

Effect of Cut-Off Angles on Observation Accuracy in GPS Measurements

Dr. Fayez Deeb*
Dr. Nada Mahfoud**
Hisham Mohammad***

(Received 24 / 10 / 2023. Accepted 11 / 12 / 2023)

□ ABSTRACT □

This study investigates the impact of cut-off angles on the accuracy of Global Positioning System (GPS) measurements and evaluates the effect of varying cut-off angles on observation accuracy. Data from measurements conducted at five different cut-off angles (0°, 5°, 10°, 15°, 20°) were analyzed. After reviewing the standard deviations (Std Dev) for the North (N), East (E), Up (U), and Horizontal (Hz) components, variable responses to changes in cut-off angles were detected. This study provides a comprehensive analysis of the effects of cut-off angles on GPS measurements. Cut-off angles determine the minimum elevation angle above the horizon at which GPS satellites are considered visible and trackable by the receiver. Understanding the consequences of choosing specific cut-off angles is crucial for enhancing GPS-based applications and research.

In this study, we will focus on testing the effect of cut-off angles on the following aspects:

- Satellite Visibility.
- Positioning Accuracy.
- Signal Strength and Multipath Effects.

Keywords: Global Positioning System (GPS), Cut-off angle, Multipath, Satellite Visibility, Sky plot, Obstacles, Observations Accuracy.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Professor, Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Associate Professor, Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

*** Postgraduate student (MA), Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. hishammohammad@gmail.com

تأثير زوايا القطع على دقة الرصد في قياسات نظام تحديد المواقع العالمي GPS

د. فايز ديب *

د. ندى محفوظ **

هشام محمد ***

(تاريخ الإيداع 24 / 10 / 2023. قَبْلُ للنشر في 11 / 12 / 2023)

□ ملخص □

تبحث هذه الدراسة العلمية في تأثير زوايا القطع (Cut-off angles) على دقة القياسات المأخوذة بنظام تحديد المواقع العالمي (Global Positioning System GPS)، كما تم تقييم أثر اختلاف زاوية القطع على دقة الرصد. حيث تم تحليل البيانات الناتجة عن الرصد عند 5 درجات مختلفة لزاوية القطع (0°, 5°, 10°, 15°, 20°). وبعد الاطلاع على قيم الانحرافات المعيارية (Standard Deviation Std Dev) على مركبات الشمال (N) والشرق (E) والمركبة الشاقولية (U) والأفقية (Hz) تم الكشف عن وجود استجابة متغيرة بتغير زاوية القطع. ونقدم هذه الدراسة تحليلاً شاملاً لتأثيرات زوايا القطع على عمليات الرصد باستخدام نظام تحديد المواقع العالمي (GPS). حيث تحدد زوايا القطع الحد الأدنى لزاوية الارتفاع فوق الأفق التي تعتبر عندها أقمار نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) مرئية ويتم تتبعها بواسطة جهاز الاستقبال. ويعد فهم الآثار المترتبة على اختيار زوايا قطع معينة أمراً أساسياً لتحسين التطبيقات والأبحاث المستندة إلى نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) سنركز في هذه الدراسة على اختبار تأثير زوايا القطع على الجوانب التالية:

- إمكانية رؤية القمر الصناعي (Satellite Visibility)
- دقة تحديد الموقع (Positioning Accuracy)
- قوة الإشارة وتأثير المسارات المتعددة (Signal Strength and Multipath Effects)

الكلمات المفتاحية: نظام تحديد المواقع العالمي، زاوية القطع، المسارات المتعددة، إمكانية الرؤية، التوزع الهندسي للأقمار الصناعية، العوائق، دقة الأرصاد.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* أستاذ - قسم الهندسة الطبوغرافية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
** أستاذ مساعد - قسم الهندسة الطبوغرافية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
*** طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم الهندسة الطبوغرافية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

.hishammohammad@gmail.com

مقدمة:

تؤمن نظم الملاحة الفضائية العالمية حالياً دقة جيدة جداً في تحديد المواقع، وبالتالي يمكن استخدامها بنجاح في تكثيف وإنشاء الشبكات الجيوديزية بسرعة وبتكاليف منخفضة وذلك لما يتوفر فيها من ميزات لا تتوفر في الأجهزة التقليدية (كعدم الحاجة إلى تحقيق الرؤية المتبادلة بين النقاط، والمسافات الكبيرة التي تصل إلى عشرات الكيلومترات)، وبما أن الهدف الأساسي عند إنشاء الشبكات الجيوديزية هو تحقيق الدقة الأفضل مع مراعاة الكلفة وزمن الإنجاز، فهناك عوامل تؤثر على دقة هذه القياسات وتتغير من حالة قياس إلى أخرى، فمنها ما يكون تغييره اختيارياً من قبل الراصد ومنها ما يكون إجبارياً نظراً للظروف والإمكانات المتاحة. حيث تلعب العوائق المحيطة بالمستقبل دوراً هاماً في التأثير على دقة الرصد كونها تحجب إشارة بعض الأقمار الصناعية بالتالي تؤثر بشكل سلبي على دقة الرصد، في حين أن الشرط الأساسي لحساب الإحداثيات ثلاثية الأبعاد هو أن يقوم جهاز الاستقبال برصد 4 أقمار صناعية في نفس اللحظة (نكتفي برصد 3 أقمار صناعية فقط لحساب الإحداثيات ثنائية الأبعاد أي بإهمال حساب ارتفاع الموقع)، فإذا توفر لدينا عدد من المعادلات أكبر من 4 (أكثر من 4 أقمار صناعية في نفس اللحظة) فستؤدي هذه الأرصاد الزائدة إلى زيادة دقة وجودة الإحداثيات المحسوبة [1]. والجانب الآخر لتأثير العوائق هو تعدد المسارات (Multipath) حيث يحدث غالباً تداخل في إشارة (GPS) بسبب ارتداد أو انعكاس الإشارات الواردة من الأشياء والأسطح المحيطة [2]، حيث تصل الإشارات متأخرة إلى المستقبل ويكون الزمن أكبر من الزمن اللازم لقطع الإشارة مساراً مستقيماً بين القمر الصناعي والمستقبل، وبالتالي فإن المسافة بين المرسل والمستقبل تحمل خطأ ينتقل بدوره إلى الموقع المحسوب باستخدام هذه المسافة. وهنا تتجلى أهمية زاوية القطع (Cut-off angle) والتي هي أقل زاوية ارتفاع مقبولة للقمر الصناعي (فوق الأفق) لتجنب حجب خط الرؤية بين المستقبل والقمر بحيث تعتبر إشارة القمر الصناعي متاحة للملاحة وتحديد المواقع، ويعبر عنها عادةً بالدرجات (Degrees) [3]. تبحث هذه الدراسة في كيفية تأثير زوايا القطع المختلفة على العدد والتوضع الهندسي للأقمار الصناعية المرئية في أي زمان ومكان معينين. فقد تؤدي الزيادة في زاوية القطع إلى انخفاض عدد الأقمار الصناعية المرئية، مما قد يؤثر على توافر وعدد الإشارات وتكرارها. كما سيتم الكشف عن تأثير زوايا القطع على قوة الإشارة وتداخل المسارات المتعددة، حيث يلقي هذا التحليل الضوء على دور زوايا القطع المختلفة في تقليل أو زيادة تحديات انتشار الإشارة في ظل وجود نماذج مختلفة للعوائق.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في اختيار زاوية قطع مناسبة للظروف المحيطة حيث أن اختيار زاوية قطع كبيرة يؤدي إلى تضيق مجال رؤية الأقمار الصناعية وبالتالي انخفاض عدد الأقمار الصناعية المساهمة في عملية الرصد وبدوره يؤدي ذلك إلى ارتفاع قيم معامل الدقة (PDOP) (Position Dilution Of Precision) [4] وهو رقم معياري بدون واحدة يعبر عن العلاقة بين الخطأ في موقع المستخدم والخطأ في موقع القمر الصناعي. كما يلعب التوضع الهندسي للأقمار الصناعية أثناء عملية الرصد دوراً أساسياً في دقة الإحداثيات المستنتجة من عملية الرصد، حيث أن التوزيع الهندسي الجيد للأقمار يعطي دقة جيدة في حساب الإحداثيات والعكس صحيح [5]. بالمقابل فإن اختيار زوايا قطع صغيرة نسبياً يخلق العديد من المشاكل نتيجة تداخل بعض العوائق (الطبيعية والصناعية) مع نطاق الرؤية وبالتالي حجب

