שנקר בי״ס גבוה להנדסה ולעיצוב
החוג להנדסת תוכנה
קורס ’רשתות תקשורת’ (קורס מספר 3503836)
תשפ״ו – סמסטר ב’

<u>מרצה</u>: יצחק נודלר

**<u>תרגיל בית מס’ 2 – פתרון</u>**

שאלות מס’ 1 עד 5 כולל [ = פרומפטים 1 עד 5] ניתנו כבר בתרגיל בית מס’ 1
1. ראו תרגיל בית מס’ 1
2. ראו תרגיל בית מס’ 1
3. ראו תרגיל בית מס’ 1
4. ראו תרגיל בית מס’ 1
5. ראו תרגיל בית מס’ 1

**<u>שאלה מס’ 6</u>**
הביאו הגדרה מדויקת והסבר מפורט לגבי מה זו שכבה 5. שכבת ה- application layer.

***הגדרת שכבת היישום (Application Layer)***
*שכבת היישום היא השכבה העליונה במודל ה-TCP/IP. היא מהווה את נקודת הממשק הישירה בין תוכנות המשתמש (User-space applications) לבין שירותי רשת התקשורת. תפקידה המרכזי הוא לספק את ממשק התקשורת שבאמצעותו תוכנה אחת (במערכת קצה אחת) יכולה להחליף נתונים עם תוכנה אחרת (במערכת קצה מרוחקת).*
*בניגוד לשכבות התחתונות, האמונות על העברה פיזית או ניתוב, שכבת היישום עוסקת ב**סמנטיקה** של המידע: כיצד לבנות את ההודעה, באילו שדות להשתמש, וכיצד לפרש את התגובות. בשכבה זו לא מתבצעת התערבות בחומרה; הפרוטוקולים מגדירים את הכללים הלוגיים – פורמט ההודעות (Syntax) והמשמעות שלהן (Semantics) – שעל שני הצדדים להסכים עליהם כדי ליצור אינטראקציה משמעותית.*

**שאלה מס' 7**

ראינו בהרצאות כי חלק מהפרוטוקולים בשכבה זו הם פרוטוקולים סטנדרטיים.
ואילו חלק מהם אינם סטנדרטיים.
א. האם הקביעה כי פרוטוקול סטנדרטי בשכבה זו הוא פרוטוקול שהאפיון שלו נעשה על יד IETF, היא אכן נכונה ומדויקת?
ב. הביאו 10 דוגמאות של פרוטוקולים סטנדרטיים בשכבה זו.
ג. הביאו 10 דוגמאות של פרוטוקולים לא סטנדרטיים בשכבה זו. כאלו שנמצאים 'בשימוש' של אפליקציות פופולריות.

***פרוטוקולים סטנדרטיים לעומת לא-סטנדרטיים***

***א. האם פרוטוקול סטנדרטי הוא פרוטוקול שאופיין על ידי IETF?***

*הקביעה נכונה בבסיסה אך דורשת דיוק: פרוטוקול תקשורת מוגדר כסטנדרטי אם האפיון שלו פורסם כ-RFC (Request for Comments) על ידי ה-IETF (Internet Engineering Task Force).*
*תהליך זה מבטיח **אינטר-אופרביליות (Interoperability)** – היכולת של מוצרים מיצרנים שונים לתקשר זה עם זה. עם זאת, קיימים סטנדרטים המוגדרים על ידי ארגונים אחרים (כמו W3C לסטנדרטים של אינטרנט או ISO), אך בתוך עולם ה-TCP/IP, ה-IETF הוא הסמכות המרכזית.*

***ב. 10 דוגמאות לפרוטוקולים סטנדרטיים:***

1. ***HTTP/HTTPS:*** *להעברת דפי אינטרנט ומידע ב-Web.*
2. ***SMTP:*** *להעברת דואר אלקטרוני.*
3. ***DNS:*** *לתרגום שמות מתחם לכתובות IP.*
4. ***FTP:*** *להעברת קבצים.*
5. ***SSH:*** *להתחברות מאובטחת ומרוחקת למערכות.*
6. ***DHCP:*** *להקצאה דינמית של כתובות IP.*
7. ***IMAP:*** *לניהול וקבלת דואר אלקטרוני.*
8. ***NTP:*** *לסנכרון זמנים ברשת.*
9. ***SNMP:*** *לניהול וניטור רכיבי רשת.*
10. ***SIP:*** *לניהול שיחות VoIP ווידאו.*

