

עם התפתחות תעשיית התלת ממד בשנים האחרונות נוצרה דרישה על ידי המשתמשים (המייקרים) לוורסטיליות גבוהה על מנת לתמוך במגוון תהליכים במהלך בניית מודלים תלת ממדים, במדריך זה אפרט מה הם סוגי הפילמנט הזמינים ליצירה במדפסות תלת ממד ובאילו כדאי להשתמש על מנת להגיע לתוצאות הדרושות לכם. אלו הם החומרים אותם אסקור :

1. PLA
2. ABS
3. PET G - XT
4. PETT – T-glase
5. Soft PLA - גמיש
6. Nylon
7. פוליקרבונט – PC
8. TPE
9. עץ – woodfill / ברונזה - Bronzefill / פליז - Brassfill / נחושת- Copperfill / במבוק - Bamboofill
10. Carbon fiber - קרבון (סיבי פחמן)
11. PVA - I HIPS

1. **Polylactic acid -PLA** : פולימר תרמו פלסטי מבוסס תירס, הפילמנט הנפוץ ביותר בתעשייה, נחשב ידידותי לסביבה ומתכלה, יש לאמר גם המועדף ביותר, הסיבה לכך נעוצה ביכולת המשתמש לעבוד ביתר קלות עם ה PLA, חיבור השכבות מתבצע בצורה מצוינת, שטח החוץ של המודל חלק מאוד, מבריק והמודלים יוצאים מאוד מדויקים. מודלים הבנויים ב PLA נחשבים חזקים ונוקשים אך אינם גמישים ונשברים יותר בקלות עקב עובדה זו. כמו כן מודלים הנבנים ב PLA יכולים להתאפיין בקצוות מודל אשר יתקלו מעט, הסיבה לכך נובעת מהעובדה כי מודל PLA מתחיל להתעוות בחום גבוה מעל 45 מעלות, מומלץ בבניית מודלים גדולים ובעלי זמן הדפסה של הרבה שעות למרוח דבק על המשטח ולהנמיך את חום משטח הבניה מתחת ל 40 מעלות על מנת למנוע מאפיין זה. טמפרטורת הדפסה בתלת ממד – 190-210 מעלות צלזיוס, טמפרטורת משטח עבודה – 60 מעלות (אין חובת שימוש עם משטח מחומם) ה PLA הינו הפילמנט בעל מגוון הצבעים הגדול בתעשייה ואפילו פילמנט זוהר בחושך.

2. **Acrylonitrile Butadiene Styrene - ABS** - פולימר תרמו פלסטי מבוסס נפט, פילמנט הנחשב כאחד הנפוצים, מועדף בעיקר ע"י מהנדסים עקב היותו קל משקל, עמיד ומעט גמיש, טוב לייצור חלקים שלובים והסרת תמיכות תעשה יותר בקלות מאשר בשימוש בסוגי פילמנט אחרים. את ה ABS קל לשייף או להחליק בעזרת אצטון, על אף תועלות אלו ה ABS נחשב יותר קשה לעבודה מאשר PLA, הסיבה לכך טמונה בעובדה כי הוא מתקרר במהירות ונוטה להתעקל, תהליכים אלו מתאפיינים במודלים תלת ממדיים אשר ניתקים ממשטח ההדפסה באמצע תהליך, התעוותות המודל או חיבור לקוי של שכבות המודל. חיסרון נוסף של ה ABS הם האדים המשתחררים בעת המסתו, כיוון שה ABS מבוסס על נפט הוא אינו בריא ולא נעים לנשימה לתקופות ארוכות ורצוי לעבוד איתו באזור מאוורר. ישנם מספר כלים מסייעים לעבודה עם ABS:

- א. חובה שימוש במשטח מחומם במדפסת התלת ממד (בין 90-120 מעלות צלזיוס)
- ב. ציפוי משטח העבודה ע"י סרט קפטון – Kapton tape
- ג. שימוש בדבק מריחה חזק, מומלץ לבדוק מספר דבקים על למציאת זה המתאים עבורכם
- ד. יצירת דבק ABS על ידי המסת חתיכות ABS עם אצטון ומריחת בתוצר על משטח העבודה
- ה. שימוש בספרי לשיער

3. **PET – G or XT- COPOLYESTER (Polyethylene Terephthalate)** - חומר לבניה בתלת ממד זה ידוע יותר בשימוש

בתעשיית בקבוקי המשקה_היותו והוא בעל חוזק גבוה (יותר מ PLA או ABS) קשיחות ועמידות בשבירה גבוהה מאוד ומשקל סגולי קל . פילמנט זה נטול ריח בתהליך העבודה, נטול סטיירין (Styrene) או ביספניול איי (Bisphenol A) חומרים אשר משתחררים בעת חימום חומרי פלסטיק מסוימים ולכן הוא מאושר על ידי ה FDA לשימוש בייצור כלי מאכל.

