

Traktörlerin Uzunlamasına Eksende Kütlesel Atalet Momenti ve Ağırlık Merkezinin Salınım Yöntemiyle Belirlenmesi

Hasan SİLLELİ

Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü, 06130-Aydınlıkevler / Ankara
hsilleli@agri.ankara.edu.tr

Özet: Tarım traktörleri tarımsal çalışmalarda en çok kullanılan güç kaynağıdır ve daima zorlu koşullarda kullanılırlar. Bu nedenle traktörlerin araç dinamiği değişik hareket koşullarındaki tepkisinin anlaşılmasında önemlidir. Özellikle, kinetik enerji, merkezkaç kuvveti, ağırlık merkezi, atalet momenti, sürtünme ve tutunma kuvveti bu kapsamda değerlendirilir. Traktörlerin dönme, savrulma ve yalpalama, hareketlerinin değerlendirilmesinde atalet momenti ve ağırlık merkezi önemli parametrelerdir. Diğer taraftan, dar-izli traktörler yuvarlanmanın sürekli olmadığı bir devrilme testi ile kontrol edilirler. Test sırasında traktörlerin atalet momenti ve ağırlık merkezinin yerden yüksekliğinin ölçülmesi gereklidir. Ölçüm için, genellikle, traktörler bir platform üzerinde salınıma bırakılır ve farklı asma yüksekliğindeki periyotlarda ölçülürler. Bu çalışmada platform üzerinde ağırlık merkezi ve atalet momentinin sarkaç yöntemi ile ölçümü açıklanmış ve bir örnek verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Traktör, Ağırlık merkezi, Atalet momenti

Determination of the Centre of Gravity and Moment of Inertia of Tractors in Longitudinal Axis by Using Oscillation Method

Abstract: Agricultural tractors are the most common power source in farm works and they are always used in harsh conditions. Hence their vehicle dynamics are important to understanding of its reaction at various motion conditions. In Particular, kinetic energy, centrifugal force, centre of gravity, moment of inertia, friction and traction forces are considered in this situation. The moment of inertia and height of the centre of gravity are essential parameters to evaluate the tractor motion dynamics such as yaw, roll and pitch. Especially, narrow-track agricultural tractors are controlled by a non-continuous rolling test. This test requires the measuring of height of the centre of gravity and moment of inertia of tractors. In order to determine these parameters, generally tractors are oscillated on a platform and calculated its period for different heights of suspension. In this study, the oscillating method on a pendulum platform for measuring the centre of gravity and moment of inertia was explained and an example in this regard was given.

Key words: Tractor, Centre of gravity, Moment of inertia

GİRİŞ

Tarımda çok yönlü güç kaynağı olarak yararlanılan traktörlerin tasarımında ve testlerinin gerçekleştirilmesinde, dinamik ve statik koşullardaki özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Genelde amortisör özelliği bulunmayan traktörlerde, sürüş emniyetinin ve traktör ile tarla arasındaki etkileşimlerinin hesaplanabilmesi, bunlara ait hareket denklemlerinin kurulabilmesi, mekanik hesaplamaların ve

simülasyonların gerçekleştirilebilmesi için kütle, atalet momenti ve ağırlık merkezi gibi bazı parametrelerin bilinmesi gereklidir. Bu parametrelerin belirlenmesi için ise çeşitli yöntemler uygulanmaktadır (Kut, 1982).

Yapısal özellikleri nedeniyle traktörler stabiliteyi kolay kaybederler (Coşkun ve Gürhan, 1996). Dönüşlerde ve eğimli arazilerde çalışırken karşılaşılabileceği; savrulma, yalpalama, devrilme, öne

ve geriye takla atma ile kafa sallama hareketlerini değerlendirirken kullanılan ağırlık merkezi ve kütlesel atalet momenti belirlenmesi güç parametrelerdir. Kütlesel atalet momenti traktörün ağırlık merkezinden geçen eksenlere göre tanımlanabilir ve eksenler çevresinde 6 serbestlik dereceli harekete sahiptir (Göhlich, 1987).

