



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# İki farklı desenli lastik için suda kızaklamanın incelenmesi

## *Investigation of aquaplaning for two different patterned tires*

Yazar(lar) (Author(s)): Çağlar AYMELEK<sup>1</sup>, Nureddin DİNLER<sup>2</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-3993-9141

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-2872-9050

ERKEN GÖRÜNÜM

**To cite to this article:** Aymelek Ç. and Dinler N. , “İki Farklı Desenli Lastik İçin Suda Kızaklamanın İncelenmesi”, *Journal of Polytechnic*, \*(\*) : \*, (\*).

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Aymelek Ç. ve Dinler N., “İki Farklı Desenli Lastik İçin Suda Kızaklamanın İncelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, \*(\*) : \*, (\*).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.1593924

# İki Farklı Desenli Lastik İçin Suda Kızaklamanın İncelenmesi

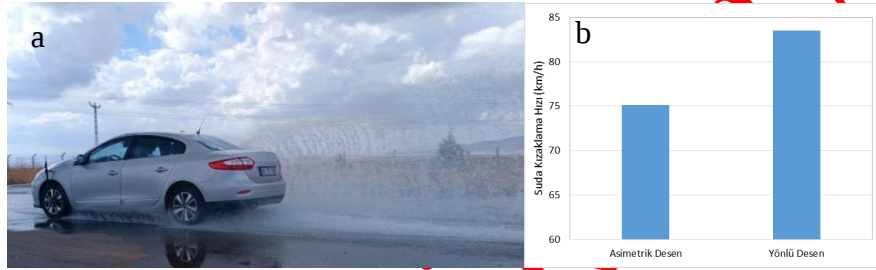
## Investigation of Aquaplaning For Two Different Patterned Tires

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ İki farklı desene sahip lastiğin suda kızaklamasının deneysel incelenmiştir (Experimental investigation of aquaplaning of two different patterned tires)
- ❖ Diş derinliğinin suda kızaklamaya etkisi incelenmiştir. (The effect of tread depth on aquaplaning was investigated.)
- ❖ Diş derinliğinin yüksek olduğu durumda yönlü lastiklerin asimetrik desenli lastiklere göre yaklaşık %10 daha yüksek hızda suda kızaklamaya girdiği görülmüştür. (It has been observed that directional tires with high tread depth enter aquaplaning at approximately 10% higher speed than tires with asymmetrical patterns.)

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Asimetrik desenli lastik ve yönlü desenli lastik kullanılarak iki diş derinliğinde suda kızaklama durumu incelenmiştir. / Aquaplaning was investigated at two tread depths using an asymmetrical pattern tire and a directional pattern tire.



Şekil. a) Asimetrik desenli lastik aquaplaning testi b) 7,3 mm diş derinliği için suda kızaklama hız grafiği/ Figure. a) Asymmetrical pattern tire aquaplaning test b) Aquaplaning speed chart for 7.3 mm tread depth

### Amaç (Aim)

Bu çalışmanın amacı lastik desenleri ve diş derinliklerinin suda kızaklamaya girme hızlarının incelenmesidir. / The aim of this study is to investigate the effects of tire patterns and tread depths on aquaplaning rates.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Yerli olarak tasarlanıp üretilen iki tipteki lastiğin direktiflerde belirtildiği şekilde suda kızaklama testleri yapılmıştır. / Aquaplaning tests were carried out on two types of tires, designed and produced domestically, as specified in the directives.

### Özgünlük (Originality)

Yerli tasarım lastiklerin, lastik test pistinde akademik olarak ilk suda kızaklama deneysel çalışmasıdır. / It is the first academic experimental study of aquaplaning of domestically designed tires on a tire test track.

### Bulgular (Findings)

Diş derinliğinin yüksek olduğu durumda yönlü lastiklerin asimetrik desenli lastiklere göre yaklaşık %10 daha yüksek hızda suda kızaklamaya girdiği, diş derinliklerinin azaltılmasından sonra ise suda kızaklama hızının düştüğü ölçülmüştür. / It has been measured that directional tires with high tread depth enter aquaplaning at approximately 10% higher speed than tires with asymmetrical patterns, and the aquaplaning speed decreases after the tread depth is reduced.

### Sonuç (Conclusion)

Yönlü lastikler daha yüksek hızlarda suda kızaklamaya girmektedirler çünkü asimetrik lastiğe göre daha fazla su tahliye hacmi bulunmaktadır. / Directional tires tend to aquaplane at higher speeds because they have more water evacuation volume than asymmetric tires.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# İki Farklı Desenli Lastik İçin Suda Kızaklamanın İncelenmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Çağlar AYMELEK<sup>1,2</sup>, Nureddin DİNLER<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Petlas A.Ş. Ar-Ge Merkezi Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Müh. A.B.D., Gazi Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Mühendislik Fakültesi, Makina Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 30.11.2024 ; Kabul/Accepted : 20.06.2025 ; Erken Görünüm/Early View : 15.07.2025 )

## ÖZ

Bir taşıt için önemli güvenlik unsurlarından birisi lastiklerdir. Taşıtın yükünü ve ağırlığına taşırken, yeterli tahrik ve frenleme kuvveti sunmalı, yeterli yönlendirme ve doğrultu kararlılığı sağlarken taşıtın konforunu da korumalıdır. Lastiklerde önemli konulardan birisi de suda kızaklama (aquaplaning) problemidir. Bu çalışmada asimetrik desenli ve yönlü desenli iki lastik seti için suda kızaklama deneyleri yapılmıştır. Lastik derinliklerinin suda kızaklamaya olan etkileri incelenmiştir. Diş derinliğinin yüksek olduğu durumda yönlü lastiklerin asimetrik desenli lastiklere göre yaklaşık %10 daha yüksek hızda suda kızaklamaya girdiği görülmüştür. Diş derinliklerinin azaltılmasından sonra ise suda kızaklama hızının düştüğü görülmüştür. Yani, daha düşük hızlarda suda kızaklama oluşmuştur. Diş derinliği azalmış olan iki lastik de birbirine yakın hızlarda suda kızaklamaya girmişlerdir.

**Anahtar Kelimeler:** Lastik, suda kızaklama, lastik diş derinliği.

## Investigation of Aquaplaning For Two Different Patterned Tires

### ABSTRACT

One of the important safety elements for a vehicle is tires. While carrying the load and weight of the vehicle, tires should provide sufficient drive and braking force, provide sufficient steering and directional stability while also protecting the comfort of the vehicle. One of the important issues in tires is the problem of aquaplaning. In this study, aquaplaning tests were conducted for two tire sets with asymmetrical and directional patterns. The effects of tire depths on aquaplaning were examined. It was observed that directional tires entered aquaplaning at approximately 10% higher speeds than asymmetrical patterned tires when the tread depth was high. It was observed that the aquaplaning velocity decreased after the tread depth was reduced. In other words, aquaplaning occurred at lower velocities. The two tires with reduced tread depth entered aquaplaning at similar velocities.

**Keywords:** Tire, aquaplaning, tyre tread depth.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Lastik yol ile taşıtın temas ettiği tek noktadır. Taşıtın hızlanma, durma, yön değiştirme gibi hareketleri yapmasını sağlamaktadır. Tekerlek, tüm kontrol kuvvetlerini yeterli düzeyde zemine iletebilecek yapıda olmalıdır [1].

