Formula 1'in "Yer Uçakları"

Gürkan Caner Birer [*Bilgisayar Mühendisi*

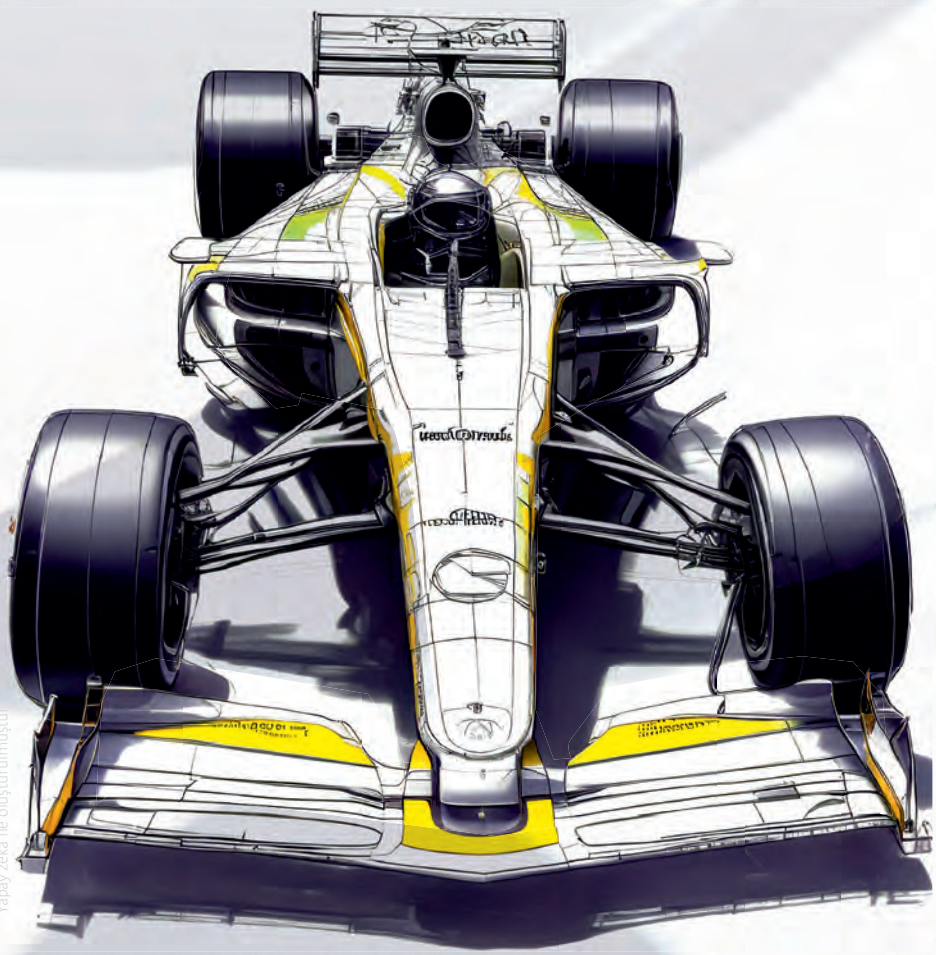
Formula 1, hızın ötesinde bir dünya. Her saniye, her vida, her karar büyük bir anlam taşıyor. Bu spor, bilim ve mühendisliğin dans ettiği bir sahne. Riskler devasa, hata payı ise yok denecek kadar az. İşte bu yüzden Formula 1, saatte 370 kilometre hızla mükemmelliği arayan eşsiz bir gösteri. Âdeta bir hız senfonisi! *Bilim ve Teknik* Mayıs 2025 sayısında yayımlanan yazıda Formula 1'in temellerini ve uygulanmaya başlanan bazı kural değişikliklerini ele almıştık. Serinin bu ayki bölümünde ise özellikle son dönemdeki yeniliklere odaklanacağız. Formula 1, son dönemde de teknolojik yeniliklerin öncüsü olmaya devam ediyor. Araç tasarımından yapay zekâ kullanımına kadar pek çok alanda Formula 1 takımları sınırları zorluyor. Günümüz Formula 1 araçlarını bu kadar özel kılan başlıca teknolojik gelişmeleri gelin hep beraber inceleyelim.

da-kuk / iStock

Jon Cheyrou / Alamy

Araç Tasarımı ve Mühendislik

Formula 1 araçları, dünyanın en gelişmiş kara araçları olarak kabul edilir. Formula 1 araçlarının tasarımı ve mühendisliği alanında birkaç önemli etken öne çıkar. Bunlardan ilki zemin etkisi ve aerodinamik tasarım. Formula 1 araçlarının piste daha iyi tutunmasını sağlayan zemin etkisinin kullanımı 1982'de yasaklanmıştı. 2022'de yeniden uygulanmaya başlanan zemin etkisi prensibi sayesinde araçlara etki eden yere basma kuvvetinin büyük kısmı aracın altından geçen hava akımıyla üretiliyor. 2023 ve 2024 sezonlarında takımlar araç tasarımlarını bu prensipten daha verimli yararlanacak şekilde geliştirdi. 2025 araçları ise aracın tabanındaki venturi adı verilen kanallar ve araç tabanının arka kısmındaki difüzörler (aracın altından geçen havayı hızlandıran aerodinamik bileşen) sayesinde daha az türbülans oluşturarak daha yüksek yere basma kuvveti üretebiliyor. Örneğin bu alanda öncü olan Red Bull takımı, 2022'den sonra mükemmel bir taban aerodinamiği konsepti geliştirmeyi başardı. Diğer takımlar da yeni yan etek tasarımları, farklı sidepod konseptleri deneyerek en dengeli ve verimli aerodinamik tasarımı belirlemeye çalıştı. Araç hareket ederken havanın üzerinde oluşturduğu yükleri belirlemeyi amaçlayan hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) simülasyonları ve rüzgâr tüneli testleri ile her aerodinamik tasarım güncellemesinin araç üzerindeki etkileri belirleniyor. Bu sayede takım bütçeleri daha verimli kullanılabiliyor.



