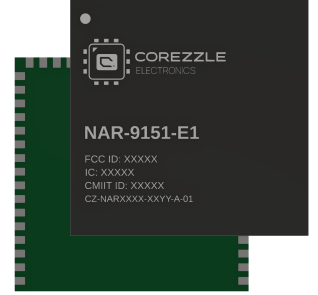


NAR-9151-E1

LTE-M · NB-IoT · GNSS · eSIM · Low Power IoT

Nordic nRF9151 + GNSS LNA + SP4T anten anahtarı
Entegre eSIM (MFF2) | Entegre yük anahtarı | SWD programlama
Tek bantlı 50 Ω anten arayüzü | 18 × 18 × 1,9 mm modül



ADVANCE INFORMATION

Bu belge nihai olmayan teknik bilgiler içerir. Elektriksel karakterizasyon, RF performans rakamları ve sertifika numaraları (CE-RED, FCC, IC) için bench ölçümleri ve onay süreçleri devam etmektedir. Üretim öncesi son revizyon için info@corezzle.com ile iletişime geçin.

ÖZELLİKLER

İşlemci ve Modem

- Nordic nRF9151-LACA-R7 (Arm Cortex-M33 @ 64 MHz)
- LTE-M (Cat-M1) + NB-IoT (Cat-NB2) 3GPP Release 14
- Entegre GNSS (GPS L1 C/A) RF zinciri
- ArmTrustZone + KMU + CryptoCell-312

RF Önyüzü

- Entegre GNSS LNA + SAW filtre (L1 1575 MHz)
- SP4T anten anahtarı (LTE bantları + GNSS yönlendirme)
- Tek 50 Ω ana anten + GNSS yolu
- Anten eşleştirme ağı modül üzerinde

Güç ve SIM

- Entegre yük anahtarı (3,3 V kapısı, $R_{DS(on)} = 38 \text{ m}\Omega$)
- Entegre eSIM (MFF2 form faktörü, ISO/IEC 7816)
- Dahili LDO: VIO 1,8 V, SIM_1V8 1,8 V
- PSM + eDRX güç tasarrufu modları

Arayüzler

- SWD (Serial Wire Debug) programlama
- UART, SPI, I²C, GPIO (paket dışı pad)
- I²S audio (opsiyonel)
- Modül dış pad dizisi (TP1-TP46)

Modül

- PCB modül, ~ 18 × 18 mm
- Çalışma sıcaklığı: -40 – +85 °C
- RoHS 3, Pb-free reflow (J-STD-020E)
- CE-RED + FCC + IC sertifikasyonu öngörülen

UYGULAMALAR

- Varlık takibi (lojistik, soğuk zincir, filo)
- Akıllı sayaçlar (elektrik, su, gaz)
- Akıllı şehir sensörleri (otopark, çöp, aydınlatma)
- Endüstriyel uzak izleme (SCADA, IIoT)
- Akıllı tarım (toprak nem, mikroiklim)
- Kişisel emniyet ve mPERS cihazları
- Düşük güç IoT geçit
- Konum takip etiketleri (GNSS + hücresel)

YAZILIM EKOSİSTEMİ

- nRF Connect SDK (Zephyr RTOS tabanlı)
- TF-M (Trusted Firmware-M) güvenli çekirdek
- MCUBoot ikili boot (image swap)
- nRF Cloud / AWS IoT / Azure IoT Hub uyumlu
- LwM2M, CoAP, MQTT, TLS 1.2/1.3
- nRF Connect for VS Code geliştirme ortamı

PARÇA BİLGİSİ

Parça Numarası	NAR-9151-E1
Doküman	NAR-9151-E1-DS-001
Revizyon	Rev. 0.1 ADVANCE INFORMATION
Yayın Tarihi	Haziran 2026
Tedarikçi	Corezzle Elektronik A.Ş.

İçindekiler

1	Ürüne Genel Bakış	1
1.1	Ürün Tanımı	1
1.2	Hedef Pazarlar	1
1.3	Temel Avantajlar	1
1.4	Bu Belge Hakkında	2
2	Blok Diyagram ve İç Mimari	3
2.1	Sistem Blok Diyagramı	3
2.2	Yonga Arası Bağlantı Topolojisi	3
2.3	Güç Mimarisi (Özet)	4
3	Pin Yapılandırması	5
3.1	Pin Düzeni Hakkında	5
3.2	Modül Dışı Pad Eşlemeleri	6
3.3	nRF9151 Dahili Pin Haritası (Modül İçi)	6
3.4	Pad Numaralandırması (KiCad-onaylı)	8
4	Elektriksel Karakteristikler	11
4.1	Mutlak Maksimum Değerler (Absolute Maximum Ratings)	11
4.2	Önerilen Çalışma Koşulları (Recommended Operating Conditions)	11
4.3	DC Karakteristikler	12
4.4	Güç Tüketimi	12
4.5	Termal Karakteristikler	12
5	RF Karakteristikleri	14
5.1	Desteklenen Hücresel Bantlar	14
5.2	İletim (TX) Karakteristikleri	14
5.3	Alış (RX) Karakteristikleri	15
5.4	GNSS Karakteristikleri	15
5.5	RF Önyüzü Topolojisi	16
5.6	Coexistence (LTE / GNSS)	17
6	Çevre Birimleri	18
6.1	Uygulama İşlemcisi (Arm Cortex-M33)	18
6.2	eSIM Arayüzü	18
6.3	Genel Amaçlı I/O (GPIO)	18
6.4	UART, SPI, I ² C	19
6.5	Analog Giriş (ADC)	19
6.6	I ² S Audio (Opsiyonel)	19
6.7	Düşük Güç Modları	20
7	Güç Yönetimi	21
7.1	Güç Ağacı	21
7.2	Yük Anahtarı Karakteristikleri	21
7.3	Güç-Açma Sıralaması	22
7.4	Sistem Off ve Düşük Güç Modları	22

8	Boot ve Programlama	24
8.1	Boot Akışı	24
8.2	Programlama Arayüzü (SWD)	24
8.3	Geliştirme Ortamı	25
8.4	MCUBoot ve OTA Güncelleme	25
8.5	Modem Firmware	25
9	Mekanik	26
9.1	Modül Boyutları	26
9.2	Pad Düzeni ve Land Pattern	27
9.3	Lehim Profili (Reflow)	27
9.4	Nem Hassasiyet Seviyesi (MSL)	29
9.5	ESD Hassasiyeti	29
10	Uygulama Bilgisi	30
10.1	Minimum Bağlantı	30
10.2	Anten Tasarımı	31
10.3	SIM Kart Yönetimi	31
10.4	EMC ve Mahfaza Yönergeleri	32
10.5	Üretim Öncesi Donanım Tamamlama (Rev. A0 → A1)	32
10.6	Mühendislik Bench Erişimi	33
11	Sipariş Bilgisi	34
11.1	Parça Numarası Yapısı	34
11.2	Numune Talebi	34
11.3	Üretim ve Lead Time	35
11.4	Paketleme ve Sevkiyat	35
12	Revizyon Geçmişi	36
12.1	Doküman Revizyonları	36
12.2	Donanım Revizyonları	36
12.3	Planlanan İlerideki Doküman Değişiklikleri	37
13	Hukuki Bilgi ve Sertifikasyon	38
13.1	Sorumluluk Sınırı	38
13.2	Sertifikasyon ve Uyumluluk (Hedeflenen)	38
13.3	İhracat Kontrolü	38
13.4	Ticari Markalar	39
13.5	İletişim	39
14	Üst Kaynak Datasheet Referansları	40
14.1	Yonga Datasheet'leri	40
14.2	Standartlar ve Spesifikasyonlar	40
14.3	Geliştirme Kaynakları	40
A	Tam Pad Haritası (48 pad)	42

BÖLÜM 1

Ürüne Genel Bakış

1.1 Ürün Tanımı

NAR-9151-E1, Corezzle Elektronik A.Ş. tarafından üretilen, kompakt bir PCB modül formunda **LTE-M / NB-IoT hücresel bağlantı ve GNSS konum belirleme modülüdür**. Modülün çekirdeğinde Nordic Semiconductor'un nRF9151-LACA-R7 düşük güç hücresel SiP çözümü bulunur; Arm Cortex-M33 uygulama işlemcisi, LTE-M/NB-IoT modemi, GNSS RX zinciri ve dahili güç yönetimi tek yongada birleştirilmiştir.

Modül üzerinde nRF9151'in RF önyüzü düşük gürültülü yükselteç (LNA) ve SP4T anten anahtarı ile zenginleştirilmiştir; bu sayede LTE bantları ile GNSS bandı arasında izole bir anten yönlendirmesi sağlanır. Sistem güç dağıtımı entegre yük anahtarı ile kontrol edilir. Modül üzerinde **entegre eSIM** (lehimlenebilir MFF2 form faktörlü) bulunur; bu sayede son ürün tasarımcısı harici SIM soketi yerleştirme zorunluluğundan kurtulur.

Tipik bir nRF9151 referans tasarımına eşdeğer işlevsel yoğunluk sunar; ancak modül seviyesinde fabrika kalibre RF eşleme ağı, test edilmiş anten arayüzü ve doğrulanmış eSIM aktivasyonu ile tek parça numarası altında teslim edilir. Bu, son ürün tasarım döngüsünde RF eşleme, anten arayüzü doğrulaması ve eSIM operatör entegrasyonu yükünü ekipten alır.

1.2 Hedef Pazarlar

NAR-9151-E1 düşük güçlü, hücresel bağlantılı IoT uygulamaları için tasarlanmış olup özellikle aşağıdaki sınıflarda doğrudan kullanılmaya yöneliktir:

- Varlık takibi (lojistik, soğuk zincir, filo yönetimi)
- Akıllı sayaçlar (elektrik, su, doğal gaz)
- Akıllı şehir sensörleri (otopark, çöp seviyesi, sokak aydınlatma)
- Endüstriyel uzak izleme (SCADA, IIoT, kuyu, tank)
- Akıllı tarım (toprak nem sensörü, mikroiklim istasyonu)
- Kişisel güvenlik ve mPERS (mobil acil yardım çağrı) cihazları
- Düşük güç IoT geçidi (LoRa-uydu köprüsü vs.)
- Konum takip etiketleri (hücresel + GNSS hibrit konum)

1.3 Temel Avantajlar

Hücresel + GNSS tek modülde

LTE-M, NB-IoT ve GNSS işlevleri tek bir kompakt PCB modülde birleştirilmiştir. nRF9151'in tek-yonga mimarisi ayrı modem ve GNSS yongası kullanan ayrık tasarımlara kıyasla daha düşük güç tüketimi ve daha az BoM karmaşıklığı sunar.

RF önyüzü modül seviyesinde

Düşük gürültülü yükselteç (LNA) + SP4T anten anahtarı modül üzerinde entegre edilmiştir. Son ürün tasarımcısı yalnız tek bir 50 Ω anten beslemesi ve eşleme ağı ile bağlanır; bantlar arası izolasyon ve GNSS hassasiyeti modülde doğrulanır.

Entegre eSIM

Modül üzerinde lehimlenmiş MFF2 form eSIM bulunur; mekanik SIM soketi, çekmece veya kart kaybı sorunu yoktur. Operatör profilleri OTA (over-the-air) etkinleştirilebilir; sahada fiziksel SIM değişimi gerektirmez.

nRF Connect SDK ekosistemi

Nordic'in resmi Zephyr RTOS tabanlı nRF Connect SDK kütüphanesi doğrudan kullanılır. TF-M güvenli çekirdek, MCUBoot ikili boot, nRF Cloud / AWS IoT / Azure IoT bağlantı kütüphaneleri ile saha-hazır uygulama hızlı geliştirilir.

Düşük güç IoT için optimize

PSM (Power Saving Mode) ve eDRX (extended DRX) modları yıllar süren batarya ömrü hedefli uygulamalar (akıllı sayaç, varlık takibi) için uygundur. Entegre yük anahtarı ile kullanılmayan bloklar tamamen kapatılabilir.

Üretim hazır

Modül PCB pad düzeni standart pick-and-place SMT akışıyla uyumludur. J-STD-020E reflow profili desteklenir; nemden hassasiyet seviyesi MSL3 (üretim doğrulamasına tabi) öngörülmektedir.

1.4 Bu Belge Hakkında

Bu datasheet, modül üzerindeki her bir yonganın tam elektriksel datasheet'ini yeniden basmaz; bunun yerine *modül-spesifik* elektriksel, RF, mekanik ve uygulama parametrelerini detaylandırır. Her yonga için resmi üretici datasheet'i *üst kaynak* olarak referans edilir (bkz. Bölüm 14); bu sayede en güncel ve otoritatif teknik bilgiye doğrudan erişim sağlanır.

1.4.1 Belge Yapısı

Tablo 1.1. Datasheet bölümleri ve okuyucu kılavuzu.

Bölüm	Başlık	Hedef Okuyucu / İçerik
2	Blok Diyagram	Sistem mimarisini hızlı tanımak isteyen
3	Pin Yapılandırması	PCB tasarımcısı, yazılım geliştirici
4	Elektriksel	Donanım tasarımcısı — AbsMax, RecOp, DC, güç tüketimi
5	RF Karakteristikleri	RF mühendisi, anten tasarımcısı — LTE bantları, GNSS, TX/RX
6	Çevre Birimleri	Yazılım geliştirici — eSIM, GPIO, debug, ADC
7	Güç Yönetimi	Donanım tasarımcısı — güç ağacı, yük anahtarı, modlar
8	Boot ve Programlama	Yazılım geliştirici — SWD, nRF Connect SDK, MCUBoot
9	Mekanik	PCB tasarımcısı, üretim — modül boyutları, land pattern, reflow
10	Uygulama Bilgisi	Sistem tasarımcısı — referans devre, anten, ESD
11	Sipariş Bilgisi	Tedarik sorumlusu — PN, numune, lead-time
12–14	Revizyon / Hukuki / Üst Kaynak	—

1.4.2 Belge Durumu

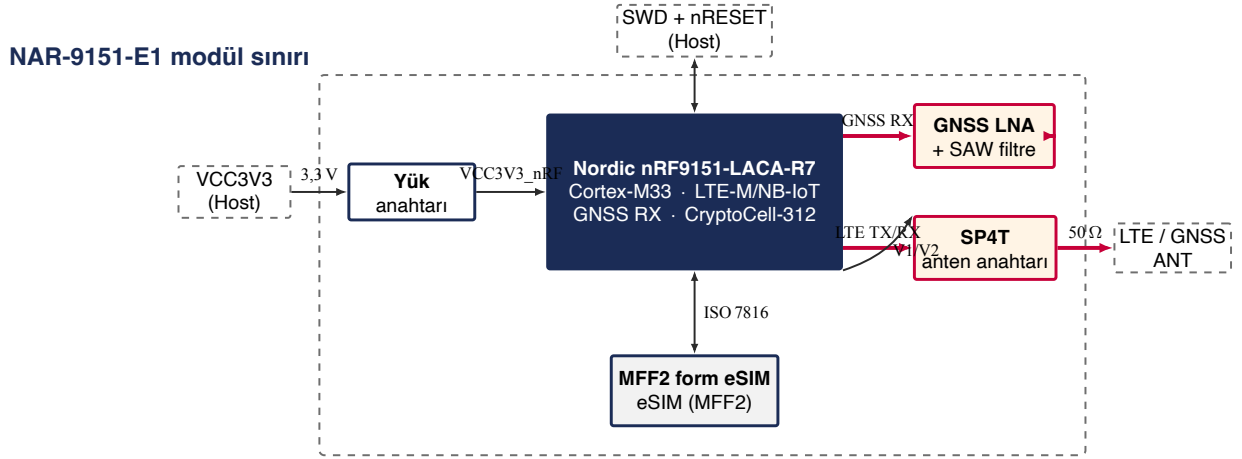
Bu belge Rev. 0.1 ADVANCE INFORMATION statüsündedir. Elektriksel karakterizasyon (bench ölçümleri), RF performans rakamları (TX güç, RX hassasiyet, GNSS C/N0) ve düzenleyici sertifika numaraları (CE-RED, FCC, IC) için ürün geliştirme süreci devam etmektedir. **TBD** işaretiyle ayrılmış alanlar üretim öncesi son revizyonda doldurulacaktır. Sürüm seviyeleri ve sonraki revizyon planı için Bölüm 12'a bakın.