Bir taşıtın lastiklerinden beklenenler şöyle yazılabilir:

1. Taşıtın yükünü ve ağırlığına taşımak
  2. Yüzey değişimlerinde (düzensizliklerinde) taşıtı yastıklamak
  3. Yeterli tahrik ve frenleme kuvveti sunmak (geliştirmek)
  4. Yeterli yönlendirme ve doğrultu kararlılığı sağlamak
- Günümüzde üretilen pnömatik lastikler bu görevleri yerine getirebilmektedirler [1].

Taşıtlarda güvenli olarak seyahat edebilmek için lastiklerin yol tutuşu önemlidir. Islak zeminlerde ise lastiklerin yol tutuşu ön plana çıkmaktadır. Suda kızaklama, lastiğin yol ile temas yüzeyini kaybolmasına

verilen isimdir. Suda kızaklama aquaplaning veya hydroplaning olarak da adlandırılmaktadır. Lastiğin aşırı hız nedeniyle yoldan suyu tahliye edememesiyle oluşmaktadır. Lastik ile yol arasında bir su tabakası girerek temas yüzeyini azaltarak lastiğin kuvvetleri iletme kabiliyetini azaltmaktadır. Lastiklerde kızaklama olayı 1957 yılına kadar dayanmaktadır. O yıllardan itibaren lastiklerin suda kızaklaması olayı teorik, deneysel ve hesaplamalı yöntemler ile incelenmektedir. Bu konuda yapılan çok sayıda yayın bulunmaktadır [2,3]. İlk olarak 2012 yılında yürürlüğe giren Avrupa Birliği lastik etiketleme direktifi (EC) 1222/2009 ile tüketicilere ıslak yol tutuş performansı, lastik yuvarlanma direnci, lastik yuvarlanma sesi (dış) üç temel lastik performans parametresi hakkında temel bilgileri lastik etiketinde sağlamayı amaçlıyordu [4,5].

Temel olarak, suda kızaklama aşağıdaki unsurlar tarafından yönetilir [6]:

- Araç hızı: Araç hızındaki artış, suda kızaklama hızına ulaşılan kadar su hidrodynamic basıncını artıracaktır.

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : ndinler@gazi.edu.tr

- **Yoldaki su hacmi:** Su derinliği ne kadar yüksekse, suda kızaklama hızı o kadar düşük olur.
- **Lastik Basıncı:** Daha düşük basınç, daha yüksek suda kızaklama riskini beraberinde getirir (daha düşük Vh)
- **Lastiğin suyu boşaltma kapasitesi:** İlk yaklaşımda, drenaj boşluk hacmi tarafından yönlendirilir. Boşluk hacmi ne kadar yüksekse (lastik taban tasarımı ve dış derinliği nedeniyle), suda kızaklama hızı o kadar yüksek olur. Lastik tabanının ve mimarisinin optimize edilebileceğini ve dolayısıyla boşluk hacmi eşdeğer olsa bile drenaj verimliliğinin farklı olabileceği de unutulmamalıdır.

Üreticiler, suyun yol temas alanından uzaklaştıran ve sürüşü, yol tutuşunu ve geçme kabiliyetini iyileştiren özel desenler uygulayarak suda kızaklamayı engellemeye çalışmaktadırlar. Çok çeşitli taban desenlerine rağmen, diğerlerinden daha etkili olacak evrensel lastikler üretmek oldukça zordur [7].

Yeager ve Tuttle 1972 yılında deneysel olarak suda kızaklamayı çalışmışlardır. Deneyler ile geliştirdikleri formülasyon ile pürüzsüz yüzeyde suda kızaklama hızını hesaplamışlardır [8]. Hermange vd. yaptıkları çalışmada çeşitli lastikler için su kızaklaması durumunu incelemişlerdir. Deneysel olarak bir lastik test parkurunda temas yüzeyi kaybını araştırmışlardır. Deneylerde test parkurunda bulunan donanım ile lastik temas yüzeylerini de fotoğraflamışlardır. Testler, su kızaklama koşullarında lastiğin zeminle temas alanının bir ölçüm penceresi aracılığıyla gözlemlenmesi ve ölçülmesinden oluşmuştur. Farklı şişirme basıncı, su seviyesi, lastik aşınması, gibi koşullar altında hızın bir fonksiyonu olarak yüzey kaybını ölçmüşlerdir. Bu karmaşık problemi analiz etmek için şişirme basıncı, su derinliği, dış derinliği, dış boşluk oranı, vb. parametrelerin incelenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Çalışmada, suda kızaklama koşullarında (su derinliği, hız ve şişirme basıncı) ve dış derinliğinde lastik iç mimarisinin, malzemelerin ve dış tasarımının rolünü vurgulamışlardır. Tasarım etkilerinin, diğer etkili parametrelerin etkilerine benzer etkileri vardır. Ayrıca, 8 mm su derinliğindeki yeni lastiğin ve 1 mm su yüksekliğindeki 2 mm'lik lastiğin test koşullarının eşdeğer olmadığını, yani lastikleri aynı şekilde sıralamadıklarını göstermişlerdir. Nitekim tasarım etkileri nedeniyle lastikler belirli bir koşulda daha iyi veya daha kötü performans gösterebileceğini de belirtmişlerdir [2]. Frolov vd. lastiğin tasarım parametrelerini ve çalışma özelliklerini ve ayrıca araç hızını, su tabakasıyla kaplı yol kaplamasının yüzeyiyle araba tekerleği lastiğinin etkileşim sürecini incelemişlerdir. Frolov vd. yaptıkları çalışmalar göz önüne alındığında, aracın hızındaki artışın, sıvı hacminin temas bölgesinden uzaklaştırılma süresini azalttığı ve bunun sonucunda kritik suda kızaklama hızının azaldığı sonucuna varmışlardır [9]. Fiorentin ve Santos, istatistiksel araçlar kullanılarak, Brezilya'nın Santa Catarina eyaletine bağlı Joinville şehrinde lastik dış

derinliği ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Binek araçlarda lastiklerin koruma durumuna gösterilen özenin doğrudan aracın sağladığı sürüş güvenliğini yansıttığını belirtmişlerdir. Lastikleri doğru seçmek ve uygun kullanım koşullarında tutmak, araçtaki yolcuların güvenliği için önemli olduğunu vurgulamışlardır [10]. Khodja yaptığı kapsamlı tez çalışmasında suda kızaklamayı deneysel ve sayısal olarak incelemiştir [11]. Maleska vd. [12] yaptıkları çalışmada VDA test prosedürüne göre hızlanma durumunda, uzunlamasına suda kızaklama testleri gerçekleştirmişlerdir. Horne vd. [13] tarafından kamyon lastiklerinin kritik suda kızaklama hızını tahmin etmek için geliştirilen ampirik denklemin binek otomobil lastiklerine uygulanabileceği göstermişlerdir.