Yapay zeka ile oluşturulmuştur

Önceki yazımızda maliyetleri kontrol altında tutmak için son yıllarda bazı parçaların tüm takımlar için standartlaştırıldığından bahsetmiştik. Örneğin BBS firması tarafından üretilen 18 inç boyutundaki standart jantlar 2022'de tanıtıldı.

Bunun yanı sıra standart bir merkezi elektronik kontrol birimi (ECU) yıllardır kullanılıyor. 2025'e gelindiğinde vites kutusu iç mekanizmaları ve yakıt pompaları gibi kritik öneme sahip bazı parçalar da tüm takımlara aynı tedarikçi tarafından sağlanıyor. Bu yaklaşım, takımlara güvenilir bileşenler sunarken rekabetin odağının esas olarak aracın aerodinamik ve mekanik tasarımı olmasını sağlıyor. Mühendisler artık enerjilerini süspansiyon geometrisi veya enerji geri kazanım stratejileri gibi gerçekten fark yaratacak alanlara yönlendirebiliyor.

Formula 1, her zaman malzeme bilimi alanında en ileri teknolojilerin test edildiği bir platform oldu. Araç iskeletinin karbon fiber malzemeden yekpare olarak üretildiği, yüksek yük dayanımına sahip ve düşük kütleli karbon fiber monokok şasi, ilk defa 1981 yılında McLaren takımı tarafından Formula 1 araçlarında kullanılmıştı. Günümüzde ise karbon kompozitler daha hafif, daha dayanıklı ve daha sürdürülebilir hâle geliyor. Takımlar, üretimden arta kalan karbon fiber kırpıntılarını geri dönüştürüp aracın bazı diğer parçalarını bu atık malzemeden üretme yöntemleri üzerine araştırmalar yapıyor.

Ayrıca üretim yöntemlerinde de yenilikler hayata geçiriliyor. Örneğin 3D baskı teknolojisi

Sidepod, Formula 1 araçlarının yan tarafında bulunan, motorun soğutulmasının yanı sıra araca etki eden yere basma kuvvetini artıran bölümlerdir.

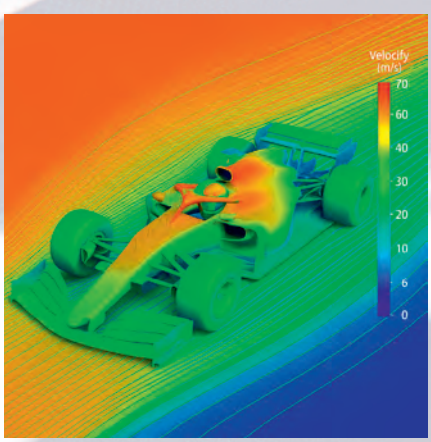
Karbon fiber Formula 1'de yaygın kullanılıyor.

Formula 1 üretim süreçlerinde devrim niteliğinde değişimlere neden oldu. Karmaşık metal parçalar artık günler içinde yazıcıdan basılıp test edilebiliyor. Böylece prototip parça geliştirme süreci muazzam derecede hızlandı. Örneğin bir kanatçık tasarımında küçük bir değişiklik, haftalar yerine günler içinde uygulanabiliyor.

2022 kural değişiklikleri ile aracın süspansiyonunun hidrolojik ve elektronik sistemlerle gerçek zamanlı olarak kontrol edildiği aktif süspansiyon sistemleri yasaklanmıştı. Yüksek performans sağlamasına rağmen karmaşık ve yüksek maliyetli olan bu sistemlerin yerine takımlar, yenilikçi teknolojiler kullanarak pasif süspansiyon sistemleri geliştiriyor. 2023'te bazı ekipler, anti-dive ve anti-squat

olarak isimlendirilen, frenleme ve hızlanma sırasında aracın öne ve arkaya doğru aşırı derecede alçalmasını engelleyen süspansiyon tasarımlarına yöneldi. Hidrolik dolgu elemanları ve inerter olarak isimlendirilen elemanlar kullanarak araç dengesini iyileştirmeye çalıştılar. 2025 sezonunda ise takımlar, bu bilgileri kullanarak daha stabil bir sürüş elde etmek için ön ve arka süspansiyon sisteminin bağlantı noktalarında çok hassas ayarlamalar yapmayı hedefliyor. Daha hassas tepki veren direksiyon sistemleri sayesinde pilotlar, yüksek yere basma kuvveti üreten bu araçları milimetrik hassasiyetle kontrol edebiliyor.

