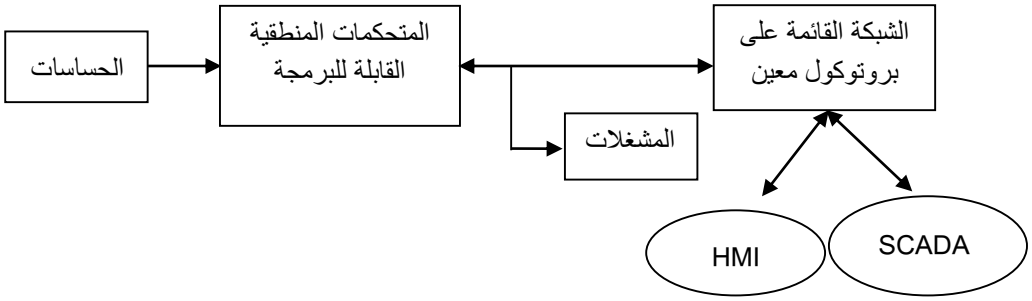
بروتوكولات الاتصال في نظم سكادا (Communication Protocols in SCADA Systems):

يمكن توضيح المخطط العام لأي شبكة صناعية موزعة قائمة على نظام سكادا من خلال المخطط الموضح في الشكل(1).



الشكل (1): المخطط العام للشبكات الصناعية الموزعة.

يتبين من المخطط المبين في الشكل (1) أن الشبكة الصناعية الموزعة تتكون بشكل عام من مجموعة من الحساسات التي تعتبر كمداخل لنظام التحكم الموزع، يتم معالجة حالة هذه الحساسات ضمن أحد أجهزة PLCs الموصولة إلى الشبكة الموزعة، وبناءً على حالة الحساسات وعلى برنامج التحكم المصمم في الشبكة الموزعة يتم إعطاء أوامر إلى المشغلات الكهربائية.

كما هو موضح في المخطط العام للشبكة الموزعة، يتم نقل حالة أجهزة PLCs وحالة الحساسات والمشغلات عبر الشبكة القائمة على بروتوكول من البروتوكولات الصناعية، و التي سيتم مناقشتها لاحقاً في هذا الفصل وتخزينها ضمن قاعدة البيانات.

يمكن التحكم بـــ PLCs الموصولة ببعضها عبر الشبكة الصناعية الموزعة من خلال نظام SCADA، أو من خلال واجهة التخاطب البشرية (HMI)، إذ يمكن عن طريق نظام SCADA تشغيل كافة المشغلات وفصلها ضمن الشبكة الصناعية الموزعة، كما يمكن التحكم بقاعدة البيانات للشبكة.

يتم اختيار بروتوكول الربط بين PLCs بناء على التطبيق المراد تحقيقه بالشبكة الصناعية الموزعة وعلى المسافة الجغرافية بين أجهزة PLCs وعلى معدل نقل البيانات.

تدعم نظم سكادا العديد من المعايير والبروتوكولات لتحقيق الاتصال بين مختلف المحطات في نظام التحكم، من البروتوكولات المشهورة في النظم الصناعية هي البروتوكولات التسلسلية مثل (RS485-RS232) وبروتوكول الإيثرنت الصناعي (Industrial Ethernet).

كما هو الحال في بروتوكول الإيثرنت التقليدي المستخدم في الشبكات الحاسوبية، فإن بروتوكول الإيثرنت الصناعي يعتمد على البروتوكولات المشهورة في طبقة النقل وطبقة الشبكة مثل بروتوكول التحكم بالإرسال TCP (Transmission Control Protocol) وبروتوكول مخطط بيانات المستخدم UDP (User Datagram Protocol) وبروتوكول الانترنت IP (Internet Protocol)، ويعتمد البروتوكول إيثرنت الصناعي أيضاً على أجهزة الشبكة المعروفة مثل المجمع (Hub) والمبدل (Switch) والموجه (Router).

يتوافق أيضاً بروتوكول الإيثرنت الصناعي مع البروتوكولات المعروفة مثل HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) وبروتوكول إعداد المضيف الديناميكي DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) و بروتوكول إعداد الشبكة البسيط SNMP (Simple Network Management Protocol) وبروتوكولات أخرى كثيرة.

من أمثلة بروتوكولات التحكم المعتمدة على بروتوكول إيثرنت، نذكر:

- بروتوكول Modbus TCP/IP: هو بروتوكول تسلسلي غير قائم على الزمن الحقيقي، من ابتكار شركة شنايدر الكترك (Schneider Electric)، ويعتمد على طريقة السيد/ التابع(Master-Slave) لتحقيق الاتصال.
- البروتوكول Profinet: هو بروتوكول تحكم من إنتاج شركة Siemens، ويعتمد على البروتوكول TCP/IP.
- البروتوكول Ethernet/IP: هو بروتوكول تم تطويره لأغراض تحكمية وصناعية، وهو مشابه جداً لبروتوكول الإيثرنت التقليدي ولكنه يختلف عنه في طبقة النقل فقط.