Suda kızaklamanın sürüş sırasında tespiti için de çalışmalar yapılmaktadır. Fichtinger vd. yaptıkları deneysel çalışmada standart sensörlerle yapılan ölçümlere dayalı olarak suda kızaklamanın farklı etkilerini incelemişlerdir. Özellikle, tekerlek dönmesi ve tekerlek dönmesinin azaltılması, yuvarlanma direncinin değişmesi, lastik kayma eğimi ve rot kolu kuvveti, kısmi veya tam suda kızaklama etkileri olarak kabul edilmiştir. Bunun için taşıt üzerinde sensörler ile ölçümler yapılmıştır. Sonuçlar ve temel bulgulara taşıtın çekiş sisteminin etkisi de dikkate alınmıştır. Suda kızaklama ve tehlikeli sürüş koşullarını erken tespit etmenin özellikle otonom taşıtlarda önemli olduğunu da belirtmişlerdir [14]. Blandina vd.'nin çalışmasında, geliştirdikleri anti-aquaplaning aktif güvenlik sistemi ile aracın suda kızaklamaya maruz kalıp kalmadığını herhangi bir yeni sensör olmadan tespit edebilmektedirler. Yazılım olayı algıladığında, çok kısa bir tepki süresine sahip olacak şekilde tasarlanan hidrolik sistem, lastiklerin önüne akıllı bir su enjeksiyonu yaparak her türlü aracın (insan kontrollü veya otonom) yol tutuşunu birkaç milisaniyede geri kazandırdığını belirtmişlerdir. Bu sistemin özellikle otonom araçlar ve gelecekteki akıllı ulaşım sistemleri için önemini vurgulamışlardır [15]. Jindřich vd. yaptıkları çalışmada suda kızaklamayı önlemek için lastiğin önüne hava üflemenin etkisini hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanarak modellemişlerdir [16].

Cho vd. yaptıkları çalışmada üç boyutlu olarak lastiğin suda kızaklama davranışını sayısal olarak incelemişlerdir. Gerçek araç lastiklerinden boşaltılan yağmur suyu akışı, 3 boyutlu desenli lastik modeli ile tanımlanmış ve karmaşık lastik malzeme bileşimi ile modellenmiştir. Çözümlerinde 3 oluklu bir lastik ile desenli bir lastiği kıyaslamışlardır. Desenli lastiğin, yanal lastik oluklarından yağın ek yağmur suyu tahliyesi sayesinde, üç oluklu lastik modelinden daha küçük hidrodinamik kuvvet ürettiğini elde etmişlerdir. Bu durumdan dolayı da desenli lastiğin ıslak çekişinin daha iyi olduğunu göstermekte olduğunu belirtmişlerdir. Desenli lastik modeli ile yapılan simülasyon sonucunda hidrodinamik kuvvetin lastik yuvarlanma hızının karesiyle orantılı olarak arttığını göstererek sonuçların analitik çözüm ile tutarlı olduğu belirtilmiştir [17]. Fwa vd., farklı lastik sırtı desenlerinin ve oluk derinliklerinin

binek otomobillerin suda kızaklama davranışı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Altı diş oluğu deseni analizleri için üç boyutlu sonlu eleman yaklaşımına sahip bir bilgisayar simülasyon modeli kullanılmıştır. Analizler, lastiğin diş alanı başına oluk hacmi olarak hesaplanan parametrenin, çeşitli lastik-diş oluğu desenlerinin araç suda kızaklama riskini azaltmadaki etkinliğini değerlendirmek için yararlı bir performans göstergesi olduğunu göstermekte olduğunu belirtmişlerdir [18]. Zhilin vd. suyun yol temas alanından uzaklaştırılması için sırt desenini optimize etme yöntemi geliştirmişlerdir böylece suda kızaklama riskini azaltmayı hedeflemişlerdir. Geliştirdikleri tekniğin, her türden hazır sırt desenleriyle çalıştığını belirtmişlerdir [7]. Aboelsaoud vd. yaptıkları sayısal çalışmada elektrikli araçlarda batarya nedeniyle oluşan ağırlık artışından dolayı suda kızaklama olasılığının azaldığını göstermişlerdir [19]. Nazari vd. suda kızaklama olayının akışkan-katı etkileşimi (FSI) yöntemi geliştirerek hesaplamalı akışkanlar mekaniği ve hesaplamalı mekanik yazılımlarını kullanarak sayısal olarak hesaplamışlardır. Çeşitli taban desenlerinin suda kızaklama hızlarını ve viraj alma kuvvetini incelemişlerdir [20]. Genc ve Savci yaptıkları HAD analiz çalışmasında 3 farklı desene sahip motosiklet lastiği için suda kızaklama problemi ile ilgili temas açıları, sürüş yönü ve sürüş hızları gibi farklı faktörler dikkate alınarak çözülmüştür. Elde edilen veriler, sırt deseni tasarımının lastiklerin su yüzeylerindeki suda kızaklama performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir [21].

Suda kızaklama problemi sadece lastik tarafında değil aynı zamanda yol ile de ilgilidir. Bu konuda Guo vd. yaptıkları sayısal çalışmada enine eğimin suda kızaklama üzerine etkisini incelemişlerdir. Taşıt orta veya yüksek hızda (90 km/s üzeri) seyahat ettiğinde, durgun su derinliğinin hidrodinamik basınç üzerindeki etkisinin çok belirgin olduğunu belirtmişlerdir. Taşıtın ıslak yolda orta veya düşük hızda (65~85 km/s) seyahat etmesini ve yol tasarımında da yol yüzeyindeki durgun suyu azaltmak için drenaj ve bakıma dikkat etmesini vurgulamışlardır. ıslak yolunun enine eğiminin suda kızaklama güvenliği üzerindeki etkisi belirgin olmadığını da belirtmişlerdir. Yolun enine eğimi %2 olduğunda, yol yüzeyindeki çapraz yöndeki suyun hızı, lastiğin hızından çok daha düşük olduğunu, lastik sırtı çapraz olukları çapraz yöndeki suyun çoğunu zamanında boşaltabildiğini de sonuç olarak vermişlerdir [22]. Burlacu vd. yaptıkları çalışmada suda kızaklamada yolun etkisini özel olarak geliştirilmiş bir yazılım ile incelemişlerdir. İyi kalitede bir yol yapısı aşınma tabakasının inşa edilmesinin önemine, bunun trafik güvenliği üzerindeki etkisine ve yol elemanlarının geometrik özellikleri ile suda kızaklama olgusu arasındaki ilişkiye vurgu yapmışlardır [23]. Başka bir çalışmada ise, Zaho vd. uçak lastiklerinin ıslak pistte yaydıkları su spreyinin etkilerini incelemişlerdir [24].

Vilsan ve Sandu suda kızaklama ile ilgili olarak hazırlamış oldukları derleme makalede yaptıkları literatür incelemesi sonucunda farklı deneysel araştırmalarda kritik suda kızaklama hızı eşliğini (değerini) tanımlamak için farklılıklar olduğunu belirtmişlerdir [25]. Dehnad ve Yazdi yaptıkları derleme çalışmasında suda kızaklama ile ilgili olan literatürü detaylı olarak incelemişlerdir. Suda kızaklama hızını hesaplamak için önerilen ve doğrulanan denklemleri ayrıntılı olarak incelemişlerdir. Ayrıca, suda kızaklama olayının tespitinde kullanılan çeşitli cihazlar incelenmiştir. Derlemelerinin sonucunda deneysel çalışma yürütmenin zor olduğunu ve bu nedenle hesaplamalı yöntemlerin tercih edilerek yayınlandığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte, yapılan çalışmalarda araştırmacıların öncelikle lastik ve sıvı parametrelerine yoğunlaştığını göstermişlerdir [26].