Veri analizi için ileri düzey sistemler kullanılıyor



Formula 1 araçlarında her bir parça ve tasarıma yönelik her yenilik, hız ve güvenilirlik için optimize ediliyor. Araç geliştirme ekipleri sadece mühendislerden değil, veri bilimcilerinden malzeme bilimcilere kadar farklı alanlardan uzmanları barındırıyor.

Veri Analizi ve Yapay Zekâ Entegrasyonu

Son yıllarda Formula 1'de yaşanan önemli ilerlemeler büyük oranda veri analizi ve yapay zekâ kullanımına dayanıyor. Yarış esnasında 300 farklı sensör, aracın her noktasından hız, motor parametreleri, fren sıcaklığı, lastik basıncı, süspansiyon hareketi gibi verileri topluyor. Bu veriler kablosuz telemetri sistemleri ile anlık olarak pistteki takım garajına ve ana takım merkezine aktarılıyor. Öyle ki her bir araç saniyede bir milyonun üzerinde veri gönderebiliyor. Bu devasa veri akışı, yapay zekâ destekli algoritmalarla işlenerek hızlı ve doğru kararlar alabilmeleri için mühendislere destek sağlıyor. Örneğin anlık yakıt tüketimi verileri ve tahmin modelleri sayesinde bir pilotun yarışı bitirmek için ne kadar yakıt tasarrufu yapması gerektiği gerçek zamanlı olarak hesaplanabiliyor.

Bu tür veriler pistlerin dijital ikizlerinin oluşturulmasında da kullanılıyor. Formula 1 takımları, her yarış öncesinde o pistin dijital ikizinde binlerce simülasyon yapıyor. Yapay zekâ, simülasyonlarda sanal pilotların veya rakip pilotların olası sürüşlerinin taklit edilmesinde de kullanılıyor. Böylece gerçek

Bir Formula 1 aracının direksiyonunda sürücünün aracın dinamiklerini değiştirmesini sağlayan birçok ayar düğmesi bulunur

Yapay zeka ile oluşturulmuştur
Yapay zeka ile oluşturulmuştur

Araç tasarımları rüzgâr tünelinde test ediliyor

Yapay zeka ile oluşturulmuştur

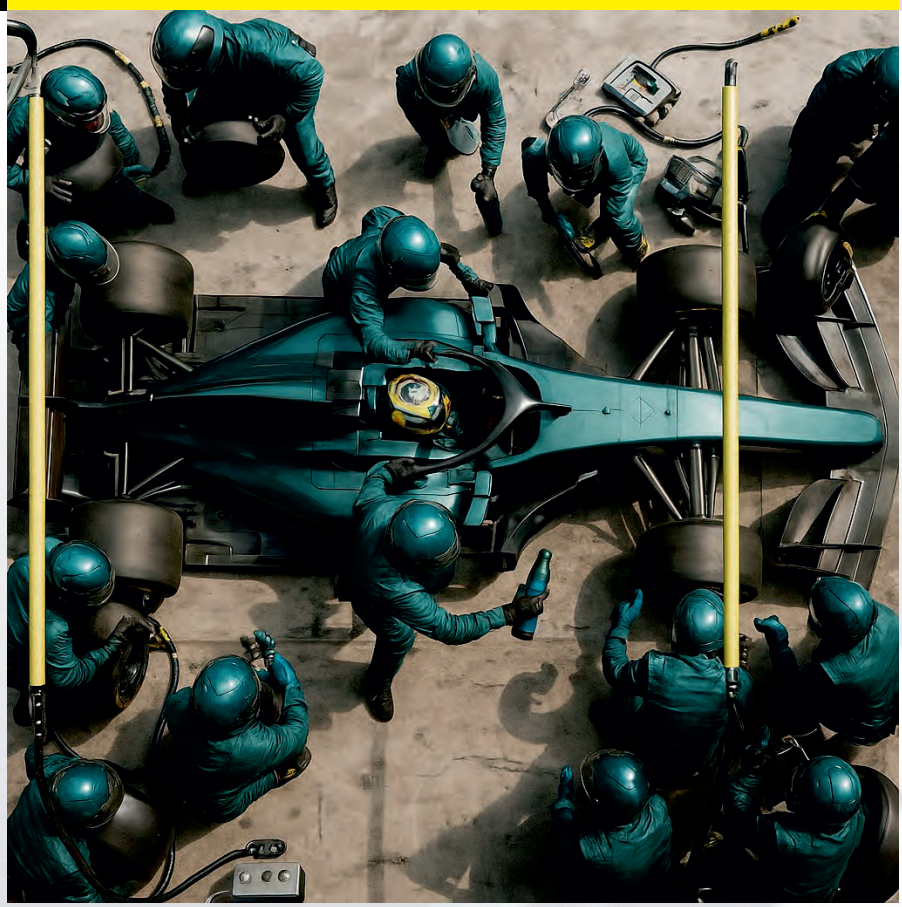
yarıştan önce olasılıklar daha iyi öngörülebiliyor. Ayrıca yapay zekâ, simülatörde farklı senaryolar sunarak pilotun reflekslerini ve karar mekanizmalarını test ediyor.

