

STM32 Mikrodenetleyici Üzerinde P5'ten P4 LED Ekran Panel Geçişine Yönelik Teknik Analiz ve Uygulama Rehberi

1. Giriş ve Proje Değerlendirmesi

Bir LED ekran panelinin değiştirilmesi, sadece fiziksel bir bileşenin sökülüp takılmasından çok daha fazlasını içeren bir süreçtir. Kullanıcının mevcut STM32 projesinde P5 paneli P4 paneliyle değiştirme talebi, temel bir yükseltme arzusunun yansıtmaktadır. Bu geçişin ardındaki ana motivasyon, daha yüksek çözünürlük ve dolayısıyla daha net bir görüntü elde etmektir. Bir P4 panelin P5'e göre daha küçük bir piksel aralığına sahip olması, bu hedefe ulaşılmasını mümkün kılmaktadır.¹ Bu rapor, P5'ten P4'e geçiş sürecindeki donanım ve yazılım gereksinimlerini, potansiyel uyumsuzlukları ve bu sorunların nasıl aşılanacağına dair kapsamlı bir teknik rehber sunmaktadır. Analizler, P4 ve P5 panellerin teknik özelliklerinin karşılaştırılmasından HUB75 arayüzünün detaylarına, STM32 entegrasyonu için gerekli adımlardan proje maliyetinin incelenmesine kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır.⁴

Temel Kavramlar: "P" Değeri ve Piksel Aralığı

LED ekran teknolojisinde "P" değeri, panelin en kritik özelliklerinden biri olan piksel aralığını (pixel pitch) ifade eder.¹¹ Bu değer, bir LED matrisindeki iki komşu pikselin (LED kümesi) merkezleri arasındaki mesafeyi milimetre cinsinden gösterir.² Bu bağlamda, P5 paneli 5 mm, P4 paneli ise 4 mm piksel aralığına sahiptir. Piksel aralığı ne kadar küçükse, belirli bir alana sığan piksel sayısı o kadar artar, bu da piksel yoğunluğunu yükseltir.¹⁴

Bu fiziksel ilişki, P5'ten P4'e geçişin temelini oluşturur. P4 paneller, metrekare başına 62.500 piksel yoğunluğuna sahipken, P5 paneller metrekarede 40.000 piksel yoğunluğuna sahiptir.¹ Bu durum, P4'ün aynı fiziksel boyutta P5'e göre yaklaşık %56 daha fazla piksel barındırdığı anlamına gelir. Bu artış, özellikle metin ve ince grafiklerin net bir şekilde görüntülenmesi

gereken projeler için önemli bir avantaj sağlar.¹⁵ Bu nedenle, kullanıcının bu geçişi yapma kararı, projesinin görsel kalitesini ve detay zenginliğini artırma yönünde mantıklı bir adımdır.

2. P4 ve P5 LED Panellerin Teknik Analizi

P4 ve P5 LED paneller arasındaki temel farklılıklar, piksel aralığı, yoğunluk ve buna bağlı olarak ortaya çıkan görüntü kalitesi, izleme mesafesi ve tarama oranı gibi teknik parametrelerde yatmaktadır. Bu parametrelerin doğru anlaşılması, geçiş sürecinin donanım ve yazılım bileşenlerinin doğru bir şekilde planlanmasını sağlar.

Piksel Yoğunluğu ve Görüntü Kalitesi Karşılaştırması

Bir LED panelin görüntü kalitesi, doğrudan piksel yoğunluğuyla ilişkilidir.¹² P4 panelin 4 mm'lik daha küçük piksel aralığı, metrekare başına 62.500 piksel yoğunluğuna ulaşmasını sağlar.¹ Bu, 5 mm piksel aralığına sahip P5 panelin 40.000 piksel/m² yoğunluğuna kıyasla önemli bir artıştır.¹ Daha yüksek piksel yoğunluğu, bir görüntünün veya metnin aynı boyutta daha fazla detay içermesi anlamına gelir, bu da piksellenme etkisini azaltarak daha net ve keskin bir görsel deneyim sunar. Özellikle yakın mesafeden bakıldığında, bu fark belirginleşir ve P4'ün sunduğu yüksek çözünürlük, P5'e göre çok daha üstün bir performans sergiler.¹⁵

