هيئة الاتصالات والفضاء والتقنية
Communications, Space & Technology Commission

شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة

معمارية توافقية وابتكارية وسيادية

2023

CST.GOV.SA

جدول المحتويات

1. الملخص التنفيذي 4
2. مقدمة 7
   أ. شبكة النفاذ الراديوية التقليدية 7
   ب. التحديات والحاجة إلى الحل 8
   ج. حدود الدراسة التخصصية 9
3. ما هي شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة؟ 10
   أ. وصف المعمارية 10
   ب. فوائد شبكات النفاذ الراديوية المفتوحة 11
4. أصحاب المصلحة في شبكات النفاذ الراديوية المفتوحة والدوافع لاعتماد هذه المعمارية 14
   أ. المشرِّعون وصناع السياسات 16
   ب. مقدمو الخدمات والبنية التحتية 17
   ج. الموزِّدون والمكاملون 18
   د. مؤسسات البحث والتطوير 20
5. الزخم العالمي السريع والرؤية الاستشرافية 22
   أ. نظرة عامة على المشهد العالمي 22
   ب. الجهود التشريعية وصنع السياسات 26
   ج. سوق شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة 27
6. تشكيل المشهد في المملكة العربية السعودية 33
   أ. الاهتمام والجهود المبذولة 34
   ب. الإمكانيات الواعدة والرؤية الاستشرافية 35
   المراجع 36

تنويـــــــه

تهدف هذه الورقة التخصصية إلى تقديم دراسة حول الموضوع، من وجهات نظر تقنية وصناعية وتنظيمية، ولا تمثل بأي حال من الأحوال وجهة نظر أو خطط استراتيجية لهيئة الاتصالات والفضاء والتقنية.

1. الملخص التنفيذي

تشكل شبكات النفاذ الراديوية جزءًا أساسيًّا من بنية الشبكة الخلوية، وتمتلك شبكات النفاذ الراديوية مساحة سطحية كبيرة، حيث يجب توصيل كل محطة رئيسية في البنية التحتية بشبكة نفاذ راديوية [1]، كما أنها تشكل جزءًا كبيرًا من التكلفة الإجمالية للملكية الخاصة بالبنية التحتية الخلوية، والتي تم تقديرها في بعض التقارير -مثل [2] [3]- بنسبة تقريبية تصل إلى حوالي 70%. اتسمت البنى التحتية الحديثة بالبطء والركود، ويعود ذلك إلى حد كبير إلى كيفية تطوير وتصميم وتشغيل شبكات النفاذ الراديوية عموماً، فشبكة النفاذ الراديوية هي حل متكامل مبني باستخدام الأجهزة والبرمجيات ذات العلامات التجارية [6] [7] [8]. ويتطلب إدخال تعديلات على شبكة النفاذ الراديوية، تدخل المورد الذي يوفرها، وذلك إذا تجاوزنا عن تخصيص وتعديل الحزمة الكاملة أو جزء منها، وتتسبب مثل هذه المتطلبات في تقييد مالكي البنية التحتية للاتصالات بموردين محددين، ويزداد الأمر سوءاً بسبب التعقيدات في تركيب وطبيعة شبكة النفاذ الراديوية وحاجتها للتجانس في مكوناتها، مما جعل عملية تطويرها وإنتاجها على نطاق واسع مقتصرًا على عدد محدد من الموردين؛ مما قلّل من مستوى المنافسة في السوق وأثر سلباً على النفقات الرأسمالية والنفقات التشغيلية لمالكي البنية التحتية، كما تؤثر التكاليف المتزايدة والمنافسة المحدودة أيضًا على الابتكار في مجال صناعة الاتصالات؛ حيث أن إدخال خدمات جديدة أو دعم تقنيات جديدة مكلف في أسواق اليوم.

شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة وأصحاب المصلحة

إعادة تصور بنية شبكة النفاذ الراديوية هو المفتاح لمواجهة المشكلات التي تعاني منها البنية التحتية للاتصالات، وهذا ما تهدف إليه بنية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة. والتي يمكن اعتبارها خطوة نحو تحويل شبكة النفاذ الراديوية إلى شريحة مرنة وقابلة للتكيف والتحرك داخل البنية التحتية مثل السحابة الإلكترونية [2]، لتكون قابلة للتوسيع والتخصيص بسهولة من أجل تلبية المتطلبات واستضافة الخدمات والتقنيات الجديدة. يرتكز هذا التحول على أربعة أسس لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة [4]: (أ) تقسيم شبكة النفاذ الراديوية إلى مكونات معيارية؛ (ب) التطبيق الافتراضي للعديد من وظائف شبكة النفاذ الراديوية لفصل البرامج عن الأجهزة؛ (ج) تحديد واجهات مفتوحة بين مكونات شبكة النفاذ الراديوية لدعم التوافق التشغيلي؛ وأخيرًا (د) اعتماد الذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة لتمكين التحكم والتكيف القائم على البيانات.

على الرغم من أن معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة بدأت كحركة قادها مشغلو شبكات الجوال، إلا أنها تتضمن مجموعة متنوعة من أصحاب المصالح الذين يهتمون بتحقيق فوائدها المختلفة، ويمكن تجميع أصحاب المصالح في أربعة فئات رئيسية: (أ) المشرعون وواضعوا السياسات، (ب) مقدمو الخدمات والبنية التحتية، (ج) الموردون والمكاملون، و(د) مؤسسات البحث والتطوير. يهتم أصحاب المصالح الأربعة بتحقيق واحد أو أكثر من الفوائد التي تتيحها هذه المعمارية، ويدفعهم لذلك دوافع مختلفة تستند إلى ثلاثة قيم أساسية: (أ) تحسين الموارد المالية، (ب) تحفيز الابتكار، و(ج) تعزيز سيادة البنية التحتية. الجدول رقم 1 يربط الفوائد الرئيسية لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة بفئات أصحاب المصالح المهتمين وما يحفزهم.

الزخم العالمي والرؤية الاستشرافية

لقد بدأ الاهتمام بشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة في مجال صناعة الاتصالات منذ فترة طويلة، ولكن لم يبدأ تحويل هذا الاهتمام إلى خطوات فعلية إلا في السنوات القليلة الماضية، حيث تشكلت العديد من التحالفات التي يقودها المشغلون والموردون من أجل: (أ) وضع معايير البنية الهندسية لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، (ب) تشجيع البحث والتطوير لبرامج ومكونات شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، و(ج) تمكين تطوير واختبار ونشر الحلول الخاصة بشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة. أمثلة جيدة على ذلك هي تحالف معمارية شبكة النفاذ الراديوية "O-RAN Alliance" ومبادرة مشروع البنية التحتية للاتصالات (Telecom Infra Project -TIP) اللذان يركزان على تطوير معايير معمارية شبكة النفاذ الراديوية واختبارها ونشر حلولها.

الجدول رقم 1: تلخيص فوائد شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، ومن المهتمين بها، والدوافع وراء الاهتمام

فوائد شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة	المشرعون وواضعوا السياسات	مقدمو الخدمات والبنية التحتية	الموردون والمكاملون	مؤسسات البحث والتطوير
تنوع سلسلة الإمداد	تشجيع الموردين المحليين وتحسين أمن البيانات والمعدات	تقليل النفقات الرأسمالية والنفقات التشغيلية	الوصول للتوافق التشغيلي بين معدات الموردين المختلفة	
تنوع سلسلة القيمة والإيرادات		تولد مصادر دخل جديدة	تعزيز الإيرادات والحصة السوقية	
الابتكار في مجال الاتصالات	دعم سوق الاتصالات المحلي بالخدمات وزيادة التأثير في الأسواق العالمية		إنتاج معدات وابتكار وحلول تنافسية	تطوير تقنيات وحلول جديدة ومبتكرة
تكيف البنية التحتية والأسواق	الحد من تأثير انقطاعات سلسلة التوريد على البنية التحتية والأسواق على حد سواء	الحفاظ على استقرار الأعمال وازدهارها		تنمية وتوطين المعرفة والمهارات

تحسين الموارد المالية تحفيز الابتكار تعزيز سيادة البنية التحتية

ويُكمل المشرعون وصناع السياسات تلك الجهود، حيث تساعد مساهماتهم في دعم البحث والتطوير بشكل عام، ويتم ذلك بطرق مباشرة وغير مباشرة، و يتضمن الدعم المباشر تخصيص الأموال للبحث المركز على تطوير ونشر حلول شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، ومن الأمثلة الجيدة على ذلك هي مختبرات سونيك (SmartRAN Open Network Interoperability Centre "Sonic") التي أنشأتها الهيئة التنظيمية للاتصالات (OfCom) ووكالة التقنية الرقمية المتقدمة (Digital Catapult) في المملكة المتحدة [9]، بينما يتجه الدعم غير المباشر نحو البحث المتقدم والابتكار في مجال الاتصالات بشكل عام، ومن الأمثلة الجيدة على ذلك هو تخصيص هيئة الاتصالات الفدرالية الأمريكية لمناطق خاصة للابتكار في مجال الاتصالات [10].

على الرغم من الزخم العالمي، هناك جدل قائم مرتبط بإمكانيات سوق النفاذ الراديوية المفتوحة، ويبقى السؤال السائد حاليًا هو ما إذا كانت معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة قادرة فعلاً على تحقيق الفوائد الموعودة أم لا. وبناءً عليه، تم تخصيص جهد كبير لتقدير إيرادات وحصة السوق الخاصة بشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، بالإضافة إلى تقدير نسبة التوفير المتوقعة. أجرت شركة ABI للأبحاث دراسة توقعت أن تهيمن شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة على السوق اعتبارًا من عام 2028، وتتوقع الدراسة أيضًا أن إيرادات شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة ستحافظ على معدل نمو سنوي مركب قدره 30% بين عامي 2021 و2030م، حيث سيزيد المعدل من 2 مليار دولار إلى 30 مليار دولار [11]، بينما تركز دراسات أخرى أجرتها شركة AGC للأبحاث [3] وشركة أناليسيس ميسون [12] على تقدير نسبة توفير التكلفة الإجمالية للملكية الخاصة بشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة مقارنةً بشبكة النفاذ الراديوية التقليدية - حيث يستخدم كلاهما نماذج التكلفة الإجمالية للملكية المرتبطة بالممتلكات، وقد توقع تقرير الشركة الأولى توفير التكلفة الإجمالية للملكية الخاصة بنشر المشروعات الجديدة بنسبة تتراوح بين 18% و 35%، بينما يتوقع تقرير الشركة الثانية توفير التكلفة الإجمالية للملكية الخاصة بنشر المشروعات القائمة بنسبة 30%.

الجهود والإمكانيات الواعدة في قطاع شبكات النفاذ الراديوية المفتوحة في المملكة

يمتد زخم شبكات النفاذ الراديوية المفتوحة عبر العالم ويصل إلى المملكة العربية السعودية، لذا فقد تعاون مشغلو شبكات الجوال الرئيسيين مع أبرز موردي شبكات النفاذ الراديوية المفتوحة والتحالفات الخاصة بها من أجل اختبار نشر شبكات النفاذ الراديوية المفتوحة في مشاريع البنية التحتية القائمة [13]، وإقامة مختبرات إقليمية [14]، والمساهمة في جهود وضع المعايير القياسية [15]، كما انضم القطاع الحكومي أيضاً ممثلًا في وزارة الاتصالات وتقنية المعلومات إلى هذا الزخم المحلي؛ حيث وقعت مذكرة تفاهم مع نظيرتها الإدارة الوطنية للاتصالات وتقنية المعلومات بالولايات المتحدة الأمريكية للتعاون في عمليات البحث والتطوير في مجال الاتصالات المتقدمة، بما في ذلك شبكات النفاذ الراديوية المفتوحة [16]. ومن المتوقع أن تقدم جميع الجهود السابق ذكرها فوائد متعددة لمجال صناعة الاتصالات في المملكة العربية السعودية، والتي يمكن تلخيصها في النقطتين التاليتين: (أ) تحقيق مبدأ تكافؤ الفرص وتشجيع ظهور الموردين المحليين، و(ب) تنمية الخبرات والمهارات المحلية.

2. المقدمة

يمكن تقسيم شبكة النفاذ الراديوية الخلوية إلى مكونين رئيسيين، وهما شبكة النفاذ الراديوية وشبكة الجوال المركزية [1]، فالشبكة الأولى مسؤولة عن إدارة الموارد اللاسلكية للشبكة الخلوية في موقع واحد أو مواقع جغرافية متعددة (المعروفة بمواقع المحطات الرئيسية)، حيث تضمن اتصال المستخدمين النهائيين (أو بعبارة أخرى أجهزة المستخدم) بالشبكة الخلوية وبتلقيهم لخدمة عالية الجودة التي تتطلبها تطبيقاتهم، ومن ناحية أخرى، تتكون شبكة الجوال المركزية من مجموعة من الوظائف التي تقوم بما يلي: (أ) توفير الاتصال بالإنترنت لخدمات البيانات والمكالمات الصوتية، (ب) ضمان الخدمة عالية الجودة للاتصال بالإنترنت، (ج) ضمان خدمة بدون انقطاع للمستخدمين النهائيين المتحركين والثابتين على حد سواء، وأخيرًا، (د) تتبع استخدام المشتركين لأغراض الفوترة والشحن وتحصيل الرسوم.

أ. شبكة النفاذ الراديوية التقليدية

تُطوَّر وتُصمَم وتُنفَّذ شبكات النفاذ الراديوية التقليدية عادةً بوصفها حل شامل مكتمل الخدمات لمشغلي شبكات الجوال [4] [8] [6] [17] ويُشار إليها في هذه الورقة التخصصية بأنه نهج تصميم شبكة النفاذ الراديوية التقليدية، أو ببساطة شبكة النفاذ الراديوية التقليدية. وتقع مسؤولية تصميم الحزمة الكاملة على عاتق موردي معدات شبكات الجوال (ويُشار إليهم فيما بعد باسم موردي المعدات فحسب)، وبالتالي يقدمون الحلول الخاصة بشبكة النفاذ الراديوية التقليدية **التي تتسم بما يلي:**

أ. استيفاء معايير مشروع شراكة الجيل الثالث (3GPP) ومتطلبات مشغلي شبكات الجوال بل وتتجاوزها في بعض الأحيان.

ب. إنتاج أنظمة موثوقة وقوية من حيث الأداء.

ج. توفير أنظمة سهلة الصيانة مع سرعة اكتشاف المشكلات وحلها.

كل هذه الصفات المشهود لها تعد خصائص جيدة لشبكات النفاذ الراديوية التقليدية؛ فهي توفر راحة البال لمشغلي شبكات الجوال وأصحاب البنية التحتية بخصوص أداء شبكاتهم، كما أنها تُسهم في تقليل أي أعطال، حيث عادةً ما يقدم مورد واحد الحل الكامل بعد اختباره جيدًا.

عادةً ما يلجأ موردو المعدات إلى تصميم مكونات الأجهزة والبرمجيات مسجلة الملكية التي تلبي المواصفات الثلاثة، وبالتالي، يعتبر المشغلون شبكة النفاذ الراديوية التقليدية صندوقا أسود؛ حيث يتطلب إدخال تغييرات هندسية وتصميمية ووظيفية تدخل من المورد الذي قدم شبكة النفاذ الراديوية، مما يطرح مفهوم مايسمى بـ "الاقتصار على مورد معين". وقد لا تبدو فكرة "الاقتصار على مورد واحد" مشكلة كبيرة لو لم يكن هناك عدد محدود من الموردين المتاحين [5] [7] [18]، فواقع السوق في الوقت الحالي هو أنه مكون من عدد صغير من مصنعي ومطوري شبكات الاتصال اللاسلكي التقليدية. ويمكن أن يُعزى ذلك بشكل كبير إلى ارتفاع حاجز الدخول، وهو ببساطة صعوبة إنتاج شبكات تقليدية مخصصة كاملة الخدمات على نطاق واسع [7] [19]، حيث عادةً ما تضمن العملية تصميم ودمج مكونات متنوعة، بين هوائيات لاسلكية وأجهزة المزج (Mixers) إلى وحدات معالجة الإشارات الرقمية المتخصصة وبرمجياتها.

ب.التحديات والحاجة إلى الحل

إلى جانب الاقتصار على موردين محددين، أثرت الخيارات المحدودة على ركود وبطء الجانب الخاص بشبكة النفاذ الراديوية في البنية التحتية للاتصالات لفترة طويلة [2] [5] [4]، حيث يتطلب التوسع في أسواق جديدة نفقات رأسمالية كبيرة ما يزيد النفقات التشغيلية بشكل متسارع، وتشير التقديرات إلى أن 70% من التكلفة الإجمالية للملكية في البنية التحتية للاتصالات موجودة في جانب شبكة النفاذ الراديوية [3] [2]، ويتسبب ذلك في جعل المشغلين يفكرون مليًّا قبل أي توسع أو حتى تقديم أي خدمات جديدة.تولد النفقات أيضًا تأثيرًا تداوليًا يمتد إلى ما هو أبعد من التوسع في أسواق أو خدمات جديدة، بل إنه يعوق الابتكار[5]؛ فالبحث والتطوير يتطلبان بيئة مرنة وتقريبًا بلا حدود، حيث يمكن تطوير الأفكار واختبارها وعرضها بأقل قيود ممكنة، كما أن إطلاق الاختراعات (إصدار أي تطبيق أو تقنية أو خدمة جديدة... إلخ) يتطلب بنية تحتية مرنة وسريعة، وشبكات النفاذ الراديوية التقليدية الحالية وبنيتها الهندسية لا تدع كل ذلك.

