

## قرار التسليم الذكي في شبكات SDN بناء على اتجاهات RSSI وهامش التباطؤ

أ.د. جمال خليفة\*

د.مهند عيسى\*\*

م. ربي احمد داؤد\*\*\*

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٤/١٠/١٥ . قُبل للنشر في ٢٠٢٥/١/١٤)

### □ ملخص □

تقدم هذه الدراسة آلية متقدمة للتسليم تعمل ضمن بيئة الشبكات المعرفة بالبرمجيات (SDN) ، بهدف تسهيل الانتقال السلس للمحطات المتنقلة بين نقاط الوصول اللاسلكية (APs) تعتمد هذه الآلية على تحليل متعمق لمؤشر قوة الإشارة المستلمة (RSSI) وهامش التباطؤ، مما يمكن النظام من اتخاذ قرارات تسليم ذكية وفعالة. تعتمد الطريقة المقترحة على دمج هوامش التباطؤ الخاصة بـ RSSI وتحليل الاتجاهات الزمنية لقيم الإشارة ضمن نظام تسجيل ديناميكي متكيف. وبهذا يتم تحسين قرارات التسليم وتقليل عدد العمليات الزائدة غير الضرورية، مما يؤدي إلى تعزيز استقرار الشبكة وأدائها بشكل عام. تم اختبار الآلية المقترحة في بيئة Mininet-Wifi لمحاكاة الشبكات اللاسلكية الديناميكية. أظهرت نتائج المحاكاة فعالية الآلية في الحفاظ على اتصالات مستقرة، وتقليل التقطعات غير الضرورية، مما يضمن استمرارية الاتصال. يضاف إلى ذلك القدرة على ضبط معايير التسليم ديناميكياً بواسطة المتحكم المركزي في SDN أو حتى من خلال المحطات المتنقلة نفسها في حال العمل ضمن الشبكات التقليدية، مما يزيد من مرونة النظام ويسهم في تحسين الأداء.

**الكلمات المفتاحية:** الشبكات المعرفة بالبرمجيات (SDN) ، التسليم الذكي، مؤشر قوة الإشارة المستلمة (RSSI) ، هامش التباطؤ، اتجاهات RSSI ، Mininet-WiFi.

\*أستاذ ، دكتور ،قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة اللاذقية  
\*\*دكتور محاضر في قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة اللاذقية  
\*\*\* طالبة دكتوراه ، قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية ، جامعة اللاذقية .

## Intelligent Handover Decision in SDN Networks Based on RSSI Trends and Hysteresis Margin

E.Ruba ahmad Daoud \*  
prof. D.Jamal khalifah \*\*  
D. Mohannad issa \*\*\*

(Received 15/10/2024 . Accepted 14/1/2025)

### □ ABSTRACT □

This study presents an advanced handover mechanism operating within a Software-Defined Networking (SDN) environment, aimed at facilitating the seamless transition of mobile stations between wireless access points (APs). The proposed mechanism relies on an in-depth analysis of the Received Signal Strength Indicator (RSSI) and hysteresis margin, enabling the system to make intelligent and effective handover decisions. The method integrates RSSI hysteresis margins with trend analysis over time into an adaptive and dynamic scoring system, improving handover decisions and reducing unnecessary handovers, thereby enhancing the overall network stability and performance.

The proposed method was tested in the Mininet-Wifi environment for simulating dynamic wireless networks. The simulation results demonstrated the effectiveness of the method in maintaining stable connections and reducing unnecessary interruptions, ensuring continuous connectivity. Additionally, the ability to dynamically adjust handover parameters by the SDN controller or even by mobile stations in traditional networks increases system flexibility and contributes to performance optimization.

**Keywords:** Software-Defined Networking (SDN), intelligent handover, Received Signal Strength Indicator (RSSI), hysteresis margin, RSSI trends, Mininet-WiFi.

---

\*Postgraduate Student (PhD student), Department of Communication and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, , Lattakia University.

\*\* Professor .Doctor, Department of Communication and Electronics, Faculty of mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University Lattakia University.

\*\*\* lecturer , Department of Communication and Electronics, Faculty of mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia University.

**١ - مقدمة:**

أدى التوسع المستمر في مناطق التغطية والانتشار المكثف للشبكات المحلية اللاسلكية (WLANs) إلى نمو متزايد في حركة البيانات ضمن الشبكة واستخدام متزايد لنقاط الوصول اللاسلكية (APs) [1]. تعد إدارة التنقل والتسليم من أجل جودة خدمة واتصال سلس من بين التحديات المستمرة للشبكات اللاسلكية. تواجه آليات التسليم التقليدية، والتي غالباً ما تعتمد فقط على قيم مؤشر قوة الإشارة المستلمة (RSSI) اللحظية، العديد من القيود بما في ذلك عمليات التسليم المتكررة وغير الضرورية في بعض الأحيان، والمعروفة أيضاً باسم ظاهرة Ping-Pong وفي هذا السياق، تقدم الشبكات المعرفة بالبرمجيات (SDN) نهجاً واعداً لمواجهة هذه التحديات. كما تعمل المرنة والطبيعة المركزية لـ SDN على تحسين خوارزميات قرار التسليم. إذ أن طريقة التسليم التقليدية لا يمكنها التحكم بشكل فعال في تأخير التسليم وموازنة حمل الشبكة بسبب العيوب الكامنة في الشبكة مثل عدم وجود تحكم مركزي يدير عملها [2]. لذا يمكن أن يؤدي التسليم في شبكات SDN إلى تحسين جودة الخدمة واستخدام موارد شبكات WLAN. تعمل الآلية المقترحة في هذه الدراسة على تعزيز عملية اتخاذ القرار بشأن التسليم. من خلال المراقبة المستمرة لكل من RSSI Trends وهامش التباطؤ القابل للتعديل ديناميكياً، ومن خلال دمج هذه التحسينات، توفر آلية التسليم المقترحة تحسينات كبيرة مقارنة بالطرق التقليدية، مما يضمن إدارة سلسلة وفعالة للشبكة كما تعالج الآلية المقترحة القيود المفروضة على آليات التسليم التقليدية IEEE 802.11 و IEEE 802.11r ، وتساهم في تحسين آلية الانتقال، مما يضمن عمليات تسليم سلسلة وأداء مثالي للشبكة.

**٢- أهمية البحث وأهدافه:**

تسعى هذه الدراسة إلى دمج التقنيات الحديثة لشبكات SDN في بنية الشبكة الأساسية ضمن منشأة صناعية بهدف تحسين عملية نقل البيانات الهامة "كبيانات الحساسات أو الكاميرات المتواجدة في أماكن متفرقة ومتباعدة ضمن المنشأة إلى مركز المراقبة الرئيسي". تم الاهتمام بكيفية نقل البيانات الهامة للحساسات اللاسلكية عن طريق استخدام آليات تجوب مناطق مختلفة ضمن المنشأة، لجمع بيانات الحساسات وإرسالها عبر نقاط الوصول اللاسلكية إلى الشبكة الرئيسية، كما تم الاهتمام بعملية التسليم Handover بحيث تتفادى المحطة اللاسلكية في الآلية المتحركة عمليات التسليم المتكررة أثناء حركتها ضمن مجالات تغطية نقاط وصول متعددة، تم أيضاً اقتراح آلية تضمن اختيار نقطة الوصول التي يتزايد مؤشر قوة إشارتها Received Signal Strength RSSI على حساب نقاط وصول أخرى يتناقص مؤشر قوة الإشارة الخاص بها.

**٣- طرائق البحث ومواده:**

تم استخدام المحاكاة Mininet-WiFi لتقييم أداء نظام التسليم في الشبكات اللاسلكية المعرفة برمجياً SDN المستند إلى تحليل (RSSI) ، يتم محاكاة عملية التسليم عن طريق نقل المحطة المتقلة (STA) بين نقاط وصول مختلفة.