العديد من الإشارات وانقطاع خط الرؤية بين المستقبل والقمر الصناعي، كما أن أحد أهم العوامل في هذه الحالة هو تأثير المسارات المتعددة.

تهدف هذه الدراسة إلى فهم مدى تأثير زوايا القطع المختلفة على دقة وموثوقية القياسات في ظل ظروف إحاطة مختلفة وتتنوع العوائق وعلاقة التوضع الهندسي للأقمار واختيار أنسب إعدادات للرصد في كل حالة للحصول على أفضل حل ممكن.

طرائق البحث ومواده:

تعتمد نظرية عمل نظم الملاحة بالأقمار الصناعية على مبدأ قياس الزمن الذي تستغرقه الموجة الراديوية منذ صدورها من وحدة البث (القمر الصناعي) وحتى وصلها إلى وحدة الاستقبال (المستقبل)، ومن ثم يمكن حساب المسافة بين القمر الصناعي وجهاز الاستقبال من المعادلة:

$$D = c \cdot \Delta t \quad (1)$$

D هي المسافة بين القمر الصناعي وجهاز الاستقبال

C سرعة الإشارة وتساوي سرعة الضوء

Δt فرق الزمن = زمن الاستقبال - زمن الإرسال

ويمكن التعبير عن هذه المسافة بدلالة الإحداثيات الجيوديزية لكل من القمر الصناعي (X_s, Y_s, Z_s) وجهاز الاستقبال (X_r, Y_r, Z_r) كالتالي:

$$D = \sqrt{[(X_s - X_r)^2 + (Y_s - Y_r)^2 + (Z_s - Z_r)^2]} \quad (2)$$

حيث أن إحداثيات القمر الصناعي في أي لحظة تكون معلومة فإن المعادلة السابقة تحوي على 3 قيم مجهولة وهي إحداثيات جهاز الاستقبال ذاته (X_r, Y_r, Z_r) ، مما يدل على أنه يلزم وجود 3 معادلات حتى يمكن حلهم معاً بشكل Simultaneously لحساب قيم إحداثيات جهاز الاستقبال (بمعنى آخر: يلزم أن يرصد جهاز الاستقبال 3 أقمار صناعية في نفس اللحظة).

إن الساعة الموجودة في القمر الصناعي من النوع الذري عالي الدقة جداً في تحديد زمن الإرسال (زمن خروج الإشارة من القمر الصناعي) لكن الساعة الموجودة في جهاز الاستقبال ليست بنفس هذه الدقة العالية (وإلا فإن سعرها سيكون مرتفعاً جداً بصورة تجعل سعر أجهزة الاستقبال غير متاحة لكل المستخدمين)، لذلك ابتكر العلماء فكرة جديدة وذكية للتغلب على مشكلة عدم دقة ساعة أجهزة الاستقبال، وهي إضافة قيمة الخطأ في ساعة المستقبل وحلها من خلال معادلة رياضية:

$$D = c \cdot (\Delta t + Et)$$

$$D + \Delta D = \sqrt{[(X_s - X_r)^2 + (Y_s - Y_r)^2 + (Z_s - Z_r)^2]} \quad (3)$$

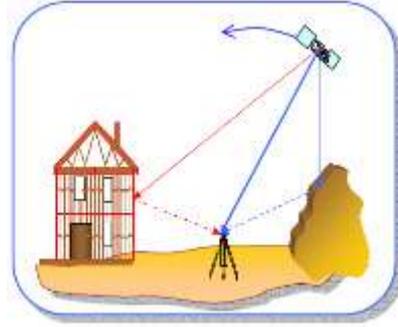
حيث Et هو الخطأ المطلوب حسابه لزمن الاستقبال الذي يقيسه جهاز الاستقبال، ΔD هو قيمة الخطأ في المسافة المحسوبة بين القمر الصناعي وجهاز الاستقبال، وبالتالي فإن عدد المجاهيل أصبح 4 وليس 3 (إحداثيات موقع جهاز الاستقبال X_r, Y_r, Z_r وتصحيح المسافة الناتج عن خطأ ساعة الجهاز ΔD) مما يلزم وجود 4 معادلات حتى يمكن حساب قيم العناصر الأربعة المجهولة:

$$\begin{aligned} D_1 + \Delta D_1 &= \sqrt{[(X_{s1} - X_r)^2 + (Y_{s1} - Y_r)^2 + (Z_{s1} - Z_r)^2]} \\ D_2 + \Delta D_2 &= \sqrt{[(X_{s2} - X_r)^2 + (Y_{s2} - Y_r)^2 + (Z_{s2} - Z_r)^2]} \\ D_3 + \Delta D_3 &= \sqrt{[(X_{s3} - X_r)^2 + (Y_{s3} - Y_r)^2 + (Z_{s3} - Z_r)^2]} \\ D_4 + \Delta D_4 &= \sqrt{[(X_{s4} - X_r)^2 + (Y_{s4} - Y_r)^2 + (Z_{s4} - Z_r)^2]} \end{aligned} \quad (4)$$

حيث D_1, D_2, D_3, D_4 هي المسافات المقاسة بين جهاز الاستقبال والأقمار الصناعية الأربعة، $(X_{S_1}, Y_{S_1}, Z_{S_1})$ و $(X_{S_2}, Y_{S_2}, Z_{S_2})$ و $(X_{S_3}, Y_{S_3}, Z_{S_3})$ تمثل إحداثيات الأقمار الصناعية، (X_r, Y_r, Z_r) هي إحداثيات جهاز الاستقبال، E_r هو خطأ زمن جهاز الاستقبال [1].