صناعة الاتصالات على وشك تحقيق تغيير تحويلي في بنيتها التحتية الخاصة بشبكة النفاذ الراديوي، وذلك عبر إضفاء سمات جديدة على صناعتها مثل المرونة والقابلية والاقتصاد الشبيه بالسحابة الإلكترونية[2]، ويفترض أن تسمح هذه التحولات بتنوّع الموردين واعتماد طرائق النمو الرأسي والأفقي وتعزيز الابتكار. أحد الطرق الرئيسية لتحقيق مثل ذلك التحول هو معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة المستوحاة من الاحتياجات الحالية للصناعة، ويتم تصورها كوسيلة لتغيير قوتها المتحركة، ويدعم العديد من مشغلي شبكات الجوال الرئيسيين تلك المعمارية والبنية الهندسية ويعتمدها العديد من موردي المعدات [15]. تمثل هذه المعمارية انحرافًا كبيرًا عن السائد حاليًا نحو وضع جديد تصمم فيه شبكات النفاذ الراديوية المفتوحة باستخدام مكونات منفصلة افتراضية وقابلة للتشغيل المشترك مع الذكاء الاصطناعي المدمج فيها (تصميم أصلي للذكاء الاصطناعي).

سيبقى السؤال القائم في مجال الاتصالات الحالي هو ما إذا كانت الظروف مناسبة أم لا لاعتماد معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، فقد يبدو تحول مثل هذا الذي تقدمه معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة أمرًا بعيد المنال في البيئة السوقية الخاطئة، حيث يمكن التنبؤ بأن المعمارية المبتكرة ستبب ابتكارًا ثوريًا للنظام البيئي الخاص بمنظومة الاتصالات الخلوية. ومع ذلك، يُعتقد أن صناعة الاتصالات حاليًا جاهزة لتحقيق مثل هذا التحول؛ فقد تم إصدار الجيل الخامس من تكنولوجيا الشبكة الخلوية، وتزايدت معها طلبات رفع كثافة الشبكة الخلوية وتلبية متطلبات متنوعة. الكثافة هي نتيجة تقنية للتطور التكنولوجي[1] بينما تتمثل المتطلبات المتنوعة في القاعدة الاستهلاكية الواسعة لتكنولوجيا الجيل الخامس (مثل الأفراد، والمصنعين، والرعاية الصحية، إلخ)، لذا يمكن أن يكون نشر شبكات الجيل الخامس هو البداية المناسبة لتحقيق تغيير هندسي ثوري مثل ذلك الخاص ببنية ومعمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة.

١. رفع كثافة الشبكات الخلوية تعني نشر المزيد من المحطات الرئيسية ذات مناطق تغطية صغيرة، وهي وسيلة لتحقيق تغطية وجودة خدمة أفضل. يمكن للنشر الخلوي المكثف أن يُمكن استخدام ترددات الموجات المليمترية وزيادة كفاءة الطيف في المنطقة - انظر [53] لمزيد من المعلومات.

ت. حدود الدراسة التخصصية

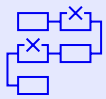
تهدف هذه الدراسة التخصصية إلى تقديم تفسير موجز عن معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة لجمهور واسع من القرّاء، حيث تستكشف هندستها ومبادئ تصميمها، والتي بعد ذلك يتم استخدامها لاستخلاص أبرز فوائد هذه المعمارية، وتستكمل هذه الفوائد بمناقشات مجموعة من أصحاب المصلحة في شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، وتقترح الدراسة تصنيفًا لأصحاب المصلحة وتحليل دوافعهم على وجه التحديد، وتقدم تحليلها في شكل مؤشر جديد يُسمى "مؤشر مجال المصالح". فهم المعمارية وأصحاب المصالح المهتمين يُعدّ خطوة تمهيدية لمناقشة المجال العالمي لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة كما هو اليوم مع التركيز على المستقبل. تستكشف المناقشة أبرز الخطوات التي اتخذها أصحاب المصلحة لتحقيق فوائد شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، والتي تشمل توقعات السوق والجهود التنظيمية وصنع السياسات، ويمتد الأثر المتنامي لتلك الخطوات ليصل إلى صناعة الاتصالات في المملكة العربية السعودية، وبالتالي تم تقديم نظرة عامة على المشهد المحلي المتشكل لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة في نهاية هذه الدراسة.

3. ما هي شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة؟

هذا السؤال هو وسيلة جيدة لبدء المناقشة في هذه الدراسة، فالإجابة عليه تضع الأساس لأولئك الذين ليسوا على دراية بهذه المعمارية وتكون تذكير لمن لديهم الخبرة في هذا المجال.

أ. وصف المعمارية

شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة هي حركة تهدف إلى إعادة تصور البنية الهندسية والعمليات الخاصة بشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة [15] [20]، تطلقها تحالفات مختلفة من مشغلي شبكات الجوال وقد توسعت لتشمل موردي المعدات والأوساط الأكاديمية والمشرعين وصناع السياسات. تقسمت المعمارية الخاصة بشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة في الرؤية الجديدة إلى عدة وحدات وظيفية مع التركيز على ثلاث مبادئ بالإضافة إلى التقسيم، وهي التطبيق الافتراضي للوظائف والتحكم الذكي والواجهات المفتوحة [4].



التقسيم هو مبدأ يقسم حزمة شبكة النفاذ الراديوية إلى وحدات وظيفية (أجهزة وبرمجيات)، ويضع هذا المبدأ حجر الأساس للوحدات النمطية في شبكة النفاذ الراديوية، كما يفتح الأبواب أمام طريقة نشر أسهل وأخف وزنًا تدعم مواقع خلوية أبسط وتتبنى القدرة على توسيع النطاق[2].

التطبيق الافتراضي للوظايف يضمن الفصل بين الأجهزة والبرمجيات في شبكة النفاذ الراديوية، بحيث يتم نشر بعض الوحدات الوظيفية عن طريق أجهزة عامة الاستخدام، كما يساعد في تحويل شبكة النفاذ الراديوية إلى منصة مُعرفة بالبرمجيات.

التحكم الذكي يعني أن شبكة النفاذ الراديوية يمكن أن تعمل من خلال خوارزميات الذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة التي تحسن من عملها وتساعد في تقديم خدمات متقدمة.

الواجهات المفتوحة هي تجسيد للوحدات النمطية في البنية الهندسية الخاصة بشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، فهي وسيلة لتواصل الوحدات الوظيفية في الشبكة مع بعضها البعض وتبادلها للبيانات بغض النظر عن هوية مطوري تلك الوحدات.

التقسيم والمبادئ الثلاثة الأخرى تتيح معًا مستوى غير مسبوق من المرونة في تقديم الخدمات الخلوية وتكييف الشبكات، مستوى لا يمكن الوصول إليه باستخدام شبكات النفاذ الراديوية التقليدية المتكاملة، حيث يمكن لمشغلي شبكات الجوال تشغيل إعدادات متنوعة لشبكة النفاذ الراديوية في شبكاتهم، وبفضل التحكم الذكي والتطبيق الافتراضي للوظائف، يمكن ضبط هذه الإعدادات استنادًا إلى الطلب في مواقع محددة لمحطات البث الرئيسية.

2. يُشير مصطلح "توسيع النطاق" في هذه الدراسة إلى تجميع موارد النظام لتحسين قدرات المعالجة أو التخزين أو الشبكات، ويختلف الأمر عن "رفع المستوى" الذي يركز على ترقية المعدات لتحقيق طاقة أعلى.

تزداد هذه المرونة التي توفرها شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة بحقيقة أن المعمارية تتبنى نموذج التقسيم الوظيفي المعتمد في مشروع شراكة الجيل الثالث (3GPP)، ويتيح هذا النموذج تصورات نشر مرنة لشبكة النفاذ الراديوية [4] - يمكن الاطلاع على المزيد حول ذلك في تقرير المواصفات التقنية لـمشروع شراكة الجيل الثالث (3GPP) في [21]. ومع ذلك، على عكس معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، فلا يتجاوز النموذج التقسيم الوظيفي؛ حيث أن شبكة النفاذ الراديوية لا تزال تعتبر حل متكامل يقدمه مورد واحد، وهذا ما يعطي الأفضلية للمعمارية والبنية الهندسية الخاصة بشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة التي تقسم الوظائف وتعززها بمبادئ التطبيق الافتراضي للوظائف والتحكم الذكي والواجهات المفتوحة، وتقوم شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة بكل ذلك مع إعلان توافقها مع مشروع شراكة الجيل الثالث (3GPP). يُظهر الشكل 1 رسمًا توضيحيًا لمعمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة مقارنةً بالبنية الهندسية لشبكة النفاذ الراديوية لمشروع شراكة الجيل الثالث "التقليدية". ويتم تصميم كلا المعماريتين وفقًا للتقسيم الوظيفي gNB 7.2x الخاص بمشروع شراكة الجيل الثالث (3GPP)، وهو تصور شائع للتقسيم الوظيفي.

ب.فوائد شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة

تم الترويج لمعمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة ، الموصوفة في القسم 3.أ، بأنها مصدر لمجموعة من الفوائد لمجال صناعة الاتصالات [8] [22]، حيث تُصور على أنها وسيلة لإحياء البنية التحتية الخلوية الراكدة وتسريع وقت الوصول إلى السوق لتقديم خدمات جديدة وتحسين أوضاع مشغلي شبكات الجوال وأصحاب البنية التحتية [11] [5] [23]، ويمكن مناقشة فوائد شبكة النفاذ الراديوية من أربعة جوانب، جميعها مرتبطة بمبادئ البنية الهندسية لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة.

تنوع سلسلة الإمداد: التقسيم والتطبيق الافتراضي لمكونات شبكة النفاذ الراديوية بالإضافة إلى توحيد الواجهات المفتوحة بين تلك المكونات هي الوسيلة التي تسمح بالتوافق داخل حزمة شبكة النفاذ الراديوية، ويعني ذلك أن مختلف الموردين يمكنهم تطوير مكونات مختلفة لشبكة النفاذ الراديوية، مما يخلق تنوعًا في سلسلة الإمداد لمشغلي شبكات الجوال وأصحاب البنية التحتية [17] [11]. هذا التنوع ضروري لتقليل التكاليف (خاصة النفقات الرأسمالية) وتحفيز التنافس والابتكار، كما يمكن أن يساعد أيضًا في تسريع الترقيات أو التعديلات على كامل البنية التحتية أو جزء منها، وهذا أمر جوهري لتقديم الخدمات وتلبية متطلبات العملاء. لا تتمتع البنيات الهندسية لشبكة النفاذ الراديوية التقليدية بهذا التنوع؛ حيث يتم الحصول على جميع مكونات شبكة النفاذ الراديوية من نفس المورد، واستبدال مكون بآخر من مورد مختلف أمرٌ بالغ الصعوبة إذا لم يكن مستحيلاً، وقد تسبب ذلك في عرقلة المنافسة في سوق شبكة النفاذ الراديوية حيث يحتاج المورد إلى تطوير حزمة كاملة ليكون لديه نموذج أعمال قابل للتنفيذ.

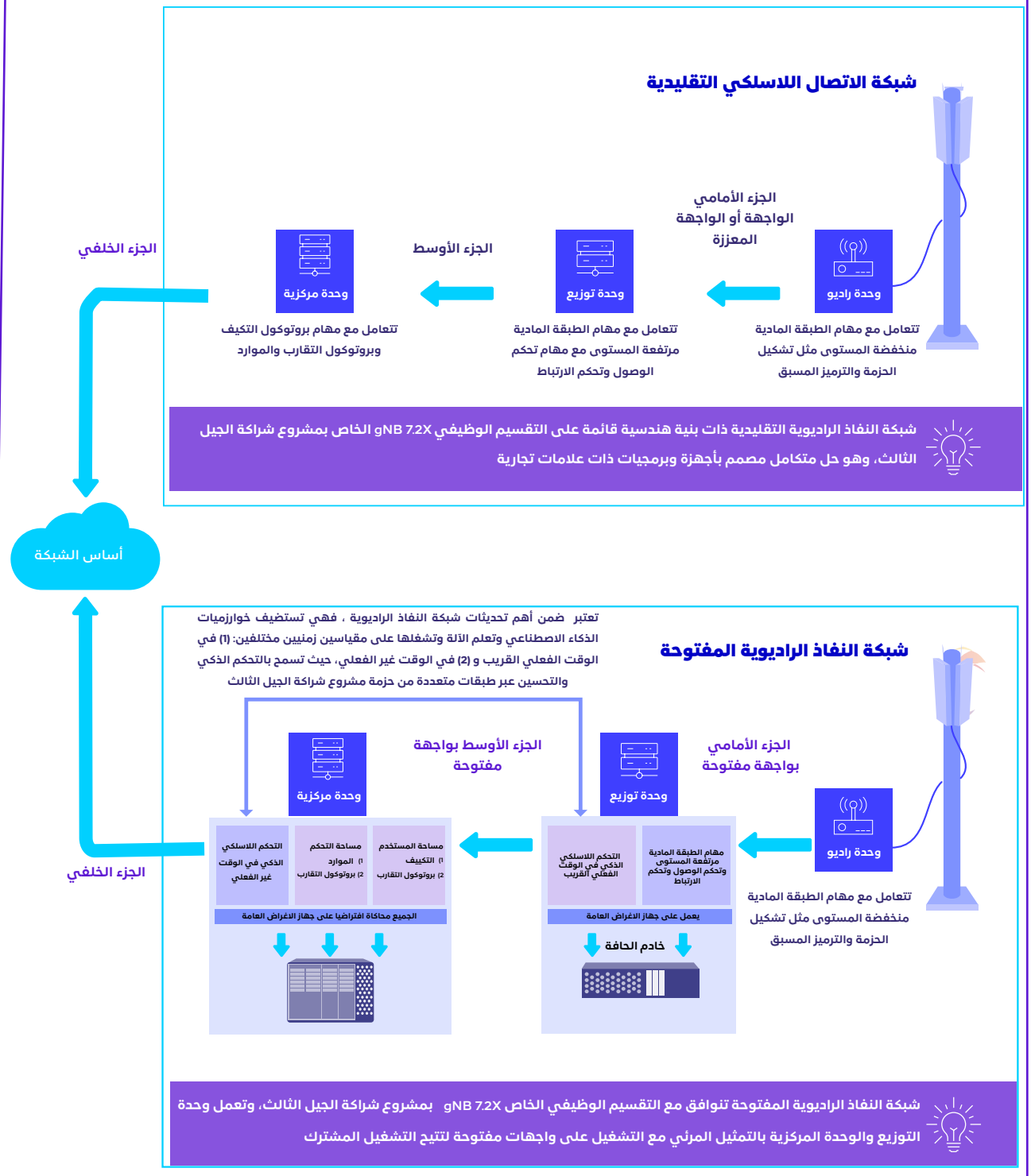
الابتكار في مجال الاتصالات: يمكن لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة أن تعزز الابتكار في مستويات مختلفة من البنية التحتية للاتصالات، سواء على مستوى تطوير البنية التحتية ذاتها أو الخدمات التي تقدمها أو حالات استخدامها [17] [2]. أحد النتائج الأساسية المباشرة لتنوع سلسلة الإمداد هي زيادة مستوى التنافس، والذي يدفع نحو الابتكار عند توافر الظروف المناسبة [5]. كما يمكن أن يكون ارتباط التقسيم والتطبيق الافتراضي بالتحكم الذكي في البنية الهندسية محفز للابتكار أيضًا، حيث توفر تلك العوامل وصولًا سهلاً إلى بيئة مضيافة وملائمة للمطورين والباحثين حيث يمكن اختبار الأفكار، كما تسمح لهم باختبار تصورات نشر جديدة وتحديد حالات استخدام جديدة.

تنوع سلسلة القيمة والإيرادات: يعتبرإنشاء منظومة متعددة الموردين لتطوير ونشر شبكات النفاذ الراديوية مصدر لتنوع آخر في صناعة الاتصالات، وهو تنوع سلسلة القيمة والإيرادات، فوجود شبكات النفاذ الراديوية الموحدة والمقسمة مع واجهات مفتوحة يُلهم أصحاب البنية التحتية ومشغلي شبكات الجوال لاستكشاف طرق جديدة لتحقيق الإيرادات وتبَنّي اقتصاديات تقنية السحابة إلى جانب شبكة النفاذ الراديوية [2]، حيث يمكنهم الاستفادة مباشرةً من تقليل التكاليف الرأسمالية الناجمة عن تنوع سلسلة الإمداد لتحسين هوامش الربح، وتمهد هذه التوفيرات الطريق لتمديد التغطية إلى المناطق التي غالبًا ما يصعب الوصول إليها أو تكاليف تغطيتها مرتفعة. يمكن لمشغلي شبكات الجوال أيضًا استخدام مصادر جديدة للإيرادات من خلال تكييف أجزاء معينة من شبكتهم وفقًا لاحتياجات العملاء الذين تقدم لهم الخدمات، على سبيل المثال، قد يتمكن مشغلو شبكات الجوال من تخصيص شبكة خاصة للعميل حسب الطلب وعلى مدى فترة زمنية محددة عن طريق التطبيق الافتراضي للوظائف والتحكم الذكي [11].

تكيف البنية التحتية والأسواق: القدرة على دمج ومطابقة المكونات من موردين متنوعين تعني أنه لا يمكن أن يقتصر عمل أصحاب المصالح في مجال صناعة الاتصالات على مورد محدد، مما يجعل بنيتهم التحتية قوية ضد أية اضطرابات في سلسلة الإمداد أو في الأجواء الجيوسياسية [24] [25] [7]، وقد جعلت شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة ذلك ممكنًا باستخدام مبادئها الهندسية وتنوع سلسلة الإمداد الخاصة بها، بل أن شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة تتجاوز ذلك لتعزز الأسواق المحلية بالأفراد الموهوبين والموردين المحليين، حيث يمكنها تخفيض حاجز الدخول للشركات الناشئة والشركات الصغيرة التي ترغب في دخول السوق، فلا يتحمل المشاركون الجدد عبء تطوير حلول كاملة وتنافسية لشبكة النفاذ الراديوية، بدلاً من ذلك، يمكنهم التركيز فقط على تقديم مكونات منافسة من الأجهزة أو البرمجيات.

