3D&4D പ്രിന്റിങ്
ഭാവിയിലെ സാങ്കേതികവിദ്യകൾ

ഡോ.സിതാര പവിത്രൻ

വ്യാവസായികോല്പാദനരംഗത്ത് വിപ്ലവം സൃഷ്ടിച്ച ത്രിമാന സാങ്കേതികവിദ്യയെക്കുറിച്ചുള്ള പുസ്തകം. പാലങ്ങളും കെട്ടിടങ്ങളും ചോക്ലേറ്റും മുതൽ വിമാനനിർമാണം വരെ ത്രിമാന സാങ്കേതിക വിദ്യയ്ക്ക് അന്യമല്ല. വ്യോമയാനം, ബഹിരാകാശം, വാഹനനിർമാണം, ആരോഗ്യം, പ്രതിരോധം തുടങ്ങിയ മേഖലകൾ ത്രിമാനസാങ്കേതികവിദ്യയുടെ സാധ്യതകൾ പ്രയോജനപ്പെടുത്തുന്നു. ആധുനികകാലത്തെ ഏതു നിർമാണമേഖലയിലും അത്ഭുതപൂർവമായ മാറ്റങ്ങൾക്ക് കാരണമായ ഭാവി സാങ്കേതികവിദ്യയെന്നുകൂടി അറിയപ്പെടുന്ന ത്രിമാന പ്രിന്റിങ്ങിനെക്കുറിച്ച് സാമാന്യ വിജ്ഞാനം നൽകുന്ന പുസ്തകം.

SIL 5033
₹ 330
കേരള ഭാഷാ ഇൻസ്റ്റിറ്റ്യൂട്ട്
തിരുവനന്തപുരം
ISBN 978-93-90520-64-0

3D&4D പ്രിന്റിങ്: ഭാവിയിലെ സാങ്കേതികവിദ്യകൾ

# 3D 4D PRINTING
# ഭാവിയിലെ സാങ്കേതികവിദ്യകൾ

ഡോ.സിതാര പവിത്രൻ

2153

COLLEGE OF AVIAN SCIENCES & MANAGEMENT
KVASU CAMPUS, THIRUVAZHAMKUNNU

Acc. No. 2153 Call No.

This book should be returned on or before the date last given below.

| | | |
|---|---|---|
| | | |

Malayalam
**3D & 4D Printing**
By
**Dr. Sithara Pavithran**

First Published: April 2021

Published by **The State Institute of Languages, Kerala**
Nalanda, Thiruvananthapuram 695003

© 2021 State Institute of Languages Kerala
www.keralabhashainstitute.org
Buy books online at store.keralabhashainstitute.org

Typeset at Sree Inclusive Publications
Thiruvananthapuram

Printed at Time Offset Press
Thiruvananthapuram

Copies 1000

Price: ₹330

SIL 5033 ISBN: 978-93-90520-64-0

Published by the State Institute of Languages Kerala with financial assistance from Commission for Scientific and Technical Terminology, Ministry of Education(Secondary and Higher Education), Government of India, New Delhi for the production of books and literature in regional languages under the scheme for special assistance for scheduled castes grants.

FT 3022

# 3D & 4D പ്രിന്റിങ്

## ഭാവിയിലെ സാങ്കേതികവിദ്യകൾ

**ഡോ. സിതാര പവിത്രൻ**

**കേരള ഭാഷാ ഇൻസ്റ്റിറ്റ്യൂട്ട്**
തിരുവനന്തപുരം

| | | |
|---|---|---|
| ജനറൽ എഡിറ്റർ | : | പ്രൊഫ. വി. കാർത്തികേയൻ നായർ |
| എഡിറ്റർ | : | ഡോ. ഷിബു ശ്രീധർ |
| പരിശോധകൻ | : | ഡോ. എൻ. അശോക് കുമാർ |
| കവർ ഡിസൈൻ | : | നാരായണ ഭട്ടതിരി |

---

| | | |
|---|---|---|
| General Editor | : | Prof. V. Karthikeyan Nair |
| Editor | : | Dr. Shibu Sridhar |
| Consultant | : | Dr. N. Asok Kumar |
| Cover Design | : | Narayana Bhattathiri |