❖ مصادر الأخطاء في قياسات GPS:

- التوافر الانتقائي
 - تأثير طبقة التروبوسفير في الغلاف الجوي
 - تأثير طبقة الأيونوسفير في الغلاف الجوي
 - خطأ ساعة القمر الصناعي
 - خطأ مدار القمر الصناعي
 - خطأ ساعة جهاز الاستقبال
 - خطأ هوائي جهاز الاستقبال
 - خطأ تعدد المسارات
 - تأثير الوضع الهندسي للأقمار الصناعية
- يعد خطأ تعدد المسارات من أهم وأخطر مصادر الأخطاء في قياسات GPS، ينتج هذا الخطأ عندما تصل إشارات الأقمار الصناعية إلى جهاز الاستقبال من خلال مسارات متعددة، أي تصطدم الإشارة بعائق (شجرة أو مبنى أو جسم معدني أو سطح مائي... الخ) ثم ترتد إلى جهاز الاستقبال [6]، من الممكن أن يصل تأثير هذا الخطأ إلى 5 متر عند استخدام قياسات الطور على التردد الأول L1، بينما قد يصل إلى عشرات الأمتار عند استخدام أرصاف الشيفرة، ومن هنا جاءت أهمية اختيار أماكن أجهزة الاستقبال بصورة مناسبة لتفادي هذا الخطأ.



الشكل (1) تأثير المسارات المتعددة على الإشارات الواردة من القمر الصناعي

بينما يؤثر الوضع الهندسي لمواقع الأقمار الصناعية أثناء فترة الرصد على دقة الإحداثيات الأرضية المستنتجة، حيث أن التوزيع الجيد لمواقع الأقمار الصناعية في السماء يعطي دقة جيدة في حساب مواقع المستقبلات الأرضية، بينما يتوقع أن يؤثر التوزيع السيء لمواقع الأقمار الصناعية على دقة الإحداثيات المستنتجة. يتم التعبير عن تأثير مواقع الأقمار الصناعية باستخدام معامل يسمى "معامل الدقة Dilution of Precision" ويرمز له DOP، ويوجد منه عدة أنواع بناءً على المستوى المطلوب الحساب به، وتشمل معاملات الدقة عدة أنواع:

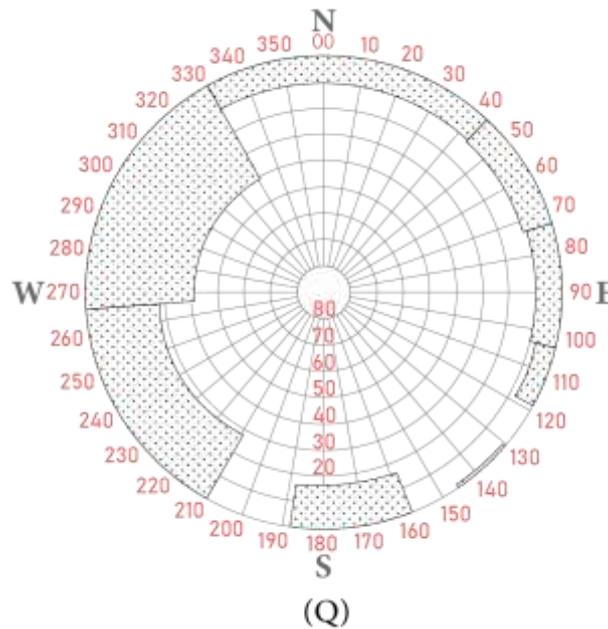
- معامل الدقة الأفقية ويرمز له بالرمز HDOP.
- معامل الدقة الرأسية ويرمز له بالرمز VDOP.
- معامل الدقة ثلاثية الأبعاد ويرمز له بالرمز PDOP.

- معامل الدقة الهندسية (رباعية الأبعاد) ويرمز له بالرمز GDOP.
 - معامل الدقة الزمنية ويرمز له بالرمز TDOP.
- يمكن حساب الدقة المتوقعة لتحديد المواقع باستخدام GPS من المعادلة:

$$A_p = DOP * A_m \quad (5)$$

حيث أن A_p تعبر عن دقة الموقع، A_m تعبر عن دقة القياس.

❖ **مرحلة اختيار النقاط:** من أجل اختبار تأثير زوايا القطع على دقة الأرصاد الناتجة عن نظام تحديد المواقع العالمي (GPS)، تم اختيار عدد من النقاط ضمن ظروف إحاطة مختلفة من حيث اتجاه وارتفاع العوائق، وتم رسم مخططات توضح ارتفاع واتجاه العوائق المحيطة بكل نقطة (الشكل 2).



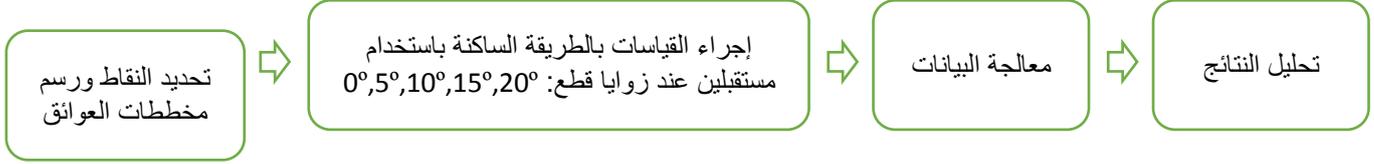
الشكل (2) نموذج عن مخططات الإعاقة عند النقطة Q

❖ **مرحلة القياسات الحقلية:** كما تم استخدام جهازي استقبال نوع (Hi-Target V8)، وباستخدام طريقة الرصد الساكن السريع (Rapid Static) قمنا بعملية الرصد بالطريقة الشعاعية خلال 5 دورات قياس حيث تم تغيير زاوية القطع عند كل دورة قياس. تعتمد هذه الطريقة في الرصد على تثبيت أحد المستقبلات على النقطة المعروفة طول فترة القياس وتحريك المستقبل الآخر على بقية النقاط بحيث يبقى على النقطة الواحدة مدة تتراوح بين (2-15) دقيقة [7]، وتستخدم في حال وقوع النقاط المجهولة في نطاق مسافة قصيرة (ضمن حدود 10-15 كم). تتميز طريقة الرصد الثابت السريع أنها تقلل بدرجة كبيرة من الوقت اللازم لتجميع البيانات الحقلية، مما يراعي التغير في مواقع الأقمار مع مرور الزمن.