עקב חוזקו והיותו יציב בתהליך ההדפסה ניתן להשתמש בו לבניית מודלים ללא תמיכה, הוא אמור להתמודד בצורה קלה עם סוג בניה זה.

פילמנט זה מאופיין בצבעיו השקיפים, על אף שקיפות החומר בעת בניה תלת ממדית הוא מאבד משקיפותו והמודל מקבל מראה קריסטלי.

על מנת לשמור על מראה יותר צלול מומלץ לעבוד ברזולוציית שכבה עבה, אך ניתן לעבד את המטח החיצונית דיי בקלות.

הטמפרטורות המומלצות לעבודה הן 230-250 מעלות צלזיוס, חום משטח 45-70 מעלות.

4. **PETT (T-glase)** - פילמנט זה דומה בתכונותיו ל XT אך נחשב כחזק יותר, טמפ' עבודה נעה בין 235 ל 250 מעלות

צלזיוס, טמפרטורת משטח עבודה – 45 מעלות עם הנחה מקדימה של דבק. הדפסה ברזולוציה של בין 180-220 מיקרון וללא מאוררים תעזור לחומר להישאר יותר שקוף.

5. **PLA גמיש** – כפי שניתן להבין משמו של פילמנט זה, כאשר תייצרו מודלים עם ה PLA גמיש תקבלו מודל גמיש וחלק,

בדומה לגומי, איתו תוכלו לייצר צעצועים גמישים, גלגלים למודלים של מכוניות או אפילו כפכפים ותבניות. הוא נחשב כחומר מאוד עמיד ונמתח וכיף להתנסות עמו, אך צריך לקחת בחשבון שעקב גמישותו הוא יותר מסובך בתהליך

העבודה ולפעמים קשה להדפיס איתו. נהוג לעבוד עם ה PLA הגמיש במהירות הדפסה נמוכה (כ 10-15 מ"מ לשנייה), לעבוד ברזולוציה גבוה על מנת לאחד יותר בין השכבות אך המקביל לא לקרב את ראש ההדפסה קרוב מדי למשטח העבודה על מנת למנוע סתימה בראש, שאר הפרמטרים להדפסה דומים ל PLA רגיל.

חומרים גמישים אחרים ניתן למצוא תחת המותגים FilaFlex / פילה פלקס או NinjaFlex / נינג'ה פלקס, חומרים אלו נחשבים אף יותר גמישים ועמידים לחומרים ממיסים כגון אצטון או דלק והם מסוגלים לחזור לצורתם המקורית למרות מתיחה וכיפוף מאסיבי. טמפרטורת ההתכה של פילמנט זה נעה בין 220-230 מעלות צלזיוס.



6. **Nylon – ניילון (Bridge)** – פילמנט ניילון הוא גם חומר מצוין לבנית מודלים תלת ממדיים, הוא נחשב מותאם ביולוגית

(biocompatible) רוב הדפסות התלת ממד שמשמשות היום את עולם הרפואה כמו החלפת סחוס או חלקים תותבים נבנים בסוג של פילמנט המבוסס ניילון. ישנם מספר סוגי פילמנט המבוססים ניילון כמו Nylon 618 שמגיע בצבע טבעי או Nylon 645 שמגיע בצבע שקוף.

ניילון להדפסה בתלת ממד עדיין לא צבר תאוצה כמו PLA או ABS , זאת כי פני שטח המודל התלת מימדי אינם חלקים כמו באחרים ולפעמים יותר מסובך להשתמש בו.

הניילון נחשב גמיש ועמיד מאוד בפני שבירה, ישנם אפילו שיטות חדשות לצבוע אותו על פי טעמכם האישי.

שימוש בפילמנט ניילון מצריך שימוש במשטח מחומם כפי שיש במדפסות אולטימייקר בטמפרטורה של 45 מעלות צלזיוס, טמפרטורת ההתכה מתחילה ב 235 מעלות צלזיוס.