البروتوكول Modbus (Modbus Protocol):

تصـنف شـبكات PLCs بحسـب بروتوكول التحكم المسـتخدم، ولعل أكثرها شـهرة وأقدمها هو البروتوكول Modbus نسبة للشركة التي ابتدعته MODICON. أما عن البروتوكولات المستخدمة حالياً في هذا المجال، فهي كثيرة وقيد التطور الدائم ونذكر منها على سبيل المثال لا الحصر:

- CAN open.
- Profibus.
- Ethernet.

إن البروتوكول Modbus هو بروتوكول تخـاطـب بين أجهزة التحكم الـذكيـة وفق بنيـة خـادم/عميـل، أي (Master/Slave) أو (Client/Server)، وقد تم إنشـاؤه من قبل شـركة MODICON في عام 1979 لتأمين التخاطب بين أجهزة التحكم القابلة للبرمجة التي تصـنعها هذه الشركة، و من هنا جاء اسم البروتوكول نـاقـل موديكون (MODICON BUS)، يعتبر هـذا البروتوكول اليوم من أكثر البروتوكولات شـــيوعـاً في الاسـتخدام للربط بين مختلف أجهزة PLCs، وهو مفتوح المصـدر، وهو يسـتخدم أسـاسـاً لنقل حالة المداخل والـــمـــخـــارج وكـــذلـــك حـــالـــة مســـــجـــلات الـــذاكـــرة. يتوفر هذا البروتوكول بإصدارات عدة، الأكثر شيوعاً هو (Modbus RTU) الذي يعتمد على النقل التسلسلي باسـتخدام زوج واحد من الأسـلاك أو زوجين مثل بروتوكول RS485 أو RS232، كما يوجد إصـدار وفق ترميز Modbus ASCII، وحديثاً أصـبح هذا البروتوكول متاحاً بإصـدار خاص لاسـتخدامه على الشـبكات الحاسـوبية، وهو إصـدار يلاقي رواجاً عالمياً من حيث الاسـتخدام ويدعى (Modbus TCP). يعتمد هذا البروتوكول كما ذكرنا على نظام (Master/Slave)، إذ أن الجهاز Master يتمتع بإمكانية إرســـال طلب (Request) أو أمر (Command)، في حين أن الجهاز Slave وظيفته فقط الاستجابة للأوامر والطلبات.

يتمثل هنا الفرق بين الأمر والطلب بمايلي:

❖ الطلب:

1- يحمل عنوان الوجهة.

2- يرسله الجهاز Master وينتظر الرد.

❖ الأمر:

1- معمم لكل أجهزة الشبكة ولا يحمل عنواناً محدداً.

2- يرسله الجهاز Master ولا ينتظر الرد.

نذكر من مزايا شبكة Modbus ومساوئها مايلي:

❖ **المساوئ:**

1- تعتمد على نظام Master/Slave، ولا يملك الجهاز Slave القدرة على التواصـــل مع الجهاز Masterلتبليغه عن حالته، وهذا غير مناسب ضمن البحث المدروس.

2- وجود زمن للمسح.

3- من أهم المساوئ أن مسافة النقل لا تتجاوز 1300 متر من دون استخدام مقويات للإشارة، وهذا لا يناسب التطبيق المراد دراسته في هذا البحث.

❖ **المزايا:**

1- رخيص الثمن، لأن ميزة Modbus مضمنة ضمن معظم المنتجات بشكل مسبق، وبالتالي لا نحتاج لتجهيزات خارجية لإعداد الشبكة.

2- سهل البرمجة والإعداد، لأنه مضمن بالأصل ضمن معظم أجهزة PLC.

3- بروتوكول Modbus هو بروتوكول عالمي ومن أكثر البروتوكولات شيوعاً.

4- قابلية التطوير المستمرة، إذ يوجد حالياً الإصدار Modbus Plus، والذي يعد أسرع من البروتوكول Modbus.

يقســـم نظام العمل في البروتوكول Modbus إلى طبقات فرعية عدة، يعتبر بروتوكول Modbus عاملاً بالأساس على طبقة التطبيقات بمبدأ Server/Client وهو وجود جهاز رئيسي مسؤول عن إدارة الشبكة التي تحوي على عدة أجهزة فرعية، يمكن تلخيص طبقات البروتوكول Modbus كمايلي:

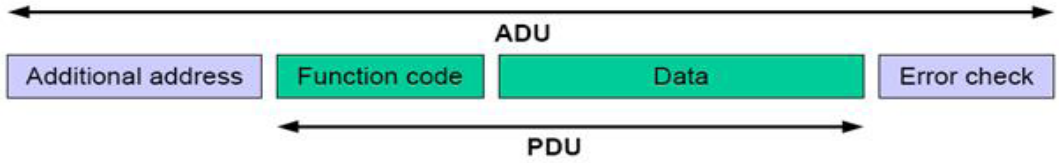
1.1.6.2- طبقة التطبيقات في البروتوكول Modbus (Application Layer):

يملك كل متحكم قائم على البروتوكول Modbus ذاكرة، حيث يتم تخزين بيانات التحكم المتبادلة مع المتحكمات الأخرى، تعطي مواصفات Modbus آلية استرجاع البيانات ونوع البيانات التي يمكن استردادها.