**٤ - الدراسات المرجعية:**

تم تقديم العديد من الدراسات والأساليب لتحسين عملية Handover في الشبكات المحلية اللاسلكية (WLAN)

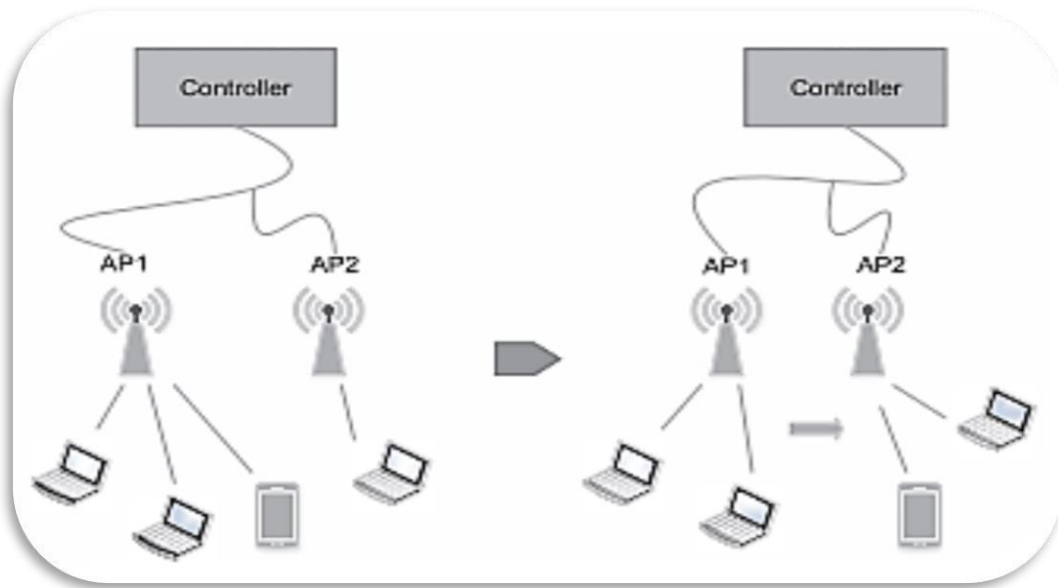
من بين هذه الأساليب، تم استخدام موازنة التحميل لتوزيع حركة البيانات عبر نقاط الوصول وتقليل الازدحام، كذلك استخدام التنبؤ بحركة المستخدم لبدء عمليات التسليم بشكل استباقي. يعتبر معيار IEEE802.11r من المعايير التي ساهمت في تسريع عمليات التسليم (Handover) من خلال تمكين إعادة الارتباط بسرعة أكبر مع نقاط الوصول المستهدفة، مما يقلل من زمن الانتقال في شبكات WLAN [3]. بالإضافة إلى ذلك، تمت دراسة العديد من الآليات مثل التنبؤ بعمليات التسليم باستخدام عتبات قوة الإشارة (RSSI Thresholds)، حيث تقوم نقاط الوصول بالتنسيق لإعداد موارد الشبكة قبل بدء عملية التسليم. يتم استخدام هذه العتبات للتنبؤ بانقطاع الاتصال الوشيك من نقطة الوصول الحالية، بناء على تغييرات في البرامج الثابتة لنقاط الوصول [4]. كما تم تقديم دراسات استقصائية تتناول عمليات التسليم باستخدام بنية SDN لدعم تقنيات الوصول الراديوية المختلفة كما في الشبكات الخلوية [5]. بالإضافة إلى ذلك، تم تقديم مقارنة نوعية بين عدة بنى لشبكات SD-WLAN من حيث ميزات مثل قابلية البرمجة والافتراضية [6].

ركزت معظم الأساليب القائمة على SDN على تقليل زمن انتقال التسليم وتحسين تخصيص الموارد، لكنها لم تعالج بشكل كافٍ مشكلة عمليات التسليم المتكررة الناجمة عن تقلبات مؤشر قوة الإشارة المستقبلية RSSI.

تطرح آليتنا المقترحة في هذه الدراسة نموذجاً جديداً لعملية التسليم يختلف عن ما تم تطبيقه في دراسات سابقة والتي اعتمد معظمها على قيمة العتبة RSSI-Threshold لاتخاذ قرار البدء بالتسليم، حيث اعتمدت الآلية الجديدة على دمج تحليل اتجاهات RSSI (RSSI-Trends) وقيمة RSSI مع الأخذ بعين الاعتبار قيمة هامش التباطؤ لاتخاذ قرارات تسليم أكثر نكاهاً، مما يساعد على تقليل عدد عمليات التسليم غير الضرورية وتحسين جودة الخدمة في الشبكات اللاسلكية.

## ٥ - التسليم (Handover) :

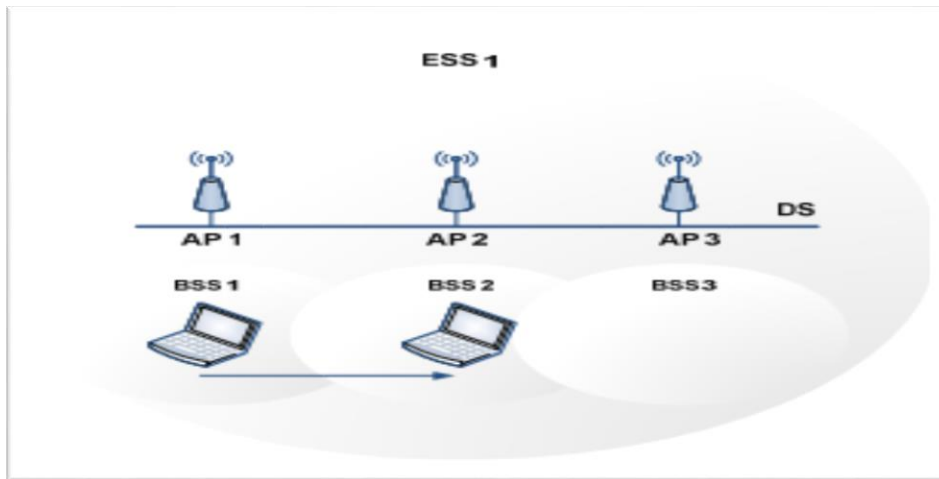
هو العملية التي تضمن بقاء المحطة المتنقلة متصلة بالشبكة بشكل نشط أثناء انتقالها من نقطة وصول إلى أخرى. يوضح الشكل (١) نظام التنقل في شبكات Wi-Fi، إذ تعمل نقاط الوصول (APs) كجسور تنقل البيانات بين المحطات المتنقلة (STAs) والشبكة. تبدأ عملية التسليم عندما تدخل STA إلى منطقة تتداخل فيها تغطية نقاط وصول متعددة وتكتشف أن نقطة الوصول الحالية تواجه ضعفاً في الإشارة أو مشكلات في الإرسال. بمجرد أن تكتشف المحطة المتنقلة نقطة الوصول المثلى بناءً على (RSSI) يتم بدء عملية الاقتران بنقطة الوصول الجديدة. عندها تقوم نقطة الوصول القديمة بنقل بيانات المحطة المتنقلة إلى نقطة الوصول الجديدة [٧].



الشكل (1) نظام التنقل في شبكات Wi-Fi

**Fast BSS Transition.5-1:**

الانتقال السريع لمجموعة الخدمات الأساسية وهو معيار للشبكات اللاسلكية. صُمِمَ من أجل التنقل السريع والمرن بين نقاط الوصول في شبكات Wi-Fi 802.11 كما هو واضح في الشكل (٢)، يعمل على تحسين زمن الوصول للأجهزة المحمولة وأجهزة الصوت عبر Wi-Fi، عن طريق تقليل الوقت الذي تستغرقه المحطات للاتصال والانتقال من نقطة وصول إلى أخرى [8]



الشكل (2) الانتقال السريع لمجموعة الخدمات الأساسية BSS

- 6- **التحديات الأساسية في الآلية المقترحة:** يتيح تطبيق تقنية SDN على الشبكات نموذجاً لتطبيق مستوى تحكم مرن وقابل للبرمجة على البنية التحتية الفيزيائية [9].
- **التحكم المركزي في SDN:** تسمح SDN للتحكم المركزي بإدارة الشبكة بفعالية، من خلال تحديث قواعد التوجيه ديناميكياً بناءً على حالة الشبكة في الوقت الفعلي.