التفسيرات:

الواجهة: واجهة الراديو العامة المشتركة، **تحكم الوصول:** التحكم في الوصول إلى الوسائط، **تحكم الارتباط:** التحكم في ارتباط الراديو، **بروتوكول التكييف:** بروتوكول تكيف بيانات الخدمة، **بروتوكول التقارب:** بروتوكول تقارب حزم البيانات، **الموارد:** التحكم في موارد الراديو.

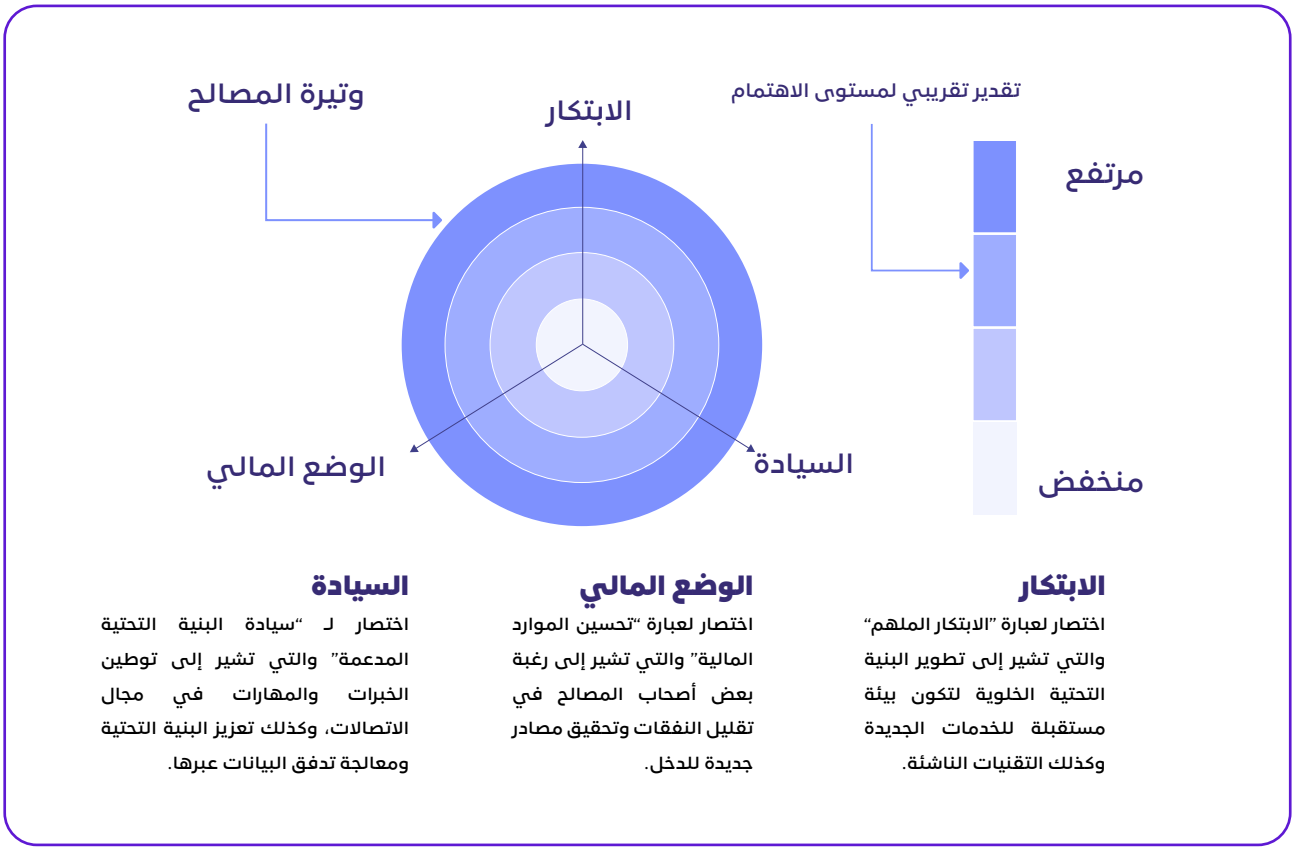


الشكل 1: تصور معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة بالمقارنة مع شبكة النفاذ الراديوية التقليدية، وبنياتهما الهندسية المصممة وفقاً للتقسيم الوظيفي gNB 7.2x الخاص بمشروع شراكة الجيل الثالث.

4. أصحاب المصلحة في شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة والدوافع لاعتماد هذه المعمارية

تتطور الخدمات الخلوية باستمرار لتلبية احتياجات التكنولوجيا الحالية والناشئة [26] [2]، على سبيل المثال، تتطلب المركبات ذاتية القيادة متطلبات خدمة مختلفة تمامًا عن خدمات البث المباشر للفيديو التقليدية؛ ويعتبر ذلك مثالًا على التقنية الحيوية والرئيسية للمهام وتتطلب خدمة ذات موثوقية فائقة وزمن استجابة منخفض، وليس خدمة تعزيز النطاق العريض للجوال المطلوبة من قبل التقنيات ذات الاستهلاك العالي للبيانات، والبث المباشر للفيديو مثال جيد على ذلك. مع مثل هذا التطور، يأتي عادة عبء متنامٍ على مشغلي شبكات الجوال لتلبية الاحتياجات، وتحمل هذا العبء يؤدي إلى الترقية وفي بعض الحالات توسيع البنية التحتية الخلوية، وهو شيء يترافق عادة مع نفقات كبيرة [2]. لذلك تمثل معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة طريقًا واعدًا لمواجهة تحدي النفقات وتلبية الاحتياجات [2] [4].

مما يثير الاهتمام في شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة هو أنه على الرغم من بدايتها كتحالف يقوده المشغلون مع دافع موجه نحو الأعمال [2]، إلا أنها تمتلك مجموعة متنوعة من الجهات المهتمة (التي سنشير إليها فيما بعد بمجموعة أصحاب المصلحة) ذات دوافع مختلفة تتجاوز مجرد التخفيف من النفقات [5]. الجهات التنظيمية وصناع السياسات والمشرعين ومؤسسات البحث والتطوير وموردي الأجهزة والبرمجيات في مجال الاتصالات وغيرهم، هم جميعًا أصحاب المصلحة الذين يشاركون مشغلي شبكات الجوال في الاهتمام بالبنية التحتية لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة [15] [24] [5]، يمكن تقسيم مجموعة أصحاب المصالح بشكل عام إلى أربع فئات استنادًا إلى نطاق وظائفهم، وهذه الفئات هي: (أ) المشرعين وصناع السياسات، و(ب) مقدمي الخدمات والبنية التحتية، و(ج) الموردين والمكاملون، و(د) مؤسسات البحث والتطوير، وتتكون كل من هذه الفئات من مجموعة متجانسة من أصحاب المصالح الذين يشتركون في دوافع مماثلة لاعتماد معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة.



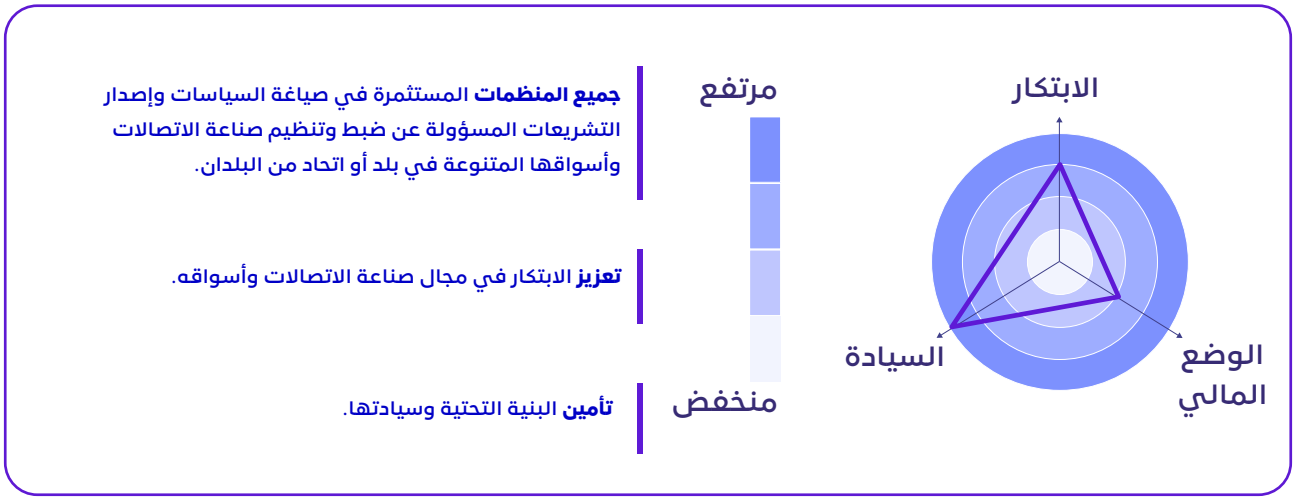
الشكل 2: الرسم التخطيطي لمساحة المصالح وتعريفات أبعادها

قد يبدو أن أهداف أصحاب المصلحة في معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة تختلف باختلاف فئاتهم، على الأقل ظاهرياً؛ ولكن قد بنظرة أقرب إلى تلك الدوافع قد تكتشف نمطًا مثيرًا للاهتمام، فيمكن اعتبارهم مزيجًا من ثلاثة قيم أساسية قد تحققها شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، وهي: (أ) تحسين الموارد المالية، (ب) الابتكار الملهم، و(ج) تعزيز سيادة البنية التحتية، وتشمل القيم الثلاثة معظم -إن لم يكن جميع- الأسباب التي قدمها أصحاب المصالح في شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة لشرح تبنيهم لبنيتها الهندسية. يعكس تحسين الموارد المالية رغبة بعض أصحاب المصالح في تقليل النفقات وتوليد تدفقات دخل جديدة، وهو الدافع الرئيسي لأولئك الذين يهتمون بتحقيق فوائد شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة الأولى والثالثة، وهي تنوع سلسلة التوريد وتنوع سلسلة القيمة والإيرادات، انظر القسم 3.ب، وبالنظر إلى القيمة الثانية، الابتكار الملهم، فهي تجسد دافع بعض أصحاب المصالح الذين يسعون إلى تطوير البنية التحتية الخلوية إلى بيئة مستقبلة للخدمات الجديدة وكذلك التقنيات الناشئة، حيث تساعد مثل هذه التطورات أصحاب المصالح هؤلاء على تحقيق الفوائد الثانية والثالثة من شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، وهي الابتكار في مجال الاتصالات وتنوع سلسلة القيمة والإيرادات، أما القيمة الثالثة، تعزيز سيادة البنية التحتية، فهي تجسيد لرغبة بعض أصحاب المصالح في توطين الخبرات والمهارات في مجال الاتصالات، وكذلك تأمين البنية التحتية وتدفق البيانات من خلالها، ويلعب ذلك دورًا أساسيًا في تطوير بنية تحتية متينة وأسواق مزدهرة، وهو الفائدة الرابعة لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة.
من منظور شامل، يمكن اعتبار القيم الثلاثة أبعادًا لمساحة تحيط بدوافع جميع أصحاب المصالح، وسيشار إلى هذه المساحة فيما بعد بمصطلح "مساحة المصالح"، وهو موضح في الشكل 2. من خلال تحديد الأولويات المختلفة للأبعاد الثلاثة ودمجها، يتم إنشاء مؤشر المصلحة لأحد أصحاب المصالح أو فئة من أصحاب المصالح[3].

3. يُرجى ملاحظة أن مؤشر المصلحة هو مقياس ذو طابع شخصي يهدف إلى عكس مدى اختلاف مصالح فئات أصحاب المصلحة. ولا ينبغي استخدامه كمعيار مرجعي أو مقارنة كميّة بين أصحاب المصلحة.

توضح الأقسام الفرعية التالية تفاصيل فئات أصحاب المصالح ودوافعهم، كما تهدف إلى تقديم تعريف واضح ولكن غير رسمي لكل فئة ومناقشة دوافع كل منها. سيتم تطوير المناقشة حول مساحة المصالح وسيكون هناك مؤشر مصلحة فريد لكل فئة، وسيغلق هذا القسم القسم بتعليق يظهر تقاطع فوائد شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة وفئات أصحاب المصلحة.

أ. المشرعون وصناع السياسات



الشكل 3: تتصور لمؤشر مصلحة المشرعين وصناع السياسات في النفاذ الراديوية المفتوحة

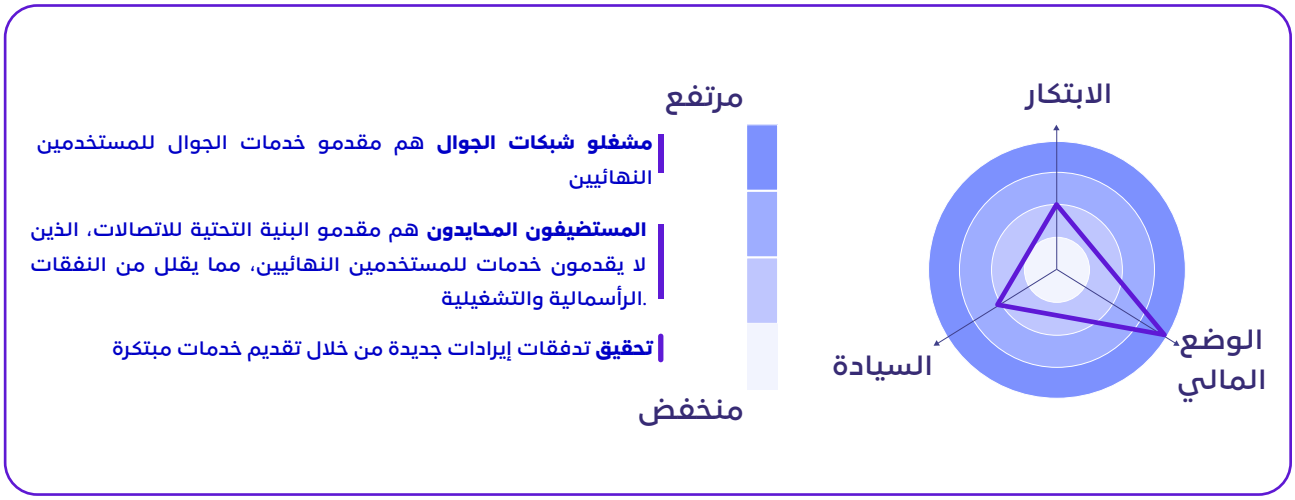
اسم هذه الفئة يشرح نفسه إلى حد ما؛ حيث تجمع هذه الفئة بين جميع المنظمات التي تستثمر في صياغة السياسات وإصدار التشريعات التي بدورها تنظم صناعة الاتصالات وأسواقها المتنوعة في بلد أو اتحاد من البلدان، ومن الأمثلة الجيدة للمنظمات التي تشتمل عليها هذه الفئة من أصحاب المصالح هي هيئة الاتصالات الفيدرالية في الولايات المتحدة، والهيئة التنظيمية للاتصالات في المملكة المتحدة (المعروفة باسم أوفكوم "OfCom")، وهيئة الاتصالات والفضاء والتقنية في المملكة العربية السعودية، ونظرًا لطبيعة تلك المنظمات التشريعية والتنفيذية، فيرجع اهتمام أصحاب المصالح في معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة هنا لمجموعة متنوعة من الأسباب التي تدور حول بعدين رئيسيين (أو قيمتين)، وهما الابتكار والأمان [24] [5] [27] [28].

على الرغم من أن القوانين والسياسات تهدف إلى تنظيم صناعة الاتصالات والأسواق، إلا أن الاهتمام الرئيسي للمنظمات في هذه الفئة ليس في تقليل النفقات لشركات الاتصالات، وإنما في تعزيز الابتكار وتأمين البنية التحتية للاتصالات وسيادتها. وتدفع شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة البنية التحتية للاتصالات نحو التحول إلى صناعة متنوعة، وهذا يعني صناعة ذات سلسلة توريد متنوعة لشبكة النفاذ الراديوية حيث يشارك فيها عدة موردين (مثل موردي الأجهزة والبرمجيات) هدفها إنتاج أفضل مكونات لشبكة النفاذ الراديوية [11]، كما أنها تقلل مما يُشار إليه بمستوى حاجز دخول المشاركين الجدد في السوق، خاصةً الموردين، ويؤدي كل ذلك إلى منافسة نشطة يمكن القول أنها تعزز من الابتكار كما جاء في تقرير أوفكوم لعام 2021 [5].

هناك نتيجتان مرغوبتان للابتكار بشكل عام، الأولى هي النتيجة المباشرة، والتي تتمثل في إثراء سوق الاتصالات بالخدمات والتقنيات الحديثة، والثانية من ناحية أخرى، هي نتيجة غير مباشرة وتتعلق بالدور الذي تلعبه دولة أو اتحاد في التأثير على أسواق الاتصالات العالمية، وتعتبر كلتا النتيجتين مهمتان بالنسبة للمشرعين وصناع السياسات، ويمكن تحقيقهما عن طريق معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة.

بالإضافة إلى الابتكار، يتابع المشرعون وصناع السياسات الأمان وسيادة البنية التحتية [11]؛ إذ يؤدي وجود عدد قليل من الموردين الذين يهيمنون على الصناعة إلى إثارة القلق بشأن الاقتصار على مورد محدد. بعبارة أخرى، يشغلهم أمرين: (أ) مدى التحكم الذي يمتلكه المشغلون في بنيتهم التحتية، والتي تشكل جزءًا كبيرًا من بنية الاتصالات بأكملها لدولة أو اتحاد دول، و(ب) إلى أي مدى يمكن أن تحمي البنية التحتية خصوصية بيانات المستخدم التي تتدفق من خلالها. تعتبر معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة حركة مؤثرة تمنح المشغلين، أو بالأحرى مالكي البنية التحتية، مزيدًا من التحكم في شبكات النفاذ الراديوية الخاصة بهم، كما أنها تقلل من حاجز الدخول للأعمال المحلية للمساهمة في البنية التحتية (أي توحيد سيادتها). عندما يتعلق الأمر بخصوصية البيانات، فمعمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة تقدم لأصحاب البنية التحتية والمشغلين إمكانية توفير أمان أفضل من تلك التي يقدمها التصميم التقليدي السائد المشابه لخصائص "الصندوق الأسود"، ومع ذلك، قد يجادل البعض قائلًا أن الطابع المفتوح للواجهات في شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة قد يؤدي إلى كشف البيانات، مما يزيد بالفعل من المخاطر الأمنية. بالتالي، يمكن استنتاج أن الحكم لا يزال غير واضح بشأن مدى قدرة شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة على توفير أمان البيانات. يوضح الشكل 3 مؤشر المصلحة للمشرعين وصناع السياسات ويلخص المناقشة في هذا القسم.