تعرف وحدة بيانات البروتوكول (Protocol Data Unit: PDU) بيانات الوظائف ورموزها، وتضاف لها حقول حسب الناقل، مثل حقول الفحص والعنوان ليشكل وحدة بيانات التطبيق (Application Data Unit: ADU).

- ADU: الجزء الذي يحدد عنوان الجهاز: ADU = PDU+Error Check+Address.
- PDU: الجزء الذي يحدد عنوان العملية: PDU = Function code + Data.

يتم بناء ADU من قبل المتحكم العميل (client) الذي يحدد شكل الطلب، وعلى المخدم (Server) تحديد العمل الذي يجب أن يقوم به. يظهر الشكل (2) مخططاً لوحدة البيانات في بروتوكول Modbus.



الشكل (2): شكل وحدة البيانات في البروتوكول ModBus.

يشير حقل الوظيفة (Function Code) إلى نوع الأمر المتبادل عبر الشبكة الصناعية في حالتي القراءة والكتابة، وهو حقل بطول بايت واحد مرمز عشرياً من الرقم 1 حتى الرقم 255. يبين الجدول (1) حالات حقل الوظائف في البروتوكول Modbus.

Range	Object Type	Type	Primary Table
0XXXX	Single bit (boolean)	Read or Write	Coils
1XXXX	Single bit (boolean)	Read Only	Discrete Inputs
3XXXX	16 bit (word) integer	Read Only	Analog input (Input Registers)
4XXXX	16 bit (word) integer	Read or Write	Holding Registers

الجدول (1): حالات حقل الوظائف في البروتوكول Modbus.

طبقة ربط البيانات في البروتوكول Modbus (Data Link Layer):

تتنوع طرق الاتصال في البروتوكول Modbus على أنواع عدة، منها:

1- TCP: لدعم الأجهزة للوصل بشبكات الإنترنت، ويتألف الإطار في هذه الحالة من:

ADU = 253 Byte PDU + 7 Byte TCP Frame

2- Plus: يعتمد على الوصل الحلقي (Token Ring)، وهو غير منتشر بسبب إحتكار شركة شنايدر له في بعض أجهزتها الخاصة.

3- ASCII: يستخدم في النقل التسلسلي، حيث يتألف الإطار في هذه الحالة من:

ADU = 253 Byte PDU + 3 Byte Address + Check

4- RTU: يستخدم في النقل التسلسلي ومواصفاته أفضل من سابقة ويتألف الإطار في هذه الحالة من:

ADU = 253 Byte PDU + 3 Byte Address + Check

يعتمد الاتصال التسلسلي بشكل عام على الإرسال والاستقبال بين عقدة رئيسة (Master) والعقد الفرعية الأخرى (Slaves) ضمن بنية الناقل التسلسلي ، إذ يمكن توضيح آلية الاتصال التسلسلي من خلال

المفاهيم الآتية:

- كل متحكم تابع موصـــول إلى الشـــبكة الصـــناعية يأخذ عنواناً فريداً (1-254) مما يمنع تصـــادم البيانات، والعنوان 0 يستخدم كبث عام من قبل المتحكم الرئيس (Master).
- لايمكن تخاطب المتحكمات إلا عن طريق المتحكم الرئيس ولا يمكن اســـتقبال رســـالة بدون رســـالة طلب.
- حقل العنوان موجود في رســـائل الطلب والرد ليعلم المتحكم الرئيس من قام بالرد من المتحكمات التابعة.
- تحتوي على معلومات الاختبار للكشف عن أخطاء الإرسال.

الطبقة الفيزيائية في البروتوكول Modbus (Physical Layer):

تعتمد على بنية (Topology) الشبكة الخطية، وهو وصل الأجهزة بشكل متوازٍ إلى الناقل، وترسل البيانات تسلسليا ليشكل "1" الجهد المنخفض و "0" الجهد العالي.

يمكن وصـل أنواع متعددة من الكابلات وصـولاً إلى الأفضـل وهو السـلك المجدول، حيث يتكون من سـلكين مجدولين محاطين بضـفائر حماية للتخفيف من تأثير التشـويش، إذ يمكن اسـتعمال أنواع عدة من الموصـلات مثل RJ-11 و RJ-45 و D-shell أو وصلات خاصة بكل مصنع.

البروتوكول Profibus (Profibus Protocol):

تم إجراء مجموعة من البحوث والدراســات المكثفة في أواخر عام 1980 بإشــراف مباشــر من قبل الحكومة الألمانية بالتعاون مع مجموعة من مدراء المصـــانع، وكنتيجة لهذه البحوث تم الإعلان عن البروتوكول Profibus الذي ســـاهم في دفع عجلة تطوير الأتمتة الصـــناعية للأمام، وأصـــبح بعد ذلك هذا البروتوكول متاحاً للاستخدام أمام العديد من الدول الأوربية لتلبية الاحتياجات المختلفة في مجال الأتمتة الصناعية.

البروتوكول CAN (CAN Protocol):

صمم البروتوكول CAN (Controller Area Network) لتأمين الاتصال بين المتحكم الصغري ومختلف الأجهزة الكهربائية في السيارات من دون الحاجة إلى وجود حاسوب مضيف، إن البروتوكول CAN هو بروتوكول معتمد على إرسال الرسائل وصمم أساساً للاستخدام في التطبيقات الآلية ولكن حالياً يستخدم في الأتمتة الصناعية والتجهيزات الطبية.