Yapay zeka ile oluşturulmuştur

Sürücüler yarış öncesinde simülasyonda defalarca antrenman yapıyor.

Simülasyonlara ek olarak telemetri verilerini analiz eden yapay zekâ sistemleri, her bir pist için en ideal aerodinamik ve mekanik ayarları önerebiliyor. Kanat açısı, süspansiyon sertliği, diferansiyel haritası gibi onlarca parametre en iyi tur zamanını verecek şekilde yapay zekâ tarafından ayarlanabiliyor. Geçmiş yarışlardan elde edilen devasa büyüklükteki verilerin gerçek zamanlı telemetri verileriyle birleşimiyle yapay zekâ sistemleri, yarış esnasında pit stop zamanlaması, lastik aşınma tahmini ve güvenlik aracı senaryoları konusunda daha isabetli önerilerde bulunabiliyor. Rakiplerin olası hamlelerini tahmin eden bu akıllı sistemler, pistteki takım garajında strateji uzmanlarının karar alma süreçlerinde destek sağlıyor.

Ayrıca yapay zekâ teknolojileri; teknolojileri, farklı motor modlarını (örneğin antrenman, sıralama, yarış, güvenlik aracının pistte olduğu zamanlar) ve enerji geri kazanımını ayarlayarak araçların daha az yakıtla daha uzun süre maksimum performans göstermesine yardımcı oluyor. 2025 itibarıyla Uluslararası Otomobil Federasyonu (FIA) da yapay zekâyı hakem kararlarına yardımcı olmak amacıyla kullanmaya yönelik çalışmalar yapıyor. Özellikle pist limitlerinin aşılması gibi nesnel kural ihlallerini otomatik saptamak için kamera ve sensör verilerini analiz eden yapay zekâ destekli sistemler devreye girmeye başladı. Çünkü bazı yarışlarda bu konulardaki anlaşmazlıklar ciddi krizlere neden olabiliyor. Örneğin 2023 Avusturya Grand Prix'inde yüzlerce kural ihlali manuel olarak incelenmiş ve hakemler zamanında karar vermekte güçlük çekmişti. Bu sorunlara hızlı ve etkili bir çözüm bulmak için yarışlar sırasındaki tehlikeli sürüş, yarış içi çarpışma gibi olayların değerlendirilmesinde, geçmişteki binlerce benzer durumda uygulanan prosedürleri analiz ederek hakemlere önerilerde bulunan bir algoritma geliştirilmesi planlanıyor.



Yapay zeka ile oluşturulmuştur

Formula 1 takımları yapay zekâ destekli veri analizi sayesinde, pistteki gelişmeleri ve olası senaryoları adeta bir satranç ustası gibi önceden ön görebiliyor. Artık insan kararlarının ağırlıklı olduğu sezgiye dayalı yarış kazanma dönemi, yerini veri analizine dayalı yarış kazanma dönemine bırakmış durumda. Yine de insan faktörü tamamen yok sayılamaz. Veriyi yorumlamak ve son kararı vermek hâlâ strateji ekipleri ve pilotların inisiyatifinde. Ancak net olan şu ki yapay zekâ, takımların sessiz bir üyesi olarak Formula 1'in ayrılmaz bir parçası hâline gelmiş durumda.

Pit Stop Teknolojileri

Formula 1'de yarış kazandıran unsurlardan biri de pit stop performansıdır. Yarış sırasında araçların pit alanı olarak isimlendirilen servis bölgesine gelerek birkaç saniye içinde dört lastiğin değiştirildiği ve araçta küçük ayar değişikliklerinin yapıldığı bu operasyonlar, mühendislik ve ekip çalışmasının en çarpıcı uygulamalarından biridir. Son yıllarda pit stop teknolojilerinde de önemli gelişmeler yaşanıyor.

Formula 1'de pit stoplar sırasında takımın mekanik teknikerleri ve uzmanları, dört lastiği birden birkaç saniye içinde değiştiriyor. Ekip üyeleri arasındaki hassas koordinasyon ve kullanılan gelişmiş ekipmanlar sayesinde pit stop süreleri geçmiş yıllara göre önemli oranda kısaldı.

2010'da araçlara yakıt ikmali yapılmasının yasaklanmasından beri pit stoplarda tamamen lastik değişimine odaklanılıyor. Günümüzde başarılı bir ekip, dört lastiği 2 saniyenin altında bir sürede değiştirebiliyor. Hatta en kısa pit stop rekoru ~1,8 saniyeye kadar indi. Pit stop sürelerini bu aralıkta tutabilmek için yaklaşık 20 kişilik bir ekip senkronize şekilde hareket ediyor. Pilot, aracını pit alanında belirlenen sınırların tam içinde durduruyor. Biraz önde veya geride durdurması ciddi bir zaman kaybına neden olabiliyor. Ayrıca kuralların izin verdiği en yüksek hızla pit bölgesine girmesi gerekiyor, eğer fazla yavaşlarsa ciddi zaman kaybedebiliyor. Araç durur durmaz ön ve arka krikocular arabayı kaldırıyor, teknikerler bijon sıkma tabancacıları ile somunları çıkarıyor, lastik taşıyıcılar eski lastikleri çıkarıp yenilerini takıyor, tabancalar ile somunlar sıkılıyor ve teknikerler tüm işlemlerin tamamlandığını onaylamak için ellerini kaldırıyor. Bütün bu süreçler yaklaşık 2 saniyede bitiyor. 2016'dan bu yana pit stopların süresi %40'tan fazla kısaldı. Bu başarının ardında ekiplerin çok sayıda antrenman yapması ve ileri teknoloji ürünü ekipmanların kullanılması var. Lastik somunlarını söküp takmakta kullanılan ve basınçlı