ب. مقدمو الخدمات والبنية التحتية

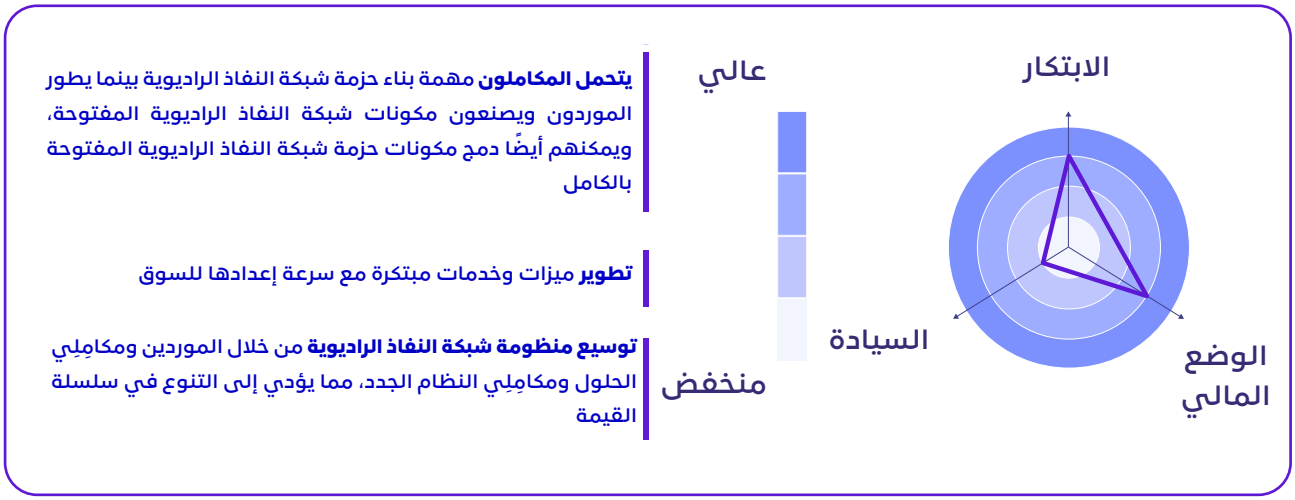


الشكل 4: تصور لمؤشر المصلحة لمقدمي الخدمات والبنية التحتية في شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة.

تمثِّل هذه الفئة المستفيدين الرئيسيين ومؤسسي انطلاقة الشبكات الراديوية المفتوحة [15]. وشركات تشغيل شبكات الجوال هي مقدمة خدمات الجوال للمستخدمين النهائيين، مثل المكالمات الصوتية، والبيانات، والرسائل النصية القصيرة. وعادةً ما تتولى مهام التخطيط ونشر الشبكة الخلوية، وكذلك تشغيل تلك الشبكة، ولذلك فهي تشعر بالضغط المالي الذي يأتي مع تلك المهام، مع الحاجة إلى تلبية متطلبات سوق الاتصالات الخلوية. وتتضمن هذه الفئة نوعًا آخر من أصحاب المصلحة، يطلق عليهم اسم المضيفين المحايدين، وهم مقدمو البنية التحتية للاتصالات [29]، ويستلهمون نموذج أعمالهم من نموذج تقديم الحوسبة السحابية المعروف باسم "البنية التحتية كخدمة" [30]. وفي الأغلب، لا يقدم المضيفون المحايدون خدمات للمستخدمين النهائيين، بل يقدمون فقط البنية التحتية لشركات الاتصالات التي توفر خدمات شبكات الجوال.

إن اهتمام شركات الاتصالات التي توفر خدمات شبكات الجوال والمضيفين المحايدين بالبنية التصميمية للشبكة اللاسلكية المفتوحة له جذور مالية عميقة، بوصفهم قادة لانطلاقة الشبكات اللاسلكية المفتوحة، فقد تم توضيح مصالح شركات الاتصالات التي توفر خدمات شبكات الجوال في البنية التصميمية منذ وقت طويل؛ حيث إنهم يهدفون إلى خفض النفقات الرأسمالية والنفقات التشغيلية. ومن المعروف أن شبكات النفاذ الراديوية تشكل جزءًا كبيرًا من تكلفة نشر البنية التحتية وتشغيلها [31]. وقد أوضحت شركة "إيه سي جي للأبحاث" هذا الأمر من خلال تقدير أن الشبكات الراديوية تمثل 70-80% من التكلفة الإجمالية للملكية الخاصة بالشبكة الخلوية. ومِن ثَمَّ، تشكِّل شبكات النفاذ الراديوية أهدافًا رائعة لتحسين الأوضاع المالية من خلال تقليل النفقات. ويمكن تحقيق مثل هذا التقليل في النفقات من خلال اعتماد نهج "الدمج والمطابقة" في تصميم الشبكة بدلًا من النهج التقليدي المقتصر على موردين محددين. ويتيح النهج الجديد تنوع سلسلة توريد الشبكة اللاسلكية، وهو إحدى الخصائص الأساسية للبنية التصميمية الخاصة بالشبكة اللاسلكية المفتوحة [11]. كما تهتم شركات تشغيل شبكات الجوال أيضًا بتحقيق مصادر دخل جديدة من خلال تقديم خدمات مبتكرة [5]. ويتحقق ذلك من خلال المرونة (أي قابلية إعادة التكوين) التي تقدمها البنية التصميمية للشبكة الراديوية المفتوحة من خلال المحاكاة الافتراضية، ووظائف البرمجيات المحددة، والتحكم الذكي، وواجهات الاتصال المفتوحة. ولا يختلف المضيفون المحايدون عن شركات الاتصالات التي توفر خدمات شبكات الجوال؛ حيث إنهم مهتمون بفوائد الشبكة الراديوية المفتوحة في خفض النفقات الرأسمالية والنفقات التشغيلية وزيادة الدخل، ولكن قد لا تكون استثماراتهم في تحقيق مصادر دخل جديدة من خلال تقديم خدمات مبتكرة متساوية مع نظرائهم من شركات الاتصالات التي توفر خدمات شبكات الجوال. ويصور الشكل 4 مؤشر مصلحة هذه الفئة، ويلخص مناقشة هذا القسم.

ج. لموردون ومقدمو خدمات التكامل



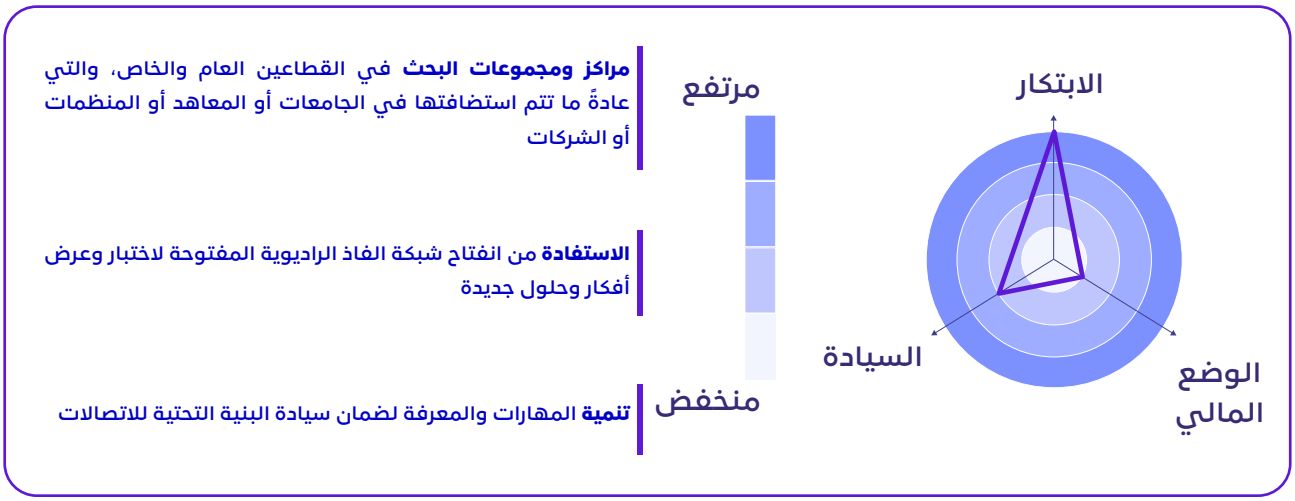
الشكل 5: رسم توضيحي لمؤشر مصلحة المورِّدين ومقدمي خدمات التكامل في الشبكة اللاسلكية المفتوحة

تشمل الفئة الثالثة من أصحاب المصلحة شركاء مقدمي الخدمات والبنية التحتية (أي مشغلي شبكات الجوال والمستضيفونالمحايدون)، وهم موردو المعدات ومكاملو النظام، وفي العادةً يكونون موردي شبكات اللاسلكي المفتوحة وبرمجياتها، كما يتحملون مسئولية تطوير حزم شبكة اللاسلكي المفتوحة التي تلبي أو تتجاوز معايير مشروع شراكة الجيل الثالث ومتطلبات مقدمي الخدمات والبنية التحتية. في مجال شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، يمكن اعتبار الموردين والمكاملين بطلين وخصمين على حد سواء؛ وذلك لأن جوهر شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة ينبع من الحاجة لتجنب الاقتصار على مورد محدد [2] [4] [17]، ويجعل هذا من أصحاب المصالح في هذه الفئة الخصوم الذين يحاربون مشغلي شبكات الجوال بشكل مجازي. من ناحية أخرى، يتم تصويرهم أيضًا في دور الأبطال؛ حيث أن أحد الفوائد الرئيسية لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة هي تنوع سلسلة التوريد وتنوع سلسلة القيمة [8] [11] ، ولا يمكن تحقيقهما دون المشاركة المباشرة من الموردين والمكاملين في حركة شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة.

مع أدوارهم المتعارضة إلى حد ما، قد يتساءل البعض عما إذا كان يمكن اعتبار الموردين والمكاملين بالفعل ضمن أصحاب المصالح في حركة شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة أم لا، والإجابة على هذا السؤال ببساطة هي نعم، هم ضمن أصحاب المصالح، بل أنهم في الواقع أصحاب مصالح رئيسيين؛ حيث أنهم من قدم مفهوم شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة على أرض الواقع، ومع ذلك، تنقسم أدوارهم حول شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة إلى معسكرين، هما الحذر والمتحمس، ويمكن اعتبار المعسكر الأول نادي الموردين المهيمنين في هذا الوقت والمعروفين جيدًا مثل شركات إريكسون وهواوي [32][33]، وهذا المعسكر لا يعارض مفهوم شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة في حد ذاته، ولكنه يدعو إلى الحذر في النهج المفترض اتباعه، وهذا أمر جلي، على سبيل المثال، في رسالة إريكسون إلى هيئة الاتصالات الفدرالية الأمريكية بشأن تعزيز نشر الجيل الخامس من شبكات النفاذ الراديوية المفتوحة [32]، أشاروا إلى بعض المشكلات المتعلقة بتطوير معايير شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة (التي يسهمون في تطويرها بنشاط) ويحثون هيئة الاتصالات الفدرالية الأمريكية على البقاء دون تحيز. أما المعسكر الثاني، فيشمل هيئات متنوعة، بدءًامن المؤسسات الصغيرة والمتوسطة في مجال الاتصالات (مثل شركات ألتيوستار ومافينير) إلى المؤسسات الكبيرة (مثل شركات سامسونج وفوجيتسو)، وهم داعمون علنيون لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة [34] [35] [8]، كما أنهم يشاركون بنشاط في تطوير معاييرها وكذلك في نشر بنيتها الهندسية مع مشغلي شبكات الجوال.

على الرغم من وجهات النظر المختلفة حول شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة بين الموردين والمكاملين، إلا أنهم يشتركون في دوافع مشابهة لاهتمامهم بالمعمارية والبنية الهندسية، أي أن لديهم نفس مؤشر المصلحة والموضح في الشكل رقم 5، فهم يستثمرون في البنية الهندسية لأنها تفتح أبواباً للابتكار التنافسي [7]، فشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة تعتمد على التطبيق الافتراضي للوظائف والذكاء الاصطناعي ووظائف تعريف البرمجيات بشكل ضمني، وكل هذه وسائل لإدخال ميزات جديدة إلى البنية التحتية للاتصالات وخدمات جديدة للمستخدمين النهائيين، ومن المتوقع أيضًا أن يكون الابتكار في شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة أساسًا للأدوار الجديدة في صناعة الاتصالات، مثل دور مكاملي الحلول [17]، ويمتد هذا الدور إلى ما هو أبعد من الحاجة إلى دمج مكونات شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة وضمان توافقها، بل إنه يستغل الواجهات المفتوحة والتطبيق الافتراضي للوظائف وقدرات الذكاء الاصطناعي الأصيلة في شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة لتعريف نوع من المكاملين الذي ينسق الخدمات من البداية للنهاية في جميع أنحاء البنية التحتية للاتصالات، أي من معدات المستخدم إلى شبكة الجوال الرئيسية. تعتبر الميزات والخدمات والأدوار الجديدة معًا تجسيدًا للوعود المالية المنتظرة من شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، حيث يمكن أن تساهم مجتمعة في جلب تدفقات جديدة من الإيرادات وتحسين الأوضاع المالية، وهو البعد الرئيسي الثاني لمؤشر مصلحة هذه الفئة.

4.مؤسسات البحث والتطوير



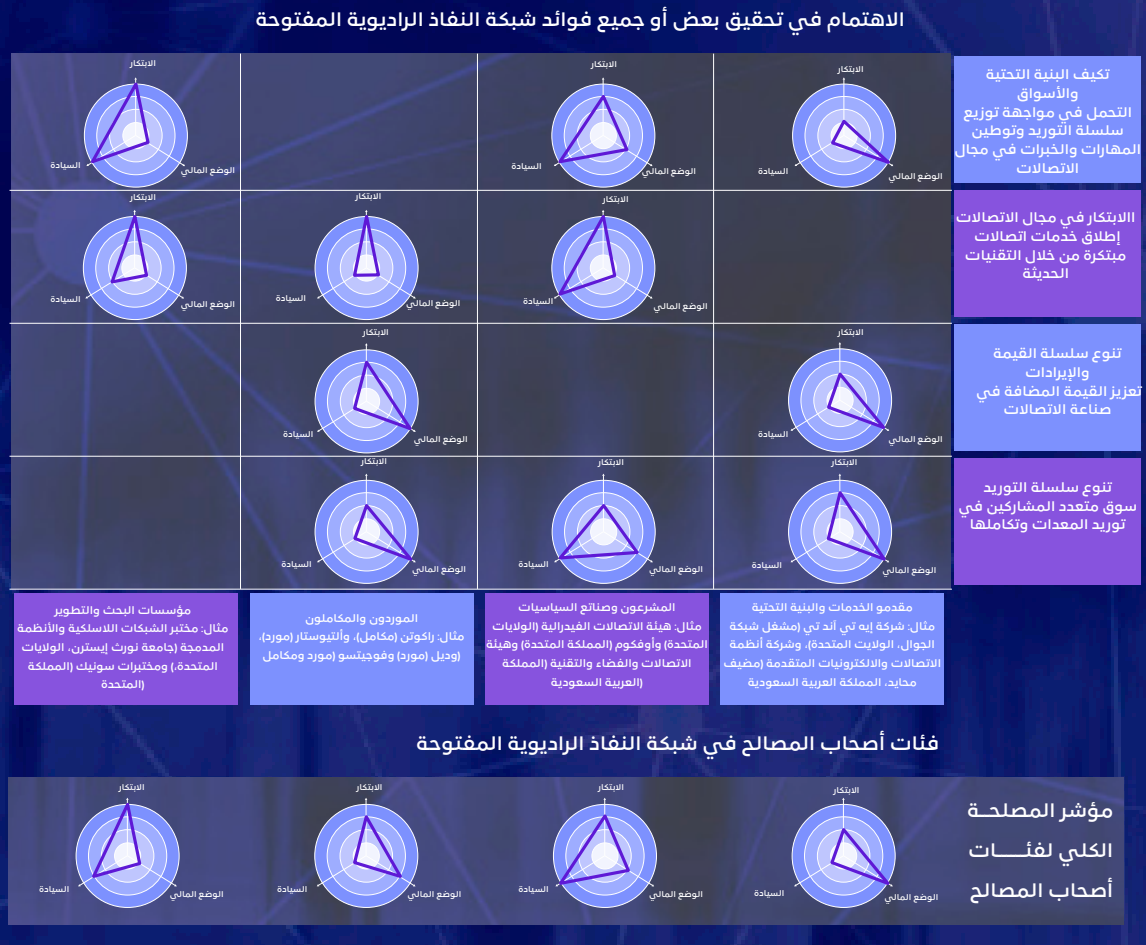
.الشكل 6: تصور لمؤشر مصلحة مؤسسات البحث والتطوير في شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة

تشمل الفئة الرابعة والأخيرة من أصحاب المصالح مراكز ومجموعات البحث في القطاعين العام والخاص، وعادةً ما يتم استضافتها في الجامعات أو المعاهد أو المنظمات أو الشركات، تركز هذه المراكز والمجموعات على البحث بهدف تطوير حلول جديدة، سواءً كانت حلولًا للمشكلات الأساسية للاتصالات أو حالات استخدام جديدة أو تقنيات جديدة تتيحها البنية التحتية للاتصالات.