BÖLÜM 2

Blok Diyagram ve İç Mimari

2.1 Sistem Blok Diyagramı

Şekil 2.1 NAR-9151-E1 modülünün iç sinyal akışını gösterir. Sistem ana denetleyicisi Nordic nRF9151-LACA-R7 SiP'tir; hücresel modem, GNSS RX zinciri, uygulama işlemcisi (Arm Cortex-M33) ve dahili güç yönetimi (LDO) bu yongada tümleşiktir. RF önyüzü GNSS LNA (L1 bandı) ve SP4T anten anahtarı ile genişletilmiştir. Sistem 3,3 V beslemesi entegre yük anahtarından nRF9151'e dağıtılır. Modül üzerinde MFF2 form eSIM bulunur ve ISO/IEC 7816 arayüzünden nRF9151'e bağlıdır.



Şekil 2.1. NAR-9151-E1 sistem blok diyagramı. Kalın bus çubuğu RF hatlarını (50 Ω kontrollü empedans), ince oklar dijital/kontrol hatlarını, kesik gri oklar Host PCB bağlantılarını gösterir. Anten seçim sinyalleri SP4T anahtarın GPIO kontrolü ile yönlendirilir.

Tablo 2.1. Modül üzerindeki aktif fonksiyonel bloklar ve birincil arayüzleri. Modülün iç bileşen markaları/parça numaraları üretim bilgisi olarak tutulmakta olup public datasheet'te paylaşılmaz.

Blok	İşlev	Arayüz
nRF9151-LACA-R7 SiP	Arm Cortex-M33 + LTE-M/NB-IoT modem + GNSS RX + dahili LDO + CryptoCell-312	Sistem ana
GNSS LNA	GNSS bant LNA + entegre SAW filtre (L1)	Analog RF
SP4T anten anahtarı	SP4T RF anahtar (LTE bantları + GNSS yönlendirme)	GPIO kontrol
Yük anahtarı	1 A yük anahtarı (3,3 V kapısı, nRF9151 beslemesi)	Lojik (EN pini)
MFF2 form eSIM	Embedded SIM, MFF2 form faktörü, ISO/IEC 7816-3	ISO 7816

2.2 Yonga Arası Bağlantı Topolojisi

2.2.1 RF Zinciri

LTE TX/RX ve GNSS RX yolları modül üzerinde aşağıdaki topoloji ile düzenlenmiştir:

- **LTE ANT → nRF9151:** nRF9151'in birincil anten pini (ANT) doğrudan modülün ana 50 Ω anten pad'ine eşleştirme ağı (L/C ağı) üzerinden bağlanır. Modül üzerinde SP4T anten anahtarı kullanılarak bant seçimi/yönlendirme yapılır.
- **GNSS RX yolu:** GNSS L1 (1575,42 MHz) sinyali GNSS LNA + dahili SAW filtre üzerinden geçer; çıkış nRF9151'in GNSS RX girişine yönlendirilir.
- **Anten seçim kontrolü:** SP4T anahtarın V1/V2 lojik seçim pinleri nRF9151 GPIO'ları tarafından sürülür; LTE TX, LTE RX ve GNSS arasında izolasyon yazılım kontrolüyle sağlanır.

2.2.2 Veri ve Kontrol Hatları

- **eSIM (ISO/IEC 7816-3):** nRF9151'in dahili SIM denetleyicisi ↔ MFF2 form eSIM. Sinyaller: SIM_CLK, SIM_IO, SIM_RST, SIM_DET; besleme SIM_1V8 (nRF9151 dahili regülatöründen).
- **Güç kontrolü:** yük anahtarı EN pini host PCB tarafından (veya sabit pull-up ile her zaman açık olarak) sürülür; varsayılan davranış Bölüm 7'da.
- **Debug:** SWD arayüzü (SWDIO, SWDCLK) + nRESET pinleri modül dışı pad olarak çıkarılmıştır.
- **Kontrol GPIO'ları:** GNSS LNA bias etkinleştirme ve SP4T anahtar V1/V2 seçim pinleri nRF9151 GPIO'larına bağlıdır (kanonik atama Bölüm 3'de).

2.2.3 Modül Dışına Çıkan Sinyaller

Modülün taşıyıcı PCB'ye bağlandığı pad'ler:

- **Güç:** VCC3V3 (sistem 3,3 V girişi), GND (toprak referansları)
- **Anten:** LTE_ANT (50 Ω tek anten pad'i, modül üzerinde eşleme ağı ile sonlandırılmış)
- **Debug / Boot:** SWDIO, SWDCLK, nRESET, ENABLE
- **Kontrol:** LOAD_SW_DISABLE (yük anahtarı EN sinyali, opsiyonel)
- **Genel amaçlı I/O:** nRF9151 GPIO bus'ı paket dışına seçili olarak çıkarılmıştır (Bölüm 3).
- **Audio (opsiyonel):** I²S SDATA, SCLK sinyalleri ek codec entegrasyonu için ayrılmıştır.
- **Bench pad'leri:** TP1–TP46 debug ve üretim doğrulaması için bırakılmıştır (üretim aşamasında popüle edilmez).

2.3 Güç Mimarisi (Özet)

Modül üzerindeki güç dağıtımı tek-rail mimaridir:

- **VCC3V3 (3,3 V) girişi:** Host PCB'den dış pad üzerinden sağlanır.
- **yük anahtarı:** VCC3V3'ü modül içi VCC3V3_nRF rail'ine kapılayarak (gate) nRF9151 besleme pinlerine (VDD, VDD_GPIO) iletir. Bu sayede tamamen kapatma (uyku altı) modu desteklenir.
- **nRF9151 dahili LDO'ları:** VIO 1,8 V ve SIM_1V8 1,8 V rail'leri nRF9151'in dahili regülatöründen üretilir; harici bileşen gerekmez.

Tam rail haritalaması ve akım kapasiteleri Bölüm 7'da verilmiştir.

Üst Kaynak Datasheet — nRF9151

nRF9151'in tam güç yönetimi mimarisi, dahili LDO yapılandırması ve SoC iç bağlantı detayları için Nordic Semiconductor nRF9151 Product Specification (en güncel revizyon): bkz. Bölüm 14.

BÖLÜM 3

Pin Yapılandırması

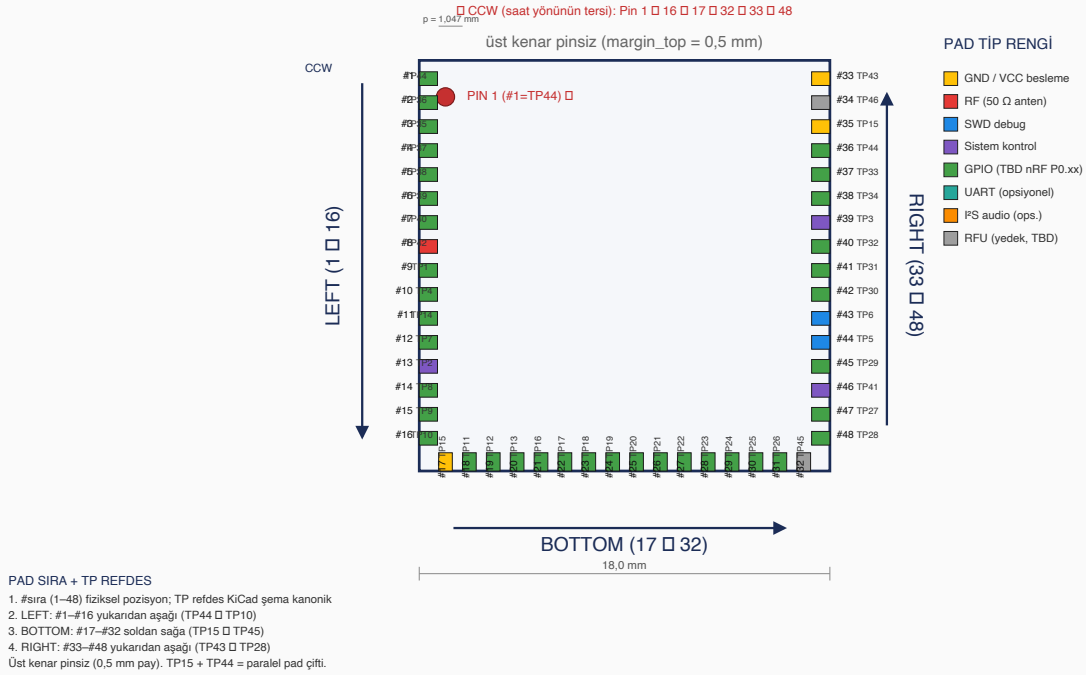
3.1 Pin Düzeni Hakkında

NAR-9151-E1 modülünün taşıyıcı PCB'ye bağlandığı pad'ler iki gruba ayrılır:

1. **Modül dışı pad'ler** — Sistem entegratörünün anakart tarafında bağlayacağı sinyaller (besleme, anten, debug, GPIO, eSIM gerekmediği için SIM pad'i yoktur).
2. **nRF9151 dahili pin haritası** — Yazılım geliştirici için Cortex-M33 GPIO atamaları ve dahili sinyal isimleri. Modül üzerinde bu pinler RF önyüzü, eSIM ve kontrol hatlarına atanmıştır; sadece bir alt-küme modül dışına çıkarılır.

NAR-9151-E1 — Pad Numaralandırması (KiCad-onaylı)

18 x 18 x 1,9 mm SiP modül · 48 kenar pad (16+16+16, üst pinsiz) · Etiket: #sıra TP-refdes · Corezzle Elektronik A.Ş.
Bottom view — Sıra (1–48) fiziksel pozisyon (CCW); TP refdes (TP1–TP46) KiCad şema kanonik. TP15 ve TP44 paralel pad çiftleri.



Şekil 3.1. NAR-9151-E1 modül pad haritası (alt görünüm) — 48 kenar pad, renk kategorili (sarı: GND/VCC, kırmızı: RF 50 Ω anten, mavi: SWD debug, mor: sistem kontrol, yeşil: GPIO, turkuaz: UART, turuncu: I²S, gri: RFU). Pin 1 işareti üst-sol köşede $\varnothing 0,8$ mm daire; sayım yönü CCW (LEFT 1–16 → BOTTOM 17–32 → RIGHT 33–48). Üst kenar pinsiz (0,5 mm pay). Kanonik kaynak: docs/datasheet/sources/pad-to-net.csv.

3.2 Modül Dış Pad Eşlemeleri

Tablo 3.1. Modül dış pad'leri — besleme ve referans.

Pad	Tip	Açıklama	Voltaj/Toleranslar
VCC3V3	Güç giriş	Sistem 3,3 V beslemesi (yük anahtarı girişi)	3,1 – 3,6 V
GND	Toprak	Birden çok pad (RF referansı + dijital toprak)	—
LOAD_SW_DISABLE	Lojik giriş	yük anahtarı EN sinyali, açık-bırakılırsa modül her zaman açık	0 – 3,3 V

Tablo 3.2. Modül dış pad'leri — RF ve debug.

Pad	Tip	Açıklama	Empedans/Voltaj
LTE_ANT	RF I/O	Tek bantlı 50 Ω ana anten (LTE-M/NB-IoT + GNSS)	50 Ω
SWDIO	Bidir lojik	Serial Wire Debug veri	0 – 1,8 V (VIO)
SWDCLK	Lojik giriş	Serial Wire Debug saat (DUT ← host)	0 – 1,8 V (VIO)
nRESET	Lojik giriş	Modül donanım sıfırlaması (aktif düşük, açık-drain)	0 – 1,8 V (VIO)
ENABLE	Lojik giriş	nRF9151 ENABLE sinyali	0 – 1,8 V (VIO)

Not (modül dış pad'leri): Modül üzerinde TP1–TP46 modül dış pad'leri debug ve üretim doğrulaması için bırakılmıştır; bunlar son ürün PCB'sinde popüle edilmez, ancak NAR-9151-E1 mühendislik numuneleri üzerinde ölçüm için erişilebilir.

Tablo 3.3. Modül dış pad'leri — genel amaçlı I/O ve audio (**TBD** (final kanonik eşleme)).

Pad	Tip	Açıklama	Voltaj
GPI00—GPIOn	Bidir	nRF9151 GPIO'larından seçili olanlar (kanonik atama: TBD)	0 – 1,8 V (VIO)
UART_TX	Çıkış	nRF9151 UART (opsiyonel debug konsolu)	0 – 1,8 V (VIO)
UART_RX	Giriş	nRF9151 UART	0 – 1,8 V (VIO)
I2S_SDATA	Bidir	I ² S audio veri (opsiyonel codec entegrasyonu)	0 – 1,8 V (VIO)
I2S_SCLK	Çıkış	I ² S audio saat	0 – 1,8 V (VIO)

Önemli: Yukarıdaki GPIO/UART/I²S sinyallerinin nRF9151 üzerindeki kanonik atamaları (**P0.xx**) modül üretim revizyonunda dondurulacaktır. Bu revizyona kadar yazılım geliştirme nRF Connect SDK “board file” aracılığıyla yapılandırılabilir.

3.3 nRF9151 Dahili Pin Haritası (Modül İçi)

Aşağıdaki tablolar nRF9151-LACA-R7 yongasının modül üzerindeki nasıl kullanıldığını özetler. Yongana ait toplam pin sayısı ve mutlak konumlar için Nordic resmi datasheet'ine bakın (bkz. Bölüm 14).

Tablo 3.4. nRF9151 RF pinleri ve modül bağlantısı (KiCad-onaylı pin numaraları).

nRF9151 sinyali	Pin	Tip	Modül bağlantısı	TP
ANT	35	RF I/O	SP4T RFC + 50 Ω anten pad (LTE_ANT net)	—
ANT_AUX	TBD	RF I/O	TBD (şemadan teyit gerekiyor) — diversity veya alternatif anten portu	—
GPS	42	RF giriş	GNSS LNA RF_OUT (iç net), GNSS bant eşleştirme ağı ile	—

Tablo 3.5. nRF9151 SIM denetleyici pinleri (eSIM bağlantısı, KiCad-onaylı).

nRF9151 sinyali	Pin	Yön	Modül bağlantısı (MFF2 form eSIM)	TP
SIM_CLK	18	Çıkış	eSIM CLK pini (ISO 7816 ETU saati)	—
SIM_IO	17	Bidir	eSIM I/O pini (yarı-dupleks veri)	—
SIM_RST	16	Çıkış	eSIM RST pini (cold reset, aktif düşük)	—
SIM_DET	26	Giriş	Kart takıldı sinyali (eSIM için sabit tied — her zaman “var”)	TP44
SIM_1V8	19	Güç	eSIM VCC pini (1,8 V, nRF dahili LDO çıkışı)	—

3.3.1 RF ve Anten

3.3.2 eSIM Arayüzü

3.3.3 Debug ve Kontrol

3.3.4 Besleme ve Toprak

Not: TP15 VCC3V3 rail'inin tek dış erişim noktasıdır; VDD ve VDD_GPIO modül içi (yük anahtarı çıkışı) yollardır ve doğrudan TP'ye bağlı değildir.