بدأ تطوير هذا البروتوكول في عام 1983 من قبل شركة (Robert Bosch GmbH)، وهي شركة ألمانية هندسية متعددة الجنسيات، كما أنها أكبر منتج لتجهيزات الأتمتة الصناعية، أنشأت عام 1986، أنتجت أول شريحة تعمل وفق البروتوكول CAN من قبل شركتي Intel و Philips وطرحت للأسواق في عام 1987.

تطبيقات البروتوكول CAN (CAN Protocol Applications)

تتضمن السيارات الحديثة حالياً العديد من وحدات التحكم الكهربائية، والمعالج الأكبر بينها هو دارة التحكم بالمحرك، والوحدات الأخرى مستخدمة لعمليات النقل ومن أجل البالونات ونظام ABS ونظام التحكم بالأبواب والنوافذ والمرايا بالإضافة لنظام إعادة شحن البطارية، ولتحقيق الاتصال بين مختلف هذه الوحدات يتم استخدام البروتوكول CAN، بالإضافة إلى التطبيقات السابقة يستخدم هذا البروتوكول كبروتوكول حقلي في مختلف تطبيقات الأتمتة، وذلك بسبب الكلفة المنخفضة للمعالجات والمتحكمات التي تعمل وفق البروتوكول CAN.

طبقات البروتوكول CAN (CAN Protocol Layers):

يمكن تقسيم الشبكة المعتمدة على البروتوكول CAN إلى طبقات عدة، وهي:

- ❖ طبقة الهدف (Object Layer).
- ❖ طبقة النقل (Transfer Layer).
- ❖ الطبقة الفيزيائية (Physical Layer).

تستقبل طبقة النقل الرسالة من الطبقة الفيزيائية وتنقلها إلى طبقة الهدف، وتعد طبقة النقل مسؤولة عن تزامن البتات وإطارات الرسائل وعمليات التحكيم وكشف الخطأ، وكما تقوم هذه الطبقة بما يلي:

- ❖ الكشف عن الخطأ.
- ❖ التحقق من صحة الرسالة.
- ❖ التحكيم.
- ❖ صياغة الرسالة.
- ❖ تحديد معدل النقل والتزامن.
- ❖ تحديد معلومات التوجيه.

من مساوئ البروتوكول CAN، نذكر:

1- تتطلب شبكة البروتوكول CAN استخدام مقاومة حمل في نهاية الخط لتحسين جودة الإشارة وخاصة عند النقل بسرعات عالية.
2- تتطلب شبكة البروتوكول CAN مراعاة الخواص الكهربائية بدقة للكابلات المستخدمة في النقل.
3- الكلفة المرتفعة للتجهيزات اللازمة لبناء شبكة البروتوكول CAN.

البروتوكول Ethernet/IP (Ethernet Industrial protocol):

بدأ مصنعو عناصر التحكم والأتمتة التوجه إلى استخدام تقنية البروتوكول Ethernet كبروتوكول رئيس لربط مختلف عناصر الأتمتة الصناعية ونظم التحكم ببعضها لتحقيق أهداف التحكم، يعد البروتوكول Ethernet من الشبكات المفتوحة، لأنه يعتمد على المعيار العالمي IEEE802.3.

يعطي البروتوكول إيثرنت الصناعي مرونة أعلى بالعمل مقارنة بكافة البروتوكولات المدروسة، كما يحقق نقل البيانات ضمن شروط الزمن الحقيقي، ومن ميزات هذا البروتوكول مقارنة بغيره من البروتوكولات، نذكر:

- ❖ أداء الشبكة ضمن الزمن الحقيقي، ويعطي أقل تأخير في نقل البيانات وأقل ضياعات في الحزم المرسلة، وبالتالي نحصل على تحسين كبير في أداء النظام.

- ❖ مزايا الأمان (Security) التي يتمتع بها.
- ❖ الوثوقية العالية.
- ❖ سهولة التحكم به باستخدام ميزاته.
- ❖ إمكانية إضافة تقنيات جديدة ضمن شبكتة، كالصوت والفيديو وتقنيات التخاطب.
- ❖ زيادة السرعة من 9.6Kbit/s باستخدام وصلة RS232 إلى 10Gbit باستخدام بروتوكول Ethernet ذي الإصدار GigabitEthernet عن طريق الألياف الضوئية أو أكبال Cat5e/Cat6.
- ❖ زيادة المسافة، حيث هنا يمكن الربط بين عناصر نظام سكادا من PLCs والحساسات والمشغلات بغض النظر عن المسافة باستخدام الانترنت والموجهات.
- ❖ إمكانية استخدام الموجهات ومفاتيح الوصل والأكبال والألياف الضوئية بكلفة رخيصة جداً مقارنة بالبروتوكولات الأخرى والتي تتطلب منافذاً تسلسلية ضمن الأجهزة.
- ❖ العمل بنظام الند– للند، ما يلغى العمل بنظام السيد / التابع.
- ❖ توافقية أفضل مقارنة بالبروتوكولات الأخرى.
- ❖ إمكانية تقسيم تجهيزات الشبكة لشبكات منطقية فرعية بسهولة، بينما تبقى كافة الأجهزة فعلياً ضمن الشبكة نفسها.
- ❖ يقلل استخدام هذا البروتوكول من تكلفة صيانة موارد الشبكة، إذ تتمتع تجهيزاته بسهول الصيانة وإعادة استخدام موارد الشبكة القائمة نفسها.
- ❖ يعطي هذا البروتوكول جميع المزايا التجارية والتكنولوجية ضمن الشبكة ذاتها.
- ❖ إضافة لكافة المزايا السابقة يدعم هذا البروتوكول نقل البيانات بسرعة عالية اعتماداً على استخدامه البروتوكولات المختلفة مثل IP وHTTP.