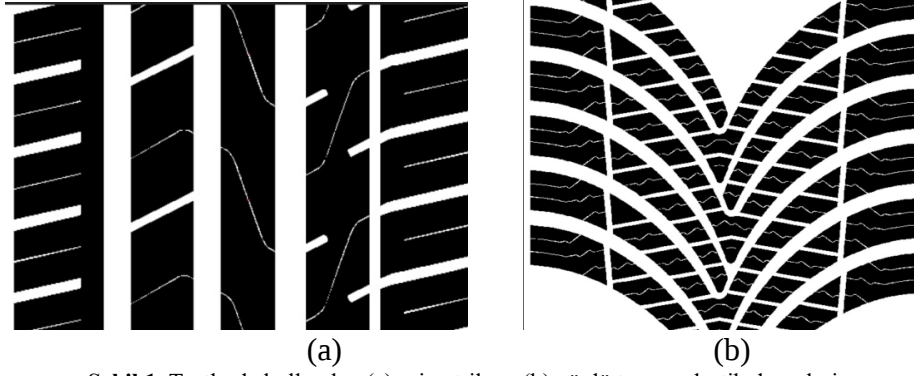
## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Otomotiv sanayicileri ABS, ESP gibi çeşitli güvenlik uygulamaları ile taşıtların güvenli sürüş sınırlarını geliştirmektedirler. Ancak, kullanıcı tarafında ise uygunuz lastik kullanımı, yol şartlarına uygun olmayan hızda sürüş vb. yanlış kullanımları ise önleyememektedirler. Taşıtın güvenlik limitlerini, yol ile teması sağlayan lastikler belirlemektedir.

Lastik desenlerin en temel karakteristik özellikleri simetrik, asimetrik veya yönlü tasarıma sahip olmalarıdır [27]. Bu tasarım yaklaşımları lastiklerin ana performans kriterlerinin temelini oluşturmaktadır. Şekil 1’ de asimetrik ve yönlü tasarıma sahip lastiklere ait genel görünümlere yer verilmiştir.

Bu çalışma da asimetrik ve yönlü tasarımlara sahip, binek otomobillerin yaz kullanımına uygun, iki farklı lastiğin farklı diş derinliklerindeki suda kızaklama (aquaplaning) kabiliyetleri, Petlas Lastik Sanayi A.Ş.’nin Kırşehir fabrikasındaki lastik test pistinde karşılaştırmalı olarak test edilmiştir. Teste dahil edilen tüm lastikler aynı lastik konstrüksiyonu, sırt karışımı ve boyutsal ölçüler (taban genişliği, diş derinliği, vb.) ile özel olarak aynı operatör tarafından, aynı lastik imal makinesinde ardışık olarak üretilmişlerdir. Böylece olası değişkenliğin azaltılması amaçlanmıştır. Karşılaştırmaya konu lastikler ile ilgili genel bilgiler Çizelge 1’de ve test aracı ile ilgili bilgiler Çizelge 2’de verilmiştir.

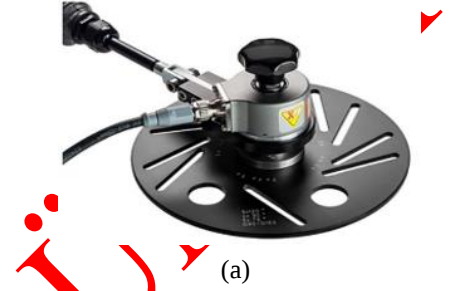
Testlerde “Kistler Wheel Pulse Transducer” ve “Race Logic V-Box 3I+FIM03” ölçüm cihazları kullanılmıştır. Kistler Wheel Pulse Transducer ile lastiklerin dönüş hızları ölçülmektedir. Araç üzerine bağlanan diğer ekipman olan “Race Logic V-Box 3I+FIM03” ile de aracın o an ki hızı GPS üzerinden kaydedilmektedir. Tüm veriler yazılım ile taşınabilir bilgisayara kaydedilmektedir. İlgili test ekipmanlarına ait görseller Şekil 2’de yer verilmiştir. Teknik verileri Çizelge 3 ve Çizelge 4’te verilmiştir.



**Şekil 1.** Testlerde kullanılan (a) asimetrik ve (b) yönlü tasarım lastik desenleri  
((a) Asymmetric and (b) directional design tire patterns used in tests)

**Çizelge 1.** Lastik özellikleri (Tire properties)

|                                    | LASTİK 1   | LASTİK 2   |
|------------------------------------|------------|------------|
| Lastik Özelliği                    | ASİMETRİK  | YÖNLÜ      |
| Lastik Ebadı                       | 185/65R15  | 185/65R15  |
| Lastik Çapı (mm)                   | 622        | 622        |
| Taban Genişliği (mm)               | L          | L          |
| Şişirme Basıncı Ön/Arka(psi)       | 32/29      | 32/29      |
| Lastik Diş Derinliği (mm) - Test 1 | 7,3        | 7,3        |
| Lastik Diş Derinliği (mm) - Test 2 | 3,5        | 3,5        |
| Üretim Tarihi (Hafta/Yıl)          | 31/24      | 32/24      |
| Jant Ölçüsü                        | 6.0J X 15" | 6.0J X 15" |



(b)

**Şekil 2.** Test ekipmanları (a) Kistler tekerlek hızı transdüseri, (b) Racelogic V-Box 3i+FIM03 (Test equipment (a) Kistler wheel speed transducer, (b) Racelogic V-Box 3i+FIM03)

**Çizelge 2.** Test aracı bilgileri (Test car information)

|                                   | TEST ARACI           |
|-----------------------------------|----------------------|
| Model Yılı                        | 2015                 |
| Motor Tipi                        | DİZEL                |
| Silindir Adedi                    | 4                    |
| Silindir Hacmi (cm <sup>3</sup> ) | 1598                 |
| Araç Ağırlığı (kg)                | 1349                 |
| Maks. Güç (HP / dev/dak)          | 130HP / 4000 dev/dak |
| Maks. Tork (Nm / dev/dak)         | 320NM / 1750 dev/dak |

**Çizelge 3.** Teknik veriler (Technical Data) [28]

| Temel mekanik veriler                |                         |                    |
|--------------------------------------|-------------------------|--------------------|
| İzin verilen dönme hızı              |                         |                    |
| Maksimum                             | dev/dak                 | 6000               |
| Sürekli çalışma                      | dev/dak                 | 3000               |
| Mevcut sinyal değerleri              |                         |                    |
| Standart                             | atım/U                  | 10 ... 5000        |
| Diğer                                | atım/U                  | talep üzerine      |
| Çalışma sıcaklığı aralığı            | °C                      | -40 ... 85         |
| Koruma seviyesi                      |                         | IP67               |
| Şok dayanımı (DIN IEC 68-2-27 )      | m <sup>2</sup> /s<br>ms | 2500<br>6          |
| Titreşim dayanımı (DIN IEC 68-2-27 ) | m <sup>2</sup> /s<br>Hz | 100<br>10 ... 2000 |