# ആമുഖം

വ്യാവസായികോൽപ്പാദനമേഖലയിൽ വിപ്ലവകരമായ മാറ്റങ്ങൾക്ക് നാന്ദി കുറിച്ച സാങ്കേതികവിദ്യയാണ് ത്രിമാന പ്രിന്റിങ്. ലോകത്തിന്റെ ഭാവിയെ വൻതോതിൽ സ്വാധീനിക്കാൻ പോകുന്ന ഈ അത്യന്താധുനിക സാങ്കേതികവിദ്യ ഭാവി സാങ്കേതികവിദ്യയെന്നാണ് അറിയപ്പെടുന്നത്. ജൈവികപദാർഥങ്ങൾ, പോളിമറുകൾ, ലോഹങ്ങൾ, ലോഹസങ്കരങ്ങൾ തുടങ്ങി ഏതു തരം ഉൽപ്പാദനഘടകങ്ങളും ത്രിമാനരൂപങ്ങളിൽ പാളികളായി നിർമിച്ചെടുക്കാൻ സഹായകമായ ഈ സാങ്കേതികവിദ്യ അഡിറ്റീവ് നിർമാണരീതിയാണ് അവലംബിക്കുന്നത്.

വ്യോമയാനം, ബഹിരാകാശം, വാഹനനിർമാണം, ആരോഗ്യം, പ്രതിരോധം, എഞ്ചിനിയറിങ് തുടങ്ങിയ മേഖലകളുടെയെല്ലാം ഭാവിയെ വൻതോതിൽ സ്വാധീനിക്കുന്ന ഈ സാങ്കേതികവിദ്യ നിലവിലുള്ള വ്യാവസായികോൽപ്പാദന നിർമാണരീതികളിൽനിന്നും തീർത്തും വിഭിന്നമാണ്.

ചോക്ലേറ്റ് മുതൽ വിമാനത്തിന്റെ ഭാഗങ്ങൾവരെ നിർമിച്ചെടുക്കാൻ കഴിയുന്ന ഈ സാങ്കേതികവിദ്യ ജനപ്രിയമായതിൽ അതിശയോക്തിയില്ല. ബോയിങ്, എയർബസ് തുടങ്ങിയ വിമാനക്കമ്പനികൾ വിമാനത്തിന്റെ നിർമാണത്തിനായി ഈ സാങ്കേതികവിദ്യയെ ഉപയോഗപ്പെടുത്തുന്നു. ഒരു ബോയിങ് വിമാനം നിർമിച്ചിട്ടുള്ള ആറു ലക്ഷം ഭാഗങ്ങളിൽ ഒരു ലക്ഷത്തി അറുപതിനായിരത്തോളം ഭാഗങ്ങൾ ഇന്ന് 3 D പ്രിന്റിങ്ങിലൂടെ നിർമിച്ചെടുക്കുന്നു.

വികസനത്തിനായി മനുഷ്യൻ പ്രകൃതിയിലുണ്ടാക്കിയ ദൂഷണം ഇന്ന് മാനവരാശിയുടെ ഭാവിയെത്തന്നെ ചോദ്യം ചെയ്യുന്ന ഈ വേളയിൽ തീർത്തും പ്രകൃതിസൗഹൃദമായ പുത്തൻ വ്യാവസായികോൽപ്പാദന സാങ്കേതികവിദ്യ വലിയ ഒരു അനുഗ്രഹമാണ് മാനവരാശിക്ക് നൽകുന്നത്.