❖ **مرحلة معالجة الأرصاد:** استخدم برنامج Topcon Tools في معالجة الأرصاد والحصول على الإحداثيات المصححة وقيم الانحراف المعيارية عند كل نقطة. كما تم استخدام برنامج RTKLIB في تحليل البيانات من حيث عدد وتوضع الأقمار الصناعية وقيم PDOP وتأثير المسارات المتعددة.

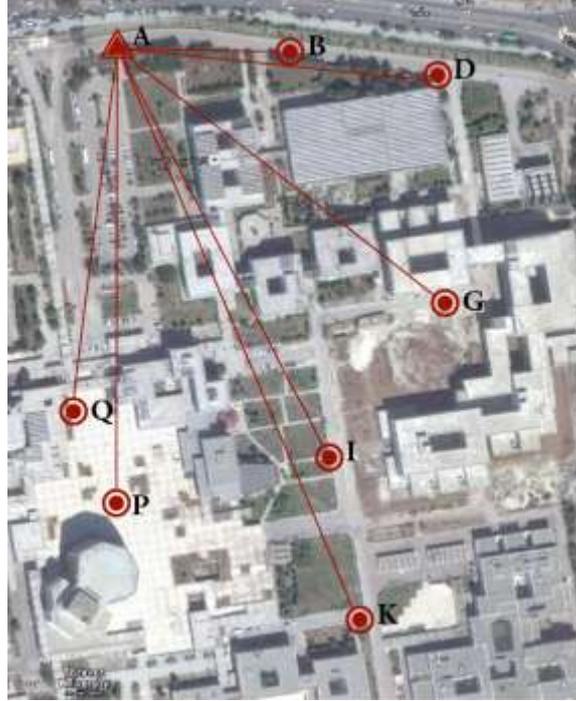
النتائج والمناقشة:

يوضح (الشكل 3) منهجية العمل المتبعة:

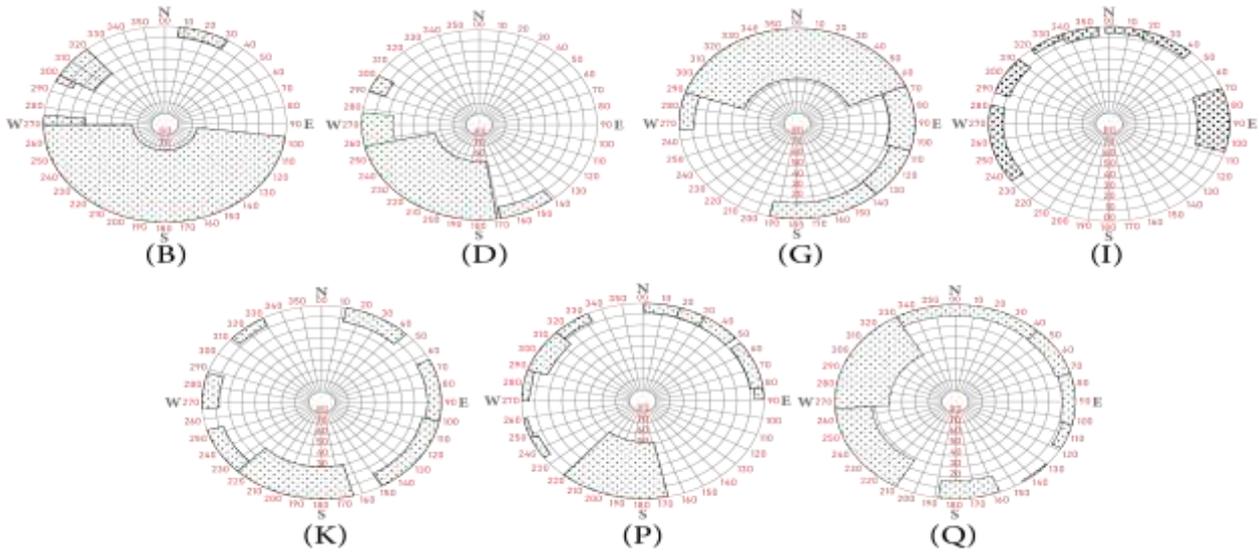


الشكل (3) منهجية العمل

- تم اختيار 7 نقاط داخل حرم جامعة تشرين (الشكل 4) من أجل الرصد بالطريقة الساكنة، حيث أن كل نقطة تختلف عن الأخرى من حيث ارتفاع واتجاه العوائق المحيطة بها، وقد وضعنا مخطط عوائق لكل نقطة يبين ارتفاع واتجاه العوائق (الشكل 5).