- استخدام **Trends RSSI وهامش التباطؤ**: يساعد دمج **RSSI- Trends** في اتخاذ قرارات تسليم أكثر دقة، مما يقلل من تأثيرات **Ping-Pong** الناتجة عن الاعتماد على قيم **RSSI** اللحظية فقط.

#### ٧- هامش التباطؤ (**Hysteresis Margin**):

يستخدم هامش التباطؤ لإضافة مساحة أمان إلى عتبة التسليم، مما يقلل من احتمالية التسليم المتكرر غير الضروري ويزيد من استقرار الشبكة.

#### ٨- الآلية المقترحة للتسليم الذكي:

تم اقتراح آلية جديدة للتسليم، تهدف إلى تحسين قرارات التسليم (**Handover**) من خلال دمج هوامش التباطؤ لمؤشر قوة الإشارة المستلمة (**RSSI Hysteresis Margins**) مع تحليل الاتجاهات (**Trends Analysis**) في نظام تقييم ضمن بيئة الشبكات المعرفة برمجياً (**SDN**) يتم تنفيذ الآلية وفق المراحل التالية:

١- **المراقبة المستمرة**: تقوم المحطة المتنقلة بإجراء مسح مستمر لنقاط الوصول القريبة (**APs**) وتسجيل قيم مؤشر قوة الإشارة المستلمة (**RSSI**). بحسب نافذة زمنية **RSSI\_HISTORY\_LENGTH** يتم تحديدها مسبقاً أو من خلال المتحكم.

٢- **حساب الاتجاه (Trend Calculation)**: يعتمد على التاريخ الحديث لقيم **RSSI** لكل نقطة وصول ضمن نافذة زمنية محددة. لحساب اتجاه **RSSI**، يكون الاتجاه موجب  $T > 0$  إذا كانت قيم **RSSI** الجديدة المقاسة أكبر من قيمتها الحالية ويكون سالباً إذا كانت قيمة **RSSI** الجديدة المقاسة أقل من الحالية. يتم استخدام تقنية الانحدار الخطي (**Linear Regression**) لتحليل العلاقة الزمنية بين القيم. والهدف من هذا التحليل هو تحديد ما إذا كانت قوة الإشارة المستلمة لنقطة الوصول (**RSSI**) تتحسن أو تتدهور مع مرور الوقت، مما يساعد في اتخاذ قرارات أكثر دقة

٣- **حساب المعدل (Score Computation)**: يتم حساب المعدل لكل نقطة وصول بناءً على قيم **RSSI** ونتائج تحليل الاتجاه. تطبق عملية التنظيم (**Normalization**) لضمان توحيد القيم وإعطاء وزن متساوٍ لكل من العوامل المقاسة.

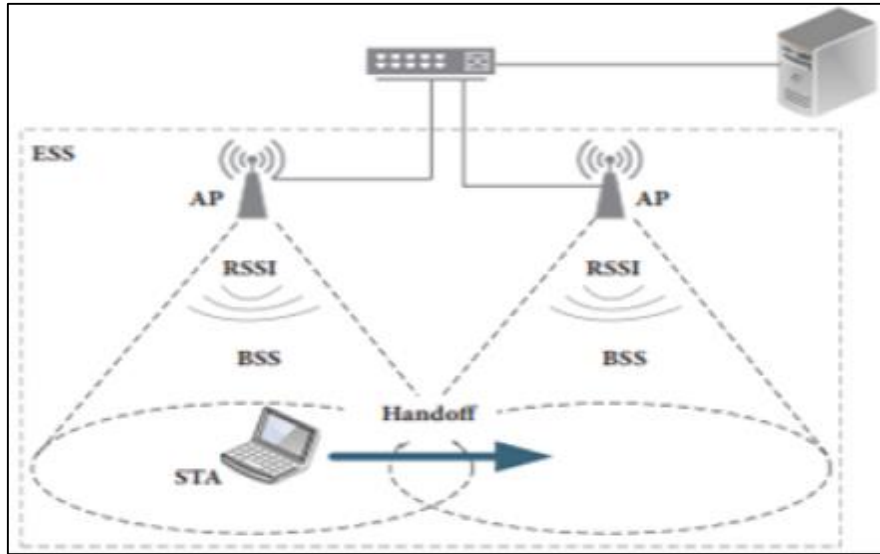
٤- **قرار التسليم**: يبدأ التسليم إذا استوفت نقطة الوصول (مع الأخذ في الاعتبار هامش التباطؤ والعتبة **Threshold**) المعايير التالية:

- معدل مرتفع بناءً على حساب الاتجاه **Trend** والقيم اللحظية لـ **RSSI**.

- تلبية عتبة قوة الإشارة (**RSSI Threshold**) المحددة مسبقاً.

- مراعاة هامش التباطؤ لتجنب عمليات التسليم المتكررة.

يوضح الشكل (٣) آلية التسليم المعتمدة على قيم مؤشر قوة الإشارة المستقبلية **RSSI** في شبكة **SDWN**، حيث يتم التسليم إلى نقطة وصول أخرى استناداً إلى **RSSI** لضمان استمرار الاتصال بسلاسة أثناء حركة المستخدم ضمن الشبكة [10].



الشكل (٣) التسليم المعتمد على تحديد RSSI في شبكة SDWN

## 8-2. كيفية حساب المعدل Score:

يتم حساب المعدل لكل نقطة وصول (AP) باستخدام مزيج من عاملين رئيسيين وهما قوة الإشارة الحالية

(RSSI) واتجاه مؤشر قوة الإشارة (RSSI-Trend):

١- مؤشر قوة الإشارة المستلمة RSSI: تمثل قيمة RSSI الأولية القوة الحالية للاتصال. يشير مؤشر RSSI الأعلى إلى إشارة أقوى، والتي من شأنها أن تساهم بشكل إيجابي في النتيجة. بعد تنظيم مؤشر RSSI، يتم ضربه بوزنه. بعدها يتم تنظيم مؤشر RSSI في نطاق [0..1] بحسب الصيغة المقترحة:

$$(1) NormRSSI = \frac{RSSI+90}{60}$$

وهنا، يتم ضبط قيمة RSSI بإضافة ٩٠ لأن RSSI عادة ما يكون سلبياً (ثم يتم تقسيمها على ٦٠) تم اقتراح تلك العلاقة الرياضية لتتناسب قيمة RSSI نطاقاً من ٠ إلى ١).

١- اتجاه أو معدل التغيير في مؤشر قوة الإشارة RSSI-Trend:

والذي يتنبأ فيما إذا كانت قوة الإشارة تتحسن أو تتدهور مع مرور الوقت. حيث يعكس الاتجاه Trend كيف من المتوقع أن تتغير الإشارة في المستقبل القريب. يشير الاتجاه الإيجابي لـ RSSI-Trend أي (T>0) إلى إشارة محسنة، مما يشير إلى أن الـ ap ستوفر أداءً أفضل في المستقبل. وعلى العكس من ذلك، يشير الاتجاه السلبي لـ RSSI-Trend أي (T<0) إلى إشارة متدهورة.

تهدف عملية التنظيم (Normalization) إلى إعادة قياس المتغيرات بقيمة بين ٠ و ١ بحيث تكون القيمة الصغرى صفر والقيمة العظمى ١.