استخدم البروتوكول Ethernet بشكل كبير خلال السنوات القليلة الماضية، وأظهرت الأبحاث أن معدل زيادة استخدامه خلال عام 2011 هو بحدود 30%.

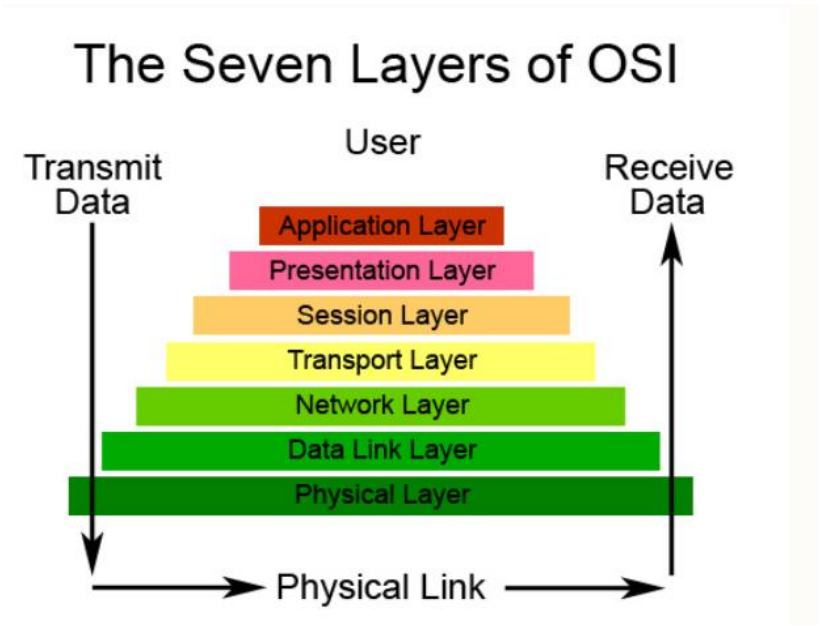
تم احتضـان تطوير البروتوكول إيثرنت الصـناعي من قبل منظمات عالمية عدة وعدد من مصـنعي تجهيزات الأتمتة الصـــناعية بالإضـــافة إلى جمعية بروتوكول إيثرنت الصـــناعي (Industrial(Ethernet Association: IEA.

تعتمد جميع البروتوكولات العاملة في نظم ســـكادا على طبقات النموذج المرجعي لربط النظم المفتوحة (Open System Interconnection: OSI)، ويشـــير رقم المنفذ المحدد في البروتوكول TCP/IP إلى بروتوكول نظام ســـكادا المســـتخدم، فمثلاً يشـــير رقم المنفذ 47808 في البروتوكول TCP/IP إلى أن البروتوكول BACnet هو المستخدم في نظام سكادا للربط بين جميع عقد التحكم.

نموذج OSI (Open System Interconnection Model):

يشرح هذا النموذج آلية حركة البيانات من أحد تجهيزات شبكة إيثرنت الصناعية خلال الوسط الناقل للشبكة إلى أحد التجهيزات الأخرى. تم تطوير هذا النموذج من قبل المنظمة العالمية للمعايير ISO International (Organization Standardization) في عام 1984، ويعد هذا النموذج حالياً البنية الأساسية للشبكات الحاسوبية والشبكات الصناعية المعتمدة على البروتوكول إيثرنت.

يقوم هذا النموذج بتقسيم البيانات المنقولة ضمن الشبكة إلى سبع مهام، وتسند هذه المهام إلى سبع طبقات ضمن النموذج OSI. يبين الشكل (3) طبقات النموذج OSI.



الشكل (3): طبقات النموذج OSI.

لتوضـــيح آلية عمل البروتوكول Ethernet، نقدم فيما يلي شـــرحاً عن المهام التي تتم ضـــمن كل طبقة من طبقات النموذج OSI.

طبقة التطبيقات (Application Layer):

تعد هذه الطبقة الواجهة التي يستطيع مستخدم الشبكة من خلالها للوصول إلى المعلومات في الشبكة بوساطة التطبيقات، من خلال تعامل المســـتخدم مع هذه التطبيقات فإنه فعلياً يخاطب شـــبكة الإنترنت. نذكر من التطبيقات التي تشكل واجهة المستخدم المتصفح (Browser)، على سبيل المثال من الممكن أن تكون هذه الواجهة قائمة على الأوامر الســـطرية (Command Line Based) أو على الواجهات الرســـومية (Graphic Based)، تعتبر الموجهات والمبدلات من النوع الأول بينما متصـــفح الإنترنت هو من النوع الثاني .