Yapay zeka ile oluşturulmuştur

hava ile çalışan pnömatik bijon tabancaları, pit stop teknolojisinin en kritik bileşenlerinden biri. Yıllar içinde çok gelişen Formula 1 bijon tabancalarının günümüzde kullanılan versiyonları, dakikada 15.000 devir hızla dönebilen mekanizmalara ve 3.000 Nm tork üretebilen motorlara sahip. Hem hafif hem de dayanıklı olmaları için gövdeleri alüminyum alaşımlardan, bazı yapısal bileşenleri ise titanyum ve karbon fiberden üretiliyor. Yeni nesil tabancalarda elektronik kontrollü mekanizmalar var. Örneğin sökme ve takma sırasında tabancanın dönüş yönünü değiştirmek için eskiden bir kolu elle itmek gerekirken şimdi E-Shuttle adlı elektronik bir aktüatör, bunu bir düğme ile anında yapıyor. Bu da saliseler ölçeğinde de olsa zaman kazanılması anlamına geliyor. Dahası bu tabancalarda sensörler ve bu verileri aktaran telemetri sistemleri bulunuyor. Sıkma torkunu ve kilitlenip kilitlenmediğini algılayıp garajdaki takım ekiplerine veri gönderebiliyor. Böylece her pit stop sonrası ekipler, ekipmanların performansını analiz edip geliştirebiliyor. Bu sayede pit stoplar sadece daha hızlı değil, aynı zamanda daha tutarlı ve güvenli

Modern Formula 1 bijon tabancaları, üzerlerindeki sensörler ve elektronik kontrol üniteleri sayesinde, her pit stopta milisaniye ölçeğinde zaman kazandırarak pitstop sürelerinin kısaltılmasına katkıda bulunuyor.

hâle geldi. Yani takımların hedefi tek seferlik en hızlı pit stopu yapmak değil, her pit stopu çok hızlı yapmak.

Son yıllarda mekanik ekipmanlardaki yeniliklerin yanı sıra pit ekibinin koordinasyonunu sağlayan sistemler de gelişti. Eskiden pit stop tamamlandığında aracın hareket etmesi için "lolipop" adı verilen tabelalar aracılığıyla kalkış onayı manuel olarak veriliyordu. Günümüzde ise takımlar, her lastik için değiştirme işleminin tamamlandığını sensörlerle algılayan "yeşil ışık" sistemleri kullanıyor. Dört lastikten de sinyal geldiğinde araç otomatik olarak serbest bırakılıyor. Ayrıca 2021'de FIA, güvenlik açısından pit stoplarda kullanılan teknolojilerin insanların reaksiyon süresinden daha hızlı tepki vermesini engellemek amacıyla yeni kurallar getirdi. Takımlar pit stop antrenmanlarında artırılmış gerçeklik (AR) ve sanal gerçeklik (VR) teknolojilerini de kullanıyor. Örneğin mekanikerler, sanal gerçeklik gözlükleri ile sanal ortamda pit stop tatbikatları yaparak kas hafızalarını geliştiriyor.

Pit stoplarda sadece lastikler değiştirilmiyor, gerektiğinde araçta küçük onarımlar ve ayar değişiklikleri de yapılabiliyor. 2023'te tanıtılan bazı parçaların modüler olması sayesinde yarışta hasar alan ön kanat uç plakası veya burun konisi gibi parçalar pit stoplar sırasında saniyeler içinde değiştirilebiliyor. Ayrıca küçük ayar değişiklikleri, örneğin ön kanat

açısı ayarları yine pit stop sırasında saniyeler içinde yapılabiliyor. Tüm bu dar kapsamlı işlemler, pit stop süresini önemli ölçüde artırmadan gerçekleştiriliyor.

Bu teknolojik ve operasyonel gelişmeler sonucunda pit stoplar, Formula 1 izleyicileri için yarışların en ilgi çekici kısımlarından biri hâline geldi. Milisaniyelerin hesaba katıldığı bu süreçte kazanılan veya kaybedilen zaman, araçların yarış sırasındaki sıralamalarını yükseltmelerine ya da mevcut pozisyonlarını kaybetmelerine neden olabiliyor.

Güvenlik İyileştirmeleri

Formula 1, geçmişte yaşanan kazalardan ve teknik sorunlardan alınan dersler sayesinde bugün çok daha güvenli bir spor hâline geldi. Her ciddi kazadan sonra güvenlik standartları gözden geçirilip tespit edilen risklerin azaltılması amacıyla kurallarda, araçlarda ve pistlerde yenilikler yapılıyor. Son dönemde de güvenlik ile ilgili teknolojilerinde önemli ilerlemeler kaydedildi.