يتم حساب الاتجاه المنظم (Normalization-Trend) ضمن قيم من [0..1] عبر اقتراح الصيغة

الرياضية لمؤشر اتجاه (RSSI-Trend) التالية:

$$NormTrend = \frac{RSSI\_Trend+10}{20} \quad (2)$$

تفترض هذه المعادلة أن مقدار التغير يقع بين  $(-10 + 10)$  dBmw/s ، وذلك لتتناسب النطاق من ٠ إلى ١ ، وصممت الصيغة المستخدمة لحساب المعدل **Score** لكل نقطة اتصال لاسلكية ap قريبه كما يلي:

$$\text{Score} = w_{\text{RSSI}} \times \text{NormRSSI} + w_{\text{trend}} \times \text{NormTrend} \quad (3)$$

حيث  $w_{\text{RSSI}}$  (RSSI\_WEIGHT) ،  $w_{\text{trend}}$  (TREND\_WEIGHT) هي الأوزان المرتبطة بمؤشر قوة الإشارة وباتجاه مؤشر قوة الإشارة NormRSSI.

بالتالي يسمح هذا المقياس المدمج للنظام باتخاذ قرارات تسليم أكثر ذكاءً من خلال تحديد نقاط الوصول ليس فقط بناءً على جودة الإشارة الحالية ولكن أيضاً مع الأخذ في الاعتبار ما إذا كان من المحتمل أن تتحسن الإشارة أو تسوء في المستقبل القريب. يوضح الجدول (1) كيف يمكننا الحصول على القيمة الفعلية لـ RSSI بالاعتماد على قيمة Score باعتبار وفرض أن:  $\text{RSSI\_WEIGHT} = 0.4$  ،  $\text{RSSI\_Trend}=0$  ،  $\text{TREND\_WEIGHT}= 0.6$

جدول (1) قيم RSSI اعتماداً على قيمة الـ SCORE

RSSI (dBm)	Score	RSSI (dBm)	Score
-90	0.3	-45	0.6
-85	0.333	-40	0.633
-80	0.367	-35	0.667
-75	0.4	-30	0.7
-70	0.433	-25	0.733
-65	0.467	-20	0.767
-60	0.5	-15	0.8
-55	0.533	-10	0.833
-50	0.567	-5	0.867

### 8-3. معايير قرار التسليم في الآلية المقترحة:

يتم النظر في اتخاذ قرار البدء بالتسليم إذا تم استيفاء المعايير الثلاثة التالية:

- هامش المعدل: يجب أن يتجاوز معدل نقطة الوصول المحتملة (**best ap**) معدل نقطة الوصول الحالية بمقدار لا يقل عن هامش المعدل Score\_Margin (والذي فرضنا قيمته ضمن الكود مساوياً 0.1) أي :

$$\text{Score (best ap)} > \text{Score (current ap)} + \text{SCORE\_MARGIN}$$

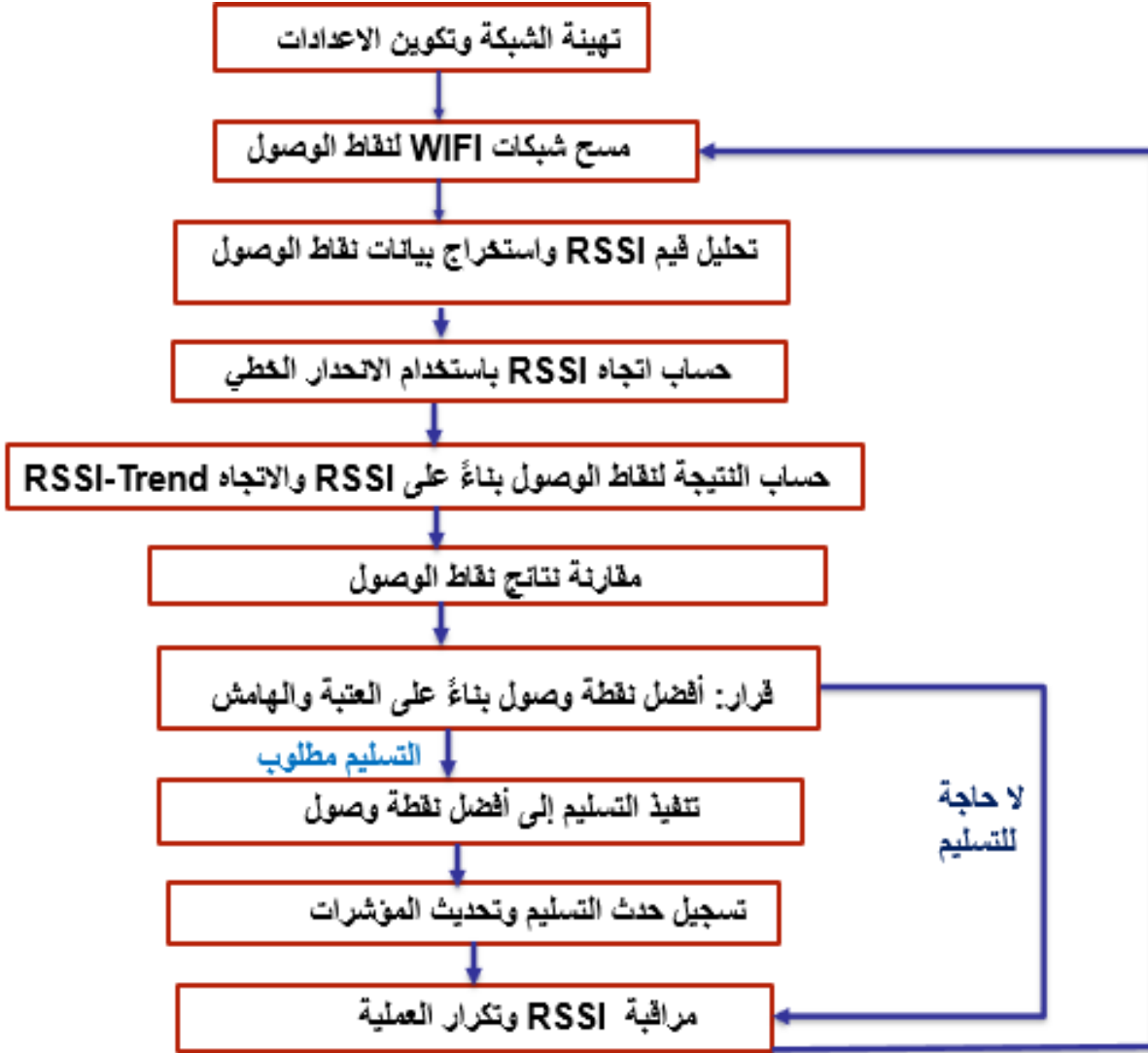
- عتبة المعدل: يجب أن يكون معدل AP الحالية أقل من العتبة المحددة مسبقاً Score Threshold أي:

$$\text{Score (current ap)} < \text{SCORE\_THRESHOLD}$$

- تحليل الاتجاه: يجب أن يشير الاتجاه Trend إلى تحسن الإشارة من نقطة الوصول المحتملة (best ap) وتدهور الإشارة من نقطة الوصول الحالية (current ap).