İzleme Mesafesi ve Uygulama Alanları

İzleme mesafesi, bir LED ekran seçimi yapılırken piksel aralığıyla birlikte değerlendirilmesi gereken kritik bir faktördür.¹¹ Piksellerin net bir şekilde görülebildiği en yakın mesafeyi belirlerken, piksel aralığı temel alınır. P4 paneller için ideal izleme mesafesi 4 ila 13.5 metre olarak belirtilirken ¹¹, P5 paneller için bu mesafe 5 ila 30 metre arasındadır.¹³ Kullanıcının STM32 gibi bir mikrodenetleyici üzerinde bir proje gerçekleştirmesi, bu projenin muhtemelen bir hobi veya prototip uygulaması olduğunu ve yakın mesafeden izleneceğini düşündürmektedir. Bu senaryoda, P4'ün daha kısa ideal izleme mesafesi, projenin amacına daha uygun bir seçim olduğunu doğrulamaktadır.¹¹

Bu iki panel arasındaki temel teknik farklılıklar aşağıdaki tabloda özetlenmiştir:

Özellik	P4 Panel	P5 Panel
Piksel Aralığı	4 mm	5 mm
Piksel Yoğunluğu (nokta/m²)	62.500 ¹	40.000 ¹
Tipik Modül Çözünürlüğü	80x40 piksel (320x160mm) ₈	64x32 piksel (320x160mm) ₁
Tipik Modül Boyutu	320x160 mm veya 256x128 mm ⁷	320x160 mm ¹
Tipik Tarama Oranı	1/16, 1/10 veya 1/8 ¹⁹	1/16 veya 1/8 ²¹
İdeal İzleme Mesafesi	4 - 13.5 m ¹¹	5 - 30 m ¹³

Tarama Oranı (Scan Rate) ve Parlaklık Farklılıkları

LED panellerin tarama oranı, panelin satırlarının bir çerçevede ne sıklıkta yenilendiğini gösterir. Bu, verinin panele nasıl aktarıldığı ve görüntünün nasıl oluşturulduğuyla doğrudan ilişkilidir. P4 ve P5 panellerin tarama oranları üreticiye ve kullanım amacına (iç/dış mekan) göre farklılık gösterebilir. İç mekan P4 paneller için 1/16 tarama oranı yaygınken ²⁰, dış mekan P4 paneller için 1/8 veya 1/10 gibi farklı oranlar da kullanılabilir. ¹⁹ P5 panellerde ise 1/8 tarama oranı daha sık görülmektedir. ²¹

Tarama oranındaki bu çeşitlilik, kullanıcının yalnızca fiziksel bağlantı uyumluluğuna değil, aynı zamanda yazılım seviyesindeki kritik parametrelerin doğru bir şekilde yapılandırılmasına da odaklanması gerektiğini ortaya koymaktadır. P5'ten P4'e geçiş, basit bir "tak-çalıştır" işlemi değildir. Tarama oranındaki uyumsuzluk, panelde titreme, renk bozulmaları veya hiç görüntülenmemesi gibi ciddi sorunlara yol açabilir. Bu nedenle, yeni P4 panelin veri sayfasından tarama oranının teyit edilmesi ve STM32 kodundaki tarama parametrelerinin bu orana göre güncellenmesi zorunlu bir adımdır. Yanlış konfigürasyon, projenin başarılı bir şekilde çalışmasını engelleyecektir.

3. P4 Panel Donanım Detayları: Soket Yapısı ve Pinout Analizi

Kullanıcının P5 paneli üzerinde çalıştığı ve P4'e geçiş yapmak istediği göz önüne alındığında, her iki panelin de standart HUB75 arayüzünü kullandığı varsayılabilir. Bu arayüz, LED matris panelleriyle mikrodenetleyiciler arasında veri ve güç iletişimi için yaygın olarak kullanılan 16-pinli bir konnektördür.⁷

HUB75 Standart Arayüzü ve Pin Fonksiyonları

HUB75 arayüzü, temel olarak üç grup pinden oluşur: adresleme (sıra seçimi), veri (RGB) ve kontrol sinyalleri. Bu pinler, matristeki piksellerin doğru bir şekilde taranmasını ve görüntülenmesini sağlar.