طبيعة أصحاب المصالح هؤلاء تجعلهم في المقدمة من ناحية الابتكار وتطوير المهارات وتنمية الخبرات، مما يوضح اهتمامهم بشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة. لطالما عُرف أن الحصول على بيانات واقعية أو تجميع منصات اختبار للتعامل مع مشاكل الاتصالات الأساسية أو اختبار أفكار جديدة يتيحها مجال الاتصالات ليس بالأمر السهل أو منخفض التكلفة [36]، ويكمن جزء من هذه الصعوبة في تعقيد الشبكة الخلوية، التي تتألف من آلاف الأجهزة والمحطات الرئيسية والشبكات الفرعية المتصلة، والجزء الآخر هو نتيجة أن غالبية معدات الشبكة وبرمجياتها مملوكة ويصعب الوصول إليها، خصوصًا في الجانب الخاص بشبكة النفاد الراديوية. تدفع هذه الأسباب أصحاب المصالح في هذه الفئة للاهتمام بشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، فالواجهات المفتوحة والبنية الهندسية المعتمدة على الوحدات النمطية والوظائف المُعرفة بالبرمجيات والتحكم الذكي والتطبيق الافتراضي للوظائف جميعها معاً تقدم بنية تحتية مرنة قد تكون مناسبة جدًا للأفكار والحلول الجديدة، كما أشاروا أيضًا إلى أنه يمكن بناء جزء من البنية التحتية كمختبرات عملية (مثل الطبقة المادية لشبكة النفاذ الراديوية أو الحزمة بالكامل) لتسهيل جمع البيانات وتطوير الحلول واختبارها. استضافة وتمكين مثل هذه البيئات الابتكارية تعني أن مؤسسات البحث والتطوير قادرة على تنمية مهارات الأفراد وخبرات الاتصالات وتقنية المعلومات، ويعتبر ذلك بالغ الأهمية من الناحية الوطنية، حيث يمنح دورًا غير مباشر في تأمين البنية التحتية للاتصالات وسيادتها لتلك المؤسسات. الشكل 6 يصور مؤشر مصلحة هذه الفئة ويُلخص مناقشة هذا القسم الفرعي.

ملاحظة حول مصفوفة تحقيق فوائد شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة

لا تعمل الفئات الأربعة من أصحاب المصالح بشكل مستقل عن الفوائد الرئيسية التي تعد شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة بتقديمها (والملخصة في القسم 3.ب) حيث أن دوافعهم لتبني المعمارية والبنية الهندسية تخدم هدف تحقيق بعض أو جميع الفوائد المرتبطة بشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، وبذلك يمكن التفكير في مؤشرات المصلحة الخاصة بهم كمتوسط لاهتماماتهم بجميع الفوائد التي يأملون في تحقيقها، ويصور الشكل 7 شبكة توضح العلاقة بين (أ): فوائد شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، و(ب) فئات أصحاب المصالح، و (ت) القيم الأساسية (أي أبعاد مجال المصلحة). يشار إلى هذه الشبكة بمصطلح "مصفوفة التحقيق"، حيث تظهر أي فائدة تشد اهتمام الشخص أو الجهة ذات المصلحة وما الذي يحفزها لتحقيق تلك الفائدة.، وبشكل أكثر تحديدًا، يصور كل تقاطع في الشكل مؤشر المصلحة المرتبط بالفائدة مع تقدير دافع الفئة لتحقيق فائدة معينة، ومن ثم يجمع المؤشرات عبر الفوائد لينتج المؤشر العام للمصلحة لكل فئة.



الشكل 7: مصفوفة تحقيق فوائد شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، حيث يربط بين فئات أصحاب المصالح وفوائد شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة الرئيسية ويوضح الدوافع لكل تقاطع، و في الأسفل، يصور الشكل المؤشر العام للمصلحة لكل فئة من أجل الرجوع إليه.

5. الزخم العالمي والرؤية الاستشرافية

أثارت شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة مع مبادئ معماريتها وبنيتها الهندسية مناقشات مليئة بالجدل، فهي تطرح التساؤلات بشأن الوضع الحالي للبنية التحتية الخلوية وتأثيرات اعتماد شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة على تلك البنية (فوائد شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة بشكل عام)، ويتضح ذلك من كمية التقارير والأبحاث ومرئيات العموم التي نُشرت على مدار السنوات الأربع الماضية، والمصادر المرجعية [2] [5] [27] [28] [18] هي أمثلة جيدة على ذلك. وتدور هذه النقاشات حول الأبعاد الثلاثة للمصلحة التي تحفز اعتماد وتبني معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، والتي تم استعراضها وتسليط الضوء عليها في القسم الرابع، وبشكل أكثر تحديدًا، حول ما إذا كان بإمكان معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة تحقيق جميع أو بعض هذه الأبعاد وعن قدرتها في إحداث تغيير جذري في البنية التحتية الراكدة أم لا [27] [11]، وقد أدت هذه النقاشات إلى زخم عالمي يمكن قياسه من خلال الخطوات التي اتخذها المشاركون في تلك الحوارات نحو الإدراك أو التحقق أو الإدراك والتحقق معًا من فوائد شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، وهذه الخطوات ليست متجانسة في سلسلة مُشكلة من مسارًا واحدًا؛ بل من مجموعة من المسارات المتباينة بناءً على مؤشر المصلحة لكل مشارك.

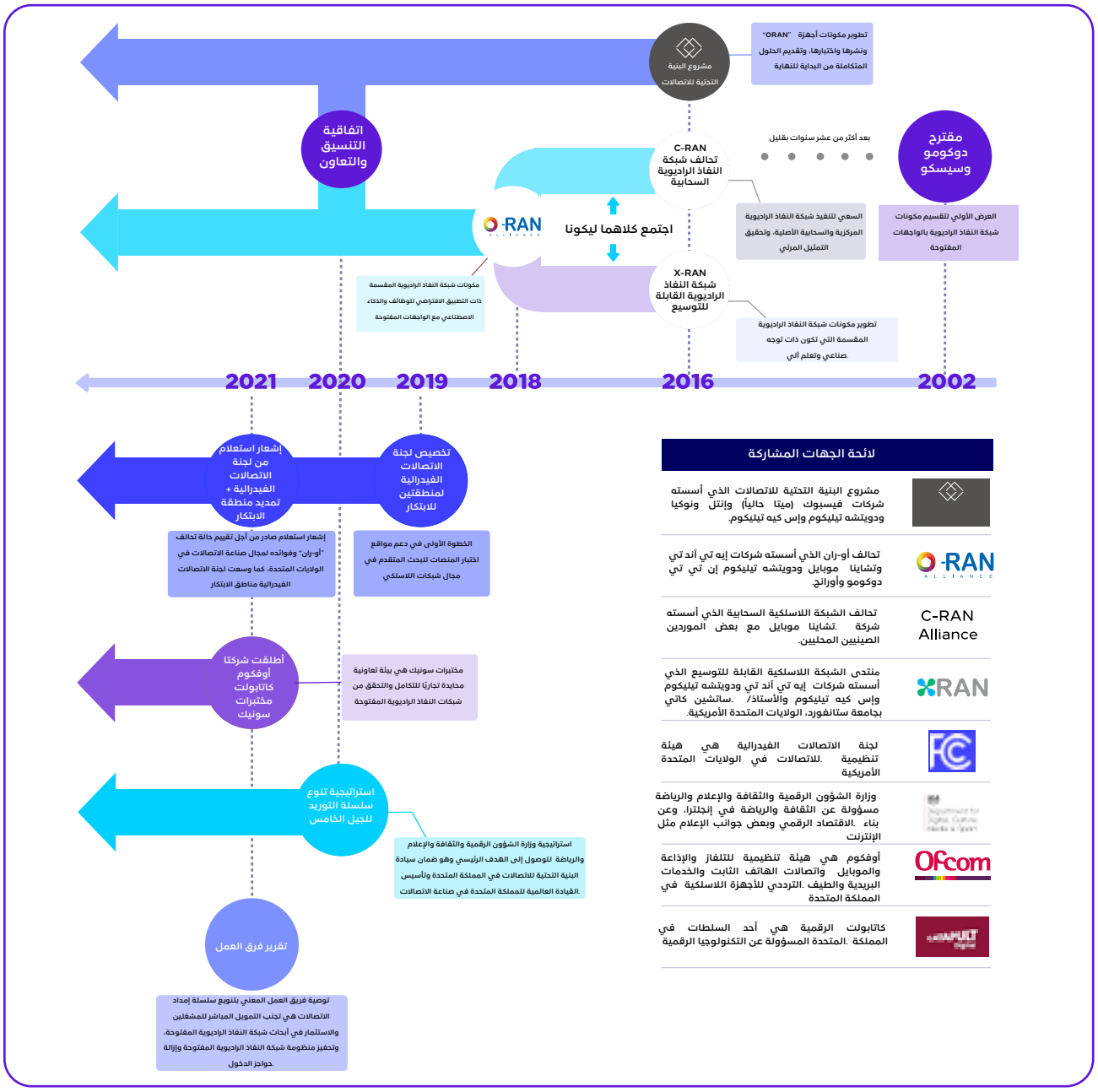
سيتناول هذا القسم الزخم المذكور أعلاه، وسيسلط الضوء على أبرز الخطوات التي اتخذها بعض أصحاب المصالح وأهدافهم بشكل خاص، وذلك من خلال وسيلتين (1): رسم صورة للمشهد العالمي الحالي لـشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة و(2) عرض بعض الجهود والأهداف الرئيسية لبعض أصحاب المصالح. على أن توضح الصورة العامة للمشهد كيف أُثير الاهتمام بشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، ومن الذي لعب دورًا مركزيًا في نشر فكرة تطوير شبكة نفاذ راديوية مفتوحة، وكيف يبدو المجتمع الداعم لمعمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة اليوم، ومن ناحية أخرى، ستقدم الوسيلة الثانية عرض موجز للخطوات البارزة التي اتخذها بعض أصحاب المصالح وما يتوقعون تحقيقه، أي أنها ستقوم بدراسة الجهود والتوقعات والتنبؤات لبعض الأصحاب المصالح الكبار، مع التركيز على تأثير السوق واللوائح. يلخص الشكل 8 هذا القسم بشكل بياني برسم جدول زمني للأحداث البارزة.

أ. نظـــرة عامـــــة على المشـــــهد

ازداد الاهتمام بشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة منذ عام 2016، ولكن هل كان ذلك نقطة البداية للمعمارية وبنيتها الهندسية؟ المفاجأة هنا أن الإجابة هي لا، لم تكن كذلك. فقد قدم فكرة معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة لأول مرة باحثين من شركة سيسكو ومختبر الاتصالات دوكومو (DoCoMo Communication) في دراسة نُشرت في مجلة معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE Magazine) عام 2002 [37]. وناقشت هذه الدراسة الحاجة إلى معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة من منظور التوسع والموثوقية، وقد قدمت بنية هندسية لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة يتشابه مع بنية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة الحديثة في نقطتين فقط (1) التقسيم الوظيفي و(2) الواجهات المفتوحة، وعلى الرغم من ذلك، يمكن اعتبار هذه الدراسة مع اقتراحها لمعمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة بمثابة الخطوة الأولى الفعلية نحو البنية الهندسية الحالية.

بعد ذلك بأربعة عشر عام، انضم منتدى شبكة النفاذ الراديوية القابلة للتوسيع (xRAN) وتحالف شبكة النفاذ الراديوية السحابية لتشكيل تحالف معمارية شبكة النفاذ الراديوية " O-RAN Alliance" في عام 2018 [38]، وهذا هو الحدث الذي يمثل بداية المفهوم والبنية الهندسية لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة الحديثة. قدم كلاً من منتدى شبكة النفاذ الراديوية القابلة للتوسيع وتحالف شبكة النفاذ الراديوية السحابية جهوداً قادها مشغلو

شبكات الجوال لإحداث تغيير جذري في الجانب الردايوي من الشبكة الخلوية. فمن خلال الجهود المشتركة، استطاعوا توحيد أهدافهم وجذب تأييد جديد من الموردين والمكاملين المهتمين، وكان الدافع الرئيسي وراء تشكيل التحالف هو الحد من النفقات ومحاولة الحصول على المزيد من الإيرادات من الشبكة [2]. ومع ذلك، مع انضمام المزيد من الموردين والمكاملين، ازدادت الدوافع لتشمل إدخال ميزات مبتكرة وسلاسل قيم جديدة، انظر الأقسام4.ب و4.ت. منذ تأسيس التحالف، وضع هدف واضح في الاعتبار، وهو زيادة الجهود وتنسيقها لتجميع مجموعة من المعايير للبنية الهندسية الخاصة بشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة [6]،. وتهدف هذه المعايير إلى توضيح المتطلبات والمواصفات والإرشادات لتطوير وبناء مكونات متعددة للشبكة اللاسلكية. كما أنها تمهد الطريق لصناعة الاتصالات للتحول إلى سوق متعدد الموردين مع سلاسل توريد متنوعة وربما سلاسل قيم متنوعة.



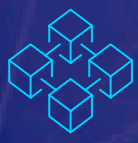
الشكل 8: تطور ساحات الشبكة اللاسلكية المفتوحة وملخص في جدول زمني لبعض الأحداث المهمة، ومن الضروري ملاحظة أن الرسم البياني لا يهدف إلى تقديم ملخص شامل، بل إنه يبرز بعض الأحداث المهمة فقط

لا يبرز تحالف معمارية شبكة النفاذ الراديوية "O-RAN Alliance" بسهولة في ساحة شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة؛ حيث أن هناك مبادرات وفرق أخرى أيضًا تستثمر في البنية الهندسية لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة والمفاهيم التي تجسدها. فتبذل مجموعة مشروع البنية التحتية للاتصالات)المعروفة باسم "TIP"(جهد موازٍ تقريبًا ومكمل لجهد تحالف O-RAN، وهي مبادرة بدأت قبل تحالف O-RAN بقليل، تحديدًا في عام 2016، وتديرها شركة فيسبوك)ميتا حالياً (ومجموعة من المشغلين والموردين، مثل إنتل ونوكيا وديوتشه تيليكوم و إس كيه تيليكوم [39]، وتمتلك تلك المبادرة مهمة كبيرة نوعاً ما، وهو عمل ثورة في مجال صناعة الاتصالات ومنظومتها بطريقة ملهمة للابتكار وتوسيع النطاق. في بدايتها، كانت تركز على تواصل الناس في المناطق التي لا تحتوي على خدمة خلوية [40]، ولكن مع توسع نطاقها، أدركت مجموعة مشروع البنية التحتية للاتصالات الطبيعة الثورية لبنية هندسية مثل الشبكة اللاسلكية المفتوحة، لذلك خصصت مجموعة يقودها المشغلون للمساهمة في تطوير واختبار ونشر شبكات النفاذ الراديوية المفتوحة. على وجه التحديد، تهتم مجموعة شبكات النفاذ الراديوية المفتوحة بتطوير مكونات أجهزة شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، واختبار ونشر حلول متكاملة لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة وتسريع تبنيها [20]، ومثل هذا التركيز يجعل مجموعة شبكات النفاذ الراديوية المفتوحة جهداً مكملًا لتحالف O-RAN ، الذي يهدف إلى توحيد المعايير.

المبادرات القيادية في الصناعة والتحالفات وفرق العمل ليس فقط من تتحكم في الساحة، بل هناك كيانات أخرى تمتلك قوة تشريعية وصنع السياسات) كما تم مناقشتة في القسم 4.أ.(فقد لعب الدافع المالي وراء شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة)أي البعد المالي (دوراً قويًا في توليد زخم معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة بالفعل، ولكنه لم يكن السبب الوحيد، فقد عرف المشرعون وصناع السياسات شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة كوسيلة لتعزيز الابتكار وتعزيز أمن وسيادة البنية التحتية [27] [28]. كمثال، هناك كيانات مثل أوفكوم في المملكة المتحدة وهيئة الاتصالات الفيدرالية في الولايات المتحدة ووزارة النقل والبنية التحتية الرقمية في ألمانيا (المعروفة باسم BMVI) وغيرها، هي أمثلة على المشرعين وصناع السياسات الذين يساهمون بنشاط في الزخم العالمي، وقد أصبحوا علامات بارزة في مشهد معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة من خلال تمويل مبادرات الصناعة ورعاية البحث والتطوير في الأوساط الأكاديمية والصناعية وصياغة التشريعات والسياسات لتشجيع اعتماد ونشر شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، وقد ساهم كل ذلك في تسريع وتيرة نضوج معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة وزاد من فرصة تقديمها بأبعادها الثلاث، أي تحقيق جميع القيم الثلاث.

الهيئات البارزة في ساحات شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة هي الكيانات التي تنتمي إلى الفئات الثلاث الأولى، أي المشرعين وصناع السياسات، ومقدمي الخدمات والبنية التحتية، والموردين والمكاملين، والتي تسهم مساهماتهم الفردية في زخم شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة بشكل كبير، خصوصًا عن مقارنتهم مع مؤسسات البحث والتطوير، وهذا ليس مفاجئًا نظرًا لمؤشر المصلحة الخاص بمؤسسات البحث والتطوير ومراعاة الملاحظتين التاليتين:

الابتكار هو البعد الرئيسي لاهتمام مؤسسات البحث والتطوير، ولكن يستغرق تأثير الابتكار وقتًا للتحقق في أرض الواقع، حيث أنه يعتمد على نضوج الصناعة والأسواق والتنظيمات المحيطة بشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة. على سبيل المثال، قد تُعتمد تقنية ثورية تم تطويرها للبنية الهندسية الخاصة بشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة بمجرد ظهورها، حيث أن هندسة شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة نفسها لا تزال في مراحل تكوينها ولم تنتشر بعد.