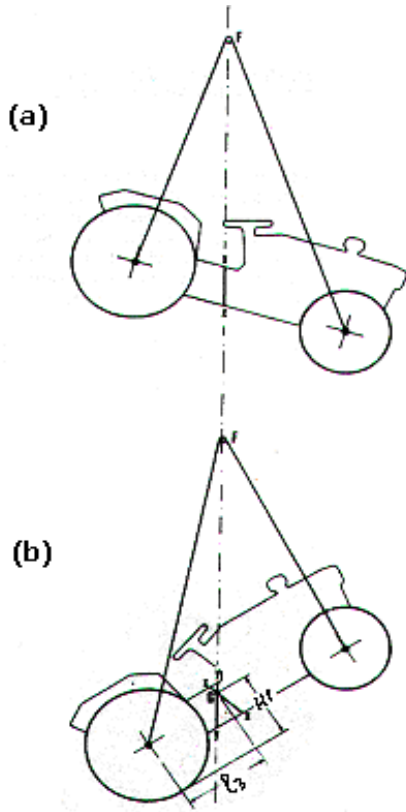
Araç dinamiği açısından analitik ve deneysel sonuçlar, değişik hareket koşullarındaki tepkisinin anlaşılmasında önemlidir. Bu çalışmalarda fiziğin temel kuralları kullanılmaktadır. Özellikle, kinetik enerji, merkezkaç kuvveti, atalet, sürtünme ve tutunma kuvveti bu kapsamda değerlendirilmektedir. Atalet, durgun halden harekete geçme yada gövdenin hızlanmaya yada yön değişimine karşı direnç olarak kabul edilmektedir. Atalet momentinin ve ağırlık dağılımının önemi sürücü için özellikle düz bir hattan virajlı bir yola geçişte yada eğimli arazilerde çalışırken kendini göstermektedir.

Tarım traktörleri ISO, AB ve OECD tarafından belirlenen standart, direktif veya kod'lara göre test edilmektedir. Özellikle dar izli traktörlerin koruyucu yapı testlerini tarif eden ISO 12003-1 ve ISO 12003-2 'nin OECD eşdeğeri Kod 6 ve Kod 7 ve yine eşdeğer AB direktifi 87/402/EEC ve 86/298/EEC diğer koruyucu yapı testlerine göre iki farklı ön testin yapılmasını da şart koşar. Bu testler, 38° eğimde gerçekleştirilen yanal denge ve yaklaşık 34° (1/1.5) eğimde gerçekleştirilen yana devrilme anında traktörün sürekli yuvarlanma durumunun kontrolüdür. Sürekli yuvarlanmanın kontrolü, çoğu test kuruluşu tarafından simülasyonlarla bulunmaya çalışılmaktadır. Bu simülasyonlar için gerekli parametrelerden ikisi traktör ağırlık merkezinin

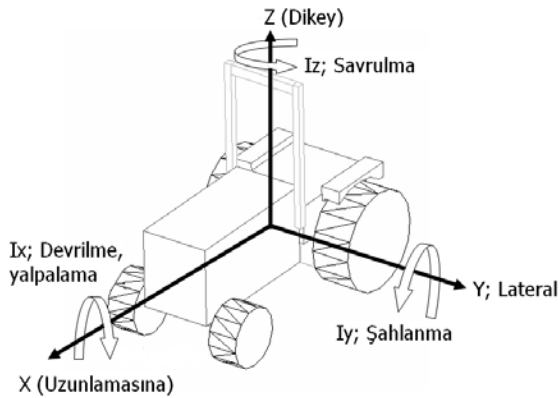
yerden yüksekliği ve uzunlamasına eksendeki kütlesel atalet momentidir. Bu amaçla kullanılan salınım yöntemi aşağıda açıklanmıştır.