3.3.5 Genel Amaçlı I/O (P0.xx)

nRF9151 P0.xx GPIO bus'ı modül üzerinde aşağıdaki işlevlere atanmıştır. Atama kanonik değerleri KiCad şemasından doğrulanmıştır; Tablo 3.8 dedike kontrol pinlerini ve modül dışına erişim kanallarını gösterir.

Önerilen P0.xx Kanonik Atama (Rev. A1)

Tablo 3.9 nRF9151 P0.xx pinleri için üretim revizyonunda dondurulacak önerilen modül dışı işlev tahsisini listeler. Bu atama uygulama-katmanı varsayılanıdır; nRF Connect SDK board file ile yeniden yapılandırılabilir.

Önemli (KiCad şeması — Rev. A0 KRİTİK eksiklik): SP4T anten anahtarının V1/V2 kontrol pinleri Rev. A0'da nRF9151 P0.xx GPIO'larına bağlı değildir; LTE bant seçimi yazılım kontrolü yapılamaz, donanım-sabit kalır. Tablo 3.9'deki P0.00/P0.01 atamaları Rev. A1 PCB revizyonunda gerçekleştirilecektir. Rev. A0 modülleri yalnız sabit (yazılım-tarafından-okuma) anten konfigürasyonunda çalıştırılabilir. Detaylı tamamlama planı için Bölüm 10, Üretim Öncesi Donanım Tamamlama bölümüne ve Bölüm 12 Rev. A1 değişiklik listesine bakın.

Üst Kaynak Datasheet — nRF9151 LGA Paketi

nRF9151-LACA-R7 paketi LGA form faktöründedir; toplam pin sayısı, ball/pad geometrisi, mutlak pin konumları ve fonksiyonel pinout tablosu için Nordic Semiconductor nRF9151 Product Specification: bkz. Bölüm 14.

Tablo 3.6. Debug ve sistem kontrol pinleri (KiCad-onaylı TP eşleşmesi).

nRF9151 sinyali	Yön	Modül bağlantısı	TP
SWDIO	Bidir	Modül dışı pad (SWD veri)	TP6
SWDCLK	Giriş	Modül dışı pad (SWD saat)	TP5
nRESET	Giriş	Modül dışı pad (donanım sıfırlama)	TP41
ENABLE	Giriş	Modül dışı pad (sistem etkinleştirme)	TP3

Tablo 3.7. nRF9151 besleme pinleri (KiCad-onaylı TP eşleşmesi).

nRF9151 sinyali	Tip	Modül bağlantısı	Voltaj	TP
VDD	Güç giriş	Yük anahtarı çıkışı (VCC3V3_nRF) + decoupling cap dizisi	3,3 V	—
VDD_GPIO	Güç giriş	Yük anahtarı çıkışı (VCC3V3_nRF) + decoupling cap dizisi	3,3 V	—
VCC3V3	Sistem rail	Yük anahtarı VIN girişi (modül dış pad ile aynı)	3,3 V	TP15
VIO	Güç çıkış	nRF dahili LDO çıkışı, GPIO seviye referansı	1,8 V	—
DEC0--DECn	Decoupling	Dahili regülatör decoupling kondansatörleri	—	—
GND	Toprak	Birden çok GND pini (dijital + RF referansı)	—	—

3.4 Pad Numaralandırması (KiCad-onaylı)

NAR-9151-E1 modülünün dış arayüz pad'leri KiCad şemasında TP1--TP46 refdes'leri ile etiketlenmiştir. Bu refdes'ler *KiCad-kanonik pad isimlerini* taşır; mühendislik numuneleri ve seri üretim modüllerinde aynı kalır.

Toplam fiziksel pad sayısı: 48 (KiCad PCB doğrulandı; 16 LEFT +16 BOTTOM +16 RIGHT, üst kenar pinsiz). **Unique TP refdes:** 46 (TP15 ve TP44 KiCad'de paralel pad çiftleri olarak çift kullanılmış — aynı net'e bağlı iki fiziksel pad).

Sıra (#1--#48): Fiziksel pozisyon CCW (saat yönünün tersi): LEFT yukarıdan aşağı → BOTTOM soldan sağa → RIGHT yukarıdan aşağı.

Aşağıdaki tablolar KiCad netlist'inden otomatik çıkarılmış kanonik TP refdes ↔ net eşlemesini sınıflandırılmış olarak verir.

Not (KiCad-onaylı): Yukarıdaki TP refdes ↔ net eşlemesi şematik kaynaktan otomatik çıkarılmıştır; üretim revizyonunda kanonik kalır. nRF COEX0 pini GNSS LNA bias kontrolüne tahsis edilmiştir (P0.xx değil).

Paralel pad çiftleri: TP15 (VCC3V3) ve TP44 (SIM_DET) KiCad'de iki ayrı fiziksel pad'e atanmıştır — aynı net'in iki noktadan erişimi (RF/güç redundancy ve debug erişimi).

Üretim notu: Bu modülde TP* refdes'leri KiCad'in test-point konvansiyonunu taşır; ancak fiziksel olarak modülün dış arayüz pad'leridir, seri üretimde de mevcut kalır (Bölüm 10, "Mühendislik Numuneleri" bölümüne bakın bench kullanımı için).

Tablo 3.8. nRF9151 kontrol pin atamaları (KiCad-onaylı; modül dışı pad kanonik atamaları üretim revizyonunda dondurulacak).

nRF pin	Pin adı	Tahsis (TP)	İşlev
pin 52	COEX0	GNSS LNA bias EN (GPS_EN net) → TP1	SKY VEN sürer; COEX0 burada dedike kullanılır (P0.xx değil)
pin 53	COEX1	TP4 (henüz izole)	Coexistence sinyali; gelecekte LTE/GNSS arbitraj
pin 54	COEX2	TP14 (henüz izole)	Coexistence sinyali
pin 10	ENABLE	Modül dışı ENABLE pad → TP3	Sistem etkinleştirme
pin 35	ANT	SP4T RFC + 50 Ω anten pad (LTE_ANT net)	LTE bantları + GNSS yönlendirmesi
pin 42	GPS	GNSS LNA RF_OUT (iç net)	GNSS L1 sinyal yolu
P0.00–P0.31		TP7–TP40 (her biri ayrı TP)	32 GPIO; ADC (AIN0–7) ve TRACE pinleri ikincil fonk. (bkz. Tablo 3.11, Tablo 3.9)

Tablo 3.9. nRF9151 P0.xx önerilen kanonik atama (Rev. A1, kullanıcı + RF mühendisi onayı bekliyor). UART/SPI/I²C seçimleri nRF Connect SDK GPIO matrisinden yazılım katmanında yeniden yönlendirilebilir.

nRF Pin	İkincil Fonk.	Önerilen Tahsis	Açıklama	Modül Dışı
P0.00	—	SP4T V1	Anten anahtarı bant seçim biti 0	İç
P0.01	—	SP4T V2	Anten anahtarı bant seçim biti 1	İç
P0.02	UART	UART konsol TX	Debug konsolu varsayılan	UART_TX
P0.03	UART	UART konsol RX	Debug konsolu varsayılan	UART_RX
P0.04–P0.07	—	GPIO0–GPIO3	Uygulama genel amaçlı I/O	GPIO0–3
P0.08	SPI SCK	SPI saat (master)	Çevresel haberleşme	SPI_SCK
P0.09	SPI MOSI	SPI veri çıkış	—	SPI_MOSI
P0.10	SPI MISO	SPI veri giriş	—	SPI_MISO
P0.11	SPI CS	SPI cihaz seçim	—	SPI_CS
P0.12	I ² C SDA	I ² C veri	—	I2C_SDA
P0.13–P0.20	AIN0–AIN7	ADC kanalları	8 kanal analog giriş	ADC0–7
P0.21–P0.25	TRACE	(rezerve)	Yalnız test point (üretim modüllerinde popüle edilmez)	—
P0.26	—	I ² S SDATA	Audio veri	I2S_SDATA
P0.27	—	I ² S SCLK	Audio saat	I2S_SCLK
P0.28–P0.30	—	GPIO4–GPIO6	Uygulama genel amaçlı I/O	GPIO4–6
P0.31	—	I ² C SCL	—	I2C_SCL

Tablo 3.10. Modül pad'leri — güç, debug, kontrol ve sistem sinyalleri.

Pad (TP)	Bağlı net	İşlev
TP1	GPS_EN (nRF COEX0)	GNSS LNA bias etkinleştirme
TP2	GPIO18	Yük anahtarı kontrolü (LOAD_SW_DISABLE adayı)
TP3	ENABLE	nRF9151 ENABLE pin'i
TP4	nRF COEX1	Coexistence sinyali 1 (gelecekteki LTE/GNSS arbitraj)
TP5	SWDCLK	SWD debug saat
TP6	SWDIO	SWD debug veri
TP14	nRF COEX2	Coexistence sinyali 2
TP15	VCC3V3	Sistem 3,3 V rail (modül dış pad ile aynı)
TP41	RESET (nRESET)	Donanım sıfırlama
TP42	RF iç yolu (anten matching ağı)	RF debug (anten matching ölçümü)
TP43	İç decoupling	VCC debug
TP44	SIM_DET	eSIM kart algılama

Tablo 3.11. Modül pad'leri — nRF9151 P0.xx GPIO erişimi.

Pad (TP)	P0.xx	ikincil fonk.	Pad (TP)	P0.xx
TP7	P0.00	—	TP24	P0.15 / AIN2
TP8	P0.01	—	TP25	P0.16 / AIN3
TP9	P0.02	—	TP26	P0.17 / AIN4
TP10	P0.03	—	TP27	P0.18 / AIN5
TP11	P0.04	—	TP28	P0.19 / AIN6
TP12	P0.05	—	TP29	P0.20 / AIN7
TP13	P0.06	—	TP30	P0.21 / TRACECLK
TP16	P0.07	—	TP31	P0.22 / TRACEDATA(0)
TP17	P0.08	—	TP32	P0.23 / TRACEDATA(1)
TP18	P0.09	—	TP33	P0.24 / TRACEDATA(2)
TP19	P0.10	—	TP34	P0.25 / TRACEDATA(3)
TP20	P0.11	—	TP35	P0.26
TP21	P0.12	—	TP36	P0.27
TP22	P0.13	AIN0	TP37	P0.28
TP23	P0.14	AIN1	TP38	P0.29
			TP39	P0.30
			TP40	P0.31

BÖLÜM 4

Elektriksel Karakteristikler

4.1 Mutlak Maksimum Değerler (Absolute Maximum Ratings)

Uyarı: Bu değerlerin aşılması cihazın kalıcı hasarına yol açabilir. Bu yalnızca dayanım sınırlarını ifade eder; cihazın işlevsel çalışması bu değerlerde **garanti edilmez**. Çalışma koşulları için Bölüm 4.2'a bakın.

Aşağıdaki değerler nRF9151 ile modül üzerindeki diğer fonksiyonel blokların (GNSS LNA, SP4T anten anahtarı, yük anahtarı, MFF2 form eSIM) *konservatif* (en kısıtlayıcı) sınırlarına dayanır.

Tablo 4.1. Mutlak maksimum değerler (modül pad'lerinde, GND'ye göre).

Sembol	Parametre	Min	Maks	Birim
V_{CC3V3}	VCC3V3 giriş rail	-0,3	+3,9	V
V_{IO}	GPIO sürüş gerilimi (VIO 1,8 V alan)	-0,3	$V_{VIO} + 0,3$	V
V_{ANT}	RF anten pad'i (DC bias)	—	+10	dBm
$I_{ANT,RF}$	Sürekli RF güç (anten pad'i)	—	+23	dBm
$V_{ESD,HBM}$	ESD Human Body Model (JS-001)	—	± 2	kV
$V_{ESD,CDM}$	ESD Charged Device Model (JS-002)	—	± 500	V
$V_{ESD,ANT}$	ESD anten pad (IEC 61000-4-2, hava deşarjı)	—	± 8	kV
$I_{IO,pin}$	GPIO sürekli akım (her pin)	—	± 6	mA
T_a	Çalışma ortam sıcaklığı	-40	+85	°C
T_{stg}	Saklama sıcaklığı	-65	+150	°C
T_j	Birleşim sıcaklığı (junction)	—	+105	°C
T_{sol}	Lehim tepe sıcaklığı (J-STD-020E)	—	+260	°C

Üst Kaynak Datasheet — nRF9151 Mutlak Maksimum

nRF9151 sinyal pinleri için ayrıntılı mutlak maksimum tablosu, gerilim alanı kombinasyonları, ESD/EMI yönergeleri ve sıcaklık karakterizasyonu için Nordic Semiconductor nRF9151 Product Specification: bkz. Bölüm 14.

4.2 Önerilen Çalışma Koşulları (Recommended Operating Conditions)

Giriş Rampası ve In-rush Akımı

Önerilen tasarım: modül giriş pad'ine en az 47 μ F bulk kondansatör + 100 nF decoupling. Düşük ESR (< 100 m Ω) tantalum veya polymer kapasitör tercih edilir.

Tablo 4.2. Önerilen çalışma koşulları.

Sembol	Parametre	Min	Tip	Maks	Birim
V_{CC3V3}	Sistem 3,3 V girişi	3,10	3,30	3,60	V
V_{VIO}	GPIO seviye referansı (nRF iç)	1,71	1,80	1,89	V
V_{SIM_1V8}	eSIM beslemesi (nRF iç)	1,71	1,80	1,89	V
T_a	Çalışma ortam sıcaklığı (industrial)	-40	+25	+85	°C
f_{CPU}	Arm Cortex-M33 saati	—	64	64	MHz
RH	Bağıl nem (yoğuşmasız)	5	—	95	%

Tablo 4.3. Giriş rampası ve in-rush akımı önerilen sınırları.

Parametre	Koşul	Maks	Birim
$t_{r,VCC3V3}$	VCC3V3 rise time (100 mV → 3,1 V)	10	ms
$I_{in,peak}$	In-rush, VCC3V3 (1 ms tepe)	1,0	A
$I_{in,SS}$	Steady-state (TX bursts hariç), VCC3V3	250	mA
$I_{in,TX}$	LTE TX zirve (kısa süre, < 2 ms)	600	mA

4.3 DC Karakteristikler

4.4 Güç Tüketimi

Aşağıdaki değerler $V_{CC3V3} = 3,3\text{ V}$, $T_a = +25\text{ °C}$ koşullarında, nRF9151 ürün spesifikasyonu ve sistem mimari tahmini temel alınarak hesaplanmış *indikatiftahmin değerleridir*. Üretim numuneleri üzerinde yapılacak bench karakterizasyonu sonrasında nihai değerler revizyonda yayımlanacaktır.

Not (indikatif değerler): Tablo değerleri nRF9151 ürün spesifikasyonu *Current Consumption* bölümünden türetilmiştir; modül üzerindeki GNSS LNA, SP4T anten anahtarı ve yük anahtarının kaçak akımlarını içerir. Hedef bantlar: PSM uyku < 5 μA , LTE-M TX ortalama < 250 mA.

4.5 Termal Karakteristikler

Önemli: LTE TX zirve akımları kısa süreli (< 2 ms) olduğundan termal sınır sürekli güç tüketimi tarafından belirlenir. PSM/eDRX modlarında ortalama tüketim μA seviyesindedir; termal problem oluşturmaz. Sürekli yüksek-trafik kullanım senaryolarında (canlı veri akışı) modülün altındaki PCB toprak alanı termal yayıcı olarak kullanılmalıdır.

Not: Sistem güç-açma sıralaması, sıfırlama ve uyandırma detayları Bölüm 7, “Güç-Açma Sıralaması” bölümünde verilmiştir.