### 8-4. تنفيذ الآلية: تعمل الآلية المقترحة في حلقة مستمرة كما هو واضح في الشكل (4) والذي يبين

مخططاً تفصيلياً للمراحل الأساسية للآلية المقترحة:



الشكل (4) مخطط عمل الآلية المقترحة

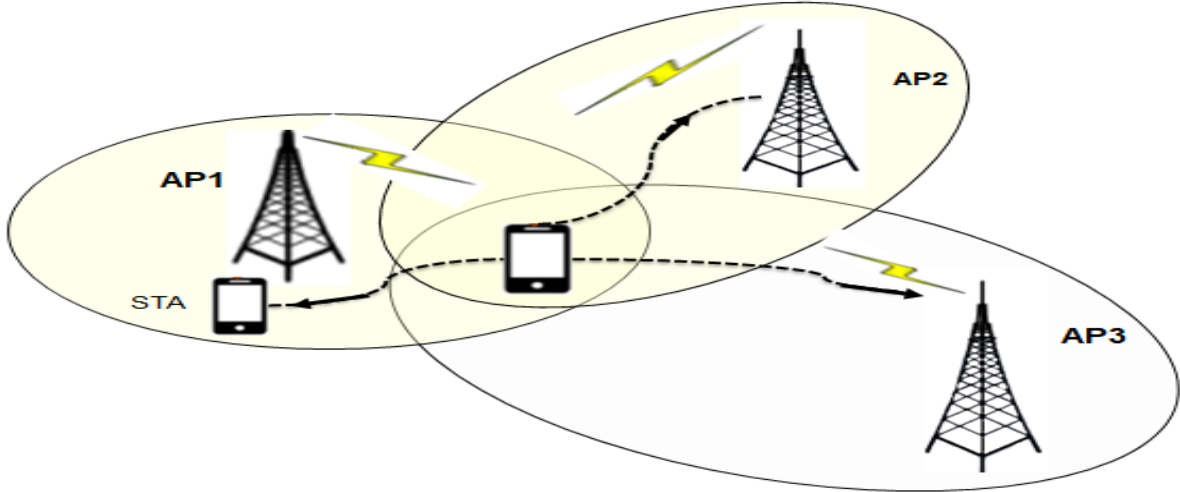
- مسح نقاط الوصول: استخدام الأمر `iw dev` لإجراء عملية مسح لنقاط الوصول القريبة والحصول على قيم RSSI.
- تحديث تاريخ RSSI : الاحتفاظ بنافذة متحركة من قيم RSSI الأخيرة لحساب الاتجاه Trend.
- حساب النتائج : حساب النتائج لجميع نقاط الوصول المكتشفة.
- اتخاذ قرار التسليم : تطبيق معايير القرار لتحديد ما إذا كان التسليم ضرورياً.
- تنفيذ التسليم : إذا كان التسليم مطلوباً، يتم قطع الاتصال بنقطة الوصول الحالية والاتصال بنقطة الوصول الجديدة باستخدام الأوامر المناسبة.

#### 5-8. التنفيذ في بيئة المحاكاة:

تتضمن طوبولوجيا الشبكة التي تم استخدامها في المحاكاة والموضحة في الشكل (5):

– محطة لاسلكية متنقلة (sta): تمثل الجهاز المتقل الذي يتحرك بين مناطق تغطية نقاط الوصول.

- مضيف واحد h1 : يمثل الجهاز الذي يتصل بالشبكة لاستقبال البيانات.
- متحكم SDN: يُدير عملية اتخاذ القرارات وتنفيذ الآلية المقترحة.
- ثلاث نقاط وصول (ap1, ap2, ap3) تم توزيعها بطريقة مدروسة لإبراز قدرة الطريقة المقترحة على اختيار نقطة الوصول المثلى.

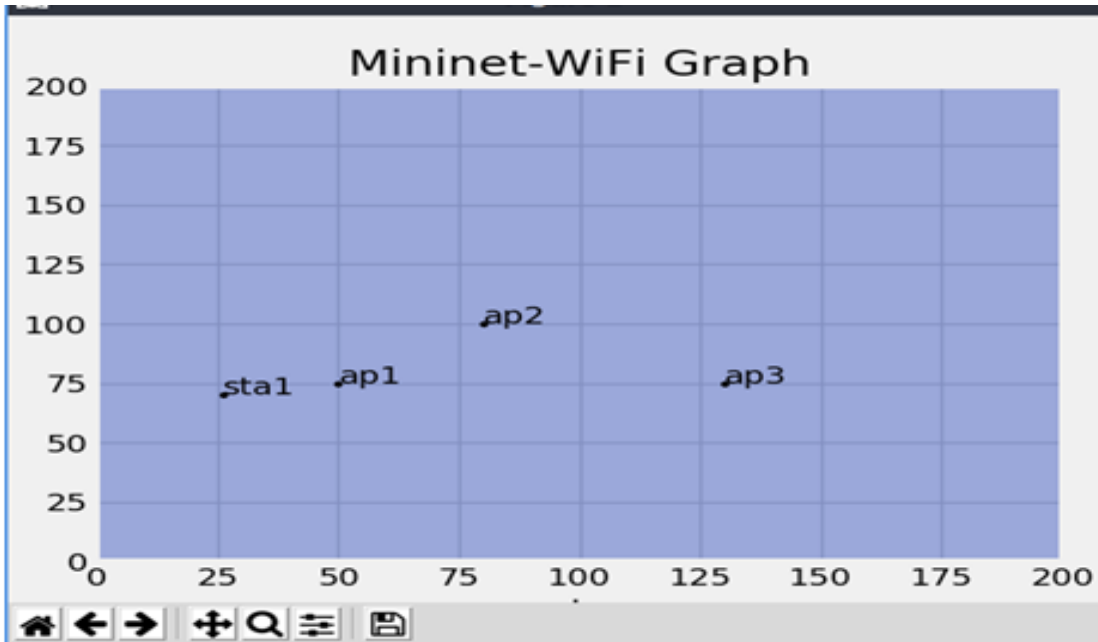


الشكل (٥) طوبولوجيا الشبكة المدروسة

تحاكي المحطة المتنقلة sta مساراً محدداً مسبقاً، مشابه لحركة المستخدم أثناء تنقله بين مناطق تغطية نقاط الوصول. يمكن أيضاً تمثيل هذا السيناريو مثلاً بحركة آلية داخل منشأة صناعية لجمع بيانات الحساسات وإرسالها إلى مركز المراقبة عبر نقاط الوصول اللاسلكية. يتم جدولة حركة STA باستخدام ميزات التنقل (Mobility) في بيئة المحاكي Mininet-Wifi.

#### 8-6. آلية العمل أثناء الحركة: أثناء تحرك sta بين مناطق التغطية المتداخلة AP1, AP2, AP3:

- يتم مراقبة قيم RSSI و RSSI-TREND لكل نقطة وصول.
- تحدد نقطة الوصول التي سترتبط بها sta بناءً على الـ Score المحسوب لكل نقطة.
- كمثال عملي سنطبق السيناريو المبين في الشكل (6):
- RSSI  $\downarrow$  ap1 تتناقص مع الوقت و RSSI لكل من ap2 و ap3 تترتد.
- على الرغم من أن  $RSSI(ap2) > RSSI(ap3)$ ، إلا أن المحطة sta ارتبطت بـ ap3. والسبب أنه: وفقاً للآلية الرياضية المستخدمة، يتم اختيار نقطة الوصول ذات SCORE الأعلى.
- في هذا السيناريو، كان  $SCORE(ap3) > SCORE(ap2)$  على الرغم من انخفاض RSSI ap3 مقارنةً بـ ap2. يساهم هذا الاختيار في تقليل عمليات التسليم غير الضرورية، حيث أن الارتباط بـ AP2 كان سيؤدي إلى إعادة الاتصال بـ AP3 لاحقاً، مما يسبب زيادة في عمليات التسليم.



الشكل (٦) بنية الشبكة المقترحة في بيئة المحاكى

## 8-6. نموذج الانتشار المستخدم:

تم استخدام نموذج **Log-Distance Path Loss Model** والذي يعد نموذج شائع الاستخدام لمحاكاة انتشار الإشارة في الشبكات اللاسلكية. ويتنبأ بخسارة المسار (انخفاض قوة الإشارة) كدالة للمسافة بين المرسل والمستقبل [11]. الصيغة العامة لنموذج خسارة مسار المسافة هي:

$$PL(d) = PL(d_0) + 10 \cdot n \cdot \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

حيث :  $PL(d)$  يعبر عن خسارة المسار في المسافة  $d$

$PL(d_0)$  يعبر عن خسارة مسار المسافة المرجعية عادة ١ متر.