Ağırlık Merkezinin Belirlenmesi

Traktörlerde ağırlık merkezinin yeri tartma ve değişik şekillerde asma yöntemleri ile belirlenebilmektedir. Yöntemin basit olması nedeniyle tartma yöntemi daha çok tercih edilmektedir. Tartma yönteminde traktörün üç eksendeki yerinin belirlenebilmesi için üç ayrı ölçüm yapılması gerekmektedir. Bu amaçla öncelikle traktörün toplam ve arka dingiline gelen yükleri ölçülür, daha sonra, basit moment eşitlikleri kullanılarak akslar arasındaki yeri belirlenir. Traktörün uzunlamasına eksendeki yeri yada tekerlek eksenleri arasındaki yeri ise traktör yatay durumda iken sağ ön ve arka tekerlekler ile sol ön ve arka tekerlekler tartılır ve yine moment eşitliklerinden faydalanarak yeri belirlenir. Bu sırada traktörün sağ ve sol simetrikliği de hesaplanabilir. Ağırlık merkezinin düşey düzlemdeki yeri ise; traktörün tercihen ön aksından belirli bir yüksekliğe kaldırılırken arka aksa gelen yük ve kaldırma açısı ölçülerek moment eşitlikleri yardımıyla belirlenebilir (Kadayıfçılar, 1969). Bir başka yöntemde ise traktör arka dingiline ve ön dingiline yakın iki farklı noktadan asılır. Ağırlık merkezinin yeri bu iki koşulda oluşan doğruların ara kesitidir (Casini- Ropa, 1976a; Şekil 1). Platform-traktör ve sadece platformun salınım periyotlarının karşılaştırılması da bir başka yöntemdir. Bu yöntemde traktör ve platform farklı iki salınım eksenine kaldırılarak periyotlar belirlenir. Bu sırada platform ve traktör ağırlık merkezleri arasında oluşturulan denklemlere göre traktörün ağırlık merkezi yüksek doğrulukta belirlenebilir.



Şekil 1. Asma Yöntemi ile Ağırlık Merkezinin Yerinin Belirlenmesi; a) İlk Asma Noktası b) İkinci Asma Noktası (Casini-Ropa, 1976a)



Şekil 2. Traktör Hareketlerine Etkili Değişkenlerin 3 Boyutlu İrdelenmesi

Traktörlerde Kütleselel Atalet Momentlerinin Ölçülmesi

Atalet momenti bir eksen etrafında dönme hareketi yapan bir cismin atalet mukavemetinin bir ölçüsüdür. Traktörlerde atalet momentleri ağırlık merkezinden geçen hacimsel koordinat sistemindeki eksenlere göre belirtilebilir (I_x , I_y , I_z). Üç eksenle atalet momenti değerleri birbirinden farklı olduğu gibi hepsinin etkileri değişiktir. I_x sürüş yoluna dik akslara paralel eksen etrafında yana devrilme ve yalpalama hareketlerinde, I_y doğrusal ilerlemede kafa sallama ile öne ve arkaya doğru takla atma hareketlerinde, I_z de eğrisel hareket esnasında düşey eksen etrafında dümenleme ve savrulma hareketleri açısından önem taşır (Kut, 1982; Göhlich, 1987; Şekil 2).

Kütleselel atalet momentinin (I ; kgm^2) geometrik tanımı ise eşitlik 1'deki gibidir