ഗ്രന്ഥകാരിയായ ഡോ. സിത്താര പവിത്രൻ അയർലണ്ടിലെ ഡബ്ലിൻ സിറ്റി യൂണിവേഴ്സിറ്റിയിലെ ഐ ഫോം റിസർച്ച് സെന്ററിലെ നാനോ, അഡിറ്റീവ് മാനുഫാക്ചറിങ് മേഖലകളിൽ ഗവേഷകയാണ്. കേന്ദ്ര സർക്കാരിന്റെ വിദ്യാഭ്യാസ മന്ത്രാലയത്തിന്റെ കീഴിലുള്ള സാങ്കേതിക ശബ്ദാവലികൾക്കുള്ള സ്ഥിരം കമ്മിഷന്റെ (CSTT) പട്ടികജാതി വിഭാഗത്തിൽപ്പെട്ട ഗ്രന്ഥകർത്താക്കൾക്കുള്ള ധനസഹായം ഉപയോഗപ്പെടുത്തിയാണ് ഞങ്ങൾ ഈ പുസ്തകം പ്രസിദ്ധീകരിക്കുന്നത്. തിരുവനന്തപുരം ഗവൺമെന്റ് എഞ്ചിനിയറിങ് കോളജിലെ മെക്കാനിക്കൽ എഞ്ചിനിയറിങ് വകുപ്പിൽ റിസർച്ച് കോ-ഓർഡിനേറ്ററും പ്രൊഫസറുമായ ഡോ.എൻ. അശോക് കുമാർ ഈ പുസ്തകം സനിഷ്കർഷം പരിശോധിച്ച് വേണ്ട മാറ്റങ്ങൾ നിർദേശിച്ചിരുന്നു. അദ്ദേഹത്തിന് ഞങ്ങളുടെ നന്ദി. എന്നിരുന്നാലും സംഭവച്ചിരിക്കാനിടയുള്ള തെറ്റുകൾ ചൂണ്ടിക്കാട്ടുന്നവരോട് ഞങ്ങൾ കൃതാർഥരായിരിക്കും. പുതിയ പതിപ്പ് കുറ്റമറ്റതാക്കാൻ അവ ഞങ്ങളെ സഹായിക്കും.

3D&4D പ്രിന്റിങ് സാങ്കേതികവിദ്യയെക്കുറിച്ച് വിദ്യാർഥികൾക്കും സാധാരണ വായനക്കാർക്കും അറിവ് നൽകാൻ സഹായകമാകുന്ന ഈ പുസ്തകം പ്രകാശനം ചെയ്യുന്നതിൽ ഞങ്ങൾക്ക് അതിയായ ചാരിതാർഥ്യമാണുള്ളത്.

തിരുവനന്തപുരം **പ്രൊഫ. വി. കാർത്തികേയൻ നായർ**
ഏപ്രിൽ 2021 **ഡോ. ഷിബു ശ്രീധർ**



## രണ്ടു വാക്ക്

3ഡി പ്രിന്റിങ് ഒരു അത്യന്താധുനിക നിർമാണരീതിയാണ്. ജൈവികപദാർഥങ്ങൾ, പോളിമറുകൾ, ലോഹങ്ങൾ എന്നിവ തുടർച്ചയായി പാളികളായി നിക്ഷേപിച്ച് അവയുടെ ത്രിമാനരൂപങ്ങൾ വികസിപ്പിച്ചെടുക്കുന്ന നിർമാണരീതിയാണ് ഈ സാങ്കേതികവിദ്യ. പാളിപാളികളായി ഒന്നിന് മുകളിൽ ഒന്നായി നിക്ഷേപിച്ച് ഉൽപ്പന്ന വികസനം നടത്തുന്നതിനാൽ ഇതിനെ അഡിറ്റീവ് നിർമാണം എന്നും പറയാം. കമ്പ്യൂട്ടർ സാങ്കേതികവിദ്യ പോലുള്ള വിവിധ തരം സാങ്കേതിക മേഖലകളെ പ്രയോജനപ്പെടുത്തുന്ന വ്യത്യസ്തത നിറഞ്ഞ ഒരു മേഖലയാണ് അഡിറ്റീവ് നിർമാണം. വ്യക്തിഗത ഉൽപ്പന്നങ്ങളുടെ ഉൽപ്പാദനത്തിന്റെ പുരോഗതി അഡിറ്റീവ് നിർമാണ രീതികളെയും അതിനനുയോജ്യമായ വസ്തുക്കളെയും ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. അതിവേഗം വളർന്നുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഈ സാങ്കേതികവിദ്യയ്ക്ക് എയ്റോസ്പേസ്, ഓട്ടോമോട്ടീവ്, പ്രതിരോധം, ആരോഗ്യം, എഞ്ചിനീയറിങ് എന്നീ മേഖലകളിൽ വളരെയധികം സാധ്യതകളുണ്ട്. പരമ്പരാഗത ഉൽപ്പാദന പ്രക്രിയയുമായി താരതമ്യപ്പെടുത്തുമ്പോൾ, വളരെ കുറഞ്ഞ സമയത്തിനുള്ളിൽ സങ്കീർണ ഘടകങ്ങൾ കുറഞ്ഞ ചെലവിലും ഫലപ്രദമായും നിർമിച്ചെടുക്കുന്നതിന് ഈ സാങ്കേതികവിദ്യ സഹായിക്കുന്നു. മാലിന്യമില്ലാത്തതിനാൽ ഉൽപ്പാദന പ്രക്രിയ തീർത്തും പരിസ്ഥിതി സൗഹൃദപരമാണ്. ഒരു ഉൽപ്പന്നത്തിന്റെ ഓരോ ഭാഗവും പ്രത്യേകം പ്രത്യേകം നിർമിക്കുന്നതിന് പകരം ഒരു പ്രക്രിയയിൽ തന്നെ ഉൽപ്പാദിപ്പിക്കപ്പെടേണ്ട വസ്തുവിന്റെ മുഴുവൻ ഭാഗവും ഒരുമിച്ച് നിർമിക്കുന്നു. അതിനാൽ, അധികച്ചെലവ് വരുന്നില്ല. വഴക്കം, വേഗത, ഉപയോഗിക്കാനുള്ള എളുപ്പം എന്നീ ഗുണങ്ങൾ ഈ സാങ്കേതികവിദ്യയെ പരമ്പരാഗത രീതികളിൽ നിന്നും വ്യത്യസ്തമാക്കുന്നു.