Tablo 4.4. GPIO DC karakteristikleri (VIO 1,8 V alan).

Sembol	Parametre	Min	Tip	Maks
V_{IH}	Giriş yüksek seviye eşiği	0,7 V_{VIO}	—	—
V_{IL}	Giriş düşük seviye eşiği	—	—	0,3 V_{VIO}
V_{OH}	Çıkış yüksek seviye gerilimi	$V_{VIO} - 0,4$	—	—
V_{OL}	Çıkış düşük seviye gerilimi	—	—	0,4 V
I_{OH}	Çıkış kaynak akımı (std-drive)	3 mA	—	—
I_{OL}	Çıkış akım çekişi (std-drive)	3 mA	—	—
$I_{OH,hi}$	Çıkış kaynak akımı (high-drive)	6 mA	—	—
I_{IL}	Giriş kaçak akımı	—	—	$\pm 1 \mu A$
R_{PU}	Dahili pull-up	11	13	16 k Ω
R_{PD}	Dahili pull-down	11	13	16 k Ω

Tablo 4.5. İndikatif güç tüketimi profilleri (karakterizasyon sonrasında onaylanacak).

Mod	Tip	Maks	Birim
LTE-M aktif TX (zirve, +23 dBm, Cat-M1)	600	750	mA
LTE-M aktif TX (ortalama, eIDLE)	150	200	mA
LTE-M aktif RX	70	100	mA
NB-IoT aktif TX (zirve, +23 dBm, Cat-NB2)	230	280	mA
NB-IoT aktif TX (ortalama)	90	120	mA
NB-IoT aktif RX	50	70	mA
GNSS aktif (acquisition)	60	80	mA
GNSS aktif (tracking, hot start)	35	50	mA
İdle (modem on, no traffic)	3	5	mA
PSM (Power Saving Mode, RAM kalıcı)	TBD	5	μA
eDRX (extended DRX, 81,92 s)	TBD	350	μA
Sistem off (yük anahtarı kapalı, sadece kaçak)	TBD	1	μA

Tablo 4.6. Termal direnç ve termal yönetim (indikatif, üretim karakterizasyonu bekliyor).

Sembol	Parametre	Değer
θ_{JA}	Junction-to-ambient termal direnç (JEDEC 51-2)	TBD
θ_{JC}	Junction-to-case termal direnç	TBD
θ_{JB}	Junction-to-board termal direnç (4-katman test PCB)	TBD
$P_{D,max}$	Maks. sürekli güç dağılımı ($T_a = +85^\circ C$)	TBD

BÖLÜM 5

RF Karakteristikleri

NAR-9151-E1 modülü Nordic nRF9151 SiP'in dahili LTE-M/NB-IoT modemini ve GNSS RX zincirini entegre düşük gürültülü yükselteç (LNA, GNSS L1 bandı) ve SP4T anten anahtarı (LTE / GNSS yönlendirme) ile zenginleştirir. Bu bölüm modülün dış 50 Ω anten pad'inde gözlenen sistemik RF performansını özetler.

5.1 Desteklenen Hücresel Bantlar

Tablo 5.1. LTE-M (Cat-M1) ve NB-IoT (Cat-NB2) desteklenen 3GPP bantları. Tüm bantlar nRF9151 modemi tarafından destekleniyor; modül üzerindeki SP4T RF anahtarı uygun anten yönlendirmesini sağlar. Üretim bant-kalibrasyonu üretim revizyonunda dondurulacaktır.

Bant	Adı / Bölge	TX (MHz)	RX (MHz)	Mod
B1	2100 IMT (EU/Asya)	1920 – 1980	2110 – 2170	M1/NB
B2	1900 PCS (Amerika)	1850 – 1910	1930 – 1990	M1/NB
B3	1800 DCS (EU/Asya)	1710 – 1785	1805 – 1880	M1/NB
B4	AWS (Amerika)	1710 – 1755	2110 – 2155	M1/NB
B5	850 CLR (Amerika)	824 – 849	869 – 894	M1/NB
B8	900 EGSM (EU/Asya)	880 – 915	925 – 960	M1/NB
B12	700 SMH (Amerika)	699 – 716	729 – 746	M1/NB
B13	700 USB (Amerika)	777 – 787	746 – 756	M1/NB
B17	700 (Amerika)	704 – 716	734 – 746	M1
B18	850 LTE (Japonya)	815 – 830	860 – 875	M1/NB
B19	850 LTE (Japonya)	830 – 845	875 – 890	M1/NB
B20	800 DD (EU)	832 – 862	791 – 821	M1/NB
B25	1900 (Amerika ext.)	1850 – 1915	1930 – 1995	M1/NB
B26	850 ext. (Amerika)	814 – 849	859 – 894	M1/NB
B28	700 APT (EU/APAC)	703 – 748	758 – 803	M1/NB
B66	1700 (Amerika)	1710 – 1780	2110 – 2200	M1/NB
B85	700 ext. (Amerika)	698 – 716	728 – 746	M1

Bölgesel kalibrasyon notu: Yukarıdaki bantların tümü nRF9151 modemi tarafından desteklense de, modülün anten eşleştirme ağı tek bantlı bir genişbantta optimize edilmiştir. Belirli pazarlar için (EU 800/900/1800, Amerika 700/850/PCS) hedeflenen bantlarda performans ölçümleri üretim revizyonunda raporlanacaktır.

5.2 İletim (TX) Karakteristikleri

Üst Kaynak Datasheet — nRF9151 TX RF

nRF9151 modeminin tam TX RF performans tabloları, bant başına çıkış gücü doğrulukları ve sıcaklık varyasyonları için Nordic Semiconductor nRF9151 Product Specification — “Radio Performance” bölümü: bkz. Bölüm 14.

Tablo 5.2. İletim güç karakteristikleri (modül anten pad'inde, $T_a = +25\text{ }^\circ\text{C}$, indikatif). Karakterizasyon sonrasında üretim revizyonunda doğrulanacak.

Sembol	Parametre	Min	Tip	Maks	Birim
$P_{TX,M1}$	LTE-M Cat-M1 TX güç (PC5 / +23 dBm class)	+20,3	+23	+25,7	dBm
$P_{TX,NB}$	NB-IoT Cat-NB2 TX güç (+23 dBm class)	+20,3	+23	+25,7	dBm
$P_{TX,NB,low}$	NB-IoT Cat-NB2 TX güç (+14 dBm class)	+11	+14	+17	dBm
$P_{TX,ctrl}$	Güç ayar adımı (closed-loop)	1	—	—	dB
ACLR	Adjacent Channel Leakage Ratio (3GPP)	30	—	—	dB
EVM	Error Vector Magnitude (QPSK, -3 dB OBO)	—	—	17,5	%

Tablo 5.3. Hücresel RX hassasiyet karakteristikleri (3GPP test koşullarında, modül anten pad'inde, indikatif).

Sembol	Parametre	Tip	Birim
$P_{RX,M1}$	LTE-M Cat-M1 RX hassasiyet (B5 850 MHz, QPSK)	-110	dBm
$P_{RX,M1,hi}$	LTE-M Cat-M1 RX hassasiyet (B1 2100 MHz, QPSK)	-107	dBm
$P_{RX,NB}$	NB-IoT Cat-NB2 RX hassasiyet (B5 850 MHz, QPSK)	-115	dBm
$P_{RX,NB,hi}$	NB-IoT Cat-NB2 RX hassasiyet (B1 2100 MHz)	-113	dBm
NF	RX gürültü figürü (B5 referans)	5	dB
SNR_{ref}	3GPP referans SNR (QPSK 1/3)	-7	dB

5.3 Alış (RX) Karakteristikleri

Çoklu giriş notu: nRF9151 yongası tek RX zincirine sahiptir (MIMO yok); modül üzerinde RX diversity yapılandırması bulunmaz.

5.4 GNSS Karakteristikleri

GNSS yolu entegre LNA + SAW filtre ile zenginleştirilmiştir. Bu sayede pasif anten kullanım senaryolarında bile iyi hassasiyet sağlanır; aktif anten kullanım senaryolarında DC beslemesi modül dışından sağlanır (anten ön-besleyici tee).

Tablo 5.4. GNSS RX karakteristikleri.

Sembol	Parametre	Min	Tip	Maks	Birim
f_{L1}	GPS L1 C/A merkez frekans	—	1575,42	—	MHz
BW	RX bant genişliği (SAW)	2	—	—	MHz
G_{LNA}	GNSS LNA kazancı (L1 bandı)	15,5	17	18,5	dB
NF_{LNA}	GNSS LNA gürültü figürü	—	0,8	1,1	dB
$P_{RX,track}$	Tracking hassasiyet (hot start)	—	-160	—	dBm
$P_{RX,acq}$	Acquisition hassasiyet (cold start)	—	-148	—	dBm
$T_{TTF,cold}$	Time to First Fix (cold start, açık gökyüzü)	—	30	45	s
$T_{TTF,hot}$	Time to First Fix (hot start)	—	1	3	s
Acc_{2D}	2D konum doğruluğu (CEP50, açık gökyüzü)	—	2,5	—	m

Anten gereksinimi: GNSS performansı dış antenin görüş açısına, polarizasyonuna (RHCP tercih edilir) ve gain'ine güçlü şekilde bağlıdır. Pasif anten için referans: ortam-uyumlu monopol veya seramik patch (kazanç ≥ -3 dBic). Aktif anten için: LNA besleme dış tee üzerinden 1,8–3,3 V, ≤ 15 mA.

Üst Kaynak Datasheet — GNSS LNA + SAW filtre

Modül üzerindeki GNSS LNA + SAW filtre kombinasyon yongası modül-içi bileşen olup tam PN ve üretici detayı public datasheet'te paylaşılmaz; yalnızca modülün dış arayüzünde gözlenen sistem performansı (kazanç, NF, S_{11}) raporlanır.

5.5 RF Önyüzü Topolojisi

5.5.1 Anten Anahtarı (SP4T)

Modül üzerindeki SP4T (single-pole four-throw) RF anahtarı LTE bantlarını ve GNSS yolunu modülün tek 50Ω anten pad'ine yönlendirir. Anahtar lojik kontrolü iki seçim biti (V1, V2) ile yapılır:

Tablo 5.5. SP4T anten anahtarı seçim lojği (örnek atama, üretim revizyonunda dondurulacak).

V1	V2	Aktif yol	Tipik kullanım
0	0	RF1 $\leftrightarrow$ RFC (modül anten pad'i)	LTE TX/RX (düşük bant)
0	1	RF2 $\leftrightarrow$ RFC	LTE TX/RX (yüksek bant)
1	0	RF3 $\leftrightarrow$ RFC	GNSS RX yolu
1	1	RF4 $\leftrightarrow$ RFC	Yedek / yardımcı yol

Tablo 5.6. SP4T anten anahtarı performansı (indikatif).

Sembol	Parametre	Tip	Birim
IL	Insertion loss (900 MHz)	0,5	dB
IL	Insertion loss (2,1 GHz)	0,7	dB
ISO	Port izolasyonu (kapalı port)	25	dB
$P_{\max}$	Maks. RF güç (sürekli)	+35	dBm
t_{sw}	Anahtar süresi	0,5	μs

Üst Kaynak Datasheet — SP4T anten anahtarı

Modül üzerindeki SP4T RF anahtarı modül-içi bileşen olup tam PN ve üretici detayı public datasheet'te paylaşılmaz; yalnızca modülün dış arayüzünde gözlenen sistem performansı (IL, izolasyon, anahtar süresi) raporlanır.

5.5.2 Eşleştirme Ağı

Modül üzerinde nRF9151'in ANT ve GPS pinleri ile RF önyüzü arasındaki eşleştirme ağı L/C bileşenlerinden oluşur:

- **ANT** $\rightarrow$ **SP4T RFC**: 3-elementli T eşleştirme (L_{seri} , C_{shunt} , L_{seri}) — bantları 700–2200 MHz aralığında geniş bant olarak eşleştirir.
- **GPS** $\rightarrow$ **GNSS LNA giriş**: dar bant L1 (1575 MHz) eşleştirme, fine-tune kondansatörü dahil (C_{tune} 2,1 pF, 6 pF).

Üretim revizyonunda her bant için S_{11} (return loss) raporu verilecektir. Hedef: tüm bantlarda $|S_{11}| < -10$ dB.

5.6 Coexistence (LTE / GNSS)

Aynı anda hücresel TX ve GNSS RX çalıştırıldığında TX harmonikleri ve yan-bant emisyonları GNSS L1 alıcısını bozabilir. nRF9151 COEX0, COEX1, COEX2 sinyalleri ile harici arbitraj desteği sunar; ancak NAR-9151-E1 modülünde bu sinyaller yazılım kontrolü altında SP4T anahtar seçim hatlarına yönlendirilmiştir.

Önerilen davranış: GNSS sabit bağlantı (fix) sürdürmek gerektiğinde LTE TX zaman dilimleri PSM/eDRX modu ile düzenlenir; böylece anten paylaşımı zaman çoğullamayla yönetilir. eşzamanlı TX+RX GNSS hassasiyetini en az 6 dB düşürür.

BÖLÜM 6

Çevre Birimleri

Bu bölüm nRF9151 SiP'in modül üzerinde modül dışı pad'ler üzerinden veya yazılım kontrolüyle kullanılabilen çevre birimlerini özetler. Tam blok seviyesindeki spesifikasyonlar için Nordic nRF9151 Product Specification'a bakın (bkz. Bölüm 14).

6.1 Uygulama İşlemcisi (Arm Cortex-M33)

Tablo 6.1. Cortex-M33 uygulama işlemcisi özellikleri.

Özellik	Değer
Mimari	Armv8-M Mainline (TrustZone-M, Helium yok)
Maks. saat	64 MHz
Komut seti	Thumb-2 (DSP genişlemesi) + tek-hassasiyet FPU
Bellek koruma	MPU (8 bölge) + SAU (Security Attribution Unit)
Güvenlik	TrustZone-M (Secure / Non-secure dünyalar)
Kripto	CryptoCell-312 (AES, SHA, ECC, RNG)
Trace	ETM (Embedded Trace Macrocell) — modül dışı SWO opsiyonel

Tablo 6.2. Dahili bellek (nRF9151).

Tip	Açıklama	Kapasite
Flash	Dahili NVM (uygulama + MCUBoot)	1 MB
RAM	SRAM (uygulama + IPC + modem)	256 KB
KMU	Anahtar yönetim ünitesi (kalıcı kripto)	16 anahtar yuvası
UICR	Kullanıcı bilgi kayıt alanı	32 word

6.2 eSIM Arayüzü

Modül üzerinde lehimlenmiş MFF2 form eSIM bulunur; nRF9151'in dahili SIM denetleyicisine ISO/IEC 7816-3 standardı üzerinden bağlıdır.

Önemli: eSIM'in ilk operatör profili sahada (GSMA RSP üzerinden) etkinleştirilir; modül teslimat sırasında “bootstrap” profili ile gelir. Profil yönetimi yazılım katmanından (nRF Connect SDK'nın `nrf_modem_at` arayüzü) yapılır.

6.3 Genel Amaçlı I/O (GPIO)

nRF9151 P0.00 – P0.31 arasında 32 GPIO pini sunar; modül üzerinde bunların bir kısmı RF önyüzü kontrolü (SP4T anten anahtarı V1/V2, GNSS LNA EN) ve eSIM arayüzü için kullanılır. Geri kalan GPIO'lar modül dışı pad olarak çıkarılmıştır.

Tablo 6.3. eSIM arayüz özellikleri.