**Çizelge 4. VBox 3i GPS teknik verileri (VBox 3i GPS technical data) [29]**

| Hız                           |                              | Mesafe                                        |                   |
|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------|
| Doğruluk                      | 0.1 km/h (4 örnek üzerinden) | Doğruluk                                      | %0.05 (her km'de) |
| Güncelleme hızı               | 100 Hz                       | Birimler                                      | Metre/feet        |
| Maksimum hız                  | 1000 mph                     | Güncelleme hızı                               | 100 Hz            |
| Minimum hız                   | 0.1 km/h                     | Çözünürlük                                    | 1 cm              |
| Çözünürlük                    | 0.01 km/h                    | <b>Zaman</b>                                  |                   |
| Gecikme                       | 20 ms                        | <b>İvme/Fren Testi</b>                        |                   |
| Hassasiyet                    | 0.03 km/h (RMS)              | Çözünürlük                                    | 0.01 s            |
| <b>Mutlak Konumlama (RMS)</b> |                              | Doğruluk                                      | 0.01 s            |
| Doğruluk (tekbaşına)          | V: 1.8 m, H: 1.2 m           | <b>Tur Zamanlaması (OLED/VBOX Test Suite)</b> |                   |
| Doğruluk SBAS ile             | V: 1.2 m, H: 0.8 m           | Çözünürlük                                    | 0.01 s            |
| Doğruluk DGPS ile             | V: 0.5 m, H: 0.3 m           | Doğruluk                                      | 0.01 s            |
| Güncelleme hızı               | 100 Hz                       | Hassasiyet                                    | 0.005 s           |
| Çözünürlük                    | 1.8 m                        | <b>Fren Mesafesi Doğruluğu</b>                |                   |
| <b>İstikamet</b>              |                              | Doğruluk                                      | +/- 1.8 m         |
| Çözünürlük                    | 0.01 °                       | <b>Çevresel &amp; Fiziksel</b>                |                   |
| Doğruluk                      | 0.1 °                        | Çalışma Sıcaklığı                             | -20°C ... +70°C   |
| <b>İvmelenme</b>              |                              | Depolama Sıcaklığı                            | -30°C ... +80°C   |
| Doğruluk                      | 0.50%                        |                                               |                   |
| Maksimum                      | 20 g                         |                                               |                   |
| Çözünürlük                    | 0.01 g                       |                                               |                   |
| Güncelleme hızı               | 100 Hz                       |                                               |                   |

Üretilen lastikler Petlas Lastik Sanayi A.Ş.'nin Kırşehir fabrikasında bulunan açık alan lastik test pistinde (Şekil 3) test edilmişlerdir. Test pistinde düzlemsel yönde suda kızaklama (aquaplaning) testi için özel olarak hazırlanmış olan su havuzu bölümü (Şekil 4) kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir. Ölçüm ekipmanlarının araca montajı yapıldıktan aşağıda belirtilen test prosedürleri uygulanmıştır:

- Öncelikle, kuru koşullarda tekerlek hızlarının kalibre edilmesi için başlangıç çizgisi ile bitiş çizgisi arasında sürüş 20 km/h civarındaki hızlarda kalibrasyon yapılır. Bu kalibrasyon işlemi ile test esnasında kuru ve ıslak yüzeyde kalacak lastiklerin hızları kaydedilir. Bu sayede test esnasında iki lastik arasındaki kayma değişimi hesaplaması doğru şekilde gerçekleştirilmesi sağlanır.
- Su havuzu başlangıç çizgisinin gerisinden kararlaştırılan sabit bir hız ile su havuzuna doğru araç sürülür. Aracın bir tarafındaki lastikler su havuzunda iken diğer taraftaki lastikler kuru zemin üzerinde olacak şekilde bu hız havuz başlangıcına kadar korunarak sürüşe devam edilir.
- Araç su havuzuna giriş yaptığı anda sürücü tam gaz uygulayarak aracı hızlandırır. Aracın sürücüsü bu konuda eğitilmiş bir test pilotudur.

- Su banyosuna giren aracın, araç hızıyla (GPS hızı – Vbox verisi) tekerlek hızı (Kistler-WPT verisi) arasında %15'lik kayma farkının gerçekleştiği hız değeri o lastik için suda kızaklama hızını (aquaplaning hızını) vermektedir [31].

Testin yapıldığı pist bölümüne ait şematik gösterim Şekil 5'te verilmiştir.

Test verilerinin toplandığı elektronik olarak toplanmaktadır. Yazılım ekranına ait bir örnek görsel Şekil 6'da verilmiştir.

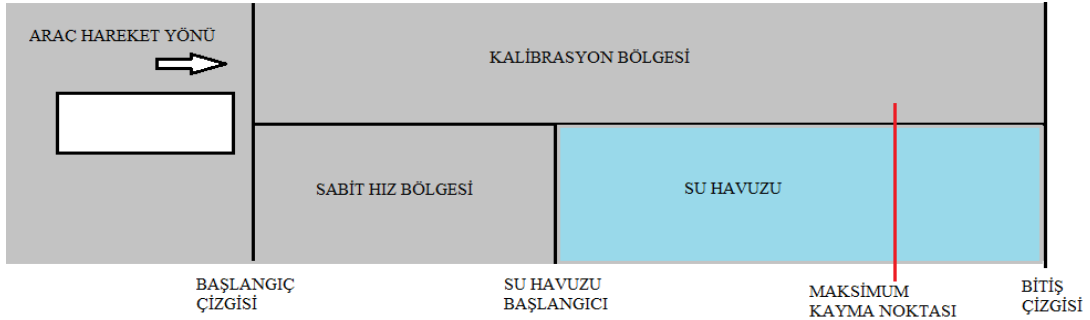
Test edilecek lastikler uygun montaj şekli ile (asimetrik lastiklerde dış tarafa gelmesi gereken tarafa, yönlü lastikler de ise lastiklerin dönüş yönünü ifade eden "ROTATION" ifadesine dikkat edilerek) uygun ölçüde jantlar ile test aracına takılmıştır. Testte kullanılacak ekipmanların araç ve jant üzerine montajları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Petlas Kırşehir Lastik Test Pisti Genel Görünüm (Petlas Kırşehir Tire Test Track General View) [30]



Şekil 4. Petlas Kırşehir Lastik Test Pisti Aquaplaning Test Bölümü (Petlas Kırşehir Tire Test Track Aquaplaning Test Section)



Şekil 5. Aquaplaning test havuzu bölümleri (Aquaplaning test pool sections) [32]

| Run      | Entry Speed (km/h) | Speed At Aquaplane (km/h) | Distance At Aquaplane (m) | FL Slip (Max) (%)    | FR Slip (Max) (%)    | Aquaplane |
|----------|--------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|-----------|
| 1        | 70,70              | 78,35                     | 35,09                     | 4,577                | 15                   | Yes       |
| 2        | 70,09              | 78,42                     | 37,53                     | 4,505                | 15                   | Yes       |
| 3        | 70,65              | 78,17                     | 67,88                     | 4,477                | 9,627                | No        |
| 4        | 70,43              | 79,57                     | 43,97                     | 4,515                | 15                   | Yes       |
| 5        | 60,84              | 75,27                     | 64,37                     | 5,298                | 15                   | Yes       |
| Time (s) | Speed (km/h)       | Distance (m)              | Time (Delta) (s)          | Speed (Delta) (km/h) | Distance (Delta) (m) |           |
| 1,63     | 70,00              | 29,52                     | 1,63                      | 70,00                | 29,52                |           |
| Avg      | 68,54              | 77,96                     | 49,77                     | 4,674                | 13,925               |           |
| Max      | 70,70              | 79,57                     | 67,88                     | 5,298                | 15                   |           |
| Min      | 60,84              | 75,27                     | 35,09                     | 4,477                | 9,627                |           |
| Std Dev  | 4,31               | 1,6                       | 15,33                     | 0,351                | 2,403                |           |

Şekil 6. Suda kızaklama için kullanılan yazılımın ekran görüntüsü (Screenshot of software used for aquaplaning measurement)