$$I = \int dm \cdot r^2 \quad (1)$$

Bu formül elemanter kütlelerin (dm ; kg) toplamının gövde üzerinde toplanacağını ve her bir elemanter kütlelerin dönme ekseninden uzaklıklarının (r ; m) karesi ile çarpılacağını belirtir. Bundan hareket ederek traktörü oluşturan bütün parçaların atalet momentleri saptanabilir. Parçaların ağırlıkları tartılır, ağırlık merkezinden uzaklıkları ölçülür, şekillerini geometrik şekillere benzeterek veya bilinen geometrik şekillerdeki parçalara ayırarak kendi eksenini etrafındaki atalet momentleri saptanır. Daha sonra Steiner formülü ile ağırlık merkezine indirgenerek atalet momentleri hesaplanır. Tüm elde edilen atalet momentleri toplanarak traktör yada herhangi bir taşıt için atalet momentlerini belirlemek mümkündür. Ancak, burada her parçanın ağırlığını belirleme güçlüğü, parçaların traktörün kütle merkezinden uzaklıklarının saptanması ve bunun da ötesinde parçaların genellikle homojen olmadıkları göz önüne alınırsa, bunları geometrik şekillere dönüştürmek veya parçalamak bazen çok zor yada imkansızdır. Değişik varyasyonları deneyerek doğru değerleri elde etmek ancak deneysel çalışmalarda olasıdır. Burada atalet momenti saptanacak taşıtı veya aleti yada her ikisini sabit tek bir cisim olarak görmek ve ona göre değerlendirmek yeterlidir (Kut; 1982).

3D CAD çizim ve tasarım programları atalet momentlerinin belirlenmesinde kolaylık sağlamışlardır. Ancak, araçlarda kullanılan tüm malzemelerin özelliklerinin tam benzeştirilememesi ve malzemede imalat sırasında oluşabilecek hata ve boşlukların belirlenememesi nedeniyle pek çok parçadan oluşan traktör vb. araçların atalet momentlerinin belirlenmesinde hatalar yapılabilmektedir.

Atalet momentleri genel olarak salınım testleri ile belirlenebilmektedir. Bunun için düşey fiziksel sarkaç, yatay sarkaç sistemlerinden yararlanılabilir. Atalet momenti belirlenecek cisim sakin konumdan başlayarak öz frekansı ile salınım yapacak şekilde bir sistem içerisine yerleştirilir ve salınım zamanı belirlenir. Buradan geri getirme ve hareket denklemleri göz önüne alınarak atalet momentleri hesaplanır (EC, 1985; Şekil 3).

Traktörün toplam kütlesi (m_t ; kg) ve ön akslara gelen kütlesi (m_A ; kg) tartım yöntemi ile belirlendikten sonra dingiller arası mesafe (L ; m) ölçülür. Arka dingilden ağırlık merkezine (S) olan yatay mesafe (L_3 ; m) eşitlik 2'deki gibi hesaplanır;

$$L_3 = \frac{m_A}{m_t} \cdot L \quad (2)$$

Arka tekerleğin statik yarıçapı r_{stat} ölçülür. Traktör ön ve arkasından boyuna eksene paralel olacak şekilde rulmanlı yataklar üzerinde sallanmalıdır. Bu tür sistemlerde traktörü dengede tutabilecek bir bağlantı noktası bulmak zor olmaktadır. O nedenle, yanlışlıkla olabilecek devrilmelere dikkat edilmelidir. Denge durumunda traktörün dört tekerinin yerden olan yüksekliği (b) eşit olmalıdır. Ayrıca traktör ağırlık merkezinden daha yukarıda salınıma bırakılmalıdır. Arka tekerlek eksenine (S_1) ve asma merkezinden (S_2) olan ölçümler

referans düzleme göre alınmalıdır. Ağırlık merkezi (S) ve birinci asma noktası (M_1) arasındaki mesafe r bilinmemektedir ve ağırlık merkezinin yerden yüksekliğinin belirlenebilmesi için bir dizi test yapılır. Traktör önce T_1 ; (s) salınım periyodunun belirlenmesi için 7° ile 4° arasında salınıma bırakılmalı, ardından traktör a mesafesi (birinci ile ikinci asma yükseklikleri arasındaki fark; m) kadar yükseltilerek ikinci bir asma noktasında (M_2) T_2 (s) periyodunun belirlenebilmesi için tekrar bir salınıma bırakılmalıdır. Böylece, elde edilen periyot değerleri 3 numaralı eşitlikte yerine konularak ağırlık merkezinden olan r mesafesi belirlenebilir;