Özellik	Değer
Form faktör	MFF2 (Machine-to-Machine SIM form-factor 2), 6×5 mm
Standart	ISO/IEC 7816-3, ETSI TS 102 221
Sınıf	Class B (1,8 V çalışma)
Saat (ETU referans)	1 MHz – 5 MHz (yazılım yapılandırılır)
Veri hızı (UART mod)	Tipik 9600 – 115200 bps
Aktivasyon	GSMA Consumer Remote SIM Provisioning (RSP) uyumlu
Operatör profil	OTA yüklenebilir, çoklu profil saklama
Anti-tamper	Sertifikalı güvenli element (EAL5+ veya eşdeğeri)

Tablo 6.4. GPIO yapılandırma seçenekleri.

Özellik	Değer
Pin sayısı (paket içi)	32 (P0.00 – P0.31)
Voltaj alanı	1,8 V (VIO referansı)
Sürüş seviyeleri	Standart 3 mA, high-drive 6 mA
Pull-up / pull-down	Dahili 13 kΩ (her ikisi de)
Wake-up	GPIO seviye değişimi sistem uyandırma kaynağı olarak kullanılabilir
Olay yakalama	GPIOTE birimi — her pin için kenar/seviye algılama
DETECT sinyali	DETECT sinyali ile düşük güç (gating) algılama

6.4 UART, SPI, I²C

Tablo 6.5. Düşük-hızlı arabirim özeti (nRF9151 EasyDMA destekli).

Arayüz	Özellik	Sayı
UART	4-wire (RX, TX, CTS, RTS), 1 Mbps maks, EasyDMA	4 (UARTE0–3)
SPI	Master/slave, 4-wire, 8 Mbps maks	4 (SPIM0–3 master, SPIS0–3 slave)
I ² C	Master/slave, Fast-mode plus 1 MHz	4 (TWIM0–3 master, TWIS0–3 slave)

Not: UART/SPI/I²C örnekleri GPIO matrisine bağlanır; istenen pin atamaları nRF Connect SDK “board file” veya devicetree üzerinden yapılandırılabilir. Aynı GPIO matrisi paylaşıldığı için aynı anda kullanılabilecek örnek sayısı GPIO mevcudiyetine bağlıdır.

6.5 Analog Giriş (ADC)

6.6 I²S Audio (Opsiyonel)

nRF9151 bir adet I²S denetleyicisi içerir; NAR-9151-E1 modülü I2S_SDAT ve I2S_SCLK sinyallerini modül dışı pad olarak çıkarır. Bu, sesli mPERS veya alarm uyarı cihazları gibi uygulamalarda harici codec entegrasyonunu destekler.

Tipik kullanım: Harici I²S codec (ör. TLV320DAC32, MAX98357A) bağlantısı; PCM audio in/out. NAR-9151-E1 modülü içinde codec bulunmaz; ses zinciri taşıyıcı PCB tarafında tasarlanır.

Tablo 6.6. ADC (Analog-to-Digital Converter) özellikleri.

Özellik	Değer
Tip	SAR (Successive Approximation Register)
Çözünürlük	8 / 10 / 12 bit yapılandırılabilir
Kanal sayısı	8 (AIN0--AIN7, GPIO matrisinden)
Maks. örnekleme	200 kSPS (12-bit modunda)
Referans	Dahili 0,6 V veya harici VDD/4
Giriş aralığı	0 – VIO (1,8 V) seçili kazanca göre
Diferansiyel mod	Destekler (per-kanal)

Tablo 6.7. I²S audio arayüz özellikleri.

Özellik	Değer
Formatlar	I ² S standard, LJ (Left-Justified), RJ (Right-Justified)
Mod	Master veya slave
Veri genişliği	8 / 16 / 24 bit
LRCK frekansı	8 kHz – 48 kHz (LRCK), MCK katı olarak ayarlanır
MCK üretici	Dahili (3,2 MHz, 4 MHz, ... 16 MHz seçili)

6.7 Düşük Güç Modları

nRF9151 SiP modemi 3GPP Release 14 düşük güç özelliklerini destekler:

PSM (Power Saving Mode)

Modem bağlı olarak kalır ancak alıcı kapalıdır; uygulama istediği zaman uyandırılabilir. Yıllar süren batarya ömrü hedefli uygulamalar için (sayaç okuma, varlık takip pasif modu).

eDRX (Extended Discontinuous Reception)

Modem belirli aralıklarla (5,12 s – 2621,44 s) uyanıp paging arar. Düşük geçikmeli ama tasarruflu modlar arası denge.

CDRX (Connected DRX)

Bağlı durumda RRC seviyesinde DRX; uygulama paketleri arasında alıcı kapatılır.

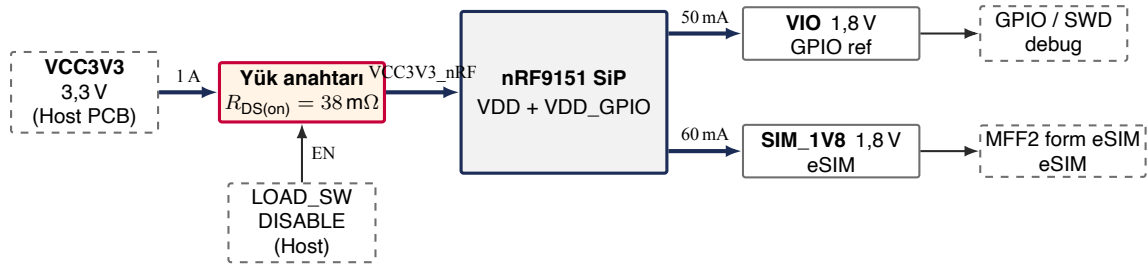
Önemli: Modem PSM'ye girdiğinde modülün toplam tüketimi **TBD (üretim karakterizasyonu)** μ A seviyesindedir (tablo 4.5). Uygulama tarafında ek tasarruf için yük anahtarı EN sinyali ile modül tamamen kapatılabilir ("hard off" modu).

BÖLÜM 7

Güç Yönetimi

NAR-9151-E1 modülü, taşıyıcı PCB tarafından sağlanan tek bir VCC3V3 (3,3 V) girişi üzerinden çalışır. Modül üzerinde güç dağıtımı yük anahtarı ile gerçekleştirilir; nRF9151 SiP'in dahili LDO'ları diğer voltaj seviyelerini üretir.

7.1 Güç Ağacı



Şekil 7.1. NAR-9151-E1 güç ağacı. Tek 3,3 V giriş, entegre yük anahtarı ile nRF9151 SiP'in VDD ve VDD_GPIO pinlerine dağıtılır. SiP içindeki dahili LDO'lar VIO (1,8 V GPIO referansı) ve SIM_1V8 (eSIM beslemesi) rail'lerini üretir.

Tablo 7.1. Güç rail haritası.

Rail	Voltaj	Maks. akım	Açıklama / beslediği bloklar
VCC3V3	3,3 V	1 A	Modül girişi (host PCB'den) — yük anahtarına besleme
VCC3V3_nRF	3,3 V	1 A	Yük anahtarı çıkışı — nRF9151 VDD + VDD_GPIO + RF önyüzü besleme
VIO	1,8 V	50 mA	nRF9151 dahili LDO — GPIO referansı, SWD, debug
SIM_1V8	1,8 V	60 mA	nRF9151 dahili LDO — MFF2 form eSIM beslemesi

Üst Kaynak Datasheet — Yük anahtarı

Modül üzerindeki yük anahtarı modül-içi bileşen olup tam PN ve üretici detayı public datasheet'te paylaşılmaz; yalnızca dış arayüzde gözlenen parametreler (VIN, $R_{DS(on)}$, akım, quiescent) raporlanır.

7.2 Yük Anahtarı Karakteristikleri

Kontrol sinyali: LOAD_SW_DISABLE modül dışı pad'i yük anahtarının EN pinine bağlıdır:

- LOW (veya açık-bırakılırsa dahili pull-down): modül **her zaman açık**
- HIGH: modül kapatılır (sistem kaçığı $< 1 \mu A$)

Not: Yük anahtarı EN polaritesi modül üzerindeki buffer/lojik ile ters çevrilmiş olabilir (**TBD**: doğrulama gerekiyor). Üretim revizyonunda kanonik polarite onaylanacak.

Tablo 7.2. Yük anahtarı parametreleri (modül dış arayüzünde, indikatif).

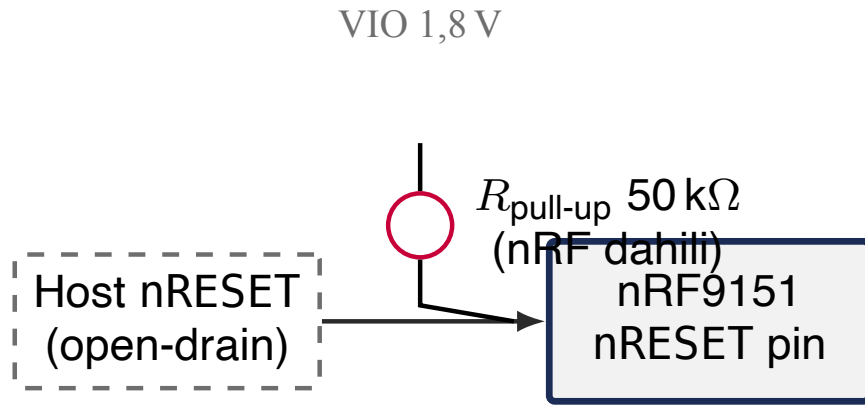
Parametre	Açıklama	Değer
Giriş voltajı	VIN aralığı	1,1 – 5,5 V
$R_{DS(on)}$	VIN = 3,3 V	38 mΩ
Maks. sürekli akım	$T_a = +25\text{ °C}$	1,5 A
Yumuşak başlangıç	Dahili kontrollü gate rampası	1 ms (tipik)
Quiescent akım	Aktif	13 μA
Shutdown akım	EN = 0	0,1 μA
EN girişi	VIH	1,0 V
EN girişi	VIL	0,4 V
Hızlı çıkış deşarjı	QOD pini ile RPULLDOWN	95 Ω

7.3 Güç-Açma Sıralaması

NAR-9151-E1 modülü tek-rail mimari kullandığı için karmaşık sıralama gerekmez. Güç-açma süreci:

1. t_0 : Taşıyıcı PCB VCC3V3 pad'ine güç verir.
2. $t_0 + t_{rampa}$: Yük anahtarı EN sinyali (varsayılan LOW = açık) algılanır; iç gate yumuşak başlangıç ile açılır (≈ 1 ms).
3. $t_0 + 1$ ms: VCC3V3_nRF 3,3 V'a ulaşır; nRF9151 dahili POR (Power-On Reset) tetiklenir.
4. $t_0 + 50$ ms: nRF9151 dahili LDO'ları (VIO, SIM_1V8) sabitlenir; CPU çalışmaya başlar.
5. $t_0 + 200$ ms: Modem alt sistemi (LTE-M/NB-IoT) ayağa kalkar; MCUBoot uygulama imgesini yükler.
6. $t_0 + 1 - 3$ s: Uygulama firmware çalışmaya başlar. İlk hücresel bağlantı 5 – 30 s sürebilir (operatör + RF koşullarına bağlı).

Donanım sıfırlama: Modül dışı nRESET pad'i nRF9151 nRESET pinine açık-drain üzerinden bağlanır. LOW darbesi (en az 0,2 ms) modülü sıfırlar; tüm devam eden modem işlemleri kesilir.



Şekil 7.2. Modül sıfırlama devresi. Açık-drain harici sıfırlama sinyali nRF9151 dahili pull-up direnci tarafından çekilir.

7.4 Sistem Off ve Düşük Güç Modları

Önemli: eDRX/PSM modlarında modül modemi tutarak konteksti korur; “soft off”. LOAD_SW_DISABLE ile yapılan kapatma “hard off”; modem bağlantısı kaybedilir, sonraki açılışta yeniden bağlanmak gerekir (5 – 30 s). Pil-only uygulamalarda *kullanım profili* (paket frekansı, GNSS sıklığı) seçimi PSM/eDRX/hard off arasındaki dengeyi belirler.

Tablo 7.3. Düşük güç modları — modül toplam tüketimi (indikatif, karakterizasyon bekliyor).

Mod	Modül tüketimi (tip)	Uyandırma kaynakları
Aktif — LTE-M bağlı, idle	3 – 5 mA	Veri trafiği, GPIO
PSM — modem PSM uykusu, CPU System OFF	TBD μ A	RTC, GPIO, modem timer
eDRX — 81,92 s eDRX, CPU idle	TBD μ A	Paging slot, GPIO
Yük anahtarı disabled — modül tamamen kapalı	< 1 μ A	Yalnız EN sinyali (taşıyıcı PCB tarafında)

BÖLÜM 8

Boot ve Programlama

NAR-9151-E1 modülü, nRF9151 SiP'in dahili 1 MB Flash belleğinden boot eder. Modül üzerinde harici Flash veya MMC bulunmaz; tüm uygulama firmware'i dahili NVM'de saklanır.

8.1 Boot Akışı

- POR (Power-On Reset):** VCC3V3_nRF 3,3 V'a ulaştığında nRF9151'in dahili POR devresi tetiklenir.
- Secure Bootloader:** nRF9151 ROM'undaki secure bootloader çalışır; Flash bütünlüğü doğrulanır.
- MCUBoot:** Flash'taki 1. aşama bootloader (MCUBoot) çalışır. İmza doğrulaması (ECDSA P-256) ve sürüm karşılaştırması yapılır; geçerli ve daha yeni bir secondary slot imgesi varsa swap işlemi yürütülür.
- Uygulama firmware'i:** MCUBoot uygulama slotuna kontrol verir. nRF Connect SDK uygulaması başlar; modem alt sistemi ayağa kaldırılır.
- Modem fiber-up:** LTE-M veya NB-IoT moduyla operatör ağına bağlanma denemesi başlar (yapılandırma + sinyal koşullarına bağlı olarak 5 – 30 s).

8.2 Programlama Arayüzü (SWD)

Modül dışı pad'ler üzerinden Serial Wire Debug (SWD) arayüzü kullanılarak geliştirme ve üretim programlaması yapılır.

Tablo 8.1. SWD bağlantı pad'leri.

Pad	İşlev	Voltaj
SWDIO	Serial Wire Debug veri (bidir)	1,8 V (VIO)
SWDCLK	Serial Wire Debug saat (giriş)	1,8 V (VIO)
nRESET	Donanım sıfırlama (open-drain)	1,8 V (VIO)
VIO	Programlama sırasında referans seviyesi (opsiyonel test point)	1,8 V
GND	Toprak referansı	—

Desteklenen programlayıcılar:

- Nordic nRF52840-DK (onboard SEGGER J-Link)
- Nordic nRF9151-DK referans tahta (onboard SEGGER J-Link)
- Bağımsız SEGGER J-Link (BASE, EDU, PLUS, PRO)
- Üçüncü taraf: ARM CMSIS-DAP (sınırlı destek), Black Magic Probe

Voltaj seviye uyumu: SWD sinyalleri 1,8 V seviyesindedir; programlayıcı 3,3 V SWD verirse mutlaka seviye dönüştürücü kullanılır. Nordic'in J-Link tabanlı DK tahtaları otomatik seviye seçimi yapar.

Tablo 8.2. Önerilen geliştirme araç zinciri.

Bileşen	Açıklama
SDK	nRF Connect SDK 2.5+ (Zephyr RTOS 3.5+)
IDE	nRF Connect for VS Code (önerilen) SEGGER Embedded Studio (alternatif)
Toolchain	GCC ARM Embedded (nRF Connect Toolchain Manager)
Build sistemi	CMake + west + Zephyr
Debug	GDB + SEGGER J-Link
Trace	SEGGER SystemView, Zephyr RTT
Modem aracı	nRF Connect for Desktop — Cellular Monitor, LTE Link Monitor
GNSS aracı	nRF Connect for Desktop — nRF Cloud GPS visualizer

8.3 Geliştirme Ortamı

8.4 MCUBoot ve OTA Güncelleme

NAR-9151-E1 modülü çift-imge MCUBoot konfigürasyonu ile gelir:

Tablo 8.3. MCUBoot Flash partition haritası.