### 3. TEST SONUÇLARI (TEST RESULTS)

Tüm testler Petlas Lastik Sanayi ve Tic. A.Ş. Kırşehir Fabrikasında bulunan test pistinde yukarıda verilen test prosedürü ile gerçekleştirilmiştir. Testlerde asimetrik desenli ve yönlü desenli lastik geometrilerinin suda kızaklama davranışları incelenmiştir. Son kullanıcılar lastiklerin aşınma seviyesine göre sürüş karakterlerini değiştirmeseler de, lastiklerin diş derinliğine azaldığında suda kızaklama (aquaplaning) performansının ne kadar değiştiğinin anlaşılabilmesi için iki diş derinliği değeri tercih edilmiştir. İlk olarak 7,3 mm diş derinliğine sahip olan lastikler test edilmiştir. Bu derinlik lastik üre Daha sonra lastikler aşındırılarak 3,5 mm diş derinliğine sahip olmaları sağlanmıştır. Lastiklerin diş derinliğinin aşındırılması konusunda herhangi bir standart bulunmamaktadır. Aşındırma işlemi tecrübeli bir operatör ile fabrikanın altyapısında bulunan özel cihaz ile aşındırılmıştır. Tüm testler bu diş

derinliği değeri de tekrarlanmıştır. Böylece, desen ve dış derinliği faktörlerinin etkileri incelenmiştir.

Test süresince havuz bölümünde su beslemesi sürekli açık tutulmuş, fazlalık su havuz kenarlarından tahliye edilerek 10 mm su derinliğinin test süresince sabit kalması sağlanmıştır. Hava sıcaklığı testin yapıldığı bölgede 25°C olarak ölçülmüştür.

Her iki lastik deseni ve dış derinliği için su havuzuna giriş hızları 60 km/h'den başlanarak suda kızaklamanın meydana geldiği hıza kadar kademeli olarak artırılmıştır. Suda kızaklamanın meydana geldiği hız değeri üç geçiş yapılarak ortalama değer suda kızaklama hızı (aquaplaning hızı) olarak alınmıştır.

Test aracına ilk olarak asimetrik desene sahip lastikler 7,3 mm dış derinliğinin de iken, lastiğin dış tarafa gelmesi gereken tarafına dikkat edilerek, uygun ölçüde jantlar ile araca takılmıştır. Testte kullanılacak ekipmanların araç ve jant üzerine montajları gerçekleştirilmiştir.

Test prosedürüne uygun olarak kuru zemin üzerinde, yaklaşık 20 km/s sabit hızda gerekli kalibrasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon sonrası aracın sürücü tarafındaki lastikler kuru zeminde, yolcu tarafı ise su havuzu içerisinde olacak şekilde 60 km/h havuz giriş hızı ile teste başlanmıştır. Suda kızaklama gerçekleşene kadar havuz giriş hızı kademeli olarak her geçişte 5 km/h artırılmıştır. Suda kızaklamanın meydana geldiği havuz giriş hızı ile üç geçiş yapılarak ortalama değer o lastiğe ait suda kızaklama hızı olarak kabul edilmiştir. (Şekil 7) Asimetrik desene sahip lastiğe ait test sonuçlarına Çizelge 5'te yer verilmiştir.



Şekil 7. Asimetrik desenli lastik aquaplaning testi (Asymmetrical pattern tire aquaplaning test)

Test aracına ikinci olarak yönlü desene sahip lastikler 7,3 mm dış derinliğinin de iken, dönüş yönlerine dikkat edilerek, uygun ölçüde jantlar ile araca takılmıştır. Testte kullanılacak ekipmanların araç ve jant üzerine montajları gerçekleştirilmiştir. Test prosedürüne uygun olarak kuru zemin üzerinde, yaklaşık 20 km/h sabit hızda gerekli kalibrasyon işlemleri yeniden gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon sonrası aracın sürücü tarafındaki lastikler kuru zeminde, yolcu tarafı ise su havuzu içerisinde olacak şekilde 60 km/h havuz giriş hızı ile test başlanmıştır. Suda kızaklama gerçekleşene kadar havuz giriş hızı kademeli olarak her geçişte 5 km/h artırılmıştır. Suda kızaklamanın meydana geldiği havuz giriş hızı ile üç geçiş yapılarak ortalama değer o lastiğe ait aquaplaning hızı olarak kabul edilmiştir (Şekil 8). Yönlü

desene sahip lastiğe ait test sonuçlarına Çizelge 6'da yer verilmiştir.

Çizelge 5. Asimetrik desenli lastik test sonuçları (Asymmetrical pattern tire test results)

| Dış Derinliği | 7,3 mm Dış Derinliği    |                            |
|---------------|-------------------------|----------------------------|
| Desen Tipi    | Asimetrik Desen         |                            |
|               | Havuz Giriş Hızı (km/h) | Düzlemsel Aquaplaning Hızı |
| Geçiş 1       | 60,15                   | -                          |
| Geçiş 2       | 65,27                   | -                          |
| Geçiş 3       | 69,82                   | 75,96                      |
| Geçiş 4       | 70,41                   | 74,01                      |
| Geçiş 5       | 70,22                   | 75,45                      |
| Ortalama      | 70,15                   | 75,14                      |



Şekil 8. Yönlü desenli lastik aquaplaning testi (Directional pattern tire aquaplaning test)

Çizelge 6. Yönlü Desen Aquaplaning Test Sonuçları (Directional Pattern Aquaplaning Test Results)

| Dış Derinliği | 7,3 mm Dış Derinliği    |                            |
|---------------|-------------------------|----------------------------|
| Desen Tipi    | Yönlü Desen             |                            |
|               | Havuz Giriş Hızı (km/h) | Düzlemsel Aquaplaning Hızı |
| Geçiş 1       | 60,38                   |                            |
| Geçiş 2       | 65,83                   |                            |
| Geçiş 3       | 70,05                   |                            |
| Geçiş 4       | 76,83                   |                            |
| Geçiş 5       | 79,85                   | 84,19                      |
| Geçiş 6       | 80,1                    | 83,11                      |
| Ortalama      | 79,32                   | 83,47                      |

Testlerde kullanılan lastikler, lastik dış derinlikleri 3,5 mm olacak şekilde gerekli aşındırma işlemleri uygulanarak aynı şartlar altında tekrarlanmıştır (Şekil 9).

Asimetrik desene sahip dış derinliği azaltılmış lastiklerin test sonuçları Çizelge 7'de, yönlü desene sahip dış derinliği azaltılmış lastiklerin test sonuçları ise Çizelge 8'de verilmiştir.



**Şekil 9.** Aşınmış lastik aquaplaning testleri (Worn tyre aquaplaning tests)

**Çizelge 7.** Asimetrik desenli azaltılmış dış derinliği için aquaplaning test sonuçları (Aquaplaning test results for reduced tread depth with asymmetrical pattern)

| Dış Derinliği | 3,5 mm Dış Derinliği       |                               |
|---------------|----------------------------|-------------------------------|
| Desen Tipi    | Asimetrik Desen            |                               |
|               | Havuz Giriş Hızı<br>(km/h) | Düzlemsel<br>Aquaplaning Hızı |
| Geçiş 1       | 61,18                      | -                             |
| Geçiş 2       | 66,15                      | 68,88                         |
| Geçiş 3       | 65,48                      | 69,15                         |
| Geçiş 4       | 65,27                      | 68,87                         |
| Ortalama      | 65,63                      | 68,97                         |