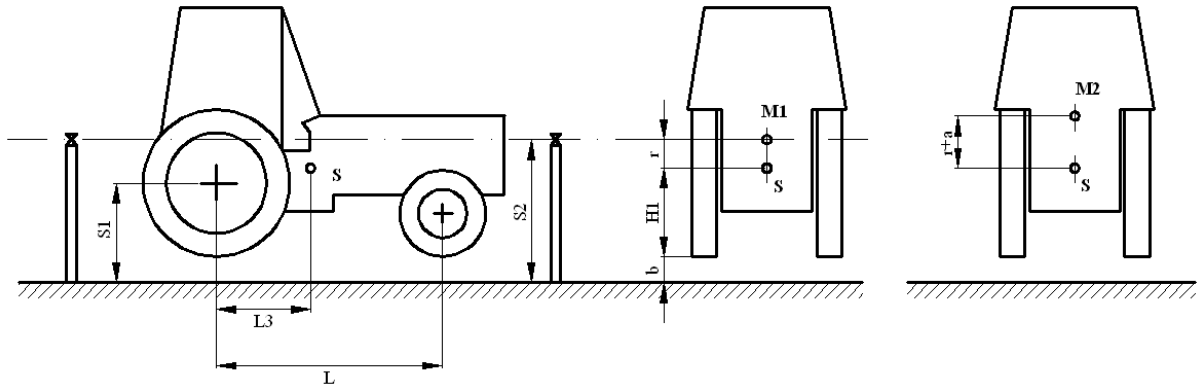
$$r = \frac{T_2^2 \cdot a - \frac{4\pi^2}{g}}{T_1^2 - T_2^2 + \frac{8\pi^2}{g} \cdot a} \quad (3)$$

Eğer seçilen mesafenin ağırlık merkezinden uzaklığı birinci ölçümde ikinci ölçümden daha büyükse a mesafesi eksi işaretlenmelidir. Eğer hesaplama $r < 0.15$ m yada 2000 kg dan ağır traktörler için $r < 0.3$ çıkarsa asma noktası değiştirilip yeni ölçüm alınmalıdır. Sonuçlar uygunsa ağırlık merkezinin yerden yüksekliği ($H1$) eşitlik 4'deki gibi hesaplanır.

$$H1 = S_2 - S_1 - r + r_{stat} \quad (4)$$

Uzunlamasına eksendeki kütleli atalet momenti (I_x ; kgm^2) ise eşitlik 5'den bulunabilir;

$$I_x = m_t \cdot r \cdot \left(\frac{g}{4\pi^2} \cdot T_1^2 - r \right) \quad (5)$$



Şekil 3. Traktör Üzerinde Asma Noktası Belirlenerek Gerçekleştirilen Salınım Testi (EC, 1985)

Traktörlerde ağırlık merkezinin yerden yüksekliği ve kütesel atalet momentini ölçmek için platform üzerinde dinamik bir işlem uygulanır (Şekil 4). Platform-traktör kombinasyonunun ve sadece platformun salınım periyodunun karşılaştırılmasına dayanan prosedür, traktörün farklı yükseklikteki iki dönme ekseninde asılarak doğal salınıma bırakılmasıyla gerçekleştirilmekte ve sonuca aşağıdaki bir dizi eşitlik kullanılarak ulaşılmaktadır. Traktör-platform kombinasyonunun ağırlık merkezinin dönme eksenine olan mesafesi R_{tp} eşitlik 6 ile bulunabilir;

$$R_{tp} = \frac{aT_2^2 - (4\pi^2 a^2)g^{-1}}{(T_1^2 - T_2^2) + 8\pi^2 ag^{-1}} \quad (6)$$

Burada;

R_{tp} : Traktör-platform kombinasyonunun ağırlık merkezinin dönme eksenine mesafesi (m)

a : Düşük ve yüksek eksen arasındaki fark (m)

T_1 : Düşük ekseninde traktör-platform kombinasyonu için periyot (s)