طبقة التقديم (Presentation Layer):

تحدد هذه الطبقة كيف يتم تمثيل البيانات وإرسالها في الواجهة التي يستخدمها المستخدم، إذ تصف هذه الطبقة كيفية إرسال الملفات بصيغها المتنوعة وتستخدم بشكل صحيح في طبقة التطبيقات. كأمثلة على بروتوكولات ومعايير طبقة التقديم نذكر:

المعيار (ASCII) والمعايير الخاصة لتمثيل الصور مثل GIF و JPEG والمعايير الخاصة بالصوت مثل WAV و MIDI، والفيديو مثل AVI و MOV و MP4.

طبقة الجلسة (Session Layer):

إن مهمة هذه الطبقة هي التحكم بالاتصالات بين مختلف عناصر الشبكة الصناعية، إذ تقوم بإنشاء الاتصالات بين التطبيق المحلي والتطبيق البعيد (Remote and Local Applications) وإدارتها وإنهائها. إن هذه الطبقة تحدد ما هي البيانات التي سوف تبقى في الحاسوب أو في PLC، وما هي البيانات التي يجب الحصول عليها، والبيانات التي يجب إرسالها إلى مكون بعيد من مكونات الشبكة، كما يجب على هذه الطبقة أن تتأكد أن البيانات قد أرسلت عبر الاتصال الصحيح. كمثال على بروتوكولات هذه الطبقة نذكر NFS (Network File System).

طبقة النقل (Transport Layer):

لهذه الطبقة الوظائف الأساسية الآتية:

- ❖ تؤمن وصول موثوق للبيانات (TCP) أو غير الموثوق (UDP).
- ❖ تقسم البيانات إلى أجزاء أصغر من أجل تسهيل عملية الإرسال.
- ❖ تجري انتخاب للتطبيقات، بحيث أن تطبيقات عدة تستطيع إرسال البيانات واستقبالها بنفس الوقت وذلك من أجل الجهاز ذاته. مثلاً، يمكن لجهاز PLC أن يقرأ البيانات من المداخل (الحساسات) ضمن الشبكة وبالوقت نفسه يعطي أوامر للمخارج الأخرى (المشغلات) ضمن الشبكة بالوقت ذاته أيضاً يمكنه التعامل مع واجهات التخاطب البشرية.

طبقة الشبكة (Network Layer):

البروتوكول الأساسي في هذه الطبقة هو IP (Internet Protocol)، إذ تؤمن هذه الطبقة ترتيب البيانات المرسلة من المرسل إلى المستقبل من خلال استخدام شبكة واحدة أو أكثر، مع الحفاظ على مستوى الجودة

المطلوب والمحدد عن طريق طبقة النقل، كما تؤمن هذه الطبقة وظائف التوجيه عبر الشبكة وإيصال تقارير الخطأ اللازمة، وتنجز وظائف التقطيع وإعادة التجميع.

طبقة ربط البيانات (Data Link Layer):

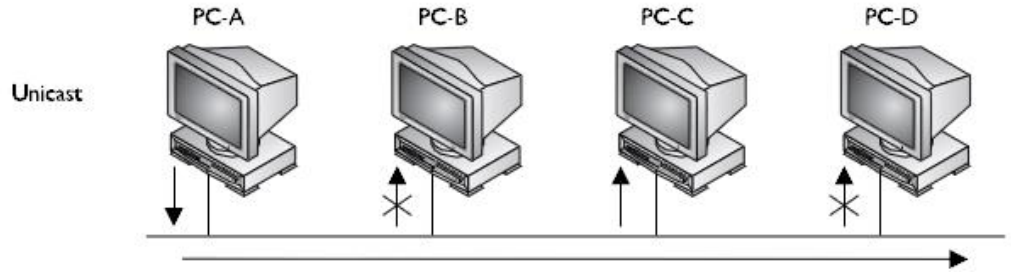
ترتب هذه الطبقة البتات المستقبلة من الطبقة الفيزيائية على شكل إطارات (Frames)، وتؤمن العنونة الفيزيائية على مستوى العتاد الصلب (Hardware Addressing)، يسمى العنوان الأخير (Media Access Control) MAC، وكما تحوي الإطارات على الأجزاء والحقول التي تستخدمها هذه الطبقة للاتصال بأجهزة الطبقة نفسها، كما تنجز هذه الطبقة عملية اكتشاف الأخطاء وتستبعد الإطارات غير الصالحة ولكنها لا تقوم بتصحيح الأخطاء كما في طبقة النقل.

يتكون العنوان MAC من 48bit، ويرمز بترميز الست عشري (Hexadecimal)، هذا الرقم المميز يخزن على بطاقة الشبكة، وهو رقم مميز لكل جهاز لا يتكرر مطلقاً.

