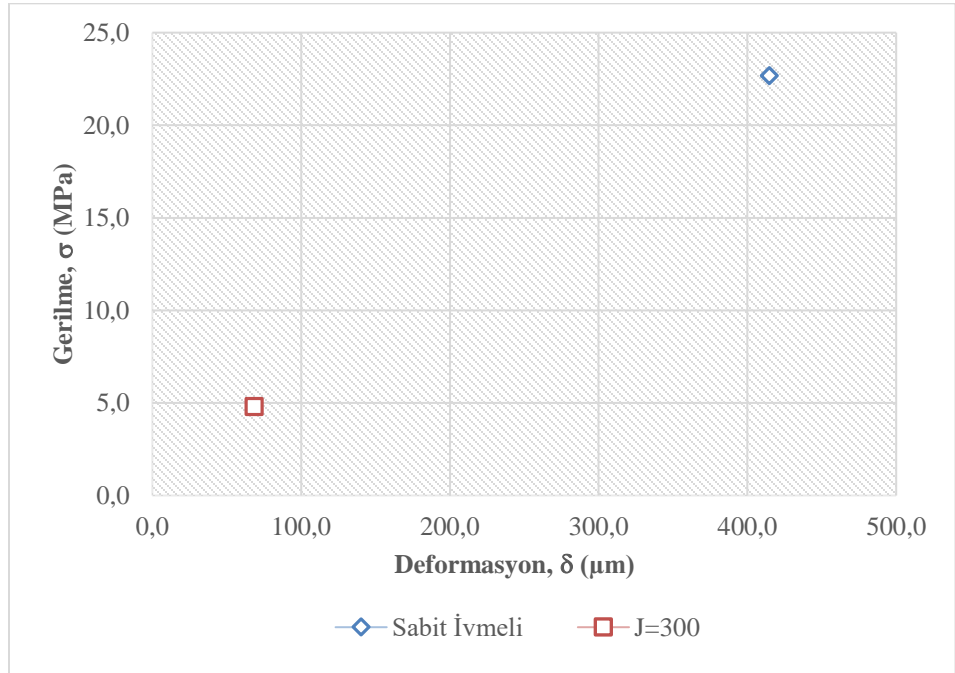
Şekil 9. Sabit ivmeli hareket ve 300 jerk ile kontrol edilen ivmeli hareket karşılaştırmalı hız - konum grafiği

Şekil 8’de ve Şekil 9’da hız değerlerine ait keskin köşelerin jerk kontrolü ile yuvarlandığına dikkat edilmelidir. Bu durum sistemde hareket sırasında özellikle keskin köşelerde meydana gelebilecek sarsıntıları minimuma indirecek ve buna bağlı olarak deformasyon ve gerilme değerleri de sabit ivmeli harekete göre azalma gösterecektir. Sabit ivmeli hareket ve 300 jerk değeri ile elde edilmiş lineer olarak artan ve azalan ivme değerlerinin kullanıldığı dinamik hareket boyunca meydana gelen gerilme değerlerini karşılaştırmalı olarak gösteren gerilme - konum grafiği Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 10. Sabit ivmeli hareket ve 300 jerk ile kontrol edilen hareket karşılaştırmalı gerilme - konum grafiği

Şekil 10'da dikkat edilirse sabit ivmeli hareket 300 jerk değeri ile kontrol edildiği zaman gerilme değerlerinde meydana gelen değişim görülmektedir. Dinamik hareket süresince sistemin maruz kaldığı maksimum gerilme miktarı azaldığı gibi maksimum deformasyon değeri de azalma göstermektedir. Sabit ivmeli hareket ve 300 jerk ile kontrol edilen ivmeli hareket sayısal analizlerine ait maksimum gerilme ve deformasyon değerleri Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 11. Sabit ivmeli hareket ve 300 jerk ile kontrol edilen ivmeli hareket gerilme ve deformasyon değerleri

Sonuç

Bu çalışmada, servo motor sürücülerinde kullanılan jerk parametresi ile kontrol edilen ivmeli hareketin, sabit ivmeli harekete göre sayısal dinamik analizlerde, hız, konum ve ivme gibi kinematik parametreler üzerinde meydana getirdiği değişimler çeşitli grafikler ile verilerek her iki harekete ait gerilme ve deformasyon değerleri karşılaştırılmıştır. Buradaki amaç iş parçası üzerinde gerçekleştirilecek deneysel çalışmalarla kaybedilecek zaman ve maliyetin daha hassas tasarlanan sayısal tasarımlar ile önüne geçmektir. Çalışmada sayısal dinamik analizler SolidWorks Simulation programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizlerde karşılaştırmalı grafiklerden elde edilen değerlere göre sabit ivmeli bir hareket 300 jerk gibi bir değer ile kontrol edildiğinde, çalışma kapsamında modellenen hareketin tamamlanma süresinde 0,07 saniyelik bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşılık olarak hareket boyunca modelde meydana gelen gerilme ve deformasyon değerlerinin zamana bağlı olarak sabit ivmeli harekete göre azaldığı görülmüştür. Sayısal dinamik analizlerde kullanılan ivme değeri sabit ivme yerine 300 jerk değeri ile kontrol edildiğinde aynı sınır şartlarında analiz sonucu modelde meydana gelen maksimum gerilme ve deformasyon değerlerinde ki farkın sırasıyla 17,9 MPa ve 346,1 µm olduğu görülmüştür. Bu durum servo motorlarda sarsıntı kontrolü açısından kullanılan jerk faktörünün, sayısal dinamik analizlerde de kullanılmasıyla, hareket parametreleri belirlenirken doğru parametre seçimi açısından önemini göstermektedir.

Kaynaklar

- [1] Bleier N. Understanding Jerk Control. <https://www.mmsonline.com/articles/understanding-jerk-control> (2005). (13 Mart 2019 tarihinde erişildi.)
- [2] Enable Jerk Control. <https://ultimaker.com/en/resources/52664-speed> (10 Mart 2019 tarihinde erişildi.)
- [3] İvme - Zaman Grafikleri. <https://tr.khanacademy.org/science/physics/one-dimensional-motion/acceleration-tutorial/a/what-are-acceleration-vs-time-graphs> (10 Mart 2019 tarihinde erişildi.)
- [4] Kurowski P. Engineering Analysis with SolidWorks Simulation 2013. SDC publications, 2013.
- [5] Yılmaz R. Lazer Kesim Makinalarında Kullanılan Lazer Kafası Taşıyıcı Köprü Sisteminin Optimum Tasarımı (Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, 2019), 82