***ג. 10 דוגמאות לפרוטוקולים לא-סטנדרטיים (Proprietary/Application-Specific):***

*אלו פרוטוקולים המפותחים על ידי חברות פרטיות עבור האפליקציות שלהן, ללא פרסום RFC רשמי (או תוך שמירת ה-API סגור):*

1. ***WhatsApp Protocol:*** *פרוטוקול העברת הודעות מבוסס Signal (סגור ברובו).*
2. ***Zoom Protocol:*** *פרוטוקול לשיחות וידאו בזמן אמת.*
3. ***Discord Protocol:*** *פרוטוקול התקשורת הייחודי של שרתי דיסקורד.*
4. ***Spotify Connect:*** *פרוטוקול שליטה על ניגון מוזיקה.*
5. ***Skype Protocol:*** *פרוטוקול קנייני לשיחות וצ'אט.*
6. ***Telegram MTProto:*** *פרוטוקול הצפנה ותקשורת ייעודי של טלגרם.*
7. ***Steam Client Protocol:*** *לתקשורת בין לקוח ה-Steam לשרתים.*
8. ***Netlfix Custom Streaming:*** *פרוטוקול העברת תוכן וידאו מותאם.*
9. ***Apple iMessage Protocol:*** *פרוטוקול סגור של אפל להודעות בין מכשיריה.*

*10. **Proprietary RPC of custom SaaS:** ממשקי תקשורת של מערכות ארגוניות (כמו SAP או Oracle) המשתמשים ב-Binary Protocols פנימיים.*

**<u>שאלה מס' 8</u>**

למונח 'פרוטוקול תקשורת' יש 2 היבטים :

- האפיון של הפרוטוקול.
- המימוש של הפרוטוקול.

א. הסבירו את הקביעה/התיאור הזה.

ב. הסבירו מהי החשיבות של 'ההפרדה' ל- 2 היבטים אלו, בהקשר של הבנת התחות של רשתות תקשורת מחשבים.

***היבטי 'פרוטוקול תקשורת'***

***א. הסבר ההבחנה:***

- ***אפיון (Specification/Protocol Definition):*** *מסמך טכני המתאר את הכללים, הפורמטים של ההודעות, מצבי המכונה (State Machine) וסדר האירועים. זהו ה"חוזה" בין הצדדים.*
- ***מימוש (Implementation):*** *הקוד (בדרך כלל בשפת תכנות כמו C, C++ או Go) המיישם בפועל את האפיון בתוך מערכת הפעלה או אפליקציה. זהו ה"ביצוע".*

***ב. חשיבות ההפרדה:***

*ההפרדה היא עמוד השדרה של הנדסת הרשתות. אפיון מאפשר יצירת "**שפה משותפת**" שאינה תלויה בחומרה או במערכת הפעלה. מהנדס יכול לממש פרוטוקול ב-Linux, בעוד קולגתו יממש אותו ב-Windows ; כל עוד שניהם עומדים באפיון (ה-RFC), הם יצליחו לתקשר. ללא הפרדה זו, היינו כלואים במערכות "סגורות" (Vertical silos) שבהן תוכנה של יצרן אחד לא יכולה לדבר עם תוכנה של יצרן אחר.*

**<u>שאלה מס' 9</u>**

בהרצאות ראינו כי כל הפרוטוקולים ב- application layer ממומשים בתוכנה.

כ'חלק' מתוכניות כדוגמת chrome, outlook וכו'.

א. הסבירו את התיאור הזה.

ב. הסבירו את חשיבות התיאור עבורכם כמהנדסי תוכנה.

***מימוש בתוכנה וחשיבותו למהנדסי תוכנה***

***א. הסבר התיאור:***

*בניגוד לשכבות הקישור (שבהן ה-NIC מעורב עם חומרה ייעודית) או שכבות התעבורה (שלעיתים קרובות מוטמעות בליבת מערכת ההפעלה – Kernel), פרוטוקולי שכבת היישום ממומשים כספריות תוכנה בתוך מרחב המשתמש (User-space). כאשר Chrome שולח בקשת HTTP, הוא משתמש בספרייה (כמו libcurl או מנוע פנימי) המבצעת את ה-Socket Programming מול מערכת ההפעלה. האפליקציה היא זו שמכתיבה את הלוגיקה של הפרוטוקול.*