$N$  : معامل خسارة المسار

## ٩- النتائج:

تم تتبع آلية عمل التسليم خطوة بخطوة أثناء حركة المحطة اللاسلكية ضمن نطاق تغطية نقاط الوصول الثلاثة  $ap1, ap2, ap3$ ، وحصلنا على النتائج الموضحة في الشكلين (7) و(٨) حيث سنلاحظ كيف سيتم إعطاء الأولوية للارتباط بالمحطة  $ap3$  بالرغم من أن المحطة الثانية  $ap2$  تمتلك مؤشر قوة إشارة أعلى أي أن:

$$RSSI(ap2) > RSSI(ap3)$$

$$Trend(ap3) > Trend(ap2)$$

تفضل المحطة الارتباط بـ  $ap3$  مباشرةً وتجاوز الارتباط بـ  $ap2$ ، وستوضح المخططات القادمة هذه النقطة بشكل موسع.

```

C: > Handover@@ > HandoverNew > Handover_scenario2 > ≡ handover_events.log
75 Sun Sep 29 03:22:25 2024: No handover needed for sta1 at this time.
76 Sun Sep 29 03:22:36 2024: RSSI values for sta1:
77 Sun Sep 29 03:22:36 2024: SSID: handover-ap1, RSSI: -46.0 dBm, Trend: 3.00, Score: 0.68
78 Sun Sep 29 03:22:36 2024: SSID: handover-ap2, RSSI: -52.0 dBm, Trend: 4.50, Score: 0.69
79 Sun Sep 29 03:22:36 2024: SSID: handover-ap3, RSSI: -61.0 dBm, Trend: 4.00, Score: 0.61
80 Sun Sep 29 03:22:36 2024: Current AP: handover-ap1, Score: 0.68
81 Sun Sep 29 03:22:36 2024: Best AP: handover-ap2, Score: 0.69
82 Sun Sep 29 03:22:36 2024: No handover needed for sta1 at this time.
83 Sun Sep 29 03:22:48 2024: RSSI values for sta1:
84 Sun Sep 29 03:22:48 2024: SSID: handover-ap1, RSSI: -56.0 dBm, Trend: -2.30, Score: 0.46
85 Sun Sep 29 03:22:48 2024: SSID: handover-ap2, RSSI: -54.0 dBm, Trend: 2.50, Score: 0.61
86 Sun Sep 29 03:22:48 2024: SSID: handover-ap3, RSSI: -55.0 dBm, Trend: 4.70, Score: 0.67
87 Sun Sep 29 03:22:48 2024: Current AP: handover-ap1, Score: 0.46
88 Sun Sep 29 03:22:48 2024: Best AP: handover-ap3, Score: 0.67
89 Sun Sep 29 03:22:48 2024: Permission granted to reassociate to handover-ap3...
90 Sun Sep 29 03:22:48 2024: Reassociating sta1 from handover-ap1 to handover-ap3...
91 Sun Sep 29 03:22:59 2024: RSSI values for sta1:
92 Sun Sep 29 03:22:59 2024: SSID: handover-ap1, RSSI: -62.0 dBm, Trend: -4.10, Score: 0.36
93 Sun Sep 29 03:22:59 2024: SSID: handover-ap2, RSSI: -59.0 dBm, Trend: 0.60, Score: 0.52
94 Sun Sep 29 03:22:59 2024: SSID: handover-ap3, RSSI: -44.0 dBm, Trend: 6.10, Score: 0.79
95 Sun Sep 29 03:22:59 2024: Current AP: handover-ap3, Score: 0.79
96 Sun Sep 29 03:22:59 2024: Best AP: handover-ap3, Score: 0.79
Launchpad 0 7 0 Connect Ln 88, Col 48 (21 selected) Spaces: 4 UTF-8 LF Log Go Live

```

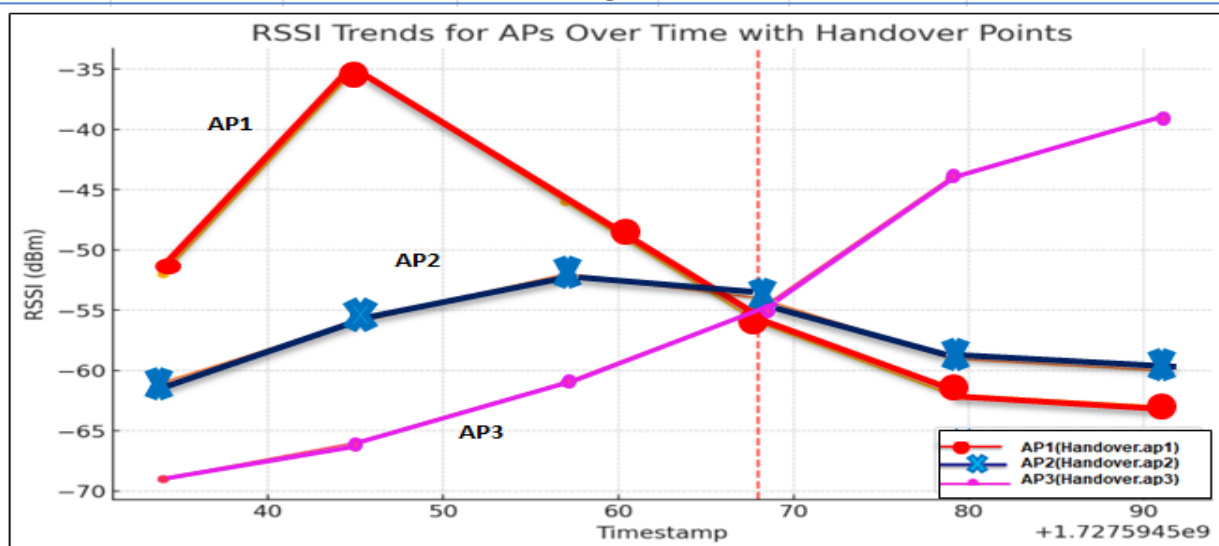
الشكل (7) تتبع قيم المؤشرات ضمن المحاكى أثناء حركة المحطة اللاسلكية

### 1-9. اتجاهات مؤشر قوة الإشارة لنقاط الوصول أثناء حركة المحطة اللاسلكية:

يسلط المخطط (8) الضوء على تقلب قوة الإشارة RSSI أثناء تحرك المحطة ضمن الشبكة. قد تكون قرارات التسليم المستندة إلى RSSI لوحدها غير كافية الأمر الذي يؤدي إلى عمليات تسليم غير ضرورية (تأثير Ping-Pong). أو الارتباط بنقاط وصول لاسلكية يتناقض RSSI الخاص بها، الأمر الذي يؤدي إلى عمليات تسليم وارتباط زائدة وغير ضرورية على حساب عمليات ارتباط أكثر وثوقه بنقطة وصول أخرى يكون مؤشر قوة الإشارة لديها أقل ، لكنه يتزايد ويؤمن ارتباط أفضل، وتظهر هذه الآلية بوضوح في الشكل (8) عند استخدام الآلية المقترحة، وحسب القيم الناتجة في الشكل السابق (7) والملخصة في الجدول (2) نجد أن sta1 سترتبط بنقطة الوصول ap3 وليست ap2 ، بالرغم من أن RSSI الخاص بها أقل من RSSI(ap2) ، لكن sta1 تقترب منها وتتعد عن ap2 أي:  $Trend(ap3) > Trend(ap2)$ ، وبالتالي فإن  $Score(ap3) > Score(ap2)$  : لذا فإن الخيار الجيد هو الارتباط ب ap3 وهو ما تم بالفعل بالاستفادة من قيم RSSI-Trend الناتجة.