4ഡി പ്രിന്റിങ് എന്ന നൂതന ആശയം ഗവേഷകരുടെ മനസ്സിൽ

തെളിഞ്ഞു വന്നത് സ്മാർട്ട് പദാർഥങ്ങളുടെ കണ്ടുപിടിത്തത്തോടെയാണ്. 4ഡി പ്രിന്റിങ് വിദ്യ 3ഡി പ്രിന്റിങ്ങിൽനിന്നും പ്രധാനമായും വ്യത്യാസപ്പെട്ടിരിക്കുന്നത് പ്രിന്റ് ചെയ്യാൻ ഉപയോഗിക്കുന്ന വസ്തുക്കളുടെ അടിസ്ഥാനത്തിലാണ്, എന്നിരുന്നാലും നിർമാണ രീതികൾ ഒന്നുതന്നെയാണ്. ബാഹ്യഉത്തേജകങ്ങളോടുള്ള പ്രതികരണമായി രൂപഭേദം വരുത്താൻ കഴിയുന്ന വസ്തുക്കളാണ് ഇവിടെ ഉൽപ്പന്നങ്ങളുടെ വികസനത്തിന് ഉപയോഗിക്കുന്നത്. ഈ നൂതനവിദ്യയ്ക്ക് ഉൽപ്പാദന മേഖലയെയും അതുവഴി ജനജീവിതത്തെയും പരിവർത്തനം ചെയ്യുന്നതിനുള്ള കഴിവുണ്ട്. 3ഡി പ്രിന്റ് ചെയ്യാവുന്ന വസ്തുക്കൾ കാലക്രമേണ വ്യത്യസ്ത ആകൃതികളിലേക്ക് സ്വയം പ്രവർത്തിത പ്രോഗ്രാം ചെയ്യാൻ അനുവദിക്കുന്നതിലൂടെ 4ഡി പ്രിന്റിങ് 3ഡി പ്രിന്റിങ് സാങ്കേതികവിദ്യയെ ഒരു പടികൂടി മുന്നോട്ട് കൊണ്ടുപോകുന്നു. നിർമാണത്തിലും ഉൽപ്പാദനത്തിനുമുള്ള പ്രക്രിയകളിൽ, നിർദിഷ്ട രീതിയിൽ പലതരം മാറ്റങ്ങൾ വരുത്തുന്നതിന് ഈ സാങ്കേതികവിദ്യയ്ക്ക് കഴിവുണ്ട്. അതുമാത്രമല്ല, ഉൽപ്പന്ന വികസനം ഏതു പരിതസ്ഥിതിയിലും എളുപ്പമാക്കുന്നതിനും ഈ നിർമാണ വിദ്യയ്ക്ക് സാധിക്കും. 4ഡി പ്രിന്റിങ് എന്നത് പുതുതായി ഉയർന്നു വരുന്ന പ്രവർത്തനതലമാണ്. 4ഡി പ്രിന്റിങ് സാങ്കേതികവിദ്യയിൽ വളരെയധികം പുരോഗതികൾ സമീപ വർഷങ്ങളിൽ ഗവേഷണ ഫലമായി ഉണ്ടായിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