***ב. חשיבות עבור מהנדסי תוכנה:***

1. ***יכולת הרחבה וגמישות:*** *כיוון שהכל תוכנה, ניתן לעדכן פרוטוקולים (למשל מ-HTTP/2 ל-HTTP/3) ללא צורך בהחלפת חומרה.*
2. ***אחריות על הבאגים:*** *כשאפליקציה מתנהגת לא כשורה ברשת, המהנדס מבין שהבעיה עשויה להיות במימוש של הפרוטוקול בתוך הקוד שלו, ולא רק "ברשת".*
3. ***שליטה על ביצועים:*** *הבנת המימוש מאפשרת למהנדס לבצע אופטימיזציות – למשל, כיצד לנהל חיבורים (Connection Pooling) כדי להקטין את העומס על הרשת.*
4. ***עבודה עם API:*** *המהנדס המודרני לא רק "משתמש" ברשת, אלא בונה את ה"פרוטוקול" שלו מעל ה-TCP/UDP (למשל, בניית מערכת מיקרו-שירותים). הבנה זו קריטית לתכנון מערכות מבוזרות.*

**<u>שאלה מס' 10</u>**

הביאו הגדרה מדויקת והסבר מפורט לגבי מה זו שכבה 4. ה- transport layer.

***הגדרת שכבת התעבורה (Transport Layer)***

*שכבת התעבורה היא השכבה הרביעית במודל ה-TCP/IP, ותפקידה המכונן הוא לספק **תקשורת מקצה-לקצה (End-to-End communication)** בין תהליכים (Processes) הרצים במערכות קצה. בעוד ששכבת הרשת (Layer 3) מטפלת בהעברת חבילות בין נתבים (Host-to-Host), שכבת התעבורה "מתעלמת" מהתשתית הפיזית ומספקת לתוכנות המשתמש (Applications) הפשטה של ערוץ נתונים לוגי. היא אחראית על ניהול זרמי המידע, בקרת זרימה, ולעיתים גם על אמינות העברה, תוך שימוש בכתובות לוגיות הנקראות **פורטים (Ports)**, המאפשרות להבחין בין מספר אפליקציות שונות הרצות על גבי אותו מחשב (למשל, הבחנה בין תעבורת דפדפן לבין תעבורת מייל).*

**שאלה מס' 11**

שכבה זו כוללת 2 פרוטוקולים בלבד : TCP ו- UDP.
שניהם פרוטוקולים סטנדרטיים.
שאופיינו על ידי IETF.

א. הביאו הסבר מלא ומפורט לגבי כל אחד מ- 2 הפרוטוקולים האלו.
ב. הביאו השוואה מקיפה ומפורטת בין 2 פרוטוקולים אלו.

***פרוטוקולי השכבה: TCP ו-UDP***

***א. הסבר על הפרוטוקולים:***

- ***TCP (Transmission Control Protocol):*** *פרוטוקול מונחה-חיבור (Connection-oriented) המיועד להעברה אמינה של זרם בתים (Byte stream). הוא מוודא שכל המידע הגיע ליעדו, ללא שגיאות, ובסדר הנכון. הוא כולל מנגנונים מורכבים כמו לחיצת יד משולשת (Three-way handshake) להקמת חיבור, אישורים (ACKs) על קבלת נתונים, וניהול בקרת עומסים (Congestion Control).*
- ***UDP (User Datagram Protocol):*** *פרוטוקול ללא-חיבור (Connectionless) המספק העברה בשיטת "מיטב המאמץ" (Best-effort). הוא אינו מבטיח הגעה, אינו מסדר את החבילות, ואינו מבצע בקרת עומסים. יתרונו הגדול הוא במינימום תקורה (Overhead) ובמהירות, מה שהופך אותו לאידיאלי ליישומי זמן-אמת (כמו סטרימינג של וידאו או משחקי רשת).*

***ב. השוואה מקיפה:***

| ***קריטריון*** | ***TCP*** | ***UDP*** |
|---|---|---|
| ***אמינות*** | *גבוהה (הבטחת הגעה)* | *נמוכה (ללא הבטחה)* |
| ***סדר הגעה*** | *מובטח* | *לא מובטח* |
| ***ניהול חיבור*** | *מונחה-חיבור* | *ללא-חיבור* |
| ***תקורה (Overhead)*** | *גבוהה (כותרת 20-60 בתים)* | *נמוכה (כותרת של 8 בתים)* |
| ***בקרת עומסים*** | *מובנית ומתקדמת* | *אין* |
| ***מקרי שימוש*** | *Web, Email, העברת קבצים* | *VoIP, DNS, Streaming, משחקים* |

**שאלה מס' 12**

גם TCP וגם UDP ממומשים בתוכנה.
וכי במערכות הפעלה מודרניות, כמו Linux 6.14, Windows 11, macOS וכן Android וכו',
פרוטוקולים אלו ממומשים כחלק ממכלול הקוד של ה- kernel של מערכת ההפעלה.
הסבירו בהרחבה מה המשמעות שפרוטוקולים אלו ממומשים כחלק ממכלול הקוד של ה- kernel של מערכת ההפעלה.