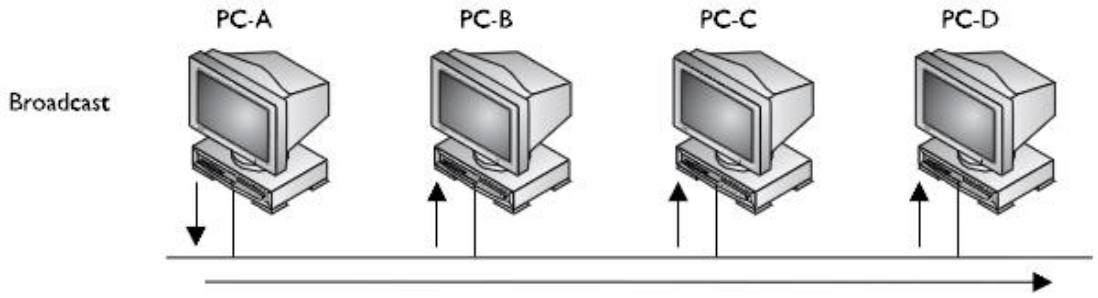
يمكن العنونة في هذه الطبقة بثلاث طرق: وهي:

- العنونة المفردة (Unicast): إذ يمثل هذا العنوان جهازاً وحيداً من أجهزة الشبكة. يوضح الشكل (4) إرسال الجهاز A إلى الجهاز B ضمن العنونة Unicast.

- العنونة بالنشر (Broadcast): إذ يمثل هذا العنوان جميع أجهزة الشبكة، ويتم فيه إرسال البيانات إلى كافة أجهزة الشبكة. يوضح الشكل(5) كيفية إرسال الجهاز A إلى كافة أجهزة الشبكة ضمن نموذج هذه العنونة.

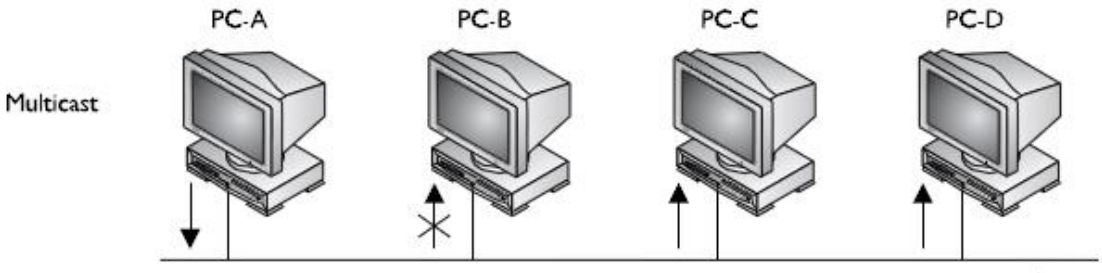


الشكل (4): العنونة Unicast.



الشكل (5): العنونة Broadcast.

❖ العنونة المتعددة (multicast): إذ يمثل هذا العنوان بعض أجهزة الشبكة، ويتم إرسال البيانات من أحد أجهزة الشبكة إلى بعض الأجهزة الأخرى. يشرح الشكل (6) كيفية إرسال البيانات من الجهاز A إلى بعض أجهزة الشبكة ضمن نموذج هذه العنونة.



الشكل (6): العنونة Multicast.

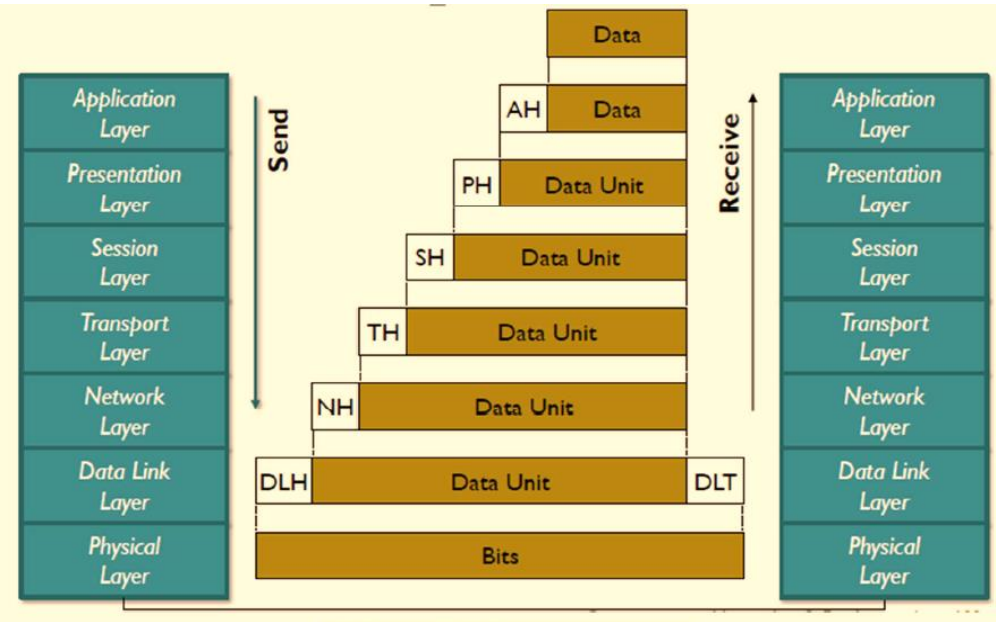
الطبقة الفيزيائية (Physical Layer):