Halo adı verilen kavisli kokpit koruma çerçevesi, 2018'den itibaren Formula 1 araçlarına eklendi. Titanyum alaşımdan üretilen bu çerçeve, kokpitteki sürücülerin kafasını çarpışmalar sırasında araçlardan kopan tehlikeli parçalardan ve aracın üzerine devrilen diğer araçlardan korumayı amaçlıyor.

Üç noktadan şasiye bağlı olan titanyum yapı, sürücünün kaskının etrafında bir koruma çerçevesi oluşturuyor. Kullanılmaya başlandığı ilk zamanlarda araçların estetiğini bozduğu ve sürücülerin görüş alanını daralttığı tartışmalarına neden olsa da halo sisteminin önemi kısa sürede anlaşıldı. Özellikle 2020 Bahreyn Gran Prix'inde Haas takımından Romain Grosjean'ın kazasında ve 2022 İngiltere Grand Prix'inde Alfa Romeo takımından Zhou Guanyu'nun takla atan aracında bu sistem sürücülerin hayatını kurtardı. Titanyumdan üretilen çerçeve yaklaşık 12 tonluk bir yüke dayanabiliyor. Ayrıca diğer motor sporlarında da halo veya benzeri yapıları kullanılmaya başlandı.

Formula 1 araçlarında sürücünün içinde bulunduğu kokpit karbon fiber monokok şasiyle bütünleşik hâldedir. Aracın üst kısmında, kokpitin gerisinde yer alan devrilme halkası, araç takla attığında sürücünün başının yere veya başka bir yüzeye doğrudan temas etmesini engeller. Bu kısım yıllar içerisinde sürekli güçlendirilse de 2022 İngiltere Grand Prix'indeki kazada Zhou Guanyu'nun aracının devrilme halkası kırıldı. Bu kazadan sonra FIA, 2023 için tasarım kurallarını sıkılaştırdı. Yere çarptığında kopmaması için sivri tasarım, yuvarlatılmış bir tasarımla değiştirildi. Ayrıca devrilme halkasına yük uygulayarak gerçekleştirilen homologasyon testleri sadece dikey yönde değil, farklı açılarla uygulanmaya başlandı ve testlerde uygulanan kuvvetin büyüklüğü artırıldı. Önden alınan darbelere karşı ek yük testleri getirildi. Bu sayede araç takla attığında veya ters bir şekilde sürüklendiğinde bile pilotun başının etrafındaki kafesin sağlam kalması garanti altına alındı. Günümüzde Formula 1 araçlarının şasileri o kadar dayanıklı ki kazalarda araçlar parçalanırken pilotun bulunduğu kokpit bölümü bütün hâlde kalıyor.

Halo bulunmayan eski F1 aracı ve modern F1 aracı

Yapay zeka ile oluşturulmuştur

Güvenlik sadece aracın dayanıklılığı ile değil, yangın gibi risklere karşı alınan önlemlerle de artırılıyor. Pilotların tulumları, tulumların içine giydikleri kıyafetleri ve eldivenleri ileri teknoloji Nomex kumaşlardan üretiliyor ve 800 °C'ye ulaşan yüksek sıcaklıklara 10 saniyeden uzun dayanabilecek şekilde test ediliyor. 2020'deki Grosjean'ın kazasıyla birlikte pilot tulumlarının alev direnci süresi 20 saniyeye çıkarıldı. Eldiven ve ayakkabılara da aynı standardın uygulanması zorunlu kılındı.

Ayrıca içinde esnek bir sensör barındıran biyometrik eldivenler pilotun nabız, oksijen satürasyonu gibi hayati verilerini gerçek zamanlı olarak pistte bulunan sağlık ekibine iletiyor. Olası bir kaza anında kurtarma ekipleri, pilotun bilincinin kapalı olup olmadığını, kalp atışı hızını takip edebiliyor. Kasklar da sürekli geliştiriliyor. FIA'nın 2019'da yürürlüğe koyduğu yeni nesil kask standardı ile vizör açıklığı küçültüldü ve kaskı oluşturan malzeme katmanları güçlendirildi. 2009 Macaristan Grand Prix'inde Ferrari takımından Felipe Massa'nın kafasına, öndeki bir araçtan kopan, süspansiyon sistemine bağlı 800 gramlık bir yay parçasının saatte yaklaşık 250 km hızla çarpmasından sonra kaskların vizörlerinin yüzeyine bir güçlendirme şeridi eklendi ve yüksek hızda çarpan küçük parçalara karşı dayanıklı olacak şekilde kaskın darbe dayanımı artırıldı.

Sanal güvenlik aracı (VSC) devredeyken sürücülerin, pistteki belirli referans noktalarına ulaşırken önceden belirlenmiş zaman sınırını aşmamaları gerekir. Ayrıca araçların birbirlerini geçmeleri yasaktır.