***מימוש ב-Kernel של מערכת ההפעלה***

*העובדה ש-TCP ו-UDP ממומשים בתוך ה-Kernel (למשל בליבת Linux 6.14) היא החלטה ארכיטקטונית קריטית הנובעת ממספר סיבות הנדסיות:*

***1. ניהול משאבי מערכת (Resource Management):***

*הפרוטוקולים דורשים ניהול הדוק של משאבי חומרה, כגון כרטיס הרשת (NIC) וטבלאות ניתוב. ה-Kernel הוא היחיד בעל ההרשאות לגשת לחומרה באופן ישיר ובטוח. מימוש ה-Stack ב-Kernel מאפשר תיאום מדויק בין ה-Interrupts (פסיקות) שמגיעים מהחומרה לבין עיבוד חבילות הנתונים.*

***2. אבטחה ובידוד:***

*אם מימוש ה-TCP היה באפליקציות המשתמש, אפליקציה זדונית אחת הייתה יכולה "לשבש" את ה-Stack של המחשב כולו, לשלוח חבילות מעוותות או לגנוב חבילות של אפליקציות אחרות. המימוש ב-Kernel יוצר מרחב מוגן (Protected Mode) שבו הקוד נהנה מהגנת הזיכרון של ה-Kernel.*

***3. ביצועים (Context Switching & Latency):***

*מימוש בתוך ה-Kernel מונע את הצורך ב"מעבר הקשר" (Context Switch) מיותר בין ה-User-space ל-Kernel-space לכל מנה ומנה. תהליכים יכולים להעביר נתונים דרך מערכת הקריאות (System Calls) ל-Kernel, שמטפל בשידור האסינכרוני מול החומרה בצורה אופטימלית ומהירה.*

***4. יציבות:***

*מאחר ו-TCP ו-UDP הם פרוטוקולי תשתית שעליהם נשענת כמעט כל פעילות הרשת של המערכת, עליהם להיות יציבים ובלתי-משתנים. החזקתם ב-Kernel מבטיחה שכל התהליכים במערכת משתמשים באותו "ערימת פרוטוקולים" אחידה, מה שמונע חוסר עקביות בניהול החיבורים ברמת המכונה.*

**שאלה מס' 13**

הביאו הגדרה מדויקת והסבר מפורט לגבי מה זו שכבה 3. ה- network layer.

***שכבת הרשת (Network Layer - Layer 3)***

*שכבת הרשת אחראית על ניתוב (Routing) והעברת מנות (Packets) בין רשתות שונות (Inter-networking). תפקידה המרכזי הוא קביעת המסלול האופטימלי מהמקור ליעד דרך רצף של נתבים (Routers).*

- ***פעולה:*** *השכבה משתמשת בכתובות לוגיות (כמו IP) כדי לזהות רשתות ומערכות קצה. היא אינה עוסקת באמינות ההעברה (זהו תפקיד שכבה 4), אלא ב"מציאת הדרך" (Best Path) ברשת מורכבת ומבוזרת.*
- ***מושג מפתח:*** *ה-IP Datagram, אשר מועבר מקצה לקצה דרך צמתים (Nodes) המבצעים החלטות ניתוב על בסיס טבלאות ניתוב.*

**שאלה מס' 14**

הביאו הגדרה מדויקת והסבר מפורט לגבי מה זו שכבה 2. ה- link layer.

***שכבת הקישור (Link Layer - Layer 2)***

*שכבת הקישור אחראית על העברת הנתונים בין שני צמתים (Nodes) המחוברים פיזית זה לזה באותה רשת מקומית (למשל, בין מחשב לנתב, או בין שני נתבים).*

- ***פעולה:*** *השכבה מקבלת את חבילת ה-IP משכבה 3 ועוטפת אותה במסגרת (Frame). היא מטפלת בגישה לתווך (Medium Access Control - MAC), בזיהוי שגיאות בסיסי ובתיאום התקשורת הפיזית בין הצדדים.*
- ***הבדל מהותי:*** *בעוד שכבה 3 עוסקת בניתוב גלובלי, שכבה 2 עוסקת בניתוב מקומי ("הופ" אחד).*

**שאלה מס' 15**

הביאו הגדרה מדויקת והסבר מפורט לגבי מה זו שכבה 1. ה- physical layer.