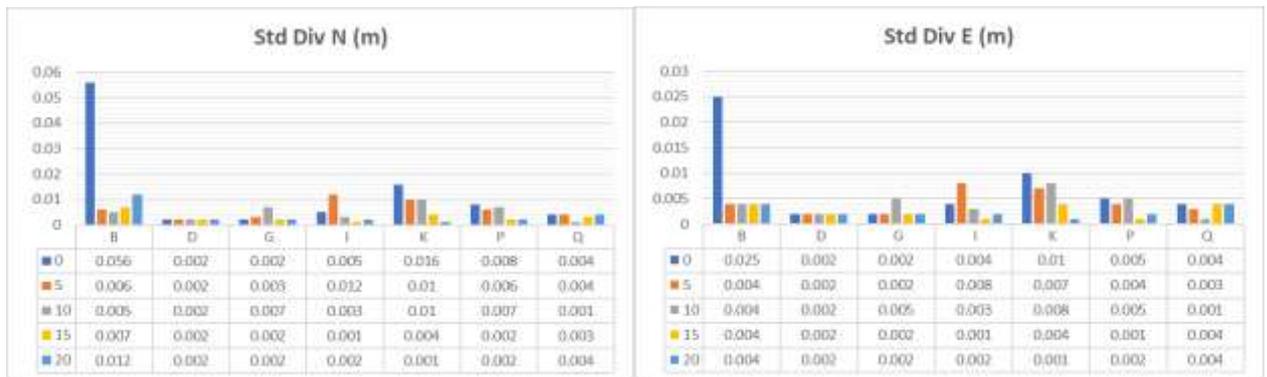


الشكل (4) توزع نقاط الشبكة الجيوديزية



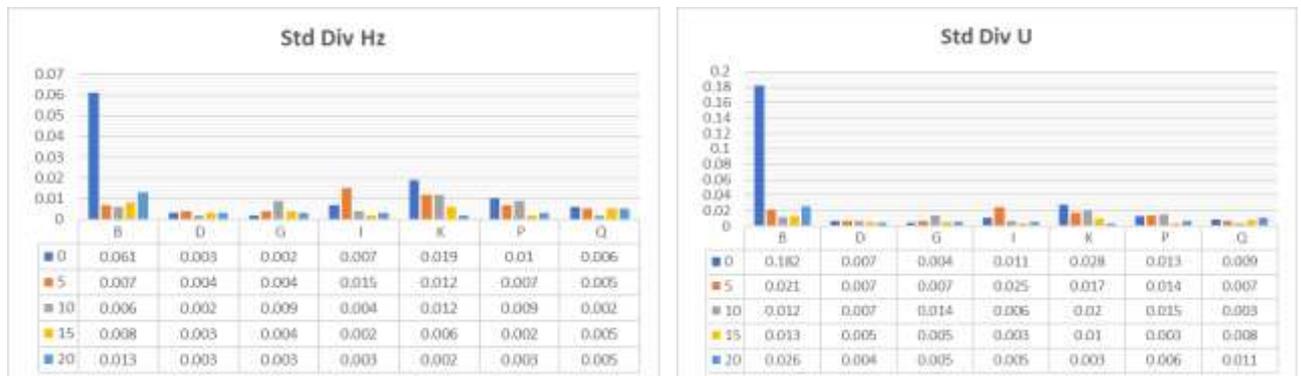
الشكل (5) مخططات العوايق للنقاط

- بعد اخيار النقاط، تم رصد كل نقطة لمدة 15 دقيقة باستخدام جهازي استقبال، وعند زوايا قطع مختلفة (0° , 5° , 10° , 15° , 20°)
- بعد الانتهاء من الرصد، تمت معالجة الأرصاد باستخدام برنامج Topcon Tools للحصول على الانحرافات المعيارية لكل مركبة من المركبات، وتم تمثيلها كمخططات بيانية (الشكل 6).



الشكل (6-a) الانحرافات المعيارية على مركبة الشمال

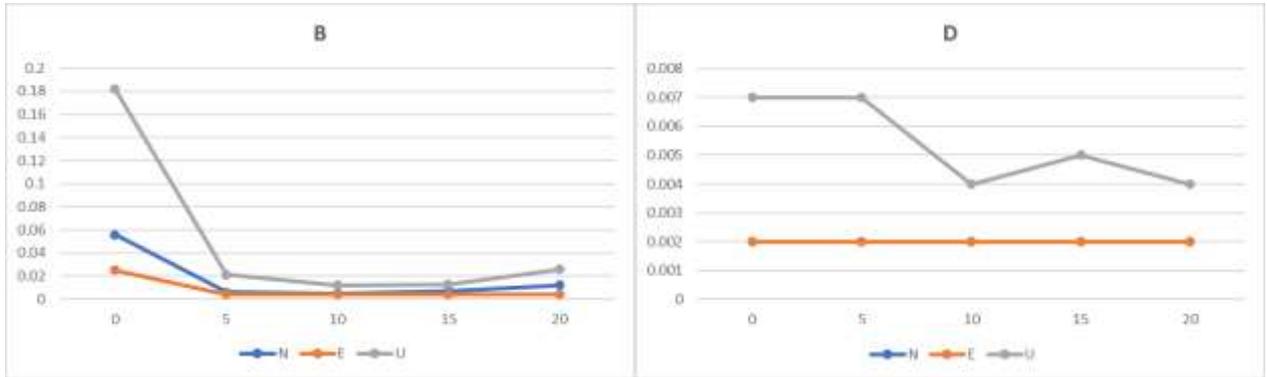
الشكل (6-b) الانحرافات المعيارية على مركبة الشرق E



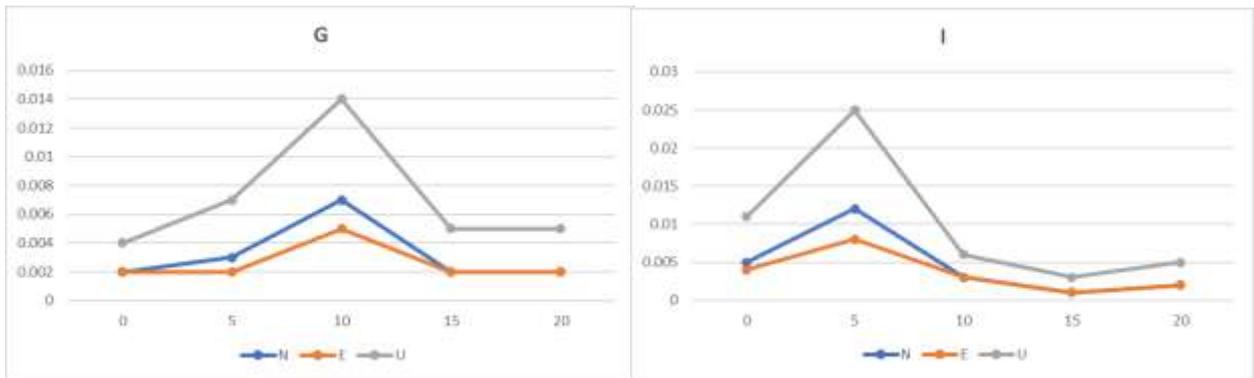
الشكل (6-c) الانحرافات المعيارية على المركبة الأفقية Hz

الشكل (6-d) الانحرافات المعيارية على المركبة الشاقولية U

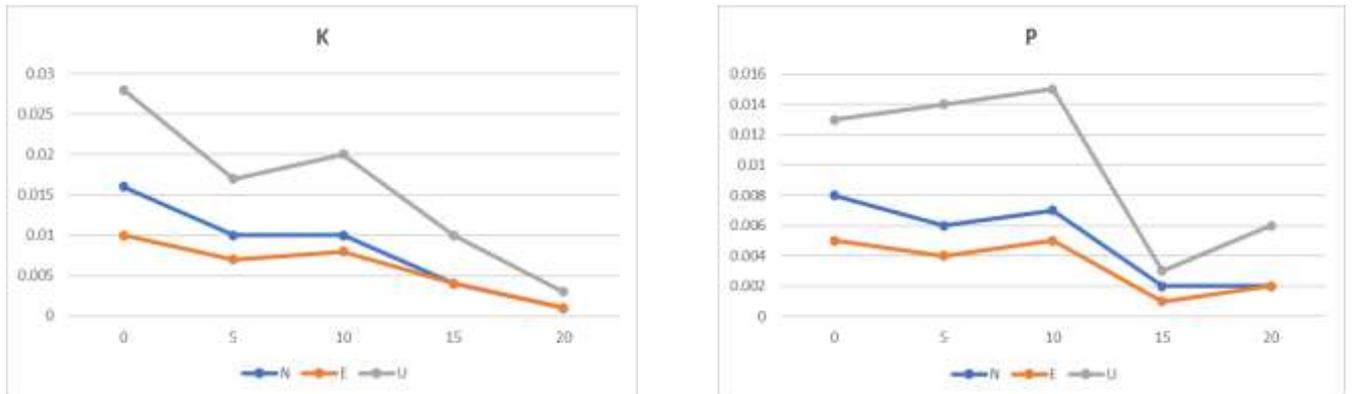
- وعند تتبع تغير الدقة عند تغير زاوية القطع، تم إنشاء الخطوط البيانية التالية التي تعبر عن علاقة الانحرافات المعيارية بزوايا القطع عند كل نقطة على حدى (الشكل 7).