جدول (2) نتائج عملية التسليم في المحاكى

Timestamp	Station	Event	AP	RSSI	Trend	Score
1727594534	sta1	scan	handover-ap1	-52	0	0.553333333
1727594534	sta1	scan	handover-ap2	-61	0	0.493333333
1727594534	sta1	scan	handover-ap3	-69	0	0.44
1727594545	sta1	scan	handover-ap1	-35	17	0.966666667
1727594545	sta1	scan	handover-ap2	-56	5	0.676666667
1727594545	sta1	scan	handover-ap3	-66	3	0.55
1727594557	sta1	scan	handover-ap1	-46	3	0.683333333
1727594557	sta1	scan	handover-ap2	-52	4.5	0.688333333
1727594557	sta1	scan	handover-ap3	-61	4	0.613333333
1727594568	sta1	scan	handover-ap1	-56	-2.3	0.457666667
1727594568	sta1	scan	handover-ap2	-54	2.5	0.615
1727594568	sta1	scan	handover-ap3	-55	4.7	0.674333333
1727594568	sta1	handover	handover-ap3	-55	4.7	0.674333333
1727594579	sta1	scan	handover-ap1	-62	-4.1	0.363666667
1727594579	sta1	scan	handover-ap2	-59	0.6	0.524666667
1727594579	sta1	scan	handover-ap3	-44	6.1	0.789666667
1727594591	sta1	scan	handover-ap1	-63	-7.2	0.264
1727594591	sta1	scan	handover-ap2	-60	-1.5	0.455
1727594591	sta1	scan	handover-ap3	-39	7.1	0.853



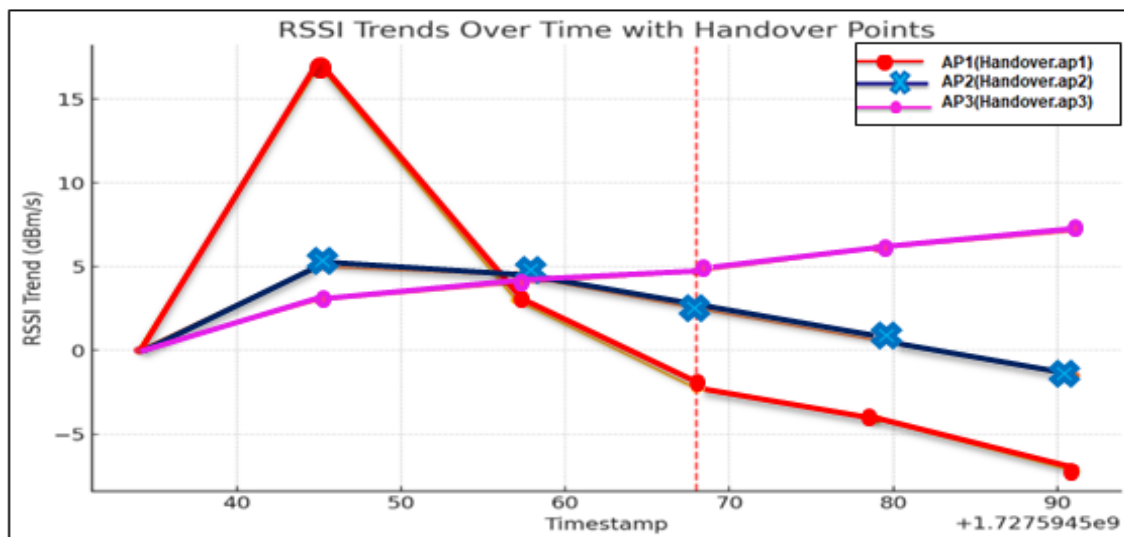
الشكل ( ٨ ) اتجاهات مؤشر قوة الإشارة لنقاط الوصول

## 9-2. اتجاهات RSSI -Trend أثناء حركة المحطة اللاسلكية:

يوضح المخطط (٩) اتجاه تغيرات RSSI بمرور الوقت لكل نقطة وصول وذلك حسب القيم الناتجة في

الجدول (3). الاتجاه (RSSI Trend) هو مقياس تنبؤي لكيفية تغير قوة الإشارة RSSI في المستقبل القريب

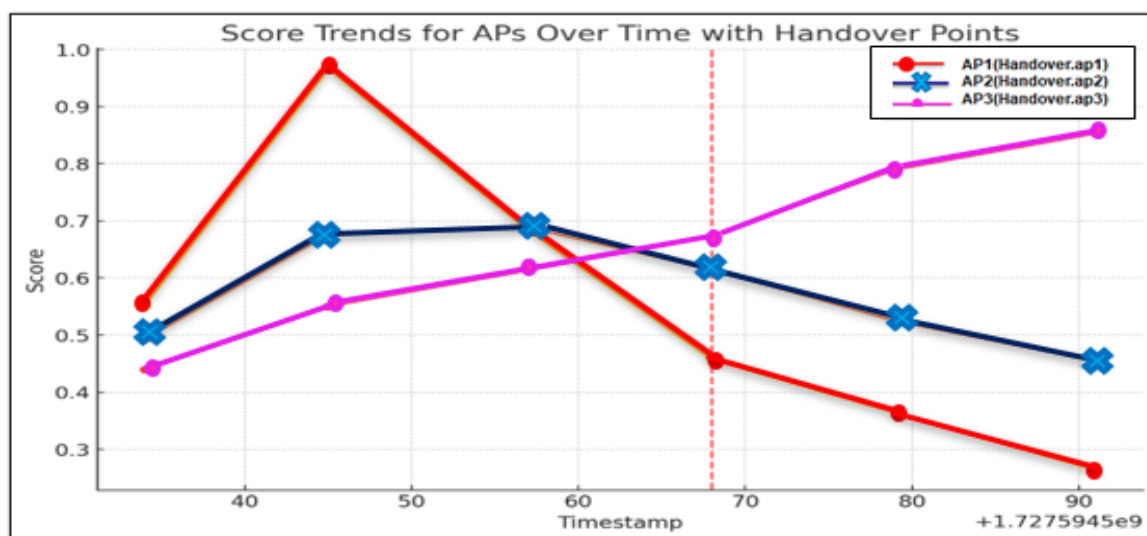
(أي هل ستتحسن قيمة RSSI أم ستتخفف) اعتماداً على نافذة القراءات السابقة لمؤشر قوة الإشارة RSSI أثناء حركة المحطة sta . إذ يحدث التسليم عندما يشير الاتجاه RSSI Trend إلى انخفاض في إشارة نقطة الوصول الحالية أي  $T < 0$ ، بينما تُظهر نقطة وصول أخرى اتجاهًا متحسناً أي  $T > 0$ ، مما يسمح بتسليم أكثر سلاسة وتقليل احتمالية انقطاع الاتصال أو فقدان حزم إضافية.



الشكل (٩) قيم الاتجاهات (RSSI -Trend) أثناء حركة المحطة اللاسلكية

### 9-3. معدل RSSI Score أثناء حركة المحطة اللاسلكية:

يوضح المخطط (10) قيم RSSI Scores لنقاط الوصول اللاسلكية مع مرور الوقت. تجمع النتائج بين قيم مؤشر RSSI لنقاط الوصول الثلاثة وقيم الاتجاهات RSSI-Trends لكل منها، وذلك لتوفير أساس وشروط أكثر ملائمة لاتخاذ قرار البدء بالتسليم. يحدث التسليم عندما تتجاوز درجة نقطة الوصول الجديدة (Score ap) درجة نقطة الوصول الحالية بهامش محدد هو Score Margin. وعندما يقل معدل النقطة الحالية عن حد معين هو Score Threshold، مما يضمن تسليمًا استباقياً سلساً وموثوقاً.