سيادة البنية التحتية هي بعد آخر لهذه الفئة، فيساهم أصحاب المصالح في هذا البعد من خلال تعزيز مهارات الأفراد وتنمية الخبرات، وتعتمد هذا العملية على نضوج وانتشار المعمارية والبنية الهندسية لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، لذا تحتاج تأثيراتها إلى وقت لكي تترك علامة مؤثرة في ساحة شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة.

.لهذا السبب، ستتجه المناقشة لاحقًا نحو التركيز على الخطوات والأهداف والتوقعات للفئات الثلاث الأولى

ب.الجهود التشريعية ووضع السياسات

يظهر المشرعون وصناع السياسات اهتمامًا كبيرًا بتحقيق وإدراك التأثيرات المتوقعة لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة من ناحية أبعاد سيادة البنية التحتية وتحفيز الابتكار، ويعتبرون تنوع سلسلة الإمداد هو أحد الفوائد الجوهرية للبنية الهندسية الخاصة بشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، ووسيلة لتحقيق ثلاثة أهداف هامة [24] [5] [11]: (أ) ضمان استمرار نشاط صناعة اتصالات مع العديد من الموردين المحليين ، (ب) ضمان تكيف البنية التحتية والأسواق، و(ت) الوصول بالمنافسة المحلية في مجال صناعة الاتصالات إلى مستوى إبداعي،ويتضح كل ذلك في الخطوات البارزة التي اتخذتها العديد من المؤسسات الحكومية، خاصة في أوروبا وأمريكا الشمالية، وبوجه عام، ظهرت جهودهم على شكل حوافز مباشرة وغير مباشرة لتعزيز تطوير واختبار ونشر شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، والتي تُعرف بـ "نهج التحفيز للتحقيق". فيما يلي نظرة عامة على بعض هذه الجهود مع تلخيصها بيانيًا في الشكل قم 8.

• هيئة الاتصالات الفدرالية في الولايات المتحدة الأمريكية

اعتمدت هيئة الاتصالات الفدرالية نهجًا غير مباشر لتحفيز مجتمع الاتصالات (بما في ذلك المشغلين والموردين والأكاديميات... إلخ) للعمل على شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة والمساهمة في تحقيق الأهداف الثلاثة المذكورة أعلاه، وأصدرت طلب مرئيات للعموم في مارس 2021 من أجل الحصول على معلومات من مختلف هيئات صناعة الاتصالات في الولايات المتحدة (على سبيل المثال، مشغلي الشبكات، وموردي المعدات، والهيئات الحكومية، ومراكز البحث... إلخ)، وقد ركز الطلب على الأسئلة التالية: إلى أي مرحلة وصل تطوير المعمارية والبنية الهندسية؟ وما هي الخطوات المطلوبة لنشر شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة بشكل كبير؟ [27]. استجابةً لطلب مرئيات العموم، قدمت الردود مجموعة واسعة من الآراء؛ التي امتدت من دعم اللجنة بشكل كامل والإشادة باهتمامها بالمعمارية والبنية الهندسية حتى تقديم توجيهات بالحذر والمشاركة الحيادية في مسار تطوير ونشر شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، انظر على سبيل المثال [32] [41] [7].

بعد إشعارها بالاستعلام، أنشأت هيئة الاتصالات الفدرالية اثنان من مناطق الابتكار الإضافية لتعزيز منصات الاختبار الخاصة بتكامل شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة [10]، وقد أعلنت عنها في أغسطس 2021، ومنحت مركز منطقة الابتكار لموقعي اختبار ينتميان إلى منصات البحث المتقدم في الشبكات اللاسلكية، وتقع هذه المواقع في مدينة رالي (Raleigh) في ولاية كارولاينا الشمالية، ومدينة بوسطن في ولاية ماساتشوستس. أُضيفت المناطق الجديدة إلى منطقتي ابتكار أخريين تأسستا سابقًا في مدينة نيويورك في ولاية نيويورك، وسولت لايك سيتي في ولاية يوتا. يمنح مركز منطقة الابتكار تراخيص تجريبية داخل مواقع جغرافية معينة لمجموعات البحث المؤهلة، ويتيح ذلك للباحثين إمكانية الوصول إلى مجموعة واسعة من الترددات مع لوائح مشاركة واستخدام مرنة [10] [42]، وتدير منصات البحث المتقدم في الشبكات اللاسلكية المناطق الأربعة للابتكار، و يدعمها تمويل قيمته 100 مليون دولار من مؤسسة العلوم الوطنية ومجموعة مكونة من 30 شركة ومؤسسة للاتصالات [43].

وصف منطقة الابتكار وتراخيصها التجريبية يعبر بوضوح عن الهدف من إنشائها؛ حيث تشجع على الابتكار من خلال البحث في تقنيات الشبكات اللاسلكية المتقدمة والمجالات المرتبطة بها، مثل إنترنت الأشياء والطائرات بدون طيار وغيرها، ويجعلها ذلك حاضنات عامة للابتكار في مجال الاتصالات لا تميل إلى تقنية أو هندسة معينة. يندرج البحث في معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة ضمن نطاقها ولكنه لا يقتصر عليه، وبالتالي يمكن اعتبارها وسائل غير مباشرة لدعم تطوير واختبار ونشر شبكات النفاذ الراديوية المفتوحة، وكذلك وسائل غير مباشرة لتحقيق وإدراك فوائدها.

الهيئة التنظيمية للاتصالات في المملكة المتحدة (Ofcom)

بخلاف نظيرتها في شمال أمريكا، اعتمدت الهيئة التنظيمية للاتصالات في المملكة المتحدة نهج التحفيز للتحقيق من أجل تعزيز تطوير واختبار ونشر شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، وقد أطلقت الهيئة بالتعاون مع شريكها المدعوم من الحكومة وكالة التقنية الرقمية المتقدمة (Digital Catapult) مختبرات التشغيل المشترك لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة الذكية المركزية (سونيك - SmartRAN Open Network Interoperability Centre Sonic"")". وتُعد هذه المختبرات بيئات تعاونية محايدة من الناحية التجارية والتعاونية لتطوير مكونات شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة المقسمة واختبار التكامل والتوافق بين شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة وحلول الشبكة. كما تعتبر هذه المختبرات مناطق محايدة موجهة نحو الابتكار في مجال الاتصالات واختبار والتحقق من الحلول الجديدة على وجه الخصوص، كما أنها تشجع المشاركين في مجال الاتصالات (مثل الشركات الناشئة والشركات الصغيرة والمتوسطة) على تطوير مكونات وبرمجيات شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة. وتعمل المختبرات أيضًا كوسيلة لتقليل حاجز الدخول للشركات الناشئة والخدمات والمنتجات الجديدة.

تندرج مختبرات سونيك وجهود هيئة أوفكوم وشركة ديجيتال كاتابولت تحت مظلة استراتيجية كبيرة أنشأتها حكومة المملكة المتحدة، فيعتبرون جزءًا من استراتيجية عامة وطنية لتنويع سلسلة إمدادات الجيل الخامس والتي وضعتها حكومة المملكة المتحدة في نهاية عام 2020 ودعمتها بمبلغ 250 مليون جنيه إسترليني [25]. تحتوي الاستراتيجية على ثلاثة أهداف رئيسية: (1) دعم الموردين الحاليين لضمان صمودهم واستمرار قدرتهم على التوريد للسوق في المستقبل القريب، و(2) جذب موردين جدد إلى سوق المملكة المتحدة لتعزيز الصمود والمنافسة، وأخيرًا (3) تسريع نشر الواجهات المفتوحة وحلولها لتجنب الاقتصار على مورد واحد. كان تشكيل "فريق تنويع الاتصالات" عام 2021 عنصر كبير في الاستراتيجية، حيث أن نطاق عمل الفريق هو تقديم اقتراحات بشأن مسارات العمل المرشحة للاستراتيجية مع التركيز على شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة وإمكانياتها [28]، وكان أحد أهم استنتاجات الفريق هو نصح حكومة المملكة المتحدة بتجنب تقديم تمويل مباشر لمشغلي شبكات الجوال من أجل تسريع اعتماد ونشر تقنية معينة أو معمارية محددة. بدلاً من ذلك، تم تقديم المقترحات التالية كمسار أفضل للاستفادة من أموال الحكومة: (1) تخصيص الأموال لدعم البحث والتطوير في شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، و (2) تعزيز البيئة الاقتصادية في المملكة المتحدة وإزالة حواجز الدخول، وقد تجلت هذه النقطان في إطلاق مختبرات سونيك.

سوق شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة

يعتبر تأثير السوق على المعمارية والبنية الهندسية أحد أكثر النقاشات المحتدمة التي تحيط بمعمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، وينبع ذلك من حقيقة أن شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة هي حركة قادها المشغلون بهدف تحقيق أهداف تجارية، ومشاركون من مختلف أرجاء صناعة الاتصالات، كما ذُكر في الأقسام 4 و5.ب، ويُعتبر مشغلي شبكات الجوال عناصر رئيسية في الفئة الثانية من أصحاب المصالح في شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، حيث أن لديهم توقعات ضخمة لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة كوسيلة لتحسين الموارد المالية، وهذا هو البُعد الأول للدافع وراء اهتمامهم بشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، تحديداً من أجل خفض نفقات البنية التحتية وتوليد مصادر جديدة للدخل [2] [17] [4] [12]. وشركاؤهم من الموردين والمكاملين (أي أصحاب الفئة الثالثة) لديهم مصالح مالية مماثلة، ولكنهم يركزون على تدفقات الإيرادات الجديدة والمطالبة بحصة من أعمال توريد المعدات أكبر مما لديهم الآن [5] [19] [7]، ونتيجة لذلك، تم بذل الكثير من الجهد في تحليل حركات أسواق الاتصالات العالمية، وتموضع شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة في تلك الأسواق، والفوائد المالية التي يمكن أن تجلبها شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، ودراسات البحث من شركة "إيه بي أي للأبحاث" وشركة "إيه سي جي للأبحاث" كمثال.

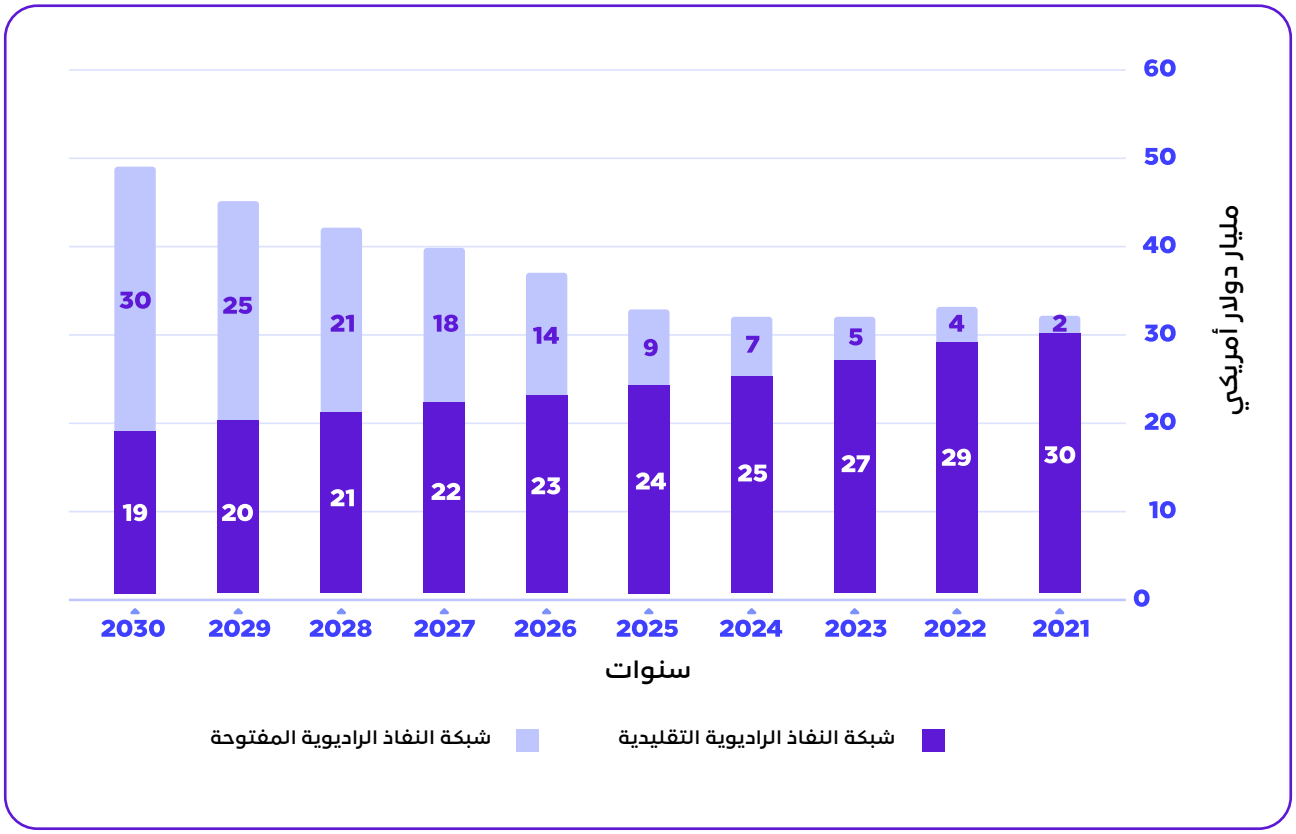
يركز هذا القسم على الجانب التجاري لمشهد شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة المُ ناقشة في القسم 5.أ، ويستكشف تحديد ٢ جهود أصحاب المصالح في الفئتين الثانية والثالثة، وهما مزودو الخدمات والبنية التحتية والموردون والمكاملون، وذلك من خلال : (1) التأثير المالي المتوقع، و (2) التشكيل الحالي لمنظومة شبكة النفاذ الراديوية والنشر الفعلي، و(3) الأسئلة المفتوحة والتحديات. تُسلط النقطة الأولى الضوء على الفوائد المالية المتوقعة لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة والتي تعد الدافع الرئيسي، ولكن ليس الوحيد، للاهتمام من قبل أصحاب المصالح في كلتا الفئتين، بينما تُمثل النقطة الثانية محاولة لإلقاء الضوء على موقع شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة في صناعة الاتصالات ومستوى نضوجها، وتوضح كلتا النقطتين الجانب المشرق لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة. وبالتالي، يُعد التحقق من واقعية الأمر ضرورياً لموازنة المناقشة، وهذا هو بالضبط ما تهدف إليه النقطة الأخيرة، حيث تستكشف التحديات، والمخاوف، والأسئلة التي لم يتم الرد عليها بعد حول معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة.

الإيرادات والحصة السوقية المتوقعة

تهيمن شبكات النفاذ الراديوية التقليدية على ساحة الاتصالات اليوم مع وجود منافسة ملحوظة من معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة [11]، وبالتالي، لا يزال غامضًا ما إذا كانت شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة قادرة على تحقيق وعدها بتحسين الموارد المالية لمشغلي شبكات الجوال والموردين والمكاملين (البُعد الأول للدافع، انظر القسم 4). قامت شركات "إيه بي أي للأبحاث" و"أناليسيس ماسون" و"إيه سي جي للأبحاث" بالتحقق ووضع النماذج والتنبؤات الخاصة بالفوائد المالية لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة خلال الثلاث إلى ست سنوات المقبلة [12، 3، 11]، وقد استخدموا تصورات نشر مختلفة وأدوات مختلفة لوضع النماذج، ولكن جميعهم وصلوا إلى نتائج مشابهة؛ شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة مربحة إلى حد ما.

يركز جزء من دراسة شركة "إيه بي أي للأبحاث" على حصة السوق لمعمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة مقارنةً بحصة السوق لشبكات النفاذ الراديوية التقليدية، كما حاولت الدراسة تحديد ما إذا كانت شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة ستتجاوز بنية الشبكات التقليدية، وإذا حدث ذلك، فمتى يحدث؟ وتتنبأت الدراسة بالإيرادات المتوقعة من نشر شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة والشبكات التقليدية خلال الفترة من 2021م إلى 2030م، انظر الشكل 9. تشير التوقعات إلى أن سوق شبكات النفاذ الراديوية ككل سينمو بمعدل نمو سنوي مركب قدره 5%، وقد يبدو هذا النمو بطيئًا، ولكن بنظرة أقرب إلى الشكل 9 يتضح أن ذلك يرجع إلى التحول من نشر نموذج شبكات النفاذ الراديوية التقليدية إلى نموذج شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، كما تشير التوقعات أيضاً إلى أن معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة ستشهد نموًا هائلًا في الإيرادات خلال الفترة بين عامي 2021م و 2030م، وبحلول عام 2028، من المتوقع أن تتجاوز شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة منافستها التقليدية؛ حيث ستصبح البنية التحتية الرئيسية للنشر، وستضمن معدل نمو سنوي مركب بنحو 30% بحلول عام 2030م.

الاتجاه المتزايد المتوقع في دراسة شركة "إيه بي أي للأبحاث" ليس خاطئًا تمامًا، فقد دعمت كلًا من "أناليسيس ماسون" و"إيه سي جي للأبحاث" ذلك من خلال النتائج التي توصلوا إليها، ولكنهم لم يتنبأوا بالإيرادات على مدى عشر سنوات على وجه التحديد. بدلاً من ذلك، قدروا نسبة التوفير التي تحققها شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة مقارنةً بنموذج نشر شبكة النفاذ الراديوية التقليدية، وتحديدًا نسبة التوفير فيما يتعلق بالتكلفة الإجمالية للملكية، والنفقات الرأسمالية والنفقات التشغيلية، حيث استخدمت شركة "أناليسيس ماسون" نموذجهم الخاص للتكلفة الإجمالية للملكية لتؤكد أن شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة توفر حوالي 30% من التكلفة الإجمالية للملكية مقارنة بالشبكة التقليدية. ينطبق هذا التقدير على حالة نموذج الإنشاء الحالي ويمتد على مدى ثلاث سنوات، أما نماذج الإنشاء الجديدة، فقد وردت في دراسة أجرتها شركة "إيه سي جي للأبحاث" باستخدام نموذجهم الخاص للتكلفة الإجمالية للملكية، وقد ذكر التقرير أن شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة يمكن أن توفر بين 28% إلى 35% من التكلفة الإجمالية للملكية مقارنةً بالشبكة التقليدية، وذلك اعتمادًا على تصور النشر المختار. تدعم هاتين النتيجتين توقعات شركة "إيه بي أي للأبحاث" حيث تشير جميعها إلى أن شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة تتمتع بميزة تنافسية على نظيرتها التقليدية، وبالتالي، فإنها تعتبر أكثر جاذبية لعمليات النشر وتوسع الشبكة الجديدة من الشبكة التقليدية.