T_2 : Yüksek ekseninde traktör-platform kombinasyonu için periyot (s)

g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2)

Traktör-platform kombinasyonunun kütesel atalet momenti I_{TP} ;

$$I_{tp} = R_{tp} (M_t + M_p) (g(t_2 / 2\pi)^2 - R_{tp}) \quad (7)$$

eşitlik 7'deki gibi bulunabilir. Burada,

I_{tp} : Traktör-platform kombinasyonunun kütesel atalet momenti (kgm^2)

M_t : Traktörün kütlesi (kg)

M_p : Platformun kütlesi (kg)

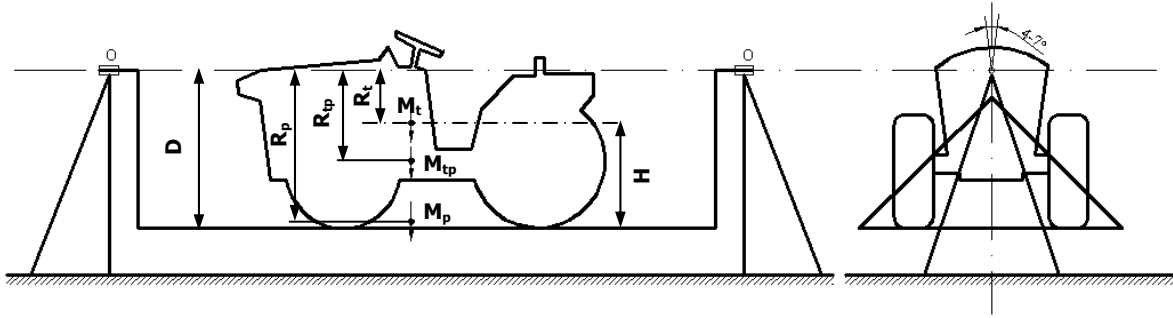
Platformun ağırlık merkezinin dönme eksenine olan mesafesi R_p ; eşitlik 8'de verilmiştir;

$$R_p = \frac{aT_{2p}^2 - (4\pi^2 a^2)g^{-1}}{(T_{1p}^2 - T_{2p}^2) + 8\pi^2 ag^{-1}} \quad (8)$$

Burada;

T_{1p} : Düşük ekseninde platform için periyot (s)

T_{2p} : Yüksek ekseninde platform için periyot (s)



Şekil 4. Platform ile Traktörün Uzunlamasına Eksende Ağırlık Merkezinin Yerden Yüksekliğinin ve Kütleli Atalet Momentinin Belirlenmesi (Casini-Ropa, 1976 b)

Platformun kütleli atalet momenti (I_p ; kgm^2) eşitlik 9'dan bulunabilir.

$$I_p = (R_p M_p) \left(g (T_{2p} / 2\pi)^2 - R_p \right) \quad (9)$$

Traktör ağırlık merkezinin düşük dönme eksenine olan uzaklığı R_t ise aşağıdaki formülle bulunabilir;

$$R_t = \frac{((M_t + M_p) R_{tp}) - (M_p R_p)}{M_t} \quad (10)$$

Elde edilen değer platform tabanına olan mesafe $O_{\text{düşük}}$ 'den (D) çıkartıldığında traktörün ağırlık merkezinin yerden yüksekliği $H1$ aşağıdaki formülle belirlenebilir.