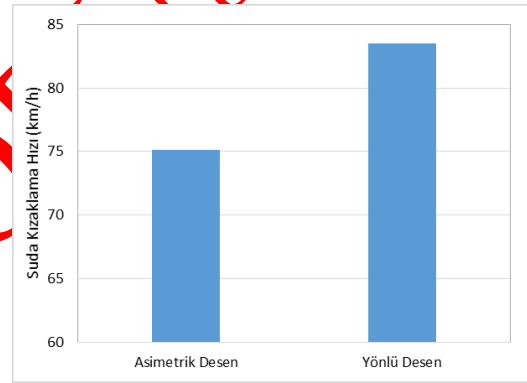
**Çizelge 8.** Yönlü desen azaltılmış dış derinliği aquaplaning test sonuçları (Directional pattern reduced tread depth aquaplaning test results)

| Dış Derinliği | 3,5 mm Dış Derinliği       |                               |
|---------------|----------------------------|-------------------------------|
| Desen Tipi    | Yönlü Desen                |                               |
|               | Havuz Giriş Hızı<br>(km/h) | Düzlemsel<br>Aquaplaning Hızı |
| Geçiş 1       | 60,75                      | -                             |
| Geçiş 2       | 65,32                      | 70,21                         |
| Geçiş 3       | 66,01                      | 69,28                         |
| Geçiş 4       | 65,55                      | 69,96                         |
| Ortalama      | 65,63                      | 69,82                         |

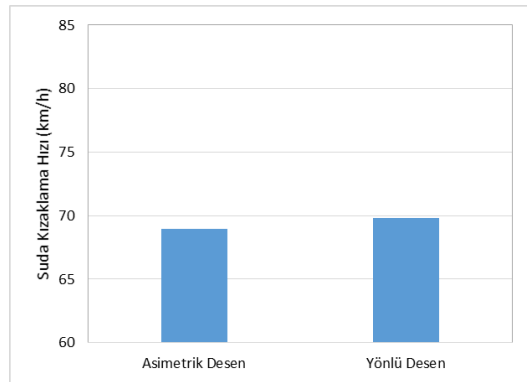
Şekil 10'da 7,3 mm dış derinliğindeki lastiklere ait suda kızaklama hız grafiği ve Şekil 11'de de azaltılmış dış derinlikli lastiklerin hız grafiği verilmiştir.

Test verileri ve Şekil 10 incelendiğinde 7,3 mm dış derinliği için yönlü desenli lastiğin asimetrik lastiğe göre %10 daha yüksek hızda suda kızaklamaya başladığı görülmektedir. Bu durumun nedeni ise yönlü desenli lastikte su boşaltma kanallarının bir yön değişimine sebep olmadan suyu daha kolay tahliye etmesinden dolayıdır. Özellikle yağışlı mevsimlerde ve ıslak zeminde yönlü desenli lastikler ile daha güvenli seyahat edilebileceği söylenebilir.

Şekil 11 incelendiğinde ise, iki desen arasında hız farkının oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak ise yönlü lastiğin aşınma sonucunda su tahliye kanallarının küçülmesi olduğu düşünülmektedir. Çünkü yönlü desene sahip olan lastikteki aşınmayla birlikte olan hız kaybı, asimetrik lastiğe göre iki katı kadardır. Aşınmış lastiklerin boş hacim oranları yaklaşık olarak aynıdır. Boşluk hacimlerinin de suda kızaklama üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir.



**Şekil 10.** 7,3 mm dış derinliği için suda kızaklama hız grafiği (Aquaplaning speed chart for 7.3 mm tread depth)

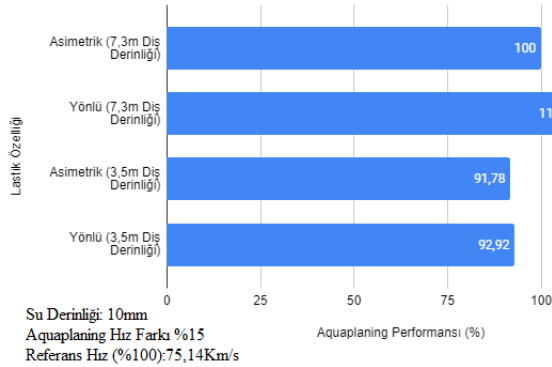


**Şekil 11.** 3,5 mm Dış Derinliği için suda kızaklama hız grafiği (Aquaplaning speed chart for 3.5 mm tread depth)

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ (DISCUSSION AND CONCLUSION)

Bu çalışma kapsamında asimetrik desenli ve yönlü desenli iki lastiğin suda kızaklaması incelenmiştir. Test süresince havuz bölümünde su beslemesi sürekli açık tutulmuş, fazlalık su havuz kenarlarından tahliye edilerek

10 mm su derinliğinin test süresince sabit kalması sağlanmıştır. Testlerde iki lastiğin iki farklı diş derinliğine sahip oldukları durum da incelenmiştir. Aynı lastikler aşındırılarak diş derinlikleri 7,2 mm'den 3,5 mm'e derinliğe düşürülmüştür. Sonuç olarak yönlü lastiğin asimetrik desenli lastiğe göre daha yüksek hızda suda kızaklamaya başladığı görülmüştür. 3,5 mm diş derinliğinde ise suda kızaklama hızı her iki lastik için de yakın değerdedir. Karşılaştırmalı teste dahil edilen lastiklerden asimetrik desenli lastiğin 7,3 mm diş derinliğinde ki 75,14 km/s suda kızaklama hızı referans (%100) olarak kabul edildiğinde yönlü tasarım lastiğin suda kızaklama hızı performansının %111,09 olduğu hesaplanmıştır. Lastik diş derinliklerinin azalması ile düşen suda kızaklama hızlarının referans alınan lastiğe kıyasla suda kızaklama performansları asimetrik lastik için %91,78 ve yönlü lastik için %92,92 olarak hesaplanmaktadır (Şekil 12). Bunun nedeni de su tahliye kanallarının geometrisinden dolayı olduğu düşünülmektedir. Örneğin, 3,5 mm diş derinliğine sahip lastiklerin boşluk oranlarının birbirine yakın olmasının suda kızaklama hızlarını etkilediği düşünülmektedir. Unutulmaması gereken bir nokta ise, boşluk hacmini artırırken lastiğin yol tutuş özelliklerinden de taviz verilmemesi olduğudur. Lastikler bir taşıtın zemin ile temasını sağlarlar ve sürüş emniyetinde önemli bir yere sahiptirler.



Şekil 12. Suda kızaklama performans grafiği (Aquaplaning performance graph)

Bu tür çalışmalar lastik üreticileri için oldukça önemli çalışmalardır. Lastiklerin geliştirilmesi konusunda fikir vermektedir. Gelecekteki çalışmalarda su tahliye kanal geometrilerinin değiştirilmesi, desenlerin değiştirilmesi planlanmaktadır, böylece lastik üzerindeki boşluk alanlarının yüksek kalması planlanmaktadır. Lastik basıncı, lastik yuvarlanma direnci gibi parametreler de dikkate alınarak gelecekteki çalışmalar yürütülebilecektir. Ayrıca, hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımları ile de geliştirme çalışmaları desteklenerek maliyetler azaltılabilir.

## ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

## YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Çağlar AYMELEK:** Testlerin yapılmasında görev almış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazımında görev almıştır.