- **Satır Adresleme Pinleri (A, B, C, D, E):** Bu pinler, panelin içindeki hangi satırın o an için aktif olacağını belirler. Paneldeki satır sayısı arttıkça (ve tarama oranı düştükçe), adresleme için gereken pin sayısı da artar. Örneğin, 1/16 tarama oranına sahip paneller genellikle A, B, C ve D pinlerini kullanırken, 1/32 tarama oranlı paneller ek olarak E pinini de gerektirebilir.²⁰
- **Veri Pinleri (R1, G1, B1, R2, G2, B2):** Her bir pin, kırmızı, yeşil ve mavi renk verilerini taşır. Genellikle R1, G1, B1 pinleri panelin üst yarısını, R2, G2, B2 pinleri ise alt yarısını kontrol ederek, panelin ikiye bölünmüş şekilde paralel veri aktarımı yapmasını sağlar.²⁷
- **Kontrol Pinleri (CLK, LAT, OE):**
 - **CLK (Clock):** Veri bitlerinin sırasıyla kaydırma yazmaçlarına (shift registers) yüklenmesi için zamanlama sinyalidir.
 - **LAT (Latch):** Yüklenen veriyi LED'lere aktarmak için kullanılır. Her bir satır için veri tamamlandığında bu sinyal gönderilir.
 - **OE (Output Enable):** Panelin parlaklığını kontrol etmek için kullanılır. PWM (Darbe Genişliği Modülasyonu) sinyali ile sürülerek parlaklık ayarı yapılır.²²

Aşağıdaki tablo, HUB75 pinout yapısını ve bu pinlerin STM32 mikrodenetleyiciye bağlantısını özetlemektedir.

Pin Adı	Pin Numarası	Fonksiyonu	STM32 Bağlantısı	Notlar
---------	--------------	------------	------------------	--------

R1	1	Kırmızı Veri Hattı (1)	GPIO Çıkış	
G1	2	Yeşil Veri Hattı (1)	GPIO Çıkış	
B1	3	Mavi Veri Hattı (1)	GPIO Çıkış	
R2	5	Kırmızı Veri Hattı (2)	GPIO Çıkış	
G2	6	Yeşil Veri Hattı (2)	GPIO Çıkış	
B2	7	Mavi Veri Hattı (2)	GPIO Çıkış	
A	8	Satır Adresi A	GPIO Çıkış	
B	9	Satır Adresi B	GPIO Çıkış	
C	10	Satır Adresi C	GPIO Çıkış	
D	11	Satır Adresi D	GPIO Çıkış	
E	12	Satır Adresi E	GPIO Çıkış	Tarama oranına göre gereklidir
CLK	4	Clock (Saat)	GPIO Çıkış (SPI)	
LAT	16	Latch (Mandal)	GPIO Çıkış	
OE	13	Output Enable (Çıkış Etkinleştirme)	GPIO Çıkış (PWM)	

GND	14, 15, 1, 2	Toprak	GND	Tüm toprak pinleri bağlanmalıdır
VCC	16, 17, 18, 19, 20	5V Güç	Harici 5V Güç Kaynağı	
<p><i>Not: Bu tablo, Waveshare ve Adafruit gibi yaygın üreticilerin pinout düzenine göre oluşturulmuştur. Pin numaraları ve düzeni üreticiden üreticiye değişebilir. Yeni paneli kullanmadan önce her zaman veri sayfasını kontrol etmek gerekmektedir.</i></p>				

P4 ve P5 Panel Pinout Uyum Farklılıkları

Kullanıcının en kritik sorusu, P5'ten P4'e geçişte pinout yapısının değişip değişmediğidir. Fiziksel olarak, HUB75 konnektörünün pinout'u panelin piksel aralığı ("P" değeri) nedeniyle değişmez; bu bir endüstri standardıdır.²⁸ Dolayısıyla, P5 için kullanılan kablo ve soket yapısı P4 için de uygun olacaktır. Ancak, panellerin tarama oranlarındaki potansiyel farklılıklar, yazılım katmanında bir konfigürasyon değişikliği gerektirir.²⁶ Örneğin, daha yüksek çözünürlüklü ve daha yüksek tarama oranına sahip paneller, E adresi pini gibi ek satır adresleme pinlerini etkinleştirmeyi veya farklı bir tarama mantığı kullanmayı gerektirebilir. Bu durum, donanım

seviyesinde pinout uyumsuzluğu olmamasına rağmen, yazılımda yapılacak doğru ayarların projenin başarısı için ne kadar hayati olduğunu göstermektedir.