$$H1 = O_{\text{düşük}} - R_t \quad (11)$$

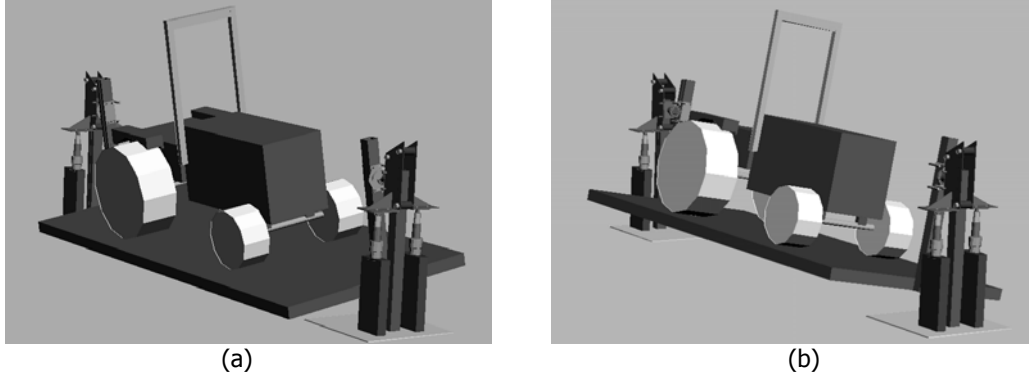
Traktörün boyuna eksende kütleli atalet momenti ise daha önceden hesaplanan traktör-platform kombinasyonunun kütleli atalet momentinden platformun kütleli atalet momentinin çıkarılması ile ulaşılabilir (Eşitlik 12);

$$I_x = I_{TP} - I_p \quad (12)$$

Burada;

I_x : Traktörün boyuna eksende atalet momenti (kgm^2)

Şekil 5'de traktörlerin atalet momentinin belirlenmesi sinematik olarak verilmiştir. Şekilde traktörün öz frekansı ile salınımı açıkça görülmektedir. Traktör platform üzerine sağ ve sol, ileri ve geri eşit mesafelerde olacak şekilde yerleştirilir. Bu durumda traktörün tekerlek basıncı üreticinin verdiği değerlerde şişirilir. Yakıt deposu tam olarak doldurulmuştur. Platformda salınımın gerçekleştirildiği eksen iyi yataklandırılmış ve sürtünme kuvvetleri mümkün olduğunca azaltılmış olmalıdır. Traktör-platform kombinasyonu 7°'ye kadar kaldırılır ve serbest salınıma bırakılır. Bu anda 7 ile 4 derece arasında gerçekleşen periyotlar elektronik olarak ölçülür ve her koşuldaki periyodun ortalaması alınarak T_1 , T_2 , T_{1p} ve T_{2p} periyotları belirlenir. Şekil 6'da Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarım Alet ve Makinaları Test Merkezi Müdürlüğü'nde gerçekleştirilmiş New Holland TT 55 2WD traktöre ait testten elde edilmiş periyotlar verilmiştir. Grafik incelendiğinde 7 ile 4 derece arasında gerçekleşmiş bir test görülmektedir. Salınımın genliği zamana bağlı olarak azalmaktadır. Tablo 1 'de NHTT 55 2WD traktöre ait farklı iki salınım eksenini için 5 tekrerrülü olarak elde edilmiş sonuçlar verilmiştir.

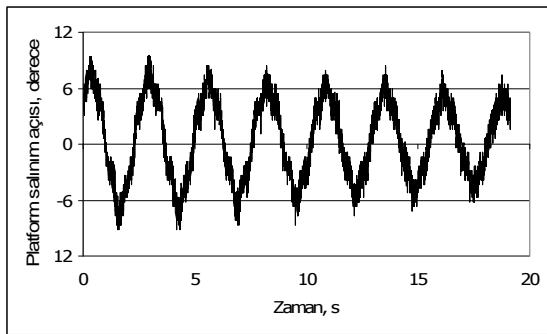


Şekil 5. Platform Testinde Salınımın Sinematik Olarak Gösterimi

Tablo 1. Farklı İki Salınım Yüksekliğinde Elde Edilen Değerler

Düşük eksende gerçekleşen test (Eksen 1)										
No	Test 1		Test 2		Test 3		Test 4		Test 5	
No	Açı	Süre (s)	Açı	Süre (s)	Açı	Süre (s)	Açı	Süre (s)	Açı	Süre (s)
1	6.71	2.300	6.48	2.265	6.73	2.325	6.48	2.330	6.48	2.280
2	6.22	2.375	5.99	2.250	6.22	2.275	5.99	2.360	5.99	2.355
3	5.73	2.300	5.50	2.270	5.24	2.260	5.50	2.365	5.51	2.325
4	5.24	2.320	5.01	2.290	5.01	2.290	5.01	2.320	5.01	2.355
5	4.75	2.330	4.52	2.275	4.52	2.350	4.52	2.320	4.53	2.290
Ortalama		2.325		2.270		2.317		2.339		2.321
										2.314