الشكل 9: توقعات إيرادات شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة وشبكة النفاذ الراديوية خلال عقد من الزمن (نموذج الإنشاء الحالي ونموذج الإنشاء الجديد)، استنادًا إلى بيانات عام 2020، وهو يظهر تحولًا في عام 2028 عندما تتولى شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة السيطرة وتصبح السائدة (المصدر: دراسة شركة "إيه بي أي للأبحاث"[11])

المنظومة والنشر الفعلي

شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة لم تعد مجرد فكرة مستحيلة في مختبر بحث وتطوير في مكان ما، بل هي حقيقة مع حالات نشر متعددة ومنظومة متكاملة لموردي المكونات ومشغلي الشبكة [17] [8]. بحلول عام 2021م، أفاد تقرير معدل النمو الداخلي بأن نحو 22 من مشغلي شبكات الجوال حول العالم بدأوا في نشر تجاري لشبكات النفاذ الراديوية المفتوحة، ويمتد استطلاع مشغلي شبكات الجوال إلى البلدان المتقدمة والنامية على حد سواء، مع النشر في المناطق الريفية والحضرية [17]. يوضح الشكل 10 نطاق النشر العالمي لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة بالإضافة إلى تجاربها، كما يعرض تجربة بعض مشغلي شبكات الجوال مع شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة بإيجاز مما يعكس نضوج التجربة:

راكوتن

أحد مشغلي شبكات الجوال في اليابان	موقع خلوي4000	نفقات رأسمالية40 %	موردون متعددون
أحد مشغلي شبكات الجوال في اليابان مع أكبر شبكة نفاذ راديوية مفتوحة منشأة سحابياً [17].	قاموا بنشر أكثر من 4000 موقع خلوي [17]	يزعمون انخفاض النفقات الرأسمالية بنسبة 40 % بالمقارنة مع شبكة النفاذ الراديوية التقليدية [8]	تعاقدوا مع عدة موردين لمكونات شبكة النفا ذ الراديوية مثل ألتيوستا ر وإيرسبان ونوكيا، على سبيل المثال لا الحصر [8].

ديش

أحد مشغلي شبكات الجوال في الولايات المتحدة	تغطية بنسبة 20%	موردون متعددون	مليار دولار أمريكي20
أحد مشغلي شبكات الجوال في الولايات المتحدة مع شبكة نفاذ لاسلكية خلوية مفتوحة.	قام المشغل بتغطية 20% من الولايات المتحدة بشبكة الجيل الخامس واسعة النطاق، وتهدف إلى تغطية 70 % بحلول عام 2023 م [51]	لديها العديد من الموردين لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، يشملون مافينير وألتيوستار وإم تي أي وكوالكوم وإنتل وفوجيتسو [8]	استثمرت الشركة 20 مليار دولار أمريكي حتى الآن في الاستحواذ على الطيف الترددي [8]

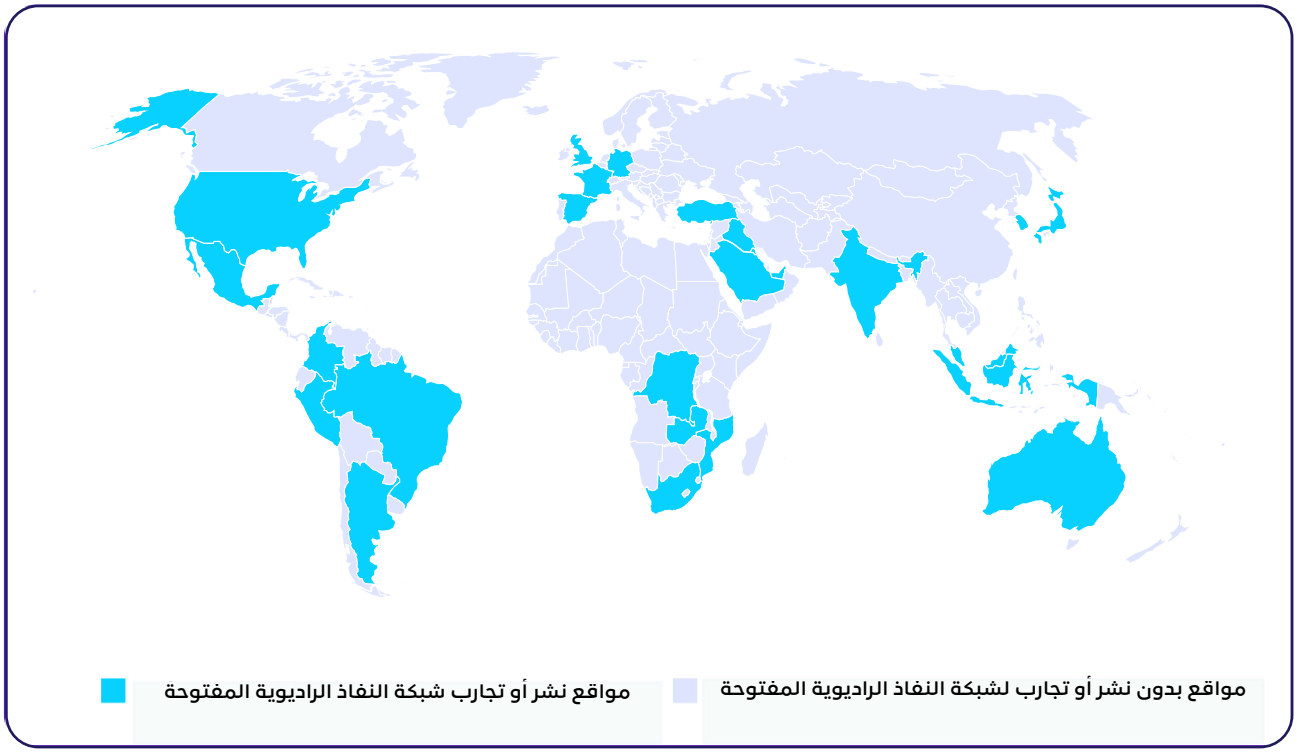
فودافون

أحد مشغلي شبكات الجوال في أوروبا	موقع 2500+	اختيار الموردين
نشر المواقع الخلوية لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة في المملكة المتحدة وأيرلندا وتركيا من خلال شبكاتهم التي تهيمن عليها نشر شبكة النفاذ الراديوية التقليدية	قدموا +2500 موقع في المملكة المتحدة لنشر شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة في 2021 [34]	يشمل الموردون المختارو ن سامسونج وديل وإن إي سي وويند ريفر وكابجيميني الهندسية وكي سايت تكنولوجيز [34]

إية تي آند تي

أحد مشغلي شبكات الجوال في الولايات المتحدة	النشر	هيئات توحيد المعايير
حد أكبر مشغلي شبكة الجوال في الولايات المتحدة المهتمة بنشر مواقع شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة منذ عام 2021 [52]	يهدفون إلى نشر شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة في المباني في عام2022 [52]	تساهم شركة إيه تي آند تي بنشاط في توحيد معايير الهيئات المستثمرة في معمارية شبكة النفاذ الراديوية O-RAN المفتوحة ونشرها، مثل تحالف ومشروع البنية التحتية للاتصالات وغيرها

التبني المتسارع لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة مدعوم من منظومة اتصالات متنامية من المشاركين الرئيسيين، تشمل المشاركين المعتادين مثل مشغلي شبكات الجوال وموردي معدات المشغل الحاليين والعملاء والشركاء المضيفين للقيمة، ولا يزال يتوسع ليستوعب المشاركين الجدد مثل مطوري برمجيات التطبيق الافتراضي للوظائف وتصدير الحاويات البرمجية وموردي معدات الخوادم والحوسبة. جذب ظهور شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة بعض المشاركين القدامى لتولي أدوار إضافية جديدة، مثل شركة سامسونج التي طورت برمجيات التطبيق الافتراضي للشبكة اللاسلكية حين تم التعرف عليها على نطاق واسع كمُصنِّع معدات أصلية ومورد معدات الشبكات التقليدية في مجال في صناعة الاتصالات [34]. داخل البيئة المعقدة لنظام الاتصالات، بدأت شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة في تشكيل منظومتها الخاصة، والتي تشمل الموردين الحاليين والناشئين ومكاملي النظام، يمكن جمع المشاركين في منظومة شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة في خمس فئات رئيسية [11]: (1) موردي الأجهزة والبرمجيات للوحدات اللاسلكية، (2) موردي وحدات التوزيع والوحدات المركزية ، (3)موردي التطبيق الافتراضي للوظائف والبرمجيات الخاصة بشبكة النفاذ الراديوية، (4) موردي شرائح التعريف، و(5) مكاملي النظام. يُظهر الشكل 11 الفئات الخمس وأدوارها مع بعض الأمثلة.



الشكل 10: نشر شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة عالمياً وتجاربها حتى عام 2021 [8] [17]

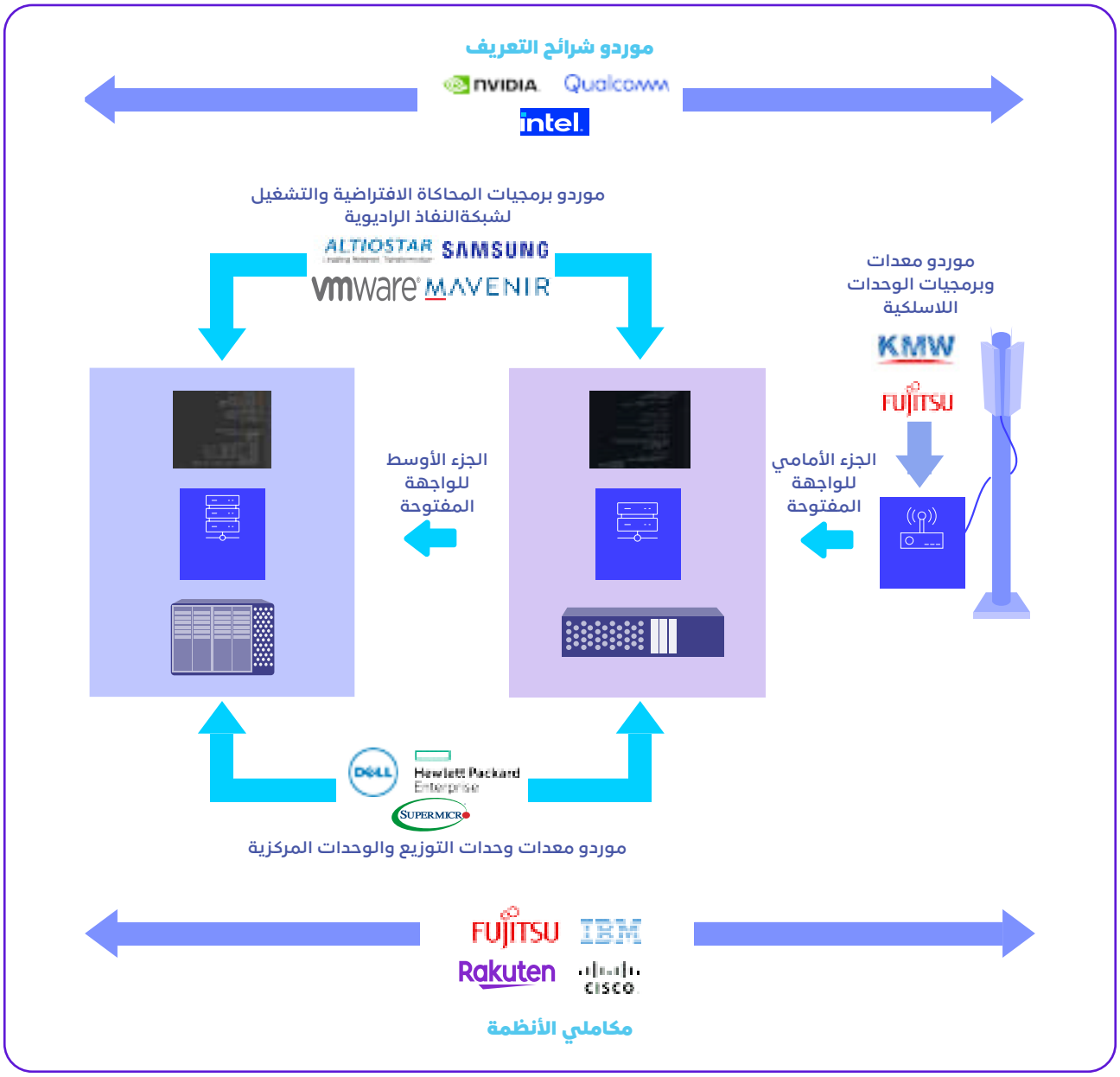
التحديات والأسئلة

شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة لا تزال في مراحلها التكوينية" هو تصريح يُؤكد عليه العديد من أصحاب المصالح (على سبيل المثال، هيئة الاتصالات الفيدرالية [27])، وهو تصريح صحيح تمامًا من وجهة نظر السوق، ولا يزال بعض أصحاب المصالح في الفئتين الثانية والثالثة مشككين في الحاجة أو الأهمية الفعلية لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة على الرغم من كل التوقعات الخاصة بها والتي نوقشت في الفقرتين الفرعيتين السابقتين [44، 8، 33]. وفيما يلي نناقش ثلاثة من أكثر مخاوفهم شيوعًا.

النشر في المواقع الجديدة فقط: يعتقد بعض أصحاب المصالح أن معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة تمثل تحولًا جذريًا في بنية وهندسة الشبكات الخلوية، وبالتالي فهي مناسبة فقط لنشر المواقع الجديدة [8] [11]، والحجة هنا هي أن المواقع الجديدة يمكن أن تحقق توفير في النفقات الرأسمالية الذي تعد به شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، وذلك لأنه ليس هناك نظام سابق في المكان. ومع ذلك، فإن تجديد واستبدال المعدات التقليدية الحالية سيكلف نفقات رأسمالية أعلى مقارنةً بترقيتها. يشير هذا النوع من المخاوف إلى أن شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة تحتاج إلى وقت أكثر بكثير مما قدره مؤيدوها حتى نضوجها وسيادتها.

ماذا عن النفقات التشغيلية؟ هذا سؤال مثير للاهتمام يجذب الانتباه داخل مجال صناعة الاتصالات [12]. تنويع سلسلة الإمداد الخاصة بشبكة النفاذ الراديوية من خلال التقسيم والتطبيق الافتراضي للوظائف قد يؤدي إلى تقليل النفقات الرأسمالية مقارنةً بالشبكة التقليدية، ولكنه يعني نظامًا أكثر تعقيدًا ويحتاج إلى تكامل مكلف، فنظرًا لأن مختلف الموردين قد يقدمون مكونات بأداء وجودة تصنيع متباينة، سيحتاج مكاملو النظام إلى بذل مزيد من الجهد لضمان تكامل مكونات الأجهزة وتنسيق مكونات البرمجيات وضمان التوافق التام. كل هذا يؤدي إلى زيادة النفقات التشغيلية والتي قد تعادل التوفير في النفقات الرأسمالية.

يهدد التقسيم سيادة البنية التحتية وأمانها: الرغم من أنه ليس هدفًا رئيسيًا لأصحاب المصالح في الفئتين الثانية والثالثة، قد ظهرت بعض المخاوف حول القيمة الفعلية التي تقدمها شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة فيما يتعلق بسيادة البنية [8] [44]، ويرجع أساس هذه المخاوف إلى فكرة التقسيم والواجهات المفتوحة، حيث يشير التقسيم إلى ضرورة التعاقد مع عدة موردين لشراء المكونات، مما يزيد من مخاطر تثبيت معدات غير موثوقة والإخلال بالعنصر الأمني، من ناحية أخرى، توحي الواجهات المفتوحة بوجود نقاط ضعف في النظام؛ وبالتالي يمكن أن يصبح تبادل البيانات (سواء كانت بيانات تحكم أو بيانات مستخدم) عرضة للخطر.



الشكل 11: فئات منظومة النفاذ الراديوية المفتوحة مع أمثلة على بعض الموردين والمصنعين

6. تشكيل المشهد في المملكة العربية السعودية

تمر المملكة العربية السعودية بمرحلة تحول اجتماعي واقتصادي مذهل وضخم متمثلًا في عدة برامج حيوية تحت مظلة رؤية 2030 [45]. ويستند تحولها على ثلاثة ركائز رئيسية: (1) مجتمع حيوي، و(2)اقتصاد مزدهر، و(3) وطن طموح. تتأثر كل تلك الأمور بقطاع تقنية المعلومات والاتصالات في المملكة، حيث يمثل مجال صناعة الاتصالات جزءًا كبيرًا، إن لم يكن أكبر جزء في ذلك القطاع، حيث تمتلك البنية التحتية للاتصالات القابلة للتوسع والمبتكرة القدرة على ربط المزيد من الأشخاص (مما يؤثر على الركيزة الأولى)، وتحسين الموارد المالية لصناعة الاتصالات (مؤثرةً على الركيزة الثانية)، وتشجيع وتعزيز الابتكار في جميع أنحاء البلاد (مؤثرةً على الركيزة الثالثة). وتعتبر شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة كما هي اليوم وسيلة لتحقيق تلك البنية التحتية القابلة للتوسع والمبتكرة، وبالتالي تحظى باهتمام كل من حكومة المملكة العربية السعودية ومجال صناعة الاتصالات فيها، وفيما يلي نظرة عامة موجزة على هذا الاهتمام.