4. STM32 Entegrasyonunun İncelikleri

STM32 mikrodnetleyiciyi bir P4 LED panelle entegre etmek, doğru donanım ve yazılım mimarisini kurmayı gerektiren birden fazla adımdan oluşan karmaşık bir süreçtir. Panelin yüksek performansını tam olarak kullanabilmek için bu adımların her birine dikkat edilmesi gerekmektedir.

Gerekli Ek Donanım

STM32 ve LED panel arasındaki entegrasyon için iki kritik ek donanım bileşeni bulunmaktadır.

- **Seviye Dönüştürücü (Level Shifter):** STM32 mikrodnetleyicileri 3.3V mantık seviyesinde çalışırken, LED panelleri kontrol eden sürücü entegreleri 5V mantık sinyalleri bekler.¹⁰ Bu voltaj farkı doğrudan bağlantı halinde STM32'nin GPIO pinlerine kalıcı hasar verebilir. Bu nedenle, STM32'den panele giden sinyal hatlarına 3.3V'dan 5V'a seviye dönüştürme (level shifting) işlemi yapan bir entegre (örneğin, 74HC245) eklemek zorunludur.
- **Harici Güç Kaynağı:** P4 LED paneller, özellikle yüksek parlaklık seviyelerinde çalışırken önemli miktarda akım çeker.⁷ STM32 kartının USB portu veya dahili regülatörü, paneli beslemek için yeterli akımı sağlayamaz. Bu durum, projenin kararsız çalışmasına veya donanımına zarar vermesine yol açabilir.⁹ Bu sorunu önlemek için, panele özel, yeterli akım kapasitesine sahip (örneğin, 5V, 10A veya üzeri) harici bir güç kaynağı kullanılması gerekmektedir. Bu güç kaynağının doğrudan panele bağlanması, STM32 kartı üzerindeki yükü azaltır ve güvenli bir çalışma ortamı sağlar.²⁹

Yazılım Mimarisi ve Kütüphane Seçimi

Yüksek çözünürlüklü LED paneller, mikrodnetleyici tarafından saniyenin binde biri gibi çok kısa sürelerde sürekli olarak yenilenmelidir. Bu, işlemci üzerinde yüksek bir yük oluşturur ve basit bir GPIO bit-banging yöntemiyle verimli bir şekilde yönetilemez. Bu nedenle, STM32'nin DMA

(Doğrudan Bellek Erişimi) ve Timer gibi gelişmiş donanım özelliklerini kullanan özel kütüphaneler tercih edilmelidir. Bu kütüphaneler, veri aktarımını işlemcinin müdahalesi olmadan gerçekleştirerek CPU'yu diğer görevler için serbest bırakır ve titreme (flicker) olmadan akıcı bir görüntüleme sağlar.³¹

STM32 için HUB75 panelleri destekleyen, HAL (Hardware Abstraction Layer) tabanlı iki yaygın kütüphane bulunmaktadır:

- **kostaman/HUB75:** C++17 standartlarını ve modern programlama konseptlerini kullanan, daha karmaşık ve esnek projeler için uygun bir kütüphanedir.³³
- **Thakaa/HUB75E-Driver:** Daha basit, C tabanlı bir yaklaşım sunar ve temel bir HAL katmanı üzerinden kolayca farklı STM32 serilerine taşınabilir.³²

Bu kütüphaneler, paneli başlatma, parlaklık ve renk ayarlarını yapma, görüntü tamponunu belirleme ve pikselleri sürekli olarak yenileme gibi temel işlevleri kolayca gerçekleştirmenizi sağlayan işlevler sunar.