Yüksek ekseninde gerçekleşen test (Eksen 2)										
No	Test 1		Test 2		Test 3		Test 4		Test 5	
No	Açı	Süre (s)	Açı	Süre (s)	Açı	Süre (s)	Açı	Süre (s)	Açı	Süre (s)
1	6.71	2.640	6.72	2.605	6.71	2.660	7.2	2.640	6.71	2.640
2	5.73	2.610	5.73	2.645	6.20	2.605	6.71	2.635	6.22	2.635
3	5.24	2.615	5.24	2.660	5.73	2.660	5.24	2.590	5.73	2.590
4	4.75	2.645	4.75	2.635	5.24	2.625	4.75	2.640	5.24	2.640
5	4.27	2.650	4.27	2.660	4.74	2.660	4.27	2.685	4.75	2.685
Ortalama		2.632		2.639		2.642		2.638		2.638
										2.638



Şekil 6. Salınım Platformundan Elde Edilen Salınım Açı Değerleri

Tabloda düşük eksen için ortalama salınım periyodu 2.314 s, yüksek eksen için ise 2.638 s olarak elde edilmiştir. Bu koşulda ağırlık merkezinin yerden yüksekliği 0.76 m atalet momenti ise 452.54 kgm² olarak hesaplanmıştır.

SONUÇ

Platform üzerinde gerçekleştirilen ağırlık merkezi ve kütleli atalet momenti ölçümü güvenilir bir yöntem olarak kullanılabilir. Özellikle OECD, ISO ve AB normlarına göre yapılması gereken

koruyucu yapı testlerinde traktörlerin sürekli yuvarlanma durumunun simülasyonu için ölçülmesi zor ve zahmetli parametrelerin belirlenmesinde kolaylıkla kullanılabilir.

LİTERATÜR LİSTESİ

Casini-Ropa G., 1976 (a). Il Rilievo Delle Coordinate Del Baricentro Nei Trattori a Due Assi a Ruote Pneumatiche. [The Determination of the Coordinates of the Centre of Gravity On Two Axles Wheeled Tractors.] Rivista di Ingegneria Agraria, 1, 15-25

Casini-Ropa, G., 1976 (b). Attrezzatura E Metodo Per Il Rilievo Dell'altezza Da Terra Del Baricentro Delle Macchine Agricole. Equipment and Methods for Surveying the Height Above the Ground of the Centre of Gravity of Agricultural Machinery. Rivista di Ingegneria Agraria, 2: 81-85.

Coşkun, B., R. Gürhan, 1996. Standart Traktörlerde Statik Stabilitenin Matematik Model Yardımıyla Analizi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 1434.

EC, 1985. Proposal for a Council Directive On the Approximation of the Laws of the Member States Relating to Roll-Over Protection Structures Incorporating Two Pillars and Mounted In Front of the Driver's Seat on Narrow-Track Wheeled Agricultural or Forestry Tractors. Official Journal of the European Communities, 28(C222/1): 1-77.

Göhlich, H., 1987. *Mensch und Maschine*. Verlag. Paul Parey. Hamburg ve Berlin.

Kadayıfçılar, S., 1969. *Ziraat Traktörleri (1)*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 359.

Kut, T., 1982. Traktörlerde Kütleli Atalet Momentlerinin Saptanması Üzerinde Bir Araştırma. İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Genel Makina Birimi Ziraat Makinaları Birimi, İstanbul.