**Nureddin DİNLER:** Sonuçların yorumlanması ve makale yazım sürecinde görev almıştır.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Çetinkaya, S., "Taşıt Mekanikliği", Genişletilmiş 9. Basım, Nobel Yayınevi, Ankara, (2023).
- [2] Hermange C., Todoroff V., Biesse F., Le-Chenadec Y., "Experimental investigation of the leading parameters influencing the hydroplaning phenomenon", *Vehicle System Dynamics*, 60: 2375–2392, (2022).
- [3] Horne, W., Dreher, R., "Phenomena of Pneumatic Tire Hydroplaning. National Aeronautics and Space Administration", *NASA Technical Note NASA TN D-2056*, (1963).
- [4] Regulation (EC) No 1222/2009 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2009 on the labelling of tyres with respect to fuel efficiency and other essential parameters, (2009). (URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32009R1222>).
- [5] Berge T., Mioduszewski P., Hałucha M., Bohatkiewicz J., "ISO test track influence on the EU tyre label noise value", *Applied Acoustics*, 228: 110315, (2025).
- [6] Spitzhüttl F., Goizet F., Unger T., Biesse F., "The real impact of full hydroplaning on driving safety", *Accident Analysis and Prevention*, 138: 1-13, 105458, (2020).
- [7] Zhilin, Y. D., Kharaldin, N. A., Cvetkov, P. S., Stepanov, A. V., Aleshin, M. V., Borovkov, A. I., "Tire tread optimization method to improve to push aside the water from the road contact patch", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 986:012037, (2020).
- [8] Yeager, R. W., Tuttle, J. L., "Testing and analysis of tire hydroplaning", *SAE Transactions*, 1601-1611, (1972).
- [9] Frolov, A., Leontiev, D., Don, E., "Regarding the issue of aquaplaning and the interaction of a car tire with the road surface through a layer of water", *Automobile Transport*, 53: 29-36, (2023).
- [10] Fiorentin, T. A., Santos, C. M., "Experimental Statistical Analysis of Vehicle Tires Conservation Status", *SAE Technical Paper*, 2021-36-0071, (2022).

- [11] Khodja, A. B., "Numerical and experimental methodologies for understanding and predicting the hydroplaning phenomenon of tires by numerical coupled SPH-Finite Elements simulations and PIV measurements", Doctoral Dissertation, École centrale de Nantes, (2022).
- [12] Maleska, M., Petry, F., Fehr, D., Schuhmann, W., Böhle, M., "Longitudinal hydroplaning performance of passenger car tires", **Vehicle System Dynamics**, 59: 415-432, (2021).
- [13] Horne WB, Yager TJ, Ivey DL. Recent studies to investigate effects of tire footprint aspect ratio on dynamic hydroplaning speed. In: Pottinger MG, Yager TJ, editors. The tire pavement interface. West Conshohocken, PA: ASTM International; 26-46, (1986).
- [14] Fichtinger, A., Bárdos, Á., Szalay, Z., Edelmann, J., Plöchl, M., "Pneumatic Tyre Aquaplaning: an Experimental Investigation on Manifestations and Influences of Appearance", **Acta Polytechnica Hungarica**, 19: 45-65, (2022).
- [15] Blandina, G., Fassio, D., "An Active Safety System Able to Counter Aquaplaning, Integrated with Sensorized Tires, ADAS and 5G Technology for both Human-Driven and Autonomous Vehicles", **SAE Technical Paper**, 2020-24-0019, 2020.
- [16] Jindřich, F., Motl, J., Mikulec, R., Moravcová, P., Bucsuházy, K., "Aquaplaning-preventing device based on blowing a wet road with a stream of air", **Transportation Research Orocedia**, 44: 290-296, (2020).
- [17] Cho J.R., Lee H.W., Sohn J.S., Kim G.J., Woob J.S., "Numerical investigation of hydroplaning characteristics of three-dimensional patterned tire", **European Journal of Mechanics A/Solids**, 25: 914-926, (2006).
- [18] Fwa, T. F., Kumar, S. S., Anupam, K., Ong, G. P., "Effectiveness of Tire-Tread Patterns in Reducing the Risk of Hydroplaning", **Transportation Research Record**, 2094: 91-102, (2009).
- [19] Aboelsaoud, M., Taha, A. A., Elazmi, M. A., Elgamal, H., "Comparative analysis of Hydroplaning in Electric and ICE Vehicles", **2022 IEEE 2nd International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (MI-STA)**, 59-63, (2022).
- [20] Nazari, A., Chen, L., Battaglia, F., Ferris, J. B., Flintsch, G., Taheri, S., "Prediction of Hydroplaning Potential Using Fully Coupled Finite Element-Computational Fluid Dynamics Tire Models" **Journal of Fluids Engineering**, 142(10): 101202, (2020).
- [21] Genc, S., Savcı, A., "Comparison of Water Discharge Performance of Motorcycle Tires with Different Tread Patterns by Applying CFD (Computational Fluid Dynamics) Technique", **The European Journal of Research and Development**, 3: 1-10, (2023).
- [22] Guo X., Zhang C., Cui B., Wang D., Tsai J., "Analysis of Impact of Transverse Slope on Hydroplaning Risk Level", **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 96: 2310-2319, (2013).
- [23] Barlacu A., Răcănel C., Barlacu A., 2018, "Preventing aquaplaning phenomenon through technical solutions", **Gradevinar**, 70: 1057-1064, (2018).
- [24] Zhao K., Liu P., Qu Q., Ma P., Hu T., "Flow physics and chine control of the water spray generated by an aircraft rigid tire rolling on contaminated runways", **Aerospace Science and Technology**, 72: 49-62, (2018).
- [25] Vilsan, A., Sandu, C., "Hydroplaning of Tires: A Review of Numerical Modeling and Novel Sensing Methods", **Journal of Autonomous Vehicles and Systems**, 3(3): 031001, (2023).
- [26] Dehnad M.H., Yazdi A., "A review of numerical and experimental studies on hydroplaning of vehicles in motion on road surfaces", **Results in Engineering**, 23: 1-10, (2024).
- [27] Oponeo, Tyre Tread Patterns, Construction and Types, <https://www.oponeo.ie/blog/tread-pattern-construction-and-types>, Erişim Tarihi: 20.09.2024, (2020).
- [28] Kistler, "WPT Sensors: wheel pulse transducers data sheet", <https://www.kistler.com/INT/en/cp/wheel-pulse-transducers-cwpta/P000085>, (2024).
- [29] Racelogic, 'VBOX 3i Dual Antenna Data Sheet', Erişim Tarihi: 24.09.2024, [https://www.racelogic.co.uk/\\_downloads/vbox/Datasheets/Data\\_Loggers/RLVB3iD\\_Data.pdf](https://www.racelogic.co.uk/_downloads/vbox/Datasheets/Data_Loggers/RLVB3iD_Data.pdf) (2024).
- [30] Petlas Lastik Sanayi ve Tic. A.Ş., Türkiye'in İlk Ve Tek Lastik Test Pisti, <https://petlas.com.tr/ilkler/Turkiye-nin-ilk-ve-tek-%C2%A0lastik-test-pisti>, Erişim Tarihi: 22.09.2024, (2024).
- [31] ACEA/ETRTO Tyre Performance Aggregation Study, UNECE, <https://unece.org/sites/default/files/2022-02/GRBP-75-20e-Rev.1.pdf>, (2022).
- [32] Racelogic, 'Aquaplaning Software', Erişim Tarihi: 24.09.2024 [https://www.racelogic.co.uk/\\_downloads/vbox/Applications\\_Notes/Aquaplaning%20Software.pdf](https://www.racelogic.co.uk/_downloads/vbox/Applications_Notes/Aquaplaning%20Software.pdf), (2024).