Örnek Uygulama ve Kod Analizi

STM32 üzerinde bir P4 paneli çalıştırmak için yazılım adımları genel olarak şunları içerir:

1. **Kütüphane Entegrasyonu:** Seçilen kütüphane (örneğin Thakaa/HUB75E-Driver), proje dizinine eklenir.
2. **Donanım Abstraksiyon Katmanı (HAL) Yapılandırması:** Kütüphane, GPIO, Timer ve DMA gibi donanım çevresel birimlerini kullanır. STM32CubeIDE gibi bir araç kullanılarak bu birimler doğru şekilde yapılandırılır ve kütüphanenin beklediği HAL_... fonksiyonları sağlanır.
3. **Başlatma Fonksiyonu Çağrısı:** main() fonksiyonunda HUB75E_Init() gibi kütüphanenin başlangıç fonksiyonu çağrılarak panelin hazır hale getirilmesi sağlanır.³²
4. **Görüntü Verisini Yükleme:** Görüntü tamponu (bitmap) bir dizi veya matris olarak tanımlanır ve HUB75E_setDisplayBuffer(myBitmap) fonksiyonu ile panele yüklenir. Kütüphaneler, bu tampondaki veriyi otomatik olarak panelle senkronize eder.³²
5. **Sürekli Yenileme:** while(1) döngüsü içerisinde HUB75E_displayBufferPixels() fonksiyonu sürekli olarak çağrılarak paneli yenileme işlemi gerçekleştirilir. Bu döngü, ekranda tutarlı bir görüntünün sağlanması için kritik öneme sahiptir.³²

5. Maliyet ve Proje Optimizasyon Analizi

P5'ten P4'e geçiş kararı, maliyetin de göz önünde bulundurulmasını gerektirir. Daha küçük bir piksel aralığı, metrekare başına daha fazla LED diyot, daha karmaşık bir PCB tasarımı ve üretim süreci anlamına gelir.³⁴ Bu durum, P4 panellerin P5 panellere kıyasla daha yüksek bir başlangıç maliyetine sahip olmasına yol açmaktadır.

Maliyet Karşılaştırması

P4 ve P5 panellerin metrekare ve modül bazlı fiyatları, kullanılan LED ipi, i veya dış mekan özelliği ve üreticisine göre büyük farklılıklar gösterebilir.⁵ Dış mekan P5 panellerin ortalama metrekare fiyatı 550-650 USD aralığından başlarken, dış mekan P4 paneller için fiyatlar 4353-17413 TL gibi geniş bir aralıkta değişmektedir.⁵ Birim modül fiyatları ise P5 için 16-22 USD arasında, P4 için ise 14-22 USD arasında değişmektedir.⁶ Bu fiyatlar, özellikle toplu alımlarda veya farklı tedarikçilerde önemli farklılıklar gösterir. Fiyat karşılaştırması aşağıdaki tabloda sunulmuştur:

Panel Tipi	Ortalama Metrekare Fiyat Aralığı	Ortalama Modül Fiyat Aralığı	Tipik Uygulama Alanı
Dış Mekan P5	550-650 USD (ortalama) ⁵	16-22 USD ⁶	Dış cephe reklam panoları, bilgi ekranları
Dış Mekan P4	4353-17413 TL (geniş aralık) ³⁵	14-22 USD ⁶	Yüksek znrlkl reklam panoları, stadyumlar
İç Mekan P5	-	16 USD ⁶	Mağaza vitrinleri, fuar stantları
İç Mekan P4	-	14 USD ⁶	Yakın izleme mesafesi gerektiren ortamlar

Bu analiz, P4 panel seçiminde sadece "P" değerine değil, aynı zamanda dış mekan için IP65 koruması gibi özelliklere¹⁹ ve kullanılan LED çipinin kalitesine de dikkat edilmesi gerektiğini göstermektedir.⁵ Bu faktörler, projenin toplam maliyetini ve uzun vadeli performansını doğrudan etkilemektedir.

6. Sonuç ve Yol Haritası

Kullanıcının P5'ten P4'e geçişi, projenin görsel kalitesini önemli ölçüde artıracak mantıklı bir yükseltmedir. Ancak, bu yükseltmenin basit bir donanım değişikliği olmadığı, hem donanım hem de yazılım seviyesinde dikkatli bir entegrasyon süreci gerektirdiği anlaşılmaktadır.