الشكل (2-7) علاقة الانحرافات المعيارية بزوايا القطع عند النقطة D الشكل (1-7) علاقة الانحرافات المعيارية بزوايا القطع عند النقطة B

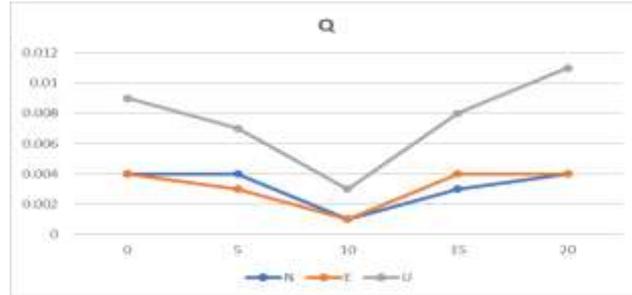


الشكل (4-7) علاقة الانحرافات المعيارية بزوايا القطع عند النقطة I الشكل (3-7) علاقة الانحرافات المعيارية بزوايا القطع عند النقطة G



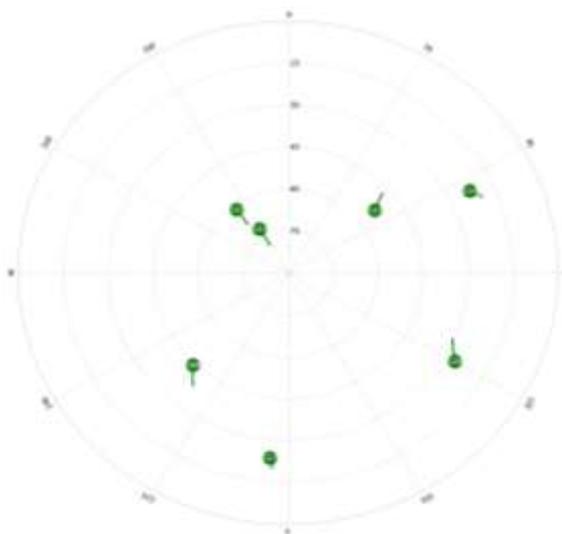
الشكل (d-5) الانحرافات المعيارية على المركبة الأفقية Hz

الشكل (6-7) علاقة الانحرافات المعيارية بزوايا القطع عند النقطة P الشكل (5-7) علاقة الانحرافات المعيارية بزوايا القطع عند النقطة K

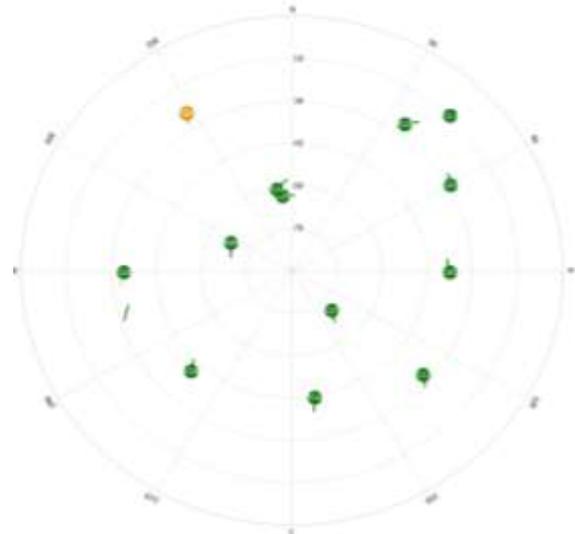


الشكل (7-7) علاقة الانحرافات المعيارية بزوايا القطع عند النقطة Q

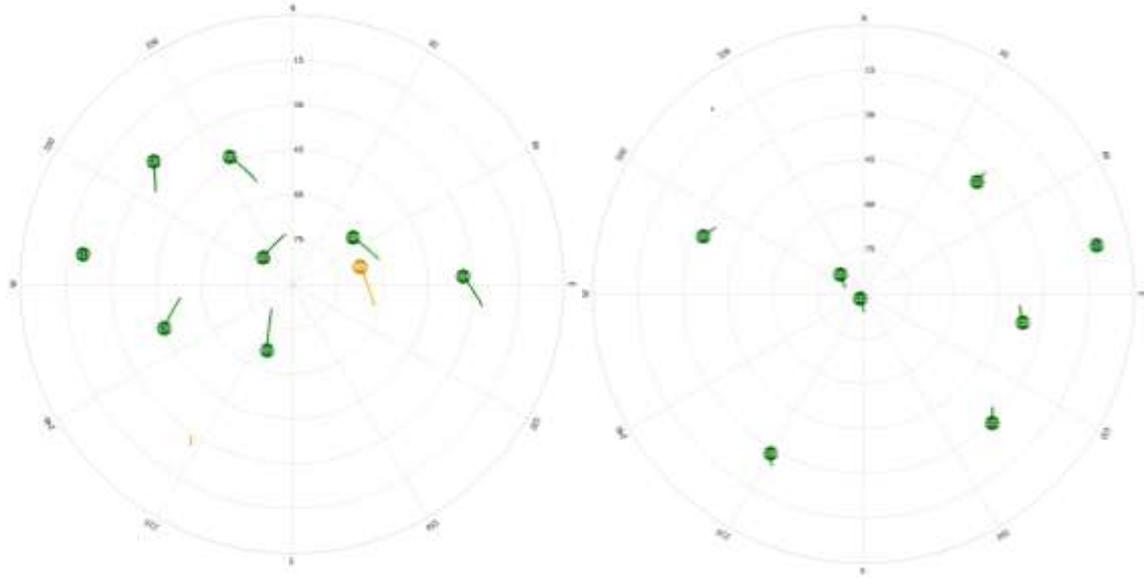
❖ نستنتج من المخططات البيانية السابقة ارتباط زوايا القطع الصغير ولاسيما (0° , 5°) بقيم انحراف معياري مرتفعة بشكل ملحوظ عند جميع المركبات مقارنةً بالحالات الأخرى مما يعني زيادة في مستويات الضوضاء (Noise Levels) في عمليات الرصد [8] مما يؤثر بدوره بشكل سلبي على دقة الإحداثيات الناتجة عن عملية الرصد. بينما أدت قيم زوايا القطع الأكبر إلى انخفاض في قيم الانحرافات وتقليل التشتت في الأرصاد وبشكل خاص عند الزوايا (15° , 20°)، وهذا يتوافق مع دراسات سابقة [9]. حيث أنه رغم التقارب النسبي في قيم الانحرافات عند الزوايا (10° , 15° , 20°) إلا أن زاوية القطع ليست العامل الوحيد الحاسم في تحديد دقة الرصد، حيث نلاحظ في الشكل (7-6) أن أقل قيم للانحراف عند النقطة Q كانت ($0.001m$, $0.001m$, $0.003m$, $0.002m$) عند الزاوية (10°)، وعند الزاوية (20°) كانت قيم الانحراف ($0.004m$, $0.004m$, $0.011m$, $0.005m$). بينما في المقابل كانت قيم الانحراف عند النقطة K في الشكل (5-6) هي الأقل حيث بلغت ($0.001m$, $0.001m$, $0.003m$)، وعند الزاوية (20°)، مقارنةً بنظيرتها عند الزاوية (10°) والتي بلغت ($0.01m$, $0.008m$, $0.02m$)، وعند تحليل الأرصاد من أجل اكتشاف سبب هذا التباين، وجد أن عدد وتوضع الأقمار الصناعية كان له الدور الأكبر في هذه النتيجة، حيث يبين الشكل (8) تحليل السماء (Sky plot) عند كلا النقطتين K, Q. ويبين هذا التحليل اختلاف عدد الأقمار الصناعية المتاحة الذي أثر بشكل أساسي على قيم الانحراف المعياري وبالتالي على دقة النتائج.