XPB Images Ltd / Alamy

Yapay zeka ile oluşturulmuştur

Araçların ön, arka ve yanlarında bulunan ve çarpışma kutusu olarak isimlendirilen yapılar Formula 1'deki en önemli güvenlik elemanlarından biridir. Arı peteklerine benzeyen altıgen yapılardan oluşan karbon fiber malzemeler, belirli bir darbede kontrollü şekilde ezilerek enerjiyi sönümler ve darbenin şasiye iletilmesini engeller. FIA, her sezon ön ve arka darbe testlerinin standartlarını yükseltiyor. Örneğin 2025 sezonunda araçların burun konisi %15 daha fazla enerjiyi sönümleyebiliyor. Ayrıca tekerleklerin kazada kopmasını önleyen çelik halatlı emniyet kayışları artık her teker için ikişer adet takılıyor ve çok daha sağlam. Bu sayede 2010'lu yıllarda sıkça karşılaşılan, kazalar sırasında tekerleklerin fırlaması durumu neredeyse son buldu.

Pist güvenlik ekipmanları da her geçen yıl gelişiyor. Eski lastik bariyerlerin yerine geçen TechPro bariyerler, darbeyi daha iyi emiyor. Araçlara etki eden G kuvvetinin yüksek olduğu kazalarda bariyerler ve araç içi sensörler otomatik olarak yarış kontrol merkezine sinyal gönderiyor.

Formula 1 yönetimi, yarış esnasında riskli durumları azaltmak için sanal güvenlik aracı (VSC) ve tamamen otonom güvenlik aracı yazılımları üzerinde çalışıyor. 2015 Japonya Grand Prix'inde Marussia takımından Jules Bianchi'nin kazasından sonra devreye giren sanal güvenlik aracı uygulaması, pistte çift sarı bayrakla gösterilen tehlike durumlarında tüm araçları otomatik olarak yavaşlatıyor.

2025'te VSC'nin daha da hassas çalışması, pilotların belirlenen yavaşlama oranını tam olarak tutturması için otomatik hız sınırlama sistemlerine benzeyen bir uygulama test ediliyor.

Araçların yarış pistinden ayrılıp pit stop alanına ulaşmak için kullandıkları pit şeridinde hareket ederken ya da güvenlik aracının devrede olduğu durumlarda sürücülerin hız sınırına uyup uymadıkları GPS ve sensör verileriyle elektronik olarak denetleniyor. Hız limitleri ihlal edildiğinde otomatik olarak tespit ediliyor ve sürücülere ceza uygulanabiliyor.

Güvenlik önlemlerindeki bu yenilikler sayesinde Formula 1, tarihin en güvenli dönemini yaşıyor. Yüksek hızlarda yarışmanın doğası nedeniyle risk tamamen sıfıra indirilemese de her yeni teknoloji ve kural, riskleri kabul edilebilir en düşük seviyeye çekmeyi hedefliyor. "Önce güvenlik", modern Formula 1'in temel prensibi hâline gelmiş durumda.

Yakıt ve Enerji Verimliliği

Son yıllarda Formula 1'in teknolojik gelişiminde rolü olan en dikkat çekici alanlarından biri de yakıt verimliliği ve yönetimi oldu. Hibrit motorların 2014'te kullanılmasıyla Formula 1'de sadece hız rekorları değil verimlilik rekorları da kırılmaya başladı.

Formula 1 araçlarında kullanılan mevcut güç üniteleri, içten yanmalı motorlar ile elektrik motorlarını birleştiren hibrit bir yapıdadır. 1,6 litre V6 turbo motorlarda yakılan yakıtın enerjiye dönüştürülme verimi %50'nin üzerine çıkarılarak termal verimlilik konusunda daha önce erişilemeyen bir verimlilik değerine ulaşıldı. Geçmişte kullanılan V8 motorlarında bu oran %30 civarındaydı. Günlük hayatta kullandığımız normal araçların motorlarında ise %25-30 civarındadır. Yüksek verimlilik aynı zamanda daha az yakıt tüketimi ve aynı miktarda yakıtla daha fazla güç üretilmesi anlamına geliyor. Nitekim bu hibrit motorlar yaklaşık 1.000 beygir güç üretebilirken bunu 10 yıl önceki muadillerinden çok daha az yakıtla yapabiliyor.

Formula 1 aracının yakıt deposu

Formula 1'de günümüzde kullanılan hibrit motorlarda iki temel enerji geri kazanım sistemi bulunuyor: MGU-K ünitesi (kinetik-motor jeneratör ünitesi), frenleme sırasında aracın kinetik enerjisini elektrik enerjisine çeviren sistemdir. MGU-H (ısı-motor jeneratör ünitesi) ise egzoz gazındaki ısı enerjisini elektrik enerjisine çevirir. Bu sistemler, normalde işe dönüştürülemeyen atık enerjinin elektrik enerjisi şeklinde depolanmasını ve gerektiğinde tekrar kullanılmasını sağlar. Böylece Formula 1 araçlarının enerji verimliliğini artırır.