Bölüm	İşlev	Boyut
MCUBoot	1. aşama bootloader (ROM'dan başlayan ilk yürütme)	32 KB
Primary slot	Aktif uygulama imgesi (firmware)	460 KB
Secondary slot	Bekleyen güncelleme imgesi (OTA)	460 KB
Storage partition	Settings + sertifikalar + kalıcı veri	32 KB

OTA güncelleme akışı:

1. Yeni imge LTE-M veya NB-IoT üzerinden indirilir (CoAP/HTTPS).
2. Secondary slot'a flash edilir.
3. Sistem yeniden başlatılır.
4. MCUBoot imza doğrulaması yapar (ECDSA-P256 + SHA-256).
5. Geçerliyse swap işlemi: secondary ↔ primary.
6. Uygulama başlar; ilk başarılı çalıştırma sonrasında confirm edilir. Çalışmazsa MCUBoot rollback yapar.

Güvenlik: İmge imzalama anahtarı üretim aşamasında her modül için *ortak* olarak gömülebilir, veya yapım sahibi tarafından özel anahtarla imzalanabilir. ECDSA-P256 imza doğrulaması CryptoCell-312 ile donanım hızlandırılmalıdır.

8.5 Modem Firmware

nRF9151 modemi ayrı bir firmware (modem firmware — “modem-fw”) ile çalışır; Nordic tarafından imzalı ve dağıtılır. Modül üretim sırasında en son onaylı modem-fw ile yüklenir; saha güncellemeleri LTE-M veya NB-IoT üzerinden FOTA (Firmware Over-the-Air) ile yapılır.

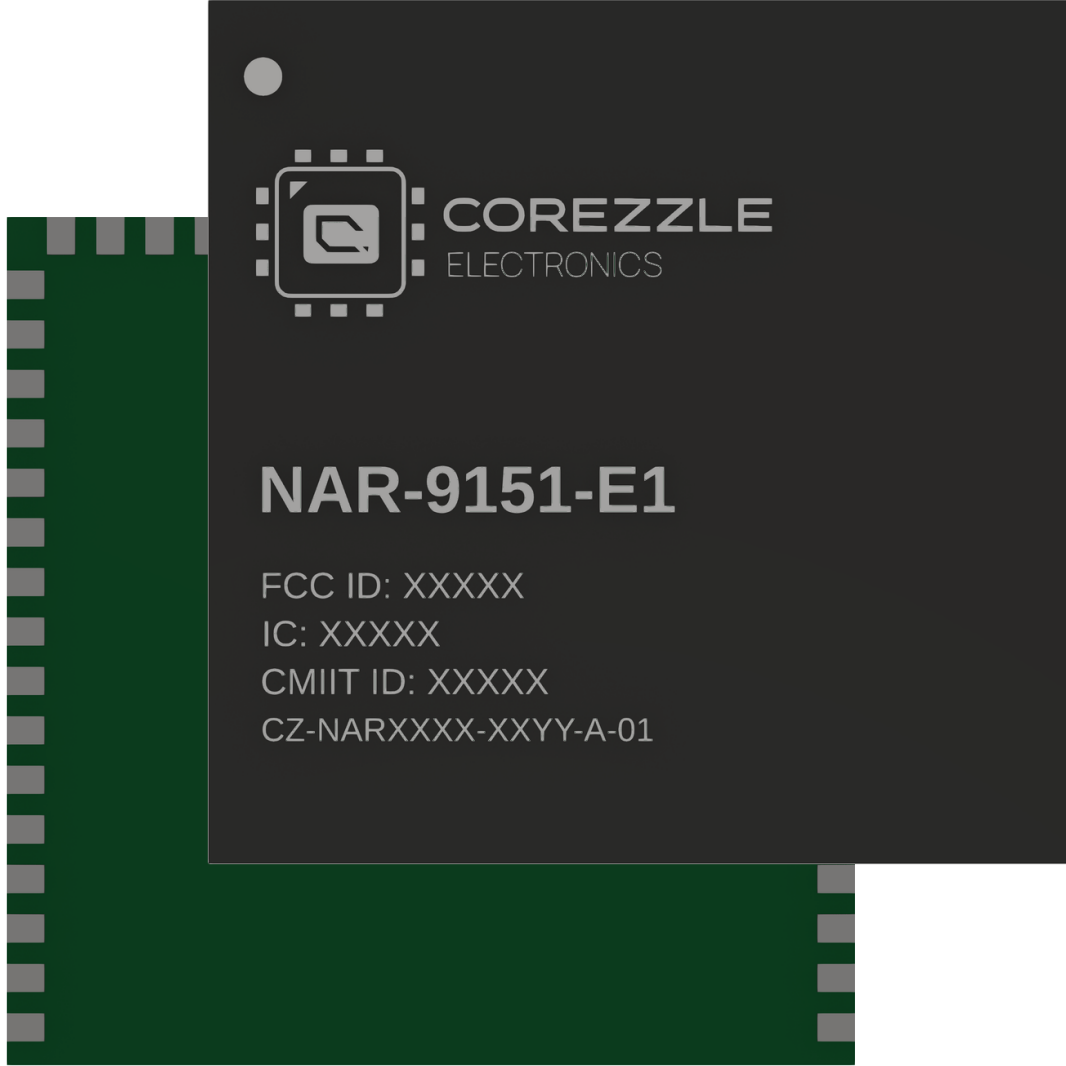
Üretim default modem-fw: **TBD** [üretim revizyonu] (GSMA + bant onayı çerçevesinde dondurulur).

Uyarı: Modem-fw güncellemesi 3GPP sertifika uyumluluğunu etkileyebilir. Üretim sonrası modem-fw seçimi GSMA TS.34 testinden geçmiş sürümlerle sınırlandırılmalıdır.

BÖLÜM 9

Mekanik

NAR-9151-E1 kompakt bir PCB modül formundadır; taşıyıcı PCB üzerine SMT (Surface-Mount Technology) işlemi ile lehimlenir. Paket genel görünümü Şekil 9.1’de verilmiştir (üst: marka yüzü; alt: pad yüzü, 48 kenar pad’i).



Şekil 9.1. NAR-9151-E1 paket 3D görünüş — sağ-üst: ön yüz (üst yüzey markalama: Corezzle Electronics logosu, ürün kodu NAR-9151-E1 ve sertifika kimlik alanları), sol-alt: arka yüz (48 kenar pad’i: alt 16, sol 16, sağ 16; üst kenar pad’siz).

9.1 Modül Boyutları

Not (üretim detayları): Modülün dahili PCB stack-up’ı, substrat malzemesi, dielektrik konfigürasyonu ve bakır katmanlama *Corezzle Elektronik üretim bilgisi* olarak tutulmakta olup halka açık datasheet’te paylaşılmaz. Uygulama tasarımı için bu bilgiler gerekli değildir; modülün dış pad arayüzü ve yüksekliği yeterlidir.

Tablo 9.1. Modül mekanik boyutları (NAR-9151-E1 paket kaynaklı).

Parametre	Açıklama	Değer
$L \times W$	Modül dış boyutu	18,0 × 18,0 mm
H	Modül toplam yüksekliği (gövde + interposer)	1,9 mm
h_{body}	Üst gövde kalınlığı	1,1 mm
h_{intp}	Interposer (alt taşıyıcı) kalınlığı	0,8 mm
h_{pad}	Pad yüksekliği (interposer altı)	0,05 mm
h_{PCB}	Dahili PCB stack-up kalınlığı	TBD (üretim sırrı — detay paylaşılmaz)
Kenar pad sayısı	Çevre dizilimi	48 (16 + 16 + 16, üst pinsiz)
Pad boyutu	Tek pad ölçüsü ($W \times L$)	0,6 × 0,8 mm
Pad pitch (p_x)	Alt kenar pad merkezleri	1,047 mm
Pad pitch (p_y)	Sol/sağ kenar pad merkezleri	1,051 mm
Kenar payı (üst)	Pinsiz üst kenar boşluğu	0,5 mm
Kenar payı (alt)	Alt kenar (pad merkezleri ile)	1,14 mm
Kenar payı (sol/sağ)	Sol/sağ kenar payı	0,85 mm
Pin 1 işareti	Üst kenar yakını, daire	Ø0,8 mm
Modül ağırlığı	Tipik	TBD g

9.2 Pad Düzeni ve Land Pattern

Land pattern tasarım kuralları (taşıyıcı PCB):

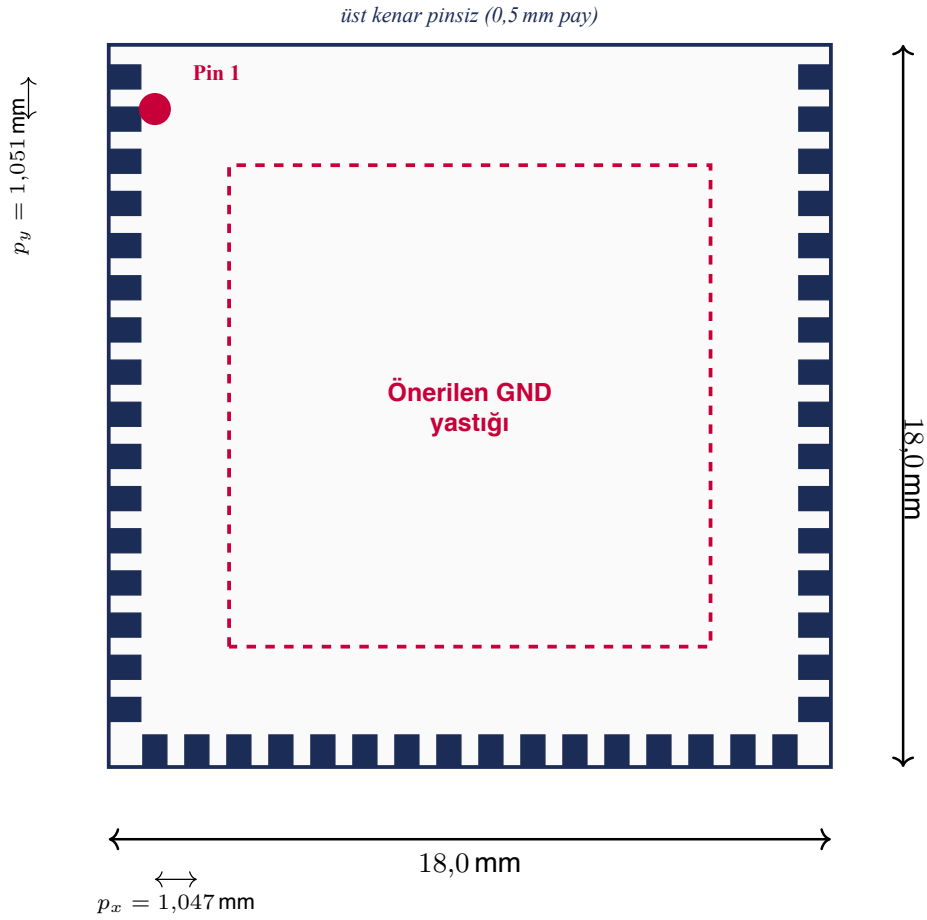
- Pad boyutu: modül pad'i + 0,1 mm her kenardan
- Solder mask açıklığı: NSMD (Non-Solder Mask Defined) önerilir, pad +0,05 mm
- Solder paste stencil: 100 μm kalınlık, pad ile 1:1 açıklık (orta toprak pad'i için window-pane stencil)
- Anten pad'inin altında ve etrafında *kesin toprak boşluğu* (RF performansı için)

9.3 Lehim Profili (Reflow)

NAR-9151-E1 modülü Pb-free standart reflow profili ile lehimlenir; J-STD-020E uyumlu. Önerilen profil:

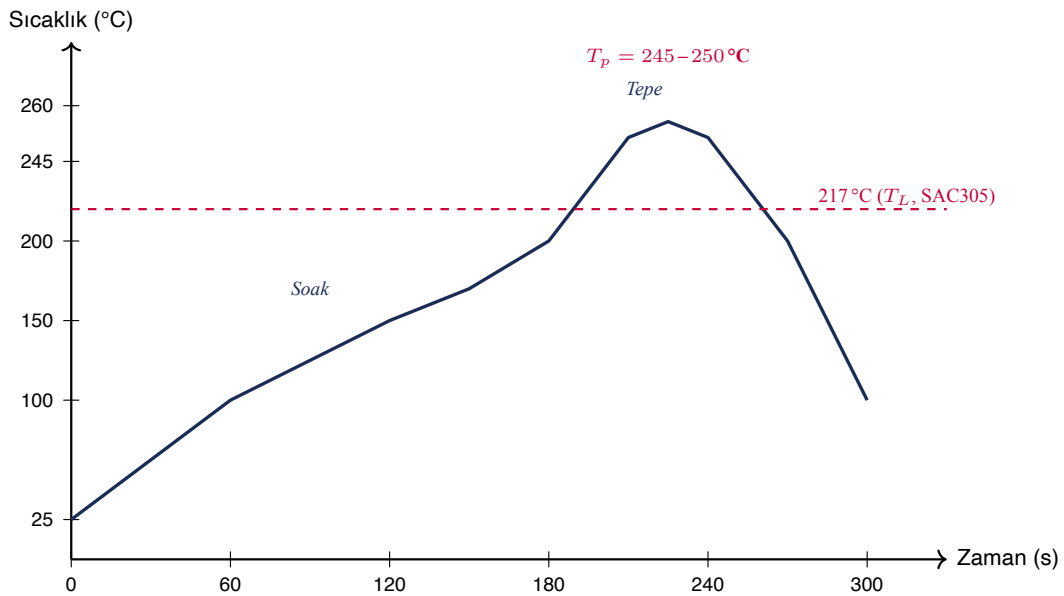
Tablo 9.2. Reflow profili parametreleri (Pb-free, J-STD-020E).

Parametre	Açıklama	Değer
$T_{\text{S,min}}$	Soak alt sınırı	150 °C
$T_{\text{S,max}}$	Soak üst sınırı	200 °C
t_{S}	Soak süresi	60 – 120 s
T_{L}	Liquidus sıcaklığı (SAC305)	217 °C
t_{L}	T_{L} üzeri süre	60 – 90 s
T_{p}	Tepe sıcaklığı	245 – 250 °C
t_{p}	Tepe sıcaklığında süre	20 – 30 s
$T_{\text{p,max}}$	Tepe mutlak maks	260 °C
Rampa (ortalama)	25 °C → tepe	≤ 3 °C/s
Soğuma (ortalama)	Tepe → 25 °C	≤ 6 °C/s



NAR-9151-E1 — alt görünüm (önerilen land pattern, 48 pad)

Şekil 9.2. NAR-9151-E1 modülünün önerilen land pattern (alt görünüm). Pad'ler kenarlardan modülün dışına çıkar; orta alan toprak yastığı olarak rezerve edilmiştir.



Şekil 9.3. Önerilen Pb-free reflow profili (J-STD-020E uyumlu).

9.4 Nem Hassasiyet Seviyesi (MSL)

MSL3 öngörülmektedir (J-STD-020E uyarınca):

- Açılmamış paket raf ömrü: ≥ 12 ay (25 °C / 60 % RH altında)
- Açılmış paket bekleme: 168 saat (25 °C / 60 % RH altında)
- Bekleme süresi aşıldıysa baking: 125 °C / 24 saat

Üretim revizyonunda MSL doğrulaması yapılacak ve etiket bilgisi güncellenecektir.