P5'ten P4'e Geçiş İçin Kapsamlı Kontrol Listesi

- Doğru P4 Modülünü Seçin:** İhtiyaçlara uygun boyutta (örn. 320x160mm) ve piksel çözünürlüğüne (örn. 80x40) sahip bir P4 modülü belirlenmelidir.⁸ İç veya dış mekan kullanımı, maliyet ve performans açısından belirleyici olacaktır.
- Tarama Oranını Belirleyin:** Satın alınan P4 modülünün veri sayfasından tarama oranı (örn. 1/16, 1/10) mutlaka öğrenilmelidir. Bu, yazılım konfigürasyonu için hayati önem taşır.¹⁹
- Donanım Hazırlığı:**
 - STM32 ve panel arasında 3.3V'dan 5V'a sinyal seviye dönüştürücü (level shifter) kullanılmalıdır.¹⁰
 - Yeterli güce sahip (5V, 10A veya üzeri) harici bir güç kaynağı paneli beslemek için kullanılmalıdır.⁹
- Yazılım Entegrasyonu:**
 - STM32 için özel olarak tasarlanmış bir HUB75 kütüphanesi (örneğin kostaman/HUB75 veya Thakaa/HUB75E-Driver) projenize entegre edilmelidir.³²
 - Kütüphane ayarlarında, yeni panelin piksel sayısı (yatay ve dikey) ve tarama oranı doğru bir şekilde tanımlanmalıdır.
- Test ve Hata Ayıklama:** Panelin fiziksel ve yazılımsal entegrasyonu tamamlandıktan sonra, görüntüde titreme, bozulma veya yanlış renkler gibi sorunlar için kapsamlı testler yapılmalıdır. Bu tür sorunlar genellikle yanlış tarama oranı veya zayıf güç kaynağı bağlantısından kaynaklanır.¹⁰

Nihai Değerlendirme

P5'ten P4'e geçiş, bir projenin görsel çekiciliğini ve işlevselliğini artıran değerli bir yükseltmedir. Ancak, bu süreç sadece kablo ve soketlerin standart olmasından ibaret değildir. Panelin tarama oranı gibi temel teknik özelliklerinin anlaşılması ve STM32 ile entegrasyon için seviye dönüştürücüler, harici güç kaynakları ve optimize edilmiş yazılım kütüphaneleri gibi ek donanım ve yazılım gereksinimlerinin karşılanması, projenin başarısı için kritik öneme sahiptir. Bu rapor, kullanıcının bu karmaşık süreci başarıyla yönetmesi için gerekli tüm teknik bilgileri ve pratik bir yol haritasını sunmaktadır.

Alıntılanan çalışmalar

1. Ön ve Arka Servis Yeteneği ile Açık Hava P4 P5 Su Geçirmez Tam Renkli LED Ekran, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://tr.led-star.com/outdoor-p4-p5-waterproof-full-color-led-display-with-front-and-rear-service-capability-product/>
2. Led Ekranlarda Piksel Aralığı ve Çözünürlük Mevzusu, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://www.ledekranci.com/blog/40/led-ekranlarda-piksel-araligi-meselesi>
3. P4 ve P6 LED Ekranlar Arasındaki Fark Nedir? - Haberler, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://tr.milestrongled.com/news/the-difference-between-p4-and-p6-led-screens-79471861.html>
4. What is pixel pitch? Understanding fine pixel pitch LED displays, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://insights.samsung.com/2023/10/05/what-is-pixel-pitch-understanding-fine-pixel-pitch-led-displays/>
5. LED Ekran - Hızlı Teklif AL - ledsanat, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://www.ledsanat.com/led-ekran/>
6. P5 DIŞ MEKAN RGB LED EKRAN MODÜLÜ Satın Al! - Depopa, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://depopa.com/p5-dis-mekan-rgb-led-ekran-modulu>
7. P4 Rgb Led Panel Dış Mekan 16x32CM Fiyatları, Modelleri ve Çeşitleri - MS Reklam, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://www.msreklam.com.tr/panel/rgb-led-panel/p4-rgb-led-panel-dis-mekan-12-8x25-6cm>
8. P4 Indoor LED Display Module | Pitch Pixel 4mm - Nova LED Screen, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://www.novaledscreen.com/p4-indoor-led-display-module/>
9. Interface LED Dot Matrix with STM32 via SPI | PART1 - ControllersTech, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://controllerstech.com/led-dot-matrix-and-stm32/>
10. How to Use HUB75: Examples, Pinouts, and Specs - Circuit Designer Docs, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://docs.circuitdesigner.com/component/885af448-2bdb-49bc-ae1b-0e781522c801/hub75>