أ. الاهتمام والجهود المبذولة

كان الاهتمام بشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة يتزايد تدريجياً في المملكة العربية السعودية، ويظهر ذلك من خلال انضمام شركة الاتصالات السعودية إلى تحالف O-RAN أو-ران [15] ومذكرة التفاهم بين العديد من شركات الاتصالات الرائدة في منطقة مجلس التعاون لدول الخليج العربية [46]، ومذكرة التعاون بين حكومتي المملكة العربية السعودية والولايات المتحدة [16]. انتشر هذا الاهتمام عبر جميع فئات صناعة الاتصالات، أي مشغلي شبكات الجوال والمضيفين المحايدين والموردين والمشرعين وصناع السياسات، والذين يشكلون مجموعة من أصحاب المصالح المحليين لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، وعلى غرار نظرائهم الدوليين، تكمن الدوافع الأساسية وراء اهتمام أصحاب المصالح هؤلاء بشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة ضمن المجال المحدد بالقيم الثلاثة: تحسين الموارد المالية وتحفيز الابتكار وتعزيز سيادة البنية التحتية، وقد أدى هذا الاهتمام إلى بلوغ بعض الإنجازات حتى الآن، والملخصة في النقاط الثلاثة التالية:

جهود شركة الاتصالات السعودية: تعتبر شركة الاتصالات السعودية عضوًا في تحالف O-RAN، مما يعكس اهتمامها الواضح بالمعمارية. وضمن جهودها لتحقيق فوائد شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، تعاونت شركة الاتصالات السعودية مع العديد من الموردين ومشغلي شبكات الجوال البارزين لاختبار حزم النفاذ الراديوية المفتوحة لنشرها في المواقع الحالية [13]. كما أن لديها مذكرة تفاهم مع شركة راكوتن المحدودة لاستكشاف سبل نشر مواقع النفاذ الراديوية المفتوحة، سواء في المواقع الحالية أو الجديدة. أيضًا، أعلنت شركة الاتصالات السعودية مؤخراً، بالتعاون مع مافينير،عن نجاح نشر واختبار موقع الجيل الرابع وموقع الجيل الخامس غير المستقل الذي يعمل باستخدام معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة [47]. وأشارت الشركة في تقرير حديث إلى أن نتائج اختباراتها لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة تعكس "تفاؤلًا" وتشير إلى الحاجة للمزيد من التطوير في مجالات الأجهزة والبرمجيات قبل محاولة نشر البنية التحتية الحالية على نطاق واسع [13].

تحالف شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة في مجلس التعاون لدول الخليج العربية: انضم مشغلي شبكات الجوال الرئيسيين في المملكة العربية السعودية، وهي شركة الاتصالات السعودية وزين وموبايلي في جهود مشتركة مع مشغلي شبكات الجوال آخرين في منطقة مجلس التعاون الخليجي لدفع تبني معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة إلى الأمام. وقد وقع مشغلي شبكات الجوال الثلاثة مذكرة تفاهم مع شركة الإمارات للاتصالات المتكاملة (Du) والعمانية للاتصالات وباتيكو لتشكيل تحالف إقليمي، حيث سيتشاركون

المعرفة والخبرة في الصناعة للتقدم في نشر مواقع شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة في المواقع الحالية، وقد تعاون التحالف مؤخرًا مع مشروع البنية التحتية للاتصالات وإنتل لإطلاق مختبر مجتمعي لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة في منطقة مجلس التعاون الخليجي [14].

مذكرة التعاون السعودية - الأمريكية: على ضوء الجهود الصناعية المذكورة أعلاه، قامت حكومة المملكة العربية السعودية بتوقيع مذكرة تعاون مع نظيرتها في الولايات المتحدة الأمريكية في مجالات تكنولوجيا الجيل الخامس والسادس مع التركيز على شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة. تهدف هذه المذكرة إلى تسريع نمو الاقتصاد الرقمي والبحث والتطوير في المملكة [16]. وقعت المذكرة وزارة الاتصالات وتقنية المعلومات في المملكة العربية السعودية والإدارة الوطنية للاتصالات وتقنية المعلومات بالولايات المتحدة الأمريكية [48]، وتعمل هذه المذكرة كمحفز للبحث والتطوير والابتكار في مختلف الاتجاهات المتقدمة في مجال الاتصالات في المملكة، والتي تشمل معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة.

ب. الإمكانيات الواعدة والنظرة الاستشرافية

يمكن توجيه الإمكانيات التي تحملها شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة لصناعة الاتصالات العالمية مباشرة نحو الصناعة في المملكة، حيث يمكن أن تكون جميع المزايا الرئيسية المناقشة في القسم3.ب مثيرة لاهتمام أصحاب المصالح المحليين، ومع زيادة الاقتصاد الرقمي مثل الاقتصاد في المملكة ومع وجود خطة تحولية وطنية مثل رؤية المملكة 2030، فإنه من المجدي تسليط الضوء من جديد على فوائد شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة والتأمل في التأثير المتوقع لها على المستوى المحلي.

تحقيق التوازن في الساحة وتشجيع ظهور الموردين المحليين: تُساهم شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة في تنويع سلسلة الإمداد، وهو ما تتيحه ثلاثة مبادئ لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة، وهم التقسيم والتطبيق الافتراضي للوظائف والواجهات المفتوحة، حيث تساعد تلك المبادئ الثلاثة معًا في خفض حاجز الدخول إلى سوق معدات وأجهزة الاتصالات. وهي نتيجة تستحق التأمل للفائدة التي تحققها لمجال صناعة الاتصالات في المملكة. فالمملكة العربية السعودية هي دولة طموحة ذات اقتصاد ناشئ، وبالتالي يمكن أن تستغل معمارية شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة لتحفيز صناعة محلية جديدة تركز على البنية الهندسية للشبكة. ويمكن للشركات الناشئة والمؤسسات أن تشارك في تطوير وتكامل برمجيات أو/و مكونات أجهزة الشبكة، وهذا سيؤدي إلى نمو في صناعة الاتصالات المحلية، ويمهد الطريق أمام المملكة لتصبح مشاركًا رئيسيًا عالميًا في صناعة تجهيزات الاتصالات (أي أنها تكتسب تأثيرًا إضافيًا في تطوير الجيل القادم من الاتصالات الخلوية والتكنولوجيات الناشئة).

تنمية الخبرات والمهارات المحلية: تدفع شبكة النفاذ الراديوية المفتوحة البنية التحتية للاتصالات نحو التمدّن والتفاعلية، وتلك الميزتان ضروريتان لتنوع سلسلة القيمة والابتكار في مجال الاتصالات - وهما فوائد رئيسية لشبكة النفاذ الراديوية المفتوحة. يمكن أن تكون هذه الخصائص أيضًا ذات أهمية خاصة للمملكة، حيث تعني بيئة اتصالات أكثر استقبالًا لأغراض البحث والتطوير والابتكار، وبيئة كتلك يمكن أن تساعد في جذب المزيد من الأفراد للاشتراك في أنشطة البحث والتطوير وتحفيز العقول الإبداعية والريادية لتجربة أفكار جديدة وتطوير منتجات جديدة. كل ذلك يؤدي إلى تعزيز الخبرة والموهبة، وهما عنصران أساسيان في استراتيجية تقنية المعلومات والاتصالات الخاصة بوزارة الاتصالات وتقنية المعلومات 2019-2023 [49] ورؤية المملكة 2030 [45].

المراجع

[1] L. Peterson and O. Sunay, 5G Mobile Networks: A Systems Approach, Springer.

[2] O-RAN Alliance, “O-RAN: Towards an Open and Smart RAN,” O-RAN alliance,2018.

[3] P. Fetterolf, “The Economic Benefits of Open RAN Technology,” ACG Research, 2021.

[4] M. Polese, L. Bonati, S. D’Oro, S. Basagni, and T. Melodia, “Understanding O-RAN: Architecture, interfaces, algorithms, security and research challenges,” arXiv preprint arXiv:2202.01032, 2022.

[5] Ofcom, “Open RAN and the link between competition and innovation,”Ocom, 2021.

[6] A. ARNAZ, J. LIPMAN, M. ABOLHASAN and MATTI HILTUNEN2, “Toward Integrating Intelligence and Programmability in Open Radio Access Networks: A Comprehensive Survey,” IEEE Access, pp. 67747-67770, 2022.

[7] K. Smith, E. Remaley and J. Wray, “COMMENTS OF NATIONAL TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATION ADMINISTRATION,” NATIONAL TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATION ADMINISTRATION, Washington DC, 2021.

[8] iGR, “Open RAN Integration: Just Run with It,” iGR, 2021.

[9] Digital Catapult, “Program SONIC Labs,” [Online]. Available: https://www.digicatapult.org.uk/how-we-can-help/what-we-offer/programme/sonic/. [Accessed 2022]

[10] FCC, “FCC ANNOUNCES TWO NEW INNOVATION ZONES AND AMENDS ONE EXISTING,” FCC, Washington DC, 2021.

[11] D. Mavrakis and M. Saadi, “OPEN RAN: MARKET REALITY AND MISCONCEPTIONS,” ABI research, 2020.

[12] G. Yigit, C. Chappell, A. Bellis and G. Monniaux, “Open RAN could deliver up to 30% TCO savings for operators with the right platform strategy and skill set,” Analysys Mason, 2022.

[13] GCC Open RAN Consortium Whitepaper , “OpenRAN for Brownfield Operators Challenges and Opportunities,” Telecom Infra Project, 2022.

[14] TIP News, “Middle East operators establish region’s first Open RAN centralised test lab in collaboration with TIP and Intel,” TIP, Marsh 2022. [Online]. Available: https://telecominfraproject.com/middle-east-operators-establish-regions-first open-ran-centralised-test-lab-in-collaboration-with-tipand-intel/.[Accessed Sept 2022]

[15] O-RAN, “O-RAN Companies,” [Online]. Available: https://www.o-ran.org/membership. [Accessed 13 09 2022]

[16] The Jeddah Communique, “A Joint Statement Between the Kingdom of Saudi Arabia and the United States of America,” The KSA Ministry of Foreign Affiars, June 2022. [Online]. Available: https://www.mofa.gov.sa/en/ministry/officialvisits/saudi-us-summit/news/Pages/The-Jeddah-Communique.aspx. [Accessed Sept 2022]

[17] P. Tavares and P. Sanguinho, “The Open Future of Radio Access Networks,” Deloitte.

[18] Deutsche Telekom, Orange, Telecom Italia (TIM), Telefónica, Vodafone, “BUILDING AN OPEN RAN ECOSYSTEM FOR EUROPE,” White paper, 2021.

[19] G. BROWN, “TIP OpenRAN: Toward Disaggregated Mobile Networking,” Telecom Infra Project (TIP), 2020.

[20] TIP, “OpenRAN,” [Online]. Available: https://telecominfraproject.com/openran/. [Accessed 2022]

[21] 3GPP, “NG-RAN; architecture description,” 3rd Generation Partnership, 2018.

[22] Sprint, “Open RAN - An INtroduction,” Sprint, 2022.

[23] S. Niknam, A. Roy, H. S. Dhillon, S. Singh, R. Banerji, J. H. Reed, N. Saxena and S. Yoon, “Intelligent O-RAN for Beyond 5G and 6G Wireless Networks,” arXiv, 2022.

[24] European Comission, “5G SUPPLY MARKET TRENDS,” 2021.

[25] GOV.UK, “Guidance 5G Supply Chain Diversification Strategy,” 2020. [Online]. Available: https://www.gov.uk/government/publications/5g-supply-chain-diversification-strategy/5g-supply-chain-diversification-strategy. [Accessed 2022]

[26] M. Elsayed and M. Erol-Kantarci, "AI-enabled future wireless networks: Challenges, opportunities, and open issues," IEEE Vehicular Technology Magazine, pp. 70--77, 2019.

[27] FCC, "Promoting The Deployment of 5G Open Radio Access Networks," FCC, 2021.

[28] "Telecoms Diversification Taskforce: Findings and Report," The UK Telecom Diversification Taskforce, 2021.

[29] A. Fernández-Fernánde, C. Colman-Meixner, L. Ochoa-Aday, A. Betzler, H.Khalili, M. S. Siddiqui, S. Figuerola, R. Nejabati and D. Simeonidou, "Validating a 5G-Enabled Neutral Host Framework in City-Wide Deployments," Sensors, vol. 21, p. 8103, 2021.

[30] T. Erl, R. Puttini and Z. and Mahmood, Cloud Computing: Concepts, Technology, & Architecture, Prentice Hall, 2013.

[31] P. H. Masur, J. H. Reed and N. Tripathi, "Artificial Intelligence in Open-Radio Access Network," IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, pp. 6-15, 2022.

[32] J. M. Carlson, Replay to Promoting the Deployment of 5G Open Radio Access Networks, Ericsson, 2021.

[33] A. Weissberger, "Huawei CTO Says No to Open RAN and Virtualized RAN," IEEE ComSoc, spet 2021. [Online]. Available: https://techblog.comsoc.org/2021/09/09/huawei-cto-says-no-to-open-ran-and-virtualized-ran/. [Accessed Oct 2022]

[34] M. Alleven, "Vodafone taps Samsung for U.K. open RAN network," Fierce Wireless, [Online]. Available: https://www.fiercewireless.com/operators/vodafone-taps-samsung-for-u-k-open-ran-network.

[35] B. Fletcher, "FCC takes up formal discussion on open RAN," Fierce Wireless, Mar 2021. [Online]. Available: https://www.fiercewireless.com/regulatory/fcc-takes-up-formal-discussion-open-ran. [Accessed Oct 2022]

[36] M. Alrabeiah, A. Hredzak, Z. Liu and A. Alkhateeb, "ViWi: A deep learning dataset framework for vision-aided wireless communications," in 2020 IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring), 2020.

[37] J. Kempf and P. Yegani, "Openran: A new architecture for mobile wireless internet radio access networks," IEEE Communications Magazine, pp. 118--123, 2002.

[38] Business Wire, "xRAN Forum Merges With C-RAN Alliance to Form ORAN Alliance," 2018. [Online]. Available: https://www.businesswire.com/news/home/20180227005673/en/xRAN-Forum-Merges-With-C-RAN-Alliance-to-Form-ORAN-Alliance. [Accessed 2022]

[39] Telecom Infra Project, “FQAs,” [Online]. Available: https://telecominfraproject.com/faq/. [Accessed 2022]

[40] "Facebook’s Telecom Infra Project May Be Equivalent of Open Compute Project,” IEEE ComSoc, 2016.

[41] D. Rinaldo, “COMMENTS OF THE OPEN RAN POLICY COALITION,” THE OPEN RAN POLICY COALITION, Washington , 2021.

[42] PAWR, “Announcement from the FCC brings significant new spectrum assets to the PAWR platforms,” 2019. [Online]. Available: https://advancedwireless.org/pawr-testbeds-to-host-fccs-first-spectrum-innovationzones-in-salt-lake-city-utah-and-west-harlem-in-new-york-city/. [Accessed 2022]

[43] PAWR, “About PAWR,” [Online]. Available: https://advancedwireless.org/about-pawr/. [Accessed Sept 2022].

[44] M. Alleven, “AT&T, Dish hail open RAN, T-Mobile not so much,” Fierce Wireless, April 2021. [Online]. Available: https://www.fiercewireless.com/regulatory/at-t-dish-hail-open-ran-t-mobile-not-so-much. [Accessed Sept 2022]

[45] "Vision2030,” [Online]. Available: https://www.vision2030.gov.sa/v2030/a-sustainable-saudi-vision/. [Accessed 19 06 2022]

[46] D. R. Shilpa Annie Joseph, “Middle East’s leading telecom operators unite to support Open RAN,” GCC Business News, July 2021. [Online]. Available: https://www.gccbusinessnews.com/middle-easts-leading-telecomoperators-unite-to-support-open-ran/. [Accessed Oct 2022]

[47] Mavenir, “stc Announces the Successful Deployment of Multi-Layer 4G and 5G NSA Network on O-RAN Platform in Collaboration With Mavenir,” Mavenir, June 2022. [Online]. Available: https://www.mavenir.com/press-releases/stc-announces-the-successful-deployment-of-multi-layer-4g-and-5gnsa-network-on-o-ran-platform-in-collaboration-with-mavenir/. [Accessed Sept 2022]

[48] MCIT, “Saudi Arabia and USA Ink Partnership Agreement in 5G and 6G Technologies,” MCIT, July 2022. [Online]. Available: https://www.mcit.gov.sa/en/news/saudi-arabia-and-usa-ink-partnership-agreement-5g-and-6g-technologies.[Accessed Oct 2022]

[49] MCIT, “The Strategy of the Ministry of Communications and Information Technology,” MCIT, [Online]. Available: https://www.mcit.gov.sa/en/strategy-ministry-communications-and-information-technology. [Accessed Oct 2022]

[50] National Digital Transfromation Unit, “Digital Economy Policy in The Kingdom of Saudi Arabia,” Riyadh, 2022.

[51] DISH meets FCC deadline for 20% US population coverage,” S&P Global Market Intelligence, June 2022. [On-“line]. Available: https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/dish-meets-fcc-deadline-for-20-us-population-coverage-70824454. [Accessed Sept 2022]

[52] M. Alleven, “AT&T’s open RAN deployment is already under way,” Fierce Wireless, Sept 2021. [Online]. Available: https://www.fiercewireless.com/operators/at-t-s-open-ran-deployment-already-under-way. [Accessed Sept 2022]

[53] J. G. Andrews, S. Buzzi, W. Choi, S. V. Hanly, A. Lozano, A. C. K. Soong and J. C. and Zhang, “What will 5G be?,” IEEE .Journal on Selected Areas in Communications, vol. 32, pp. 1065-1082, 2014.

هيئة الاتصالات والفضاء والتقنية
Communications, Space &
Technology Commission