9.5 ESD Hassasiyeti

Tablo 9.3. ESD hassasiyet sınıflandırması.

Sembol	Açıklama	Değer
HBM	Human Body Model (JS-001)	2 kV (Class 2)
CDM	Charged Device Model (JS-002)	500 V (Class C2)
IEC _{ANT}	IEC 61000-4-2 hava deşarjı (anten pad'i)	8 kV
IEC _{ANT}	IEC 61000-4-2 temas deşarjı (anten pad'i)	4 kV

Kullanım notu: Modülün anten pad'i ESD risklerine karşı ek bir TVS (Transient Voltage Suppressor) ile korunabilir; ancak ek kapasitans LTE bantlarındaki return loss'u etkiler. Tipik ESDA pad seçimi: $C_{ESD} < 0,3$ pF.

BÖLÜM 10

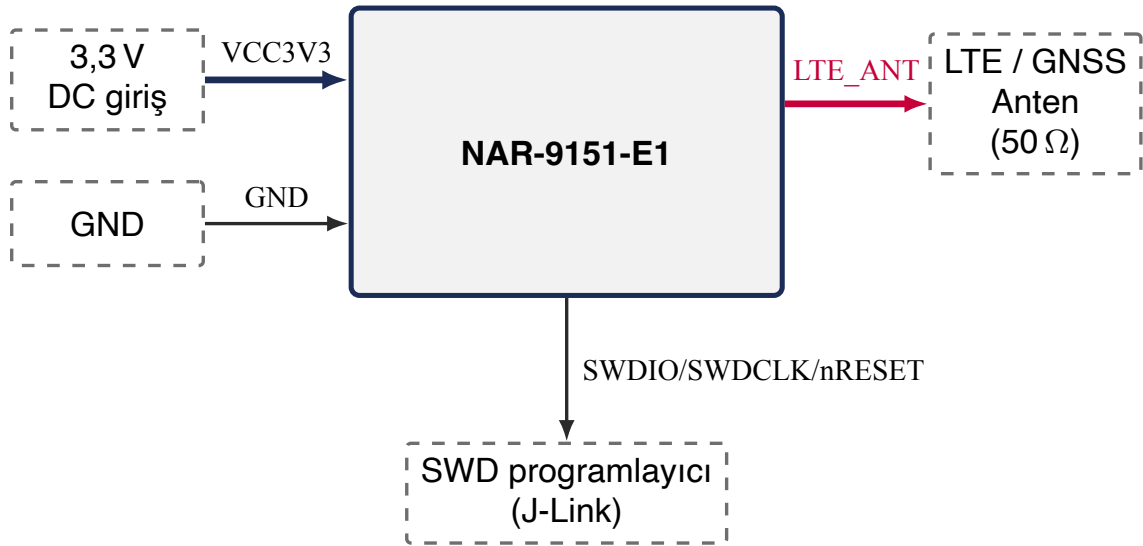
Uygulama Bilgisi

Bu bölüm, NAR-9151-E1 modülünü kullanan tipik bir taşıyıcı PCB tasarımcısı için entegrasyon yönergeleri ve referans devre konfigürasyonlarını özetler.

10.1 Minimum Bağlantı

Modülün çalışması için en az aşağıdaki sinyaller bağlanmalıdır:

Önerilen taşıyıcı PCB decoupling:
47 μ F (tantalum) + 100 nF (MLCC)



Şekil 10.1. Minimum referans bağlantı şeması. Pasif bileşenler (decoupling kapasitörler) modül üzerinde mevcuttur; taşıyıcı PCB tarafında ek 47 μ F bulk + 100 nF decoupling önerilir.

- VCC3V3: 3,3 V besleme girişi (tantalum 47 μ F + 100 nF MLCC ile decoupling)
- GND: Toprak referansları (tüm GND pad'leri)
- LTE_ANT: 50 Ω kontrollü empedans yolu ile anten konektörüne (U.FL veya SMA)
- SWDIO, SWDCLK, nRESET: SWD programlama konektörüne (10-pin Tag-Connect veya 2x5 Cortex Debug)

İsteğe bağlı:

- LOAD_SW_DISABLE: Açık-bırakılır $\rightarrow$ modül her zaman açık
- ENABLE: Açık-bırakılır $\rightarrow$ dahili davranış

- GPIO / UART / SPI / I²C: Uygulamaya göre

10.2 Anten Tasarımı

10.2.1 Anten Tipleri

NAR-9151-E1 tek 50 Ω anten pad'i sunar. Uygulamaya bağılı olarak aşağıdaki anten tipleri kullanılabilir:

Tablo 10.1. Anten tipi karşılaştırması.

Tip	Avantajlar	Dezavantajlar
PCB chip anten	Düşük maliyet, küçük boyut, lehimlenebilir	Daha düşük kazanç, dikkatli ground plane gereklili
PCB trace anten	Sıfır BoM, tasarımcı kontrolü	PCB alanı tüketir, çok bantlı zor
Harici LTE anten + GNSS aktif	En iyi performans, bant esnekliği	Yüksek maliyet, mekanik konektör
Konektör (U.FL/SMA) + harici dipol	Esneklik, saha değiştirilebilir	Mekanik boyut, montaj kompleksi

10.2.2 Anten Yerleşim Yönergeleri

- Anten yolu (modül pad'inden konektöre veya antene) en kısa olmalı; 50 Ω kontrollü empedans korunmalı.
- Anten altında ground plane olmamalı (boşluk en az 5 mm).
- Anten konektörü PCB kenarına yerleştirilmeli; metalik objelerden en az 5 mm uzak olmalı.
- Pasif anten kullanılıyorsa eşleştirme ağı (matching π -network) anten yakınında konumlandırılmalı (modül pad'i ile anten arasında değil).
- GNSS performansı için RHCP (Right-Hand Circular Polarization) anten tercih edilir; düz patch antenler doğrudan görüş için uygundur.

10.2.3 Aktif Anten Tee

Aktif GNSS anteni kullanılıyorsa LNA beslemesi DC bias tee ile sağlanır:

- Bias gerilimi: 1,8 V – 3,3 V (anten datasheet'ine göre)
- Bias akımı: ≤ 15 mA (tipik patch antenler)
- Bias tee: 10 nH ferrit boncuk (RF blok) + 10 nF DC blok kondansatör (anten yönünden)

10.3 SIM Kart Yönetimi

Modül üzerinde lehimlenmiş eSIM bulunduğu için son ürün PCB tarafında SIM soketi gerekli değildir. Ancak bazı uygulamalarda çift mod (eSIM + harici nano-SIM) istenirse:

- Harici SIM soketi modül dışındaki SIM_xxx pad'lerine bağlanabilir.
- nRF Connect SDK'da `nrf_modem_at` arayüzünden hangi SIM aktif olarak kullanılacağı seçilebilir.
- Çift SIM senaryosu için elektriksel mux gerekir (TXS0204 sınıfı çift-voltaj seviye mux).

Önemli: eSIM ilk profil yüklemesi (initial provisioning) operatör SM-DP+ sunucusuyla iletişim için ilk hücresel bağlantı gerektirir. Üretim öncesi “bootstrap” profili ile gelinmesi öngörülmektedir.

10.4 EMC ve Mahfaza Yönergeleri

- Modül LTE TX’inde 600 mA pik akım çekebilir; besleme yolunun empedansı düşük tutulmalı (geniş trace + bulk cap).
- Yüksek-frekanslı dijital saatler (modemde 24 MHz, GNSS LNA bias) RF anten yolundan uzak tutulmalı.
- Metalik mahfaza içinde anten kullanımı için “aperture” veya tümleşik anten yolu tasarlanmalı (RF kapalı oluşumu engellemek için).
- EMC pre-compliance testleri (CE-RED EN 301 489-52, FCC Part 22/24/25/27) için modülün anten yolu kalibre edilmelidir.

10.5 Üretim Öncesi Donanım Tamamlama (Rev. A0 □ A1)

NAR-9151-E1 Rev. A0 mühendislik numuneleri, donanım tasarımının **üretim öncesi tamamlanması gereken** altı maddesi içerir. Bu eksiklikler modülün *çalışmadığı* anlamına gelmez; yalnızca bazı işlevlerin Rev. A1 PCB revizyonunda etkinleştirileceğini ifade eder. Detaylı şema tamamlama planı için iç koordinasyon belgesi (“schema-completion-plan”) referans alınır.

Tablo 10.2. Rev. A0 bilinen donanım eksiklikleri ve Rev. A1 tamamlama planı. Eksiklikler bench üzerinde dış kabloyla rework edilerek geçici olarak doğrulanabilir.

#	Bulgu	Etki (Rev. A0)	Rev. A1 Çözüm
1	SP4T anten anahtarı V1/V2 kontrol pinleri nRF9151’e bağlı değil	LTE bant seçimi yazılım kontrolü yok; anten yönlendirmesi sabit	nRF9151 P0.00 → V1, P0.01 → V2 (Tablo 3.9)
2	SP4T RFC + RF1–RF4 + ANT yolları izole	LTE/GNSS yönlendirmesi tamamlanmamış; tek bantta sabit	RF1: ana LTE; RF2: diversity (opsiyonel); RF3: GNSS yolu; RF4: yedek
3	nRF9151 P0.00–P0.31 hepsi izole, modül dışı pad’lere bağlı değil	Uygulama GPIO erişimi yok (yalnız test point)	Tablo 3.9 kanonik atama + Edge.Cuts pad güncellemesi
4	pad-to-net senkronizasyon	— (yalnız doküman güncelliği)	Şema güncellemesi sonrası kanonik CSV otomatik yenilenir
5	LTE anten matching ağı (L_{seri} 9,1 nH) tamamlanmamış	LTE RF performansı tahmin edilemez; bant testi yapılamaz	T-network: L_{seri} 9,1 nH + C_{shunt} 15 pF + C_{DC} blok 100 pF
6	nRF9151 nRESET pininde pull-up yok	Açık girişte stabilite riski, ESD/glitch hasasiyeti	Yeni 10 k Ω pull-up direnci → VCC3V3 (3,3 V)

Rev. A0 Mühendislik Numuneleri Kullanım Önerisi:

Rev. A0 modülleri aşağıdaki sınırlı kapsamda kullanılabilir:

- **Sabit bant LTE testi:** Anten anahtarı sabit konumda olduğu için tek bantta sabit RX/TX testleri yapılabilir.
- **GNSS RX zinciri tam:** SKY65943 LNA → nRF9151 GPS pini yolu Rev. A0’da tamamen bağlıdır; GNSS performansı bench’te ölçülebilir.
- **eSIM + modem işlevleri tam:** nRF9151 + eSIM bağlantısı tam; LTE/NB-IoT modem yazılım entegrasyonu ve hücresel ağa bağlanma testleri yapılabilir.
- **Güç tüketimi karakterizasyonu:** Yük anahtarı + nRF9151 besleme zinciri tam; PSM/eDRX güç ölçümleri yapılabilir.
- **SWD debug + firmware geliştirme tam:** SWD pad’leri (TP5/TP6/TP41) üzerinden geliştirme ortamı çalışır.

Yapılmayan / yapılamayan testler (Rev. A0’da):

- Çoklu LTE bant geçişi (yazılım kontrolü olmadan)
- LTE TX kalibrasyonu (matching ağı eksik)
- Uygulama GPIO entegrasyonu (yalnız test point üzerinden)
- Üretim sertifikasyon ön-testi (CE-RED, FCC)

10.6 Mühendislik Bench Erişimi

NAR-9151-E1 modülünün dış arayüz pad'leri (**TP1–TP46** KiCad refdes'leriyle) bench karakterizasyonu ve uygulama geliştirme için doğrudan erişim sağlar. Tam pad ↔ net eşlemesi kanonik olarak Bölüm 3.4 (Bölüm 3.4 “Pad Numaralandırması”) altında Tablo 3.10 ve Tablo 3.11 tablolarında verilmiştir.

Mühendislik bench ölçümleri için tipik kullanım senaryoları:

- **RF karakterizasyonu:** TP42 üzerinden anten matching ağı ölçümü (VNA bağlantısı için 50 Ω probe).
- **Güç tüketimi:** TP15 (VCC3V3) ile multimeter akım ölçümü; TP2 (LOAD_SW_DISABLE) ile yük anahtarı kontrolü.
- **Modem debug:** TP5/TP6 (SWDCLK/SWDIO) SEGGER J-Link veya OpenOCD nRF91 bağlantısı; TP41 (nRESET) butonla manuel reset.
- **Yazılım GPIO testi:** TP7–TP40 üzerinden 32 adet nRF9151 P0.xx pin'ine erişim (özellikle ADC AIN0–7 TP22–TP29 ve TRACE pinleri TP30–TP34).

BÖLÜM 11

Sipariş Bilgisi

11.1 Parça Numarası Yapısı

NAR-9151-E1 modülü için parça numarası aşağıdaki yapıdadır:

NAR-9151-E1- XYZ	
Aile	NAR-9151
Mod	LTE (LTE-M / NB-IoT)
Revizyon	E1 (birinci nesil donanım, ilk üretim revizyonu)
Sınıf / opsiyon	XYZ (operatör profili / sıcaklık / paket — üretim revizyonu)

11.1.1 Parça Numarası Bölümleri (Mevcut + Önerilen)

Tablo 11.1. Mevcut parça numaraları ve önerilen üretim varyantları.

Parça Numarası	Açıklama	Durum
NAR-9151-E1	Mühendislik numunesi (TR varsayılan, eSIM bootstrap, $-40 - +85$ °C industrial)	Mevcut prototip
NAR-9151-E1-EU	EU bant kalibrasyonu (B1, B3, B8, B20, B28, B66) + CE-RED	Önerilen
NAR-9151-E1-AM	Amerika bant kalibrasyonu (B2, B4, B5, B12, B13, B17, B25, B66) + FCC + IC	Önerilen
NAR-9151-E1-WW	Dünya genelinde (tüm bantlar etkin, çoklu sertifika)	Önerilen
NAR-9151-E1-EU-C	EU + ticari sıcaklık (0 °C $- +70$ °C) düşük maliyet	Opsiyonel

Not: Yukarıdaki varyant kodlama şeması üretim revizyonunda dondurulacaktır. Mevcut Rev. 0.1 ADVANCE INFORMATION sürümünde yalnız NAR-9151-E1 mühendislik PN'i geçerlidir.

11.2 Numune Talebi

Mühendislik numuneleri Corezzle Elektronik A.Ş. ile doğrudan iletişim üzerinden temin edilir:

- E-posta: info@corezzle.com
- Web: corezzle.com

Numune paket içeriği (öngörülen):

- 1 adet NAR-9151-E1 modülü (TP1–TP46 popüle (modül dış pad'leri))
- Referans taşıyıcı PCB (ihtiyaç halinde, ayrı PN)
- nRF Connect SDK örnek uygulama paketi
- Numune eSIM bootstrap profili (test operatörü)

11.3 Üretim ve Lead Time

Üretim lead time'ı, sipariş hacmi ve seçilen varyanta bağlıdır. İndikatif zaman çizelgesi:

Tablo 11.2. İndikatif lead time tablosu.

Sipariş Tipi	Açıklama	Lead Time
Mühendislik numunesi	1 – 10 adet	2–4 hafta
Pilot üretim	100–500 adet	4–8 hafta
Seri üretim — başlangıç	1 000–5 000 adet	8–12 hafta
Seri üretim — standart	≥ 10 000 adet/yıl	12–16 hafta

Önemli: Lead time'lar tedarikçi yongalarının (nRF9151, GNSS LNA, SP4T anten anahtarı, yük anahtarı, eSIM) güncel mevcudiyetine bağlıdır. Aktif sipariş için Corezzle Elektronik ile bağlantı kurun.