11. Exploring LED Display Resolutions: What Do P2.5, P3, and P4 Mean?, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://www.lightking-led.com/show-151.html>
12. What Is Pixel Pitch - Products - News - LEDER, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://tr.leder-ledvision.com/news/what-is-pixel-pitch-65671775.html>
13. p4 and p5 led screen-Suppliers & Manufacturer From China - fine pixel led, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <http://www.finepixelled.com/led-screen/difference-between-p4-and-p5-led-screen.html>
14. What is Pixel Pitch and Why Does It Matter? - Planar, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://www.planar.com/blog/2025/1/14/what-is-pixel-pitch-and-why-does-it-matter/>
15. How Does Pixel Pitch Affect Picture Quality? - MileStrong, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://www.mile-strong.com/Blog/How-Does-Pixel-Pitch-Affect-Picture-Quality.html>
16. P4 Flexible LED Display Module - LED Display Manufacturer | LED Screen Solution Provider For Colorlight, Novastar, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://www.colorlight-led.com/p4-flexible-led-display-module/>
17. P4 LED Modules - High Brightness & Full Color Displays - Alibaba.com, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://www.alibaba.com/showroom/p4-led-module.html>
18. Sanec P5 Rgb Renkli LED Ekran Dış Mekan 96X96CM Fiyatı - Hepsiburada, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://www.hepsiburada.com/sanec-p5-rgb-renkli-led-ekran-dis-mekan-96x96cm-pm-HBC00004ZRKWK>
19. P4 Outdoor LED Display Module | Pitch Pixel 4mm - Nova LED Screen, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://www.novaledscreen.com/p4-outdoor-led-display-module/>
20. 2dom/PxMatrix: Adafruit GFX compatible graphics driver for LED matrix panels - GitHub, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://github.com/2dom/PxMatrix>
21. How to Distinguish the Scanning Mode of LED Screen Display - Adhaiwell, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://www.adhaiwell.com/how-to-distinguish-the-scanning-mode-of-led-screen-display.html>
22. RGB-Matrix-P3-64x32 - Waveshare Wiki, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://www.waveshare.com/wiki/RGB-Matrix-P3-64x32>
23. What's The P3 P4 P5 P6 P8 P10 Outdoor LED Display? - JYLED, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, https://www.szjy-led.com/Commercial_LED_Display/1933.html
24. P4 LED Module Hub75 - Full Color Indoor Display Solutions - Alibaba.com, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://www.alibaba.com/showroom/p4-led-module-hub75.html>
25. RGB-Matrix-P5-64x32 - Waveshare Wiki, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://www.waveshare.com/wiki/RGB-Matrix-P5-64x32>
26. HUB75 vs HUB75E - adafruit industries, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://forums.adafruit.com/viewtopic.php?t=217543>

27. Overview | Adafruit Triple LED Matrix Bonnet for Raspberry Pi with ..., erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://learn.adafruit.com/adafruit-triple-led-matrix-bonnet-for-raspberry-pi-with-hub75?view=all>
28. LED-Matrix Panel - SmartMatrix Community, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://community.pixelmatix.com/t/led-matrix-panel/1515>
29. DMD-STM32 Shield for P10 LED Matrix Panel from LIGHTWELL on Tindie, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://www.tindie.com/products/lightwell/dmd-stm32-shield-for-p10-led-matrix-panel/>
30. P4 SMD LED Outdoor Fullcolor Module - LED-CARD Shopping, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://www.led-card.com/p4-smd-led-outdoor-fullcolor-module.html>
31. Interstate 75 - RGB LED Matrix Driver - Pimoroni, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://shop.pimoroni.com/products/interstate-75>
32. Thakaa/HUB75E-Driver: HUB75E RGB LED Matrix Panel ... - GitHub, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://github.com/Thakaa/HUB75E-Driver>
33. kostaman/HUB75: HUB75 LED Matrix driver for STM32 - GitHub, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://github.com/kostaman/HUB75>
34. About pixel pitch and viewing distance for LED walls - Barco, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://www.barco.com/en/inspiration/news-insights/2020-03-11-ledtalks-what-is-pixelpitch>
35. Dış Mekan Reklam LED Ekran Fiyatları ve Kalitesi - Alibaba, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://turkish.alibaba.com/g/outdoor-advertising-led-display-screen-prices.html>
36. P3/P4/P5 Outdoor Rental LED Display - PTCLed, erişim tarihi Ağustos 25, 2025, <https://www.ptclled.com/product/outdoor-rental-led-display-or2.html>