الشكل (8-b) تحليل سماء النقطة Q عند الزاوية (20°)



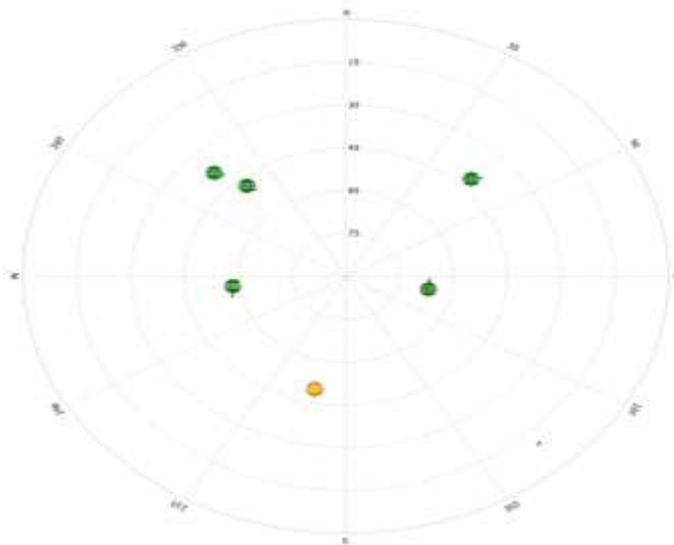
الشكل (8-a) تحليل سماء النقطة Q عند الزاوية (10°)



الشكل (8-c) تحليل سماء النقطة K عند الزاوية (10°) الشكل (8-d) تحليل سماء النقطة K عند الزاوية (20°)

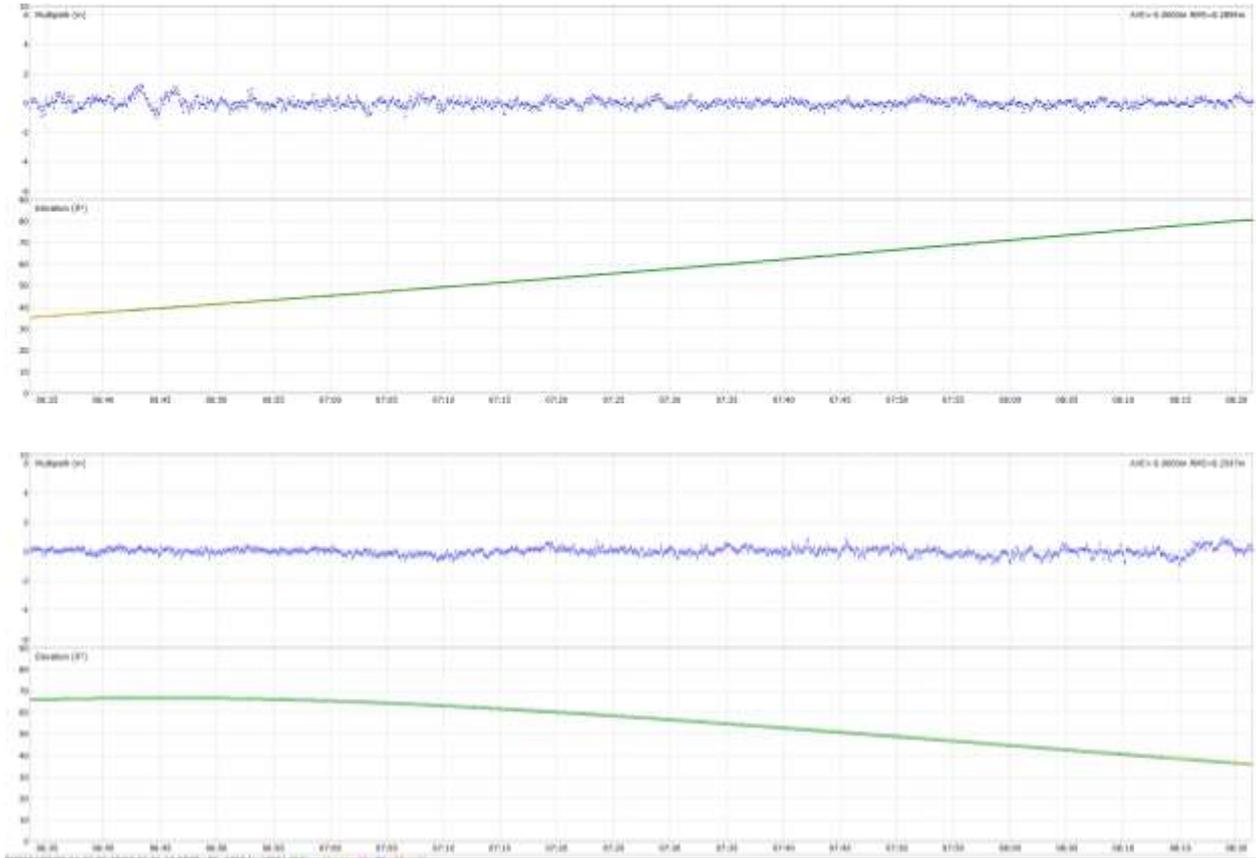
❖ نلاحظ من الخطوط البيانية الموضحة في الشكل (7) أن المركبة الشاقولية (U) تحمل قيم انحراف معياري أكبر نسبياً من بقية المركبات وبالتالي فإن دقة تحديد الموقع الشاقولية أقل من الأفقية وبالتالي إحداثيات الارتفاع أقل دقة من الإحداثيات الأفقية.