***השכבה הפיזית (Physical Layer - Layer 1)***

*השכבה הפיזית היא השכבה הנמוכה ביותר, המגדירה את המאפיינים החשמליים, האופטיים והמכניים של התקשורת.*

- ***פעולה:*** *היא אינה מכירה "חבילות" או "נתונים" במובן הלוגי. תפקידה הוא העברת רצף בינארי (Bit Stream) מהמשדר למקלט. השכבה מגדירה מתחים, תדרים, סוגי כבלים, ועצמות אות ושיטות קידוד (כגון NRZ, Manchester).*

**שאלה מס' 16**

בניגוד לפרוטוקולים של שכבה 5 ושל שכבה 4 ושל שכבה 3, הפרוטוקולים של שכבה 2 ושל שכבה 1 ממומשים בחומרה.

על ידי מכלול מעגלים אלקטרוניים שנקרא NIC.

הסבירו זאת.

***מימוש שכבות 2 ו-1 בחומרה (NIC)***

*בניגוד לשכבות הגבוהות הממומשות ב-Kernel בתוכנה, שכבות 1 ו-2 דורשות מהירות עיבוד שאינה מאפשרת השהיה של תוכנה. ה-**NIC (Network Interface Controller)** הוא המימוש האלקטרוני של השכבות הללו:*

- ***חומרה קשיחה (Hardwired Logic):*** *ה-NIC מכיל ASIC או מעגלי לוגיקה ייעודיים המטפלים בפרוטוקול ה-Link Layer (כמו Ethernet).*
- ***ביצוע בזמן אמת:*** *פעולות כמו חישוב CRC (לזיהוי שגיאות), סינכרון שעונים, ויצירת האותות החשמליים חייבות להתבצע בנו-שניות, מה שמתאפשר רק באמצעות חומרה ייעודית ולא על ידי המעבד המרכזי של המחשב (CPU).*

**שאלה מס' 17**

הפרוטוקולים של שכבה 2 ו- 1 שולחים ומקבלים packets.
ה- packets האלו נקראים בספרות המקצועית מסגרות. Frames.
הסבירו זאת.

***ה-Frame (מסגרת)***

*המושג "מסגרת" מייצג את עטיפת הנתונים בשכבה 2.*

- ***הסבר:*** *כאשר חבילת IP (מ-Layer 3) מגיעה לשכבת הקישור, עליה להישלח בתוך פיזי מוגדר. ה-NIC מוסיף* ***Header*** *(הכולל לרוב כתובות MAC של השולח והיעד) ו-****Trailer*** *(המכיל קוד גילוי שגיאות).*
- ***המשמעות:*** *המסגרת אינה רק "חבילה"; היא מבנה שמאפשר למקלט להבין איפה מתחיל ואיפה נגמר המידע בתוך זרם הביטים הפיזי. זהו ה-Framing – תחימה של הנתונים כדי שניתן יהיה לעבדם כיחידה אחת.*

**שאלה מס' 18**

הפרוטוקולים של שכבה 2 ו- 1 תלויים בין היתר בערוץ התקשורת הפיזי שדרכו הם שולחים ומקבלים packets
הסבירו זאת.

***תלות בערוץ התקשורת הפיזי***

*הפרוטוקולים של שכבות 1 ו-2 הם "בעלי מודעות לתווך" (Medium Dependent):*

- ***התאמה פיזיקלית:*** *פרוטוקול של סיב אופטי חייב להבין פולסים של אור, בעוד פרוטוקול של זוג שזור (Copper) חייב לנהל מתחים חשמליים.*
- ***יכולות התווך:*** *שכבת הקישור חייבת להכיר את המגבלות של התווך כדי לתפקד. לדוגמה, Ethernet על גבי נחושת כולל מנגנון גילוי התנגשויות (CSMA/CD) בהתאם לתכונות החשמליות של הכבל, בעוד שקישור WiFi דורש מנגנונים מורכבים יותר (CSMA/CA) בשל העובדה שהאלחוט אינו מאפשר "האזנה" מלאה לכל התחנות בו-זמנית.*

*לכן, החלפת הערוץ הפיזי (למשל, מעבר מכבל קואקס לסיב אופטי) מחייבת החלפה או עדכון של ה-NIC ושל השכבות הנמוכות התואמות לו, מבלי לשנות את פרוטוקולי השכבות הגבוהות (כמו IP או TCP) – עקרון הנדסי המכונה* ***הפרדת שכבות (Layering)****.*