تعد هذه الطبقة مسؤولة عن تحديد المواصفات الفيزيائية والكهربائية للأجهزة، إذ يتم تحديد أنماط الكابلات المستخدمة في توصيل الأجهزة، إضافة إلى نوع الموصل الذي يتوجب تركيبه في نهاية الكبل، وتحدد هذه الطبقة الأقطاب المستخدمة من هذا الموصل، كما أنها تستقبل الإطارات من الطبقة السابقة لتحولها إلى إشارات كهربائية، نذكر من الأجهزة التي تعمل في هذه الطبقة المجمع والمكرر (Hub and Repeater). يظهر الجدول (2) بعض الأجهزة التي تعمل على طبقات الشبكة المختلفة.

Layer	Name of Layer	Device
3	Network	Routers
2	Data link	Switches, bridges, NICs
1	Physical	Hubs and repeaters

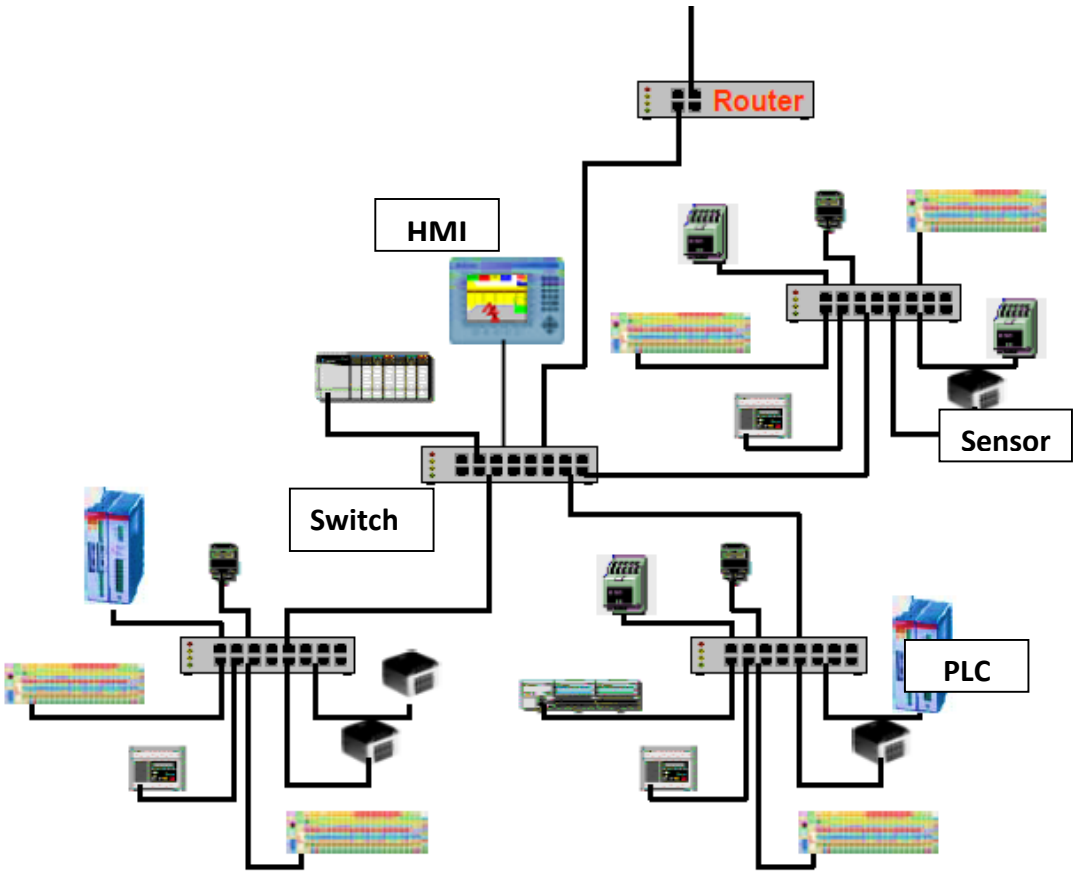
الجدول (2): الأجهزة العاملة على طبقات الشبكة.

نلاحظ من الشـكل (7) أنَ كل طبقة تقوم بإضـافة ترويسـة (Header) خاصـة بها، وترسـل المعلومات المسـتقبلة من الطبقة الأعلى مع الترويسـة الخاصـة بها إلى الطبقة الأدنى منها، ونلاحظ وجود وسـط نقل فيزيائي بين المرسل والمستقبل، وفي طرف المستقبل تكون العملية معاكسة.



الشكل (7): آلية نقل البيانات بين طبقات نموذج OSI.

يبين الشكل (8) وصل PLC بواجهة التخاطب البشرية والحساسات إلى مفاتيح الشبكة (Switches) ضمن شبكة إيثرنت، وكيفية وصل مختلف مفاتيح الشبكة ببعضها وبالموجه المركزي (Router).



الشكل (8): شبكة متحكمات منطقية قابلة للبرمجة ضمن شبكة Ethernet.