❖ تظهر النقطة B قيم كبيرة جداً (شاذة نسبياً) للخطأ مقارنةً ببقية النقاط تبعاً للمخططات البيانية في الشكل (7) عند الزاوية (0°)، وهذا يتوافق مع النتيجة التي توضح الأثر السلبي للعوائق على الدقة، حيث أن النقطة B هي الأكثر إعاقة بين النقاط، ولذلك من الطبيعي أن تحمل أخطاءً كبيرة خاصة عند الرصد بزاوية قطع صغيرة جداً، ويوضح الشكل (9) سماء النقطة B عند الزاوية (0°).



الشكل (9) سماء النقطة B عند زاوية قطع (0°)

❖ عند دراسة تأثير المسارات المتعددة، تم تتبع أحد الأقمار الصناعية ودراسة العلاقة بين التشتت في تعدد المسارات وارتفاع القمر الصناعي وبالتالي بزوايا تلقي الإشارة، وكانت النتيجة كالتالي: يزيد تشتت المسارات المتعددة بشكل واضح عند انخفاض القمر الصناعي، وبالمقابل تزداد نعومة الخط البياني الذي يمثل المسارات المتعددة عند ارتفاع القمر. حيث أن الموقع المنخفض للقمر ينتج عنه ميل كبير لخط الرؤية عن الشاقول وبالتالي يزداد احتمال اصطدام الإشارة الواردة بالعوائق بسبب انخفاض زاوية ورود الإشارة مع الأفق، وهذا مايسبب زيادة في ظاهرة تعدد المسارات (Multipath) عند اختيار قيم صغيرة لزوايا القطع.



الشكل (10) تأثير ارتفاع القمر الصناعي على تعدد المسارات (Multipath)

الاستنتاجات والتوصيات:

- ❖ إن زوايا القطع الصغيرة (أقل من 10°) تؤثر بشكل سلبي على دقة القياسات وتسبب في انخفاضها، وقد تكون هذه الدقة غير مقبولة في بعض التطبيقات التي تتطلب شروطاً محددة للدقة ومثال عن ذلك قيم الانحراف المعياري عند النقطة K عند زاوية قطع 0° (0.016m, 0.01m, 0.019m, 0.028m)
- ❖ إن أفضل قيم للزوايا تتراوح بين (10°, 20°)، وهذا يتعلق بظروف الإحاطة وتوضع الأقمار وإمكانية رؤيتها، وهذا مايجب على الراصد مراعاته وتحديد الشروط المناسبة للرصد عند تلك النقطة. حيث قيم الانحراف بدأت بالصعود مع زيادة زاوية القطع عن الحدود الوسطية (15°) في بعض الحالات. حيث أنه في النقطة B مثلاً بلغت قيم الانحراف

المعياري (0.007m, 0.004m, 0.008m, 0.013m) عند الزاوية 15° و (0.012m, 0.004m, 0.013m,) عند الزاوية 20°.

❖ يتضح أن المركبات الارتفاعية تحمل خطأ أكبر من المركبات الأفقية وتزداد قيمة هذا الخطأ بشكل كبير نسبياً عند استخدام زوايا قطع قليلة، وعند وجود عوائق عالية، وبالتالي فإن تأثير المسارات المتعددة له التأثير الأكبر على الدقة الإرتفاعية. حيث نلاحظ أن الانحراف المعياري على المركبة الأفقية عند النقطة K هو 0.019m بينما على مركبتي الشمال والشرق 0.016m ثم 0.01m على التوالي.

❖ يجب على الراصد وضع خطة رصد لكل نقطة في حال كانت قيم الفروقات الصغير تؤثر على دقة وموثوقية المهمة التي يقوم بها، حيث يراعي الزاوية التي تناسب كل نمط من العوائق وتوضع وعدد الأقمار المتاحة. ولكن في حال كانت هذه الفروقات الصغيرة تقع ضمن الحدود المسموحة للدقة فيمكن غالباً استخدام قيمة وسطية لزاوية القطع (15°) فهي غالباً ماتعطي قيم قريبة جداً للقيم التي تحقق شرط الدقة وفي العديد من الأحيان تكون هذه الزاوية مصدر تلك القيم.

References:

1. YAMMINE M. *Remote sensing in geographic research* (in Arabic). 2008. p. 33.
2. ELOSEGUI P, DAVIS JL, JALDEHAG RTK, JOHANSSON JM, NIELL AE, SHAPIRO II. *Geodesy Using the Global Positioning System: The Effects of Signal Scattering*. *J Geophys Res*. 1995; Available from: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:128959288>
3. Headquarters u-blox ATS. *The GPS Dictionary*. 2010. p. 1–53. Available from: https://www.u-blox.com/sites/default/files/the_gps_dictionary.pdf
4. KALOOP MR, Yigit CO, El-Mowafy A, Bezcioglu M, Dindar AA, Hu JW. *Evaluation of multi-GNSS high-rate relative positioning for monitoring dynamic structural movements in the urban environment*. *Geomatics, Nat Hazards Risk*. 2020 Jan 1;11(1):2239–62.
5. MACIUK K. *GPS-only, glonass-only and combined GPS+GLONASS absolute positioning under different sky view conditions*. *Teh Vjesn*. 2018 Jun 1;25:933–9.
6. DYUKOV A. *Mask Angle Effects on GNSS Speed Validity in Multipath and Tree Foliage Environments*. *Asian J Appl Sci*. 2016;04(02):2321–0893.
7. DAWOD G. *Basics of Geodetic Surveys and GPS* (A Book in Arabic). 2012.
8. MANANDHAR S, Meng YS. *Analysis on the effect of different elevation cut-off angles on GPS time transfer*. Vol. 18, Measurement: Sensors. 2021.
9. JOAQUÍN Z, J. SM. *Influence of the Cutoff Angle and the Bearing in High-Precision GPS Vector Determination*. *J Surv Eng*. 2007 May 1;133(2):90–4.