7. **פוליקרבונט – PC** - פילמנט הנחשב מאוד חזק ונעשה בו שימוש נרחב בתעשיית הרכב, התעופה, רפואה ועוד רבים. ל-PC יש תכונות מכניות מצוינות ועמידות לחום, מודלים תלת ממדיים אשר יודפסו בחומר זה יהיו מדויקים, חזקים ועמידים. ה-PC נחשב כפילמנט השני הכי חזק בתחום החומרים בעולם התלת ממד ועמידותו בקריעה. בנוסף לנתונים אלו הוא מותאם ביולוגית - biocompatible וניתן לבצע בו סטריליזציה אלו למעשה הסיבות מדוע הוא נפוץ בתום בנית אבי טיפוס, כלים פונקציונליים ועבודות מורכבות. חום ההתכה שלו יהיה מעל 300 מעלות צלזיוס והוא יעמוד בחום של עד 138 מעלות.

8. **TPE – thermoplastic elastomer** - לפילמנט זה יש תכונות אלסטיות גבוהות והוא מרגיש כמו סיליקון לאחר תהליך ההדפסה, יש לו יכולת ספיגת זעזועים גבוהה ומרקם חלק, הוא אינו מכיל חומרים רעילים אך אינו מומלץ ליצירת כלים עבור תעשיית המזון.

9. **עץ – woodfill / ברונזה - Bronzefill / פליז - Brassfill / נחושת - Copperfill / במבוק – Bamboofill**: לאלו האומנותיים מבינכם או שפשוט רוצים לקבל מרקם שונה למודלים התלת ממדים שלהם ישנם חומרים לבניה בתלת ממד שמדמים חומרים אחרים ואינם נראים כמו פלסטיק בסיום ההדפסה. פילמנטים אלו בנויים מ 70% שבבים של אותו חומר אשר הם מדמים והשאר מבוסס PLA, נהוג להדפיס מודלים אלו בשכבות עבות ולאחר מכן לבצע גימור למודל על ידי שיוף רטוב או נייר שמיר. תהליך העבודה כאן זהה לעבודה ב-PLA.



https://www.youtube.com/watch?v=3_FvaEhl-wU

10. **Carbon fiber - קרבון (סיבי פחמן)** – פילמנט חדשני מבוסס XT המכיל בתוכו 20% סיבי קרבון, סיבי קרבון נחשבים כאחד החומרים החזקים בעולם בכלל ומשמשים לבניית מכונות מרוץ וחלקים קלי משקל לתעופה, בסיום ההדפסה המודל התלת ממדי שלכם יקבל גימור מט.



11. **PVA – I HIPS**: פילמנטים אלו משמשים לבניית תמיכות כאשר חומרים אחרים משמשים לבניית המודל עצמו.

לרוב השימוש יעשה במדפסת בעלת ראש הדפסה נוסף על מנת לייצר מודל משולב בתמיכות מ PVA או HIPS.

היתרון בחומרים לבניית תמיכות אלו שהם נמסים באמצעות השריה בנוזלים מסויימים

ה – HIPS מגיע לרוב בצבע לבן, יש לו נטיה להתעקל ולהתכווץ ולא נצמד טוב למשטח שאינו מחומם, המסתו תעשה

באמצעות חומר כימי הנקרא לימוןן - hydrocarbon Limonene, בדומה לשמו הוא מפיץ ריח חריף מאוד של לימונים,

הוא ידידותי לסביבה ומתכלה וגם מותאם ביולוגית biocompatible כך שניתן לשים אותו על עור חשוף ללא חשש

מאלרגיות.

ה- PVA (Polyvinyl alcohol) קל מאוד לשימוש ויצירת תמיכות, במקרה של פילמנט זה אין צורך בלימוןן היות והוא נמס בעזרת מים בלבד, היצרנים ממליצים להשתמש במים פושרים ולא לעבור בכל מקרה טמפרטורה של 70 מעלות כיוון שזה עלול לפגוע בשאר המודל. ה PVA מותאם בעיקר למדפסות בטכנולוגיית FFF או FDM ומצריך עבודה עם משטח מחומם. הטמפרטורות המומלצות לעבודה הן: חום ראש הדפסה: עד 225 מעלות, חום משטח עבודה 55-60 מעלות. למרות תועלות בהסרת תמיכות בהמסה קחו בחשבון כי התהליך הרבה יותר ארוך ומסובך, גם מבחינת תכנון המודל לעבודה בשני ראשי הדפסה וגם תהליך ההמסה.

במדפסות אולטימייקר – Ultimaker יש אומנם ראש הדפסה אחד אבל לא תמצאו הרבה מדפסות ברמת דיוק גבוהה ממנה ועקב שימוש בתוכנת ה CURA המעולה ניתן לתכנן תמיכות מאותו חומר הניתקות בקלות.