11.4 Paketleme ve Sevkiyat

Tablo 11.3. Paketleme seçenekleri (öngörülen).

Tip	Açıklama	Birim/paket
Numune kutusu	ESD-safe kutu, 1 – 10 modül	1 – 10
Tray	MSL3 nemden korumalı tray + nem alıcı	250
Tape & Reel	Otomatik SMT için reel (T&R)	1 000 / reel

BÖLÜM 12

Revizyon Geçmişi

12.1 Doküman Revizyonları

Tablo 12.1. NAR-9151-E1 datasheet doküman revizyon geçmişi.

Revizyon	Tarih	Değişiklikler
0.1 ADVANCE INFORMATION	Haziran 2026	İlk taslak. nRF9151 + GNSS LNA + SP4T anten anahtarı + yük anahtarı + eSIM mimari özeti. Pin yapılandırması ve elektriksel parametreler indikatif (TBD üretim revizyonu). RF performansı, GNSS hassasiyet ve güç tüketimi nRF9151 ürün spesifikasyonundan türetilmiş tahmin değerleri. Mekanik boyutlar Edge.Cuts ölçümünden çıkarıldı (PCB dahili stack-up paylaşılmaz).

12.2 Donanım Revizyonları

Tablo 12.2. NAR-9151-E1 donanım revizyon geçmişi ve planlanan değişiklikler.

Donanım Rev.	Tarih	Notlar
A0	Nisan 2026	İlk PCB sürümü. 50 Ω kontrollü empedans trace, PCB stack-up ve pad düzenlemesi tamamlandı. Mühendislik numuneleri için TP1–TP46 modül dış pad’leri popüle. Bilinen eksiklikler: Tablo 10.2 (SP4T V1/V2 bağlantısı, P0.xx pad eşleştirmesi, LTE matching ağı, nRESET pull-up).
A1	öngörülen Eylül 2026	Rev. A0 bilinen eksikliklerin tamamı çözüldü. Detay: Tablo 12.3.

Rev. A1 Planlanan Donanım Değişiklikleri

Tablo 12.3. Rev. A1 PCB revizyonunda yapılacak donanım değişiklikleri özet listesi. Detaylı çözüm önerileri Bölüm 10 “Üretim Öncesi Donanım Tamamlama” bölümünde.

#	Değişiklik	Açıklama	Yeni bileşen
1	SP4T V1/V2 wiring	nRF9151 P0.00 $\rightarrow$ V1, P0.01 $\rightarrow$ V2; LTE bant seçimi yazılım kontrolü açılır	— (wiring)
2	SP4T RFC + RF1–RF4 routing	LTE/GNSS yönlendirmesi tamamlanır; ana LTE + opsiyonel diversity + GNSS izolasyonu	— (wiring)
3	P0.xx modül dış GPIO pad’leri	Kanonik atama (Tablo 3.9) + Edge.Cuts pad güncellemesi	— (pad)
4	LTE anten matching ağı (T-net)	L_{seri} 9,1 nH + C_{shunt} 15 pF + C_{DC} 100 pF	(mevcut L, C yeniden konumu)
5	nRESET pull-up direnci	10 k Ω pull-up $\rightarrow$ VCC3V3 (3,3 V); stabilite + ESD koruması	yeni R 10 k Ω (0402)
6	pad-to-net senkronizasyon	İç doküman + datasheet pad tabloları otomatik yenilenir	— (doküman)

12.3 Planlanan İlerideki Doküman Değişiklikleri

- **Rev. 0.2 (öngörülen Eylül 2026, Rev. A1 donanımı ile):** Bench karakterizasyonu sonrası elektriksel ve RF performans rakamlarının doğrulanması. PSM/eDRX güç tüketimi ölçümü. Termal direnç verileri. SP4T V1/V2 kanonik tablosu (üretim revizyonunda dondurulmuş).
- **Rev. 0.3:** Sertifika numaraları (CE-RED, FCC ID, IC ID) ve uyumluluk raporları.
- **Rev. 1.0:** Üretim ön-revizyonu. Tüm **TBD** alanları dondurulmuş, kanonik GPIO atamaları belirlenmiş, varyant PN'leri açılmış.

Geri bildirim: Bu datasheet'te bulduğunuz hata, eksik veya açıklığa kavuşturulması gereken noktalar için info@corezzle.com adresine yazın.

BÖLÜM 13

Hukuki Bilgi ve Sertifikasyon

13.1 Sorumluluk Sınırı

Bu belgede sunulan teknik bilgiler iyi niyetli ve mümkün olan en yüksek doğrulukla hazırlanmıştır. Ancak Corezzle Elektronik A.Ş. bu bilgilerin mutlak doğruluğunu, eksiksizliğini veya belirli bir uygulama için uygunluğunu garanti etmez. Ürünün performansı ve uyumluluğu kullanım koşullarına ve son ürün tasarımına bağlıdır.

Bu belge **ADVANCE INFORMATION** statüsündedir; içerdiği elektriksel, RF ve sertifika parametreleri henüz nihai üretim karakterizasyonundan geçmemiştir. Yayımlanmış sürüm bilgileri revizyonlar arasında değişebilir; en güncel revizyonu Corezzle Elektronik üzerinden temin edin.

13.2 Sertifikasyon ve Uyumluluk (Hedeflenen)

NAR-9151-E1 modülü aşağıdaki düzenleyici çerçeveler için hedeflenmiştir:

Tablo 13.1. Hedeflenen sertifika ve uyumluluk.

Çerçeve	Standartlar	Durum
CE-RED	Radio Equipment Directive 2014/53/EU, EN 301 489-52, EN 301 908, EN 303 413, EN 50665	TBD
FCC	FCC Part 22, Part 24, Part 25, Part 27 (LTE bantları), Part 15 (GNSS RX)	TBD
IC (Innovation Canada)	ISED RSS-130, RSS-132, RSS-133, RSS-139 (LTE), RSS-Gen	TBD
GSMA	TS.34 device requirements, GCF / PTCRB module certification	TBD
RoHS	2011/65/EU Directive 3 (Pb-free uyum)	Hedef uyumlu
REACH	EC No 1907/2006	Hedef uyumlu

Sertifika ID'leri:

- FCC ID: **TBD** (sertifika sonrası)
- IC ID (ISED): **TBD** (sertifika sonrası)
- CE-RED uygunluk beyanı: **TBD** (sertifika sonrası)
- GCF cihaz sertifika numarası: **TBD** (sertifika sonrası)

Önemli: Son ürün üreticisi modülü kendi son ürününe entegre ederken sertifika ID'lerini son ürün etiketine ve dokümantasyonuna uygun şekilde işaretlemek zorundadır. Modül üreticisinden alınan “module integrator’s manual” a uyulması zorunludur.

13.3 İhracat Kontrolü

NAR-9151-E1 modülü hücresel modem ve şifreleme bileşeni (CryptoCell-312) içerdiğinden çift kullanımlı (dual-use) kalemler arasında yer alabilir. İhracat sırasında geçerli ulusal düzenlemelere (örn. Wassenaar Düzenlemesi Ek 5.A.2, AB Dual-Use Reg. 2021/821, US EAR Cat 5.A.002) uyulması son kullanıcının sorumluluğundadır.

13.4 Ticari Markalar

- **Corezzle®** ve **Corezzle Electronics®** Corezzle Elektronik A.Ş.'nin tescilli ticari markalarıdır.
- Nordic Semiconductor®, nRF®, nRF Connect SDK™: Nordic Semiconductor ASA ticari markalarıdır.
- Arm®, Cortex®, TrustZone®: Arm Limited ticari markalarıdır.
- Tüm diğer ticari markalar ilgili sahiplerinin mülkiyetindedir.

13.5 İletişim

Yasal ünvan	Corezzle Elektronik Anonim Şirketi (A.Ş.)
Pazarlama markası	Corezzle Electronics
Adres	SANAYİ MAH. TEKNOPARK BUL. NO: 1/4C İÇ KAPI NO: 213 PENDİK / İSTANBUL
Web	corezzle.com
E-posta	info@corezzle.com
GitHub	github.com/CorezzleElectronics

© 2026 Corezzle Elektronik A.Ş. Tüm hakları saklıdır.

BÖLÜM 14

Üst Kaynak Datasheet Referansları

NAR-9151-E1 modülünün dış arayüzüne hizmet eden referans belgeler aşağıda listelenmiştir. Modülün iç bileşenlerine ilişkin tedarikçi datasheet'leri *üretim bilgisi* olarak tutulmakta olup public datasheet'te paylaşılmaz; uygulama tasarımı için modülün dış arayüzü (pad eşlemeleri, RF, güç, mekanik) yeterlidir.

14.1 Yonga Datasheet'leri

14.1.1 Nordic Semiconductor nRF9151

- Ürün sayfası: nordicsemi.com/Products/nRF9151
- Belge: *nRF9151 Product Specification* (en son revizyon)
- Anahtar bölümler: Pin Assignments, Radio Performance, Current Consumption, Operating Conditions, Mechanical

14.1.2 MFF2 form eSIM

- Belge: ilgili eSIM tedarikçisi MFF2 datasheet (üretim sırasında AVL üzerinden belirlenir)
- Standartlar: ETSI TS 102 221, ISO/IEC 7816-3, GSMA RSP (Remote SIM Provisioning) Technical Specification

14.2 Standartlar ve Spesifikasyonlar

14.3 Geliştirme Kaynakları

- **nRF Connect SDK**: nordicsemi.com/Products/Development-software/nRF-Connect-SDK
- **Zephyr RTOS**: zephyrproject.org
- **Nordic DevAcademy**: academy.nordicsemi.com
- **Nordic DevZone (forum)**: devzone.nordicsemi.com
- **nRF Cloud**: nrfcloud.com
- **Corezzle Electronics**: corezzle.com

Tablo 14.1. Bu datasheet'te referans alınan standartlar.

Standart	Açıklama
3GPP TS 36.101	E-UTRA UE radio transmission and reception (LTE)
3GPP TS 36.523	LTE conformance specification
3GPP Release 14	LTE-M (Cat-M1) ve NB-IoT (Cat-NB2) enhancement'ları
GSMA TS.34	IoT device requirements
GSMA SGP.21/22	eSIM Remote SIM Provisioning architecture
ETSI TS 102 221	Smart card application toolkit, terminal interface
ISO/IEC 7816-3	Smart card protocol (T =0, T =1)
J-STD-020E	Moisture/reflow sensitivity of solid-state SMD devices
J-STD-001	Soldering electrical and electronic assemblies
JEDEC JS-001	ESD Human Body Model (HBM) test
JEDEC JS-002	ESD Charged Device Model (CDM) test
IEC 61000-4-2	ESD immunity test (anten pad'i)
EN 301 489-52	EMC for cellular IoT devices
EN 301 908	IMT cellular networks (UMTS, LTE)
EN 303 413	GNSS receiver EMC
FCC Part 22/24/25/27	US cellular bant düzenlemeleri
RSS-130, 132, 133, 139, Gen	ISED Kanada radyo düzenlemeleri
RoHS 2011/65/EU + Dir. 3	Avrupa toksin sınır direktifi

EK A

Tam Pad Haritası (48 pad)

Aşağıdaki tablolar NAR-9151-E1 SiP modülünün 48 kenar pad'inin kanonik dağılımını gösterir. Sıra (#1–#48) CCW (saat yönünün tersine) konvansiyonunu izler: #1 LEFT kenarın üst pad'i, #16 LEFT son pad, #17 BOTTOM kenarına, #33 RIGHT kenarına geçer. TP refdes'leri (TPn) KiCad şema kanonik isimleridir; TP15 ve TP44 duplicate refdes'ler — aynı net'e bağlı iki fiziksel pad.

Önemli: nRF9151 P0.xx GPIO'larının modül dışı pad isimlendirme kanonik atamaları üretim revizyonunda dondurulacaktır. nRF Connect SDK board file ile yazılım yapılandırılabilir.

LEFT Kenarı (16 pad)

Pad	Sinyal	Tip	Acıklama	Voltaj
1	TP44	gpio	eSIM debug erisimi (TBD pad)	1.8V
2	TP36	gpio	nRF GPIO P0.xx	1.8V
3	TP35	gpio	nRF GPIO P0.xx	1.8V
4	TP37	gpio	nRF GPIO P0.xx	1.8V
5	TP38	gpio	nRF GPIO P0.xx	1.8V
6	TP39	gpio	nRF GPIO P0.xx	1.8V
7	TP40	gpio	nRF GPIO P0.xx	1.8V
8	TP42	rf	RF ic yolu (anten matching, debug)	—
9	TP1	gpio	GNSS LNA bias EN (COEX0 dedike)	1.8V
10	TP4	gpio	LTE/GNSS coexistence	1.8V
11	TP14	gpio	LTE/GNSS coexistence	1.8V
12	TP7	gpio	nRF GPIO P0.xx	1.8V
13	TP2	system	Yuk anahtari kontrolu (LOAD_SW_DISABLE)	3.3V
14	TP8	gpio	nRF GPIO P0.xx	1.8V
15	TP9	gpio	nRF GPIO P0.xx	1.8V
16	TP10	gpio	nRF GPIO P0.xx	1.8V

BOTTOM Kenarı (16 pad)

RIGHT Kenarı (16 pad)

Pad	Sinyal	Tip	Aciklama	Voltaj
17	TP15	power	Sistem 3,3V rail	3.3V
18	TP11	gpio	nRF GPIO P0.xx	1.8V
19	TP12	gpio	nRF GPIO P0.xx	1.8V
20	TP13	gpio	nRF GPIO P0.xx	1.8V
21	TP16	gpio	nRF GPIO P0.xx	1.8V
22	TP17	gpio	nRF GPIO P0.xx	1.8V
23	TP18	gpio	nRF GPIO P0.xx	1.8V
24	TP19	gpio	nRF GPIO P0.xx	1.8V
25	TP20	gpio	nRF GPIO P0.xx	1.8V
26	TP21	gpio	nRF GPIO P0.xx	1.8V
27	TP22	gpio	nRF GPIO P0.xx (ADC AIN0)	1.8V
28	TP23	gpio	nRF GPIO P0.xx (ADC AIN1)	1.8V
29	TP24	gpio	nRF GPIO P0.xx (ADC AIN2)	1.8V
30	TP25	gpio	nRF GPIO P0.xx (ADC AIN3)	1.8V
31	TP26	gpio	nRF GPIO P0.xx (ADC AIN4)	1.8V
32	TP45	reserved	Henüz net'e bağlanmamis (RFU)	—

Pad	Sinyal	Tip	Aciklama	Voltaj
33	TP43	power	Decoupling debug	—
34	TP46	reserved	Henüz net'e bağlanmamis (RFU)	—
35	TP15	power	Sistem 3,3V rail	3.3V
36	TP44	gpio	eSIM debug erisimi (TBD pad)	1.8V
37	TP33	gpio	nRF trace pin (debug)	1.8V
38	TP34	gpio	nRF trace pin (debug)	1.8V
39	TP3	system	Sistem etkinlestirme	1.8V
40	TP32	gpio	nRF trace pin (debug)	1.8V
41	TP31	gpio	nRF trace pin (debug)	1.8V
42	TP30	gpio	nRF trace pin (debug)	1.8V
43	TP6	debug	SWD veri	1.8V
44	TP5	debug	SWD saat	1.8V
45	TP29	gpio	nRF GPIO P0.xx (ADC AIN7)	1.8V
46	TP41	system	Donanim sifirlama	1.8V
47	TP27	gpio	nRF GPIO P0.xx (ADC AIN5)	1.8V
48	TP28	gpio	nRF GPIO P0.xx (ADC AIN6)	1.8V