Araç, her fren yaptığında geri kazanılan enerji aküde depolanıyor ve bu enerji düzlüklerde araca ekstra güç sağlayacak şekilde kullanılabiliyor. 2025 sezonunda kullanılan MGU-K sistemleri bir turda 4 Mj enerji sağlayabiliyor yani 33 saniye boyunca yaklaşık 160 beygir güç üretebiliyor. MGU-H ünitesi ise ısı enerjisini elektriğe çevirip doğrudan MGU-K'ye aktarabiliyor. Aracın krank miline bağlı olan MGU-K ünitesi de ihtiyaç olduğunda elektrik enerjisini tekrar hareket enerjisine dönüştürerek araca ekstra güç sağlayabiliyor. Formula 1 mühendisleri bu sistemleri yönetmek için karmaşık yazılımlar geliştiriyor.

Yarışlarda araçların depolayabileceği yakıt kapasitesinin 110 kg olarak sınırlandırılmasından sonra takımların yakıtı en verimli şekilde kullanmaları zorunlu hâle geldi. Özellikle virajlardan önce sürücülerin ayaklarını gazdan erken çekip frenleme noktasına kadar aracın süzülerek ilerlemesini sağlamaları gibi teknikler hâlen uygulansa da yakıt verimliliğini arttıran çözümler sayesinde bunlara daha az ihtiyaç duyuluyor. Ayrıca yakıt akış sensörleri, takımların motora kurallarda izin verilenden

daha fazla yakıt göndererek kural dışı bir şekilde ekstra güç elde etmesini önlüyor. 2025 sezonundaki araçların kütlesi biraz artsa da motorlar o denli verimli ki pek çok yarışta araçlar 110 kg'lık depo kapasitelerini tam olarak doldurmadan yarışa başlayabiliyor. Fazla yakıt aracın kütlesinin artmasına neden olarak tur zamanlarını olumsuz etkilerken, az yakıtla başlamak da yakıtın yarış sonuna kadar yeterli olmaması riskini doğuruyor. Takımlar, simülasyonlarla her pist için optimum yakıt yükünü belirliyor.

Formula 1'de 2014'ten beri yakıt karışımlarında yenilik yapıyor. Bu amaçla 2022'den itibaren araçlarda kullanılan yakıtın %10'unun sürdürülebilir kaynaklardan elde edilen etanoldan oluşması (E10 yakıt) zorunluluğu getirildi. 2025 sezonunda da hâlen E10 yakıt kullanılıyor. Ancak yakıt üreten şirketler sentetik e-yakıtlar üzerinde çalışmalarını sürdürüyor. Bu yakıtlar, fosil yakıtlar kullanılmadan sentetik olarak üretiliyor. Ayrıca üretim ve tüketim sürçelerinde soğurulan ve atmosfere salınan karbondioksit miktarı birbirine eşit olacak şekilde üretilecek bu yakıtların karbon nötr olması hedefleniyor. 2025 sezonunda bazı antrenman seanslarında veya özel testlerde bu yeni yakıt formülünün test edilebileceği tahmin ediliyor. Amaç, performans kaybı olmadan geleneksel yakıtların yerine geçebilecek bir yakıt türü olduğunu kanıtlamak. Eğer başarıya ulaşırsa bu, Formula 1'in ötesinde normal araçlar ve uçaklar için yakıt teknolojilerinde bir dönüm noktası olabilir. Bu yüzden Formula 1'de enerji verimliliği konusunda yapılan çalışmalar, yakıt dönüşümünü de kapsıyor.

Sonuç olarak Formula 1'de "daha hızlı" olmak kadar "en verimli" olmak da önemli hâle geldi. Araçlar, maksimum performanslarına ulaşmak için sadece güçlü değil, aynı zamanda akıllıca tasarlanmış sistemlere güveniyor. Formula 1 araçları için geliştirilen bu teknolojiler, günlük hayatta kullandığımız araçların da gelişimine katkıda bulunuyor. Elektrikli ve içten yanmalı motorların birlikte kullanıldığı hibrit araç teknolojileri, enerji geri kazanım sistemleri ve yakıt verimlilik yöntemlerinin geliştirilmesine Formula 1 öncülük etti. ■

Kaynaklar

- Formula1.com – "*7 kural değişikliği (2025) gerektiğini bilmelisiniz*" https://bit.ly/41PjIVg
- Formula1.com – "*2025 motor ve şanzıman ceza rehberi*" (2025) https://bit.ly/41DYcS6
- PlanetF1.com – "*Adrian Newey bütçe sınırı etkileri*" https://bit.ly/3Dvt5jJ
- ViperPerformance Blog – "*F1 2025 Aerodinamik Düzenlemeler*" https://bit.ly/4hXVZas
- Autosport.com – "*F1 yakıt kullanımı ve verimlilik*" https://bit.ly/4ib0z5W
- Ultralytics Blog – "*F1'de Yapay Zekâ Pit Stopları*" https://bit.ly/4idsDWj
- GPBlog.com – "*FIA yapay zekâ kararı (2025-26)*" https://bit.ly/4ivMq30
- Popular Mechanics – "*F1 Bijon Tabancalarının Sırrı*" https://bit.ly/42qKHqs
- PlanetF1.com – "*Roll-hoop güvenlik değişiklikleri*" https://bit.ly/3FeJLwp
- Motorsport.com – "*Biyometrik eldivenler ve güvenlik ekipmanları*" https://bit.ly/4hRMEAN

Ingram Publishing / Alamy