الشكل (١٠) معدلات RSSI Score أثناء حركة المحطة اللاسلكية

## 10- الاستنتاجات والمناقشة:

بناءً على تحليل المخططات السابقة يمكننا استخلاص عدة استنتاجات رئيسية فيما يتعلق بفعالية وسلوك آلية التسليم الذكية المستخدمة في تلك الدراسة:

1. **الارتباط بين اتجاهات RSSI وقرارات التسليم:** توفر اتجاهات RSSI أداة تنبؤ قيمة لجودة الإشارة المستقبلية. نلاحظ من المخططات السابقة أن عمليات التسليم تحدث غالباً عندما ينخفض اتجاه RSSI لنقطة الوصول الحالية، بينما يتحسن اتجاه RSSI لنقطة وصول أخرى. تساعد هذه القدرة التنبؤية النظام على اتخاذ قرارات تسليم استباقية قبل تدهور الاتصال بشكل كبير، مما يقلل من الانقطاعات ويحافظ على استمرارية الخدمة.

2. **أهمية قرارات التسليم القائمة على المعدل Score:** يُظهر المخطط القائم على المعدل بوضوح أن آلية التسليم المقترحة لا تعتمد فقط على قيم RSSI اللحظية ولكنها تدمج كل من RSSI واتجاهها لحساب النتيجة (score) لكل نقطة وصول. يسمح نظام التسجيل هذا للشبكة بضمان حدوث عمليات التسليم فقط عندما يكون هناك تحسن كبير في جودة الاتصال. وأن الآلية المقترحة تعطي الأولوية بشكل فعال لنقاط الوصول التي من المرجح أن توفر أداءً أفضل في المستقبل القريب، بناءً على قوة الإشارة واتجاهها.

3. **الحد من عمليات التسليم غير الضرورية:** من خلال الاستفادة من الهامش Score Margin، يتجنب النظام عمليات التسليم غير الضرورية التي قد تنشأ عن التقلبات البسيطة والمؤقتة في RSSI ويحسن كفاءة الشبكة.

نلاحظ مما سبق أن طريقة اتخاذ القرار بشأن التسليم المقترحة تعمل على تحسين أداء عملية التسليم. حيث يضمن استخدام تحليل اتجاه RSSI ونظام التسجيل اتصالات مستقرة، ويقلل من عمليات التسليم غير الضرورية، هذه الطريقة فعالة بشكل خاص في البيئات اللاسلكية، حيث يكون التسليم السلس أمراً بالغ الأهمية للحفاظ على جودة اتصال أفضل.

### 1- مزايا الآلية المقترحة: تتميز الآلية المقترحة بجملة من المزايا منها:

**الاستقرار:** تمنع تأثيرات Ping-Pong من خلال ضرورة وجود فروقات كبيرة في النتيجة واتجاهات Trends إيجابية (أي قيم RSSI متزايدة وبالتالي الإشارة في تحسن أفضل) قبل البدء في التسليم.

**الكفاءة:** تقلل من عمليات التسليم غير الضرورية (إذ أن المحطة فضلت الارتباط ب ap3 مباشرة دون الارتباط ب ap2 وبالتالي قللت من عمليات التسليم غير الضرورية لأنها مع مرور الوقت سترتبط حكماً ب ap3)، مما يحفظ موارد الشبكة، ويحقق جودة أعلى للاتصال

**الاستباقية:** يوفر تحليل الاتجاهات القدرة على اتخاذ قرارات تنبؤية والتنبؤ بنقطة الوصول الأفضل، بدلاً من الاعتماد على رد الفعل اللحظي.

- **التحسين الديناميكي لتخصيص الموارد:** بفضل التحكم المركزي، يتم ضبط مكونات الشبكة بشكل ديناميكي وتحسين تخصيص الموارد لتلبية متطلبات الشبكة المتغيرة.

2- **قيود الآلية المقترحة:** تعاني الآلية المقترحة من جملة من المحددات تتمثل بـ:

- **التعقيد** : حيث تتطلب الآلية مراقبة مستمرة لقيم RSSI، مما قد يزيد من الحمل على عمليات المعالجة.

-**الحساسية للبارامترات** : يعتمد الأداء على اختيار الأوزان والعتبات وهوامش التباطؤ، مما يتطلب ضبطاً دقيقاً من قبل مختص في إدارة الشبكة وإعطاء التعليمات إلى المتحكم في بيئة SDN أو للمحطة ذاتها في الشبكات التقليدية.

- **العوامل البيئية**: في البيئات الديناميكية للغاية، قد لا يتمكن الاتجاه من التنبؤ بدقة بقوة الإشارة المستقبلية.

#### ١١ - التوصيات:

نوصي في أبحاث مستقبلية بتقييم أداء الآلية المقترحة في طوبولوجيا شبكية أكبر وأكثر تعقيداً، وإجراء عملية الدمج مع عوامل إضافية مثل مقدار تحميل نقطة الوصول، تفضيلات المستخدم، ومتطلبات جودة الخدمة.

كما نوصي بتطبيق حلول التعلم الآلي في مجال معالجة مشاكل التسليم في الشبكات اللاسلكية عموماً وشبكات WIFI خصوصاً، وتحقيق التكامل الناجح للذكاء الصناعي مع شبكات SDN من أجل تحسين عمليات التسليم ضمن تلك الشبكات.

## المراجع References

- [1]. L. Zhang, K. Wang, D. Xuan, K. Yang, *Optimal task allocation in near-far computing enhanced C-RAN for wireless big data processing*. IEEE Wireless. Communication. 25(1), 50–55 (2018).
- [2]. Nahida, K., Yin, C., Hu, Y., Arain, Z. A., Pan, C., Khan, I, & Rahman, G. S. (2017). *Handover based on AP load in software defined Wi-Fi systems*. Journal of Communications and Networks, 19(6), 596-604.
- [3]. Y. Sun, K. Zhang, Y. Li, and Y. Yang, "A fuzzy-logic based predictive handover algorithm for location-aware wireless networks," in 2013 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), 2013, pp. 873-878.
- [4]. L. Suresh, J. Schulz-Zander, R. Merz, A. Feldmann, T. Vazao, in Paper presented at the 1st ACM International Workshop on Hot Topics in Software Defined Networks. Towards programmable enterprise WLANs with Odin, (Helsinki, 2012)
- [5]. Chu, H. C., Wong, C. E., Cheng, W. M., & Lai, H. C. (2023). *User QoS-Based Optimized Handover Algorithm for Wireless Networks*. Sensors, 23(10).
- [6]. Mushhad, S., Gilani, M., Hong, T., Jin, W., Zhao, G., Heang, H. M., & Xu, C. (2017). *Mobility management in IEEE 802.11 WLAN using SDN/NFV technologies*. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2017.
- [7]. Raza, S.M., Thorat, P., Challa, R., Jeon, S., Choo, H., (2020). *Design and experimental evaluation of OnDemand inter-domain mobility in SDN supported PMIPv6*. Wireless Networks 26, 603–620. <https://doi.org/10.1007/s11276-019-02169-2>
- [8]. Fontes, R.R.; Afzal, S.; Brito, S.H.; Santos, M.A.; Rothenberg, C.E. *Mininet-WiFi: Emulating software-defined wireless networks*. In Proceedings of the 2015 11th International Conference on Network and Service Management (CNSM), IEEE, Barcelona, Spain, 9–13 November 2015; pp. 384–389.
- [9]. KHALIFA, J; JANOUD, E and HASAN, Y, *Control Plane Integration of Automatically Switched Optical Network (ASON) \ Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Networks into Software Defined Networking (SDN) \ OpenFlow Networks*, Engineering Sciences Series, Tishreen University Journal, Vol. 42, No.5, 2020
- [10]. Filho, J. Q., Cunha, N., Lima, R., Anjos, E., & Matos, F. (2018). *A Software Defined Wireless Networking Approach for Managing Handoff in IEEE 802.11 Networks*. Wireless Communications and Mobile Computing, 2018, 1-11.
- [11]. Z. El Khaled, W. Ajib and H. Mcheick, "Log Distance Path Loss Model: Application and Improvement for Sub 5 GHz Rural Fixed Wireless Networks," in IEEE Access, vol. 10, pp. 52020-52029, 2022, [doi: 10.1109/ACCESS.2022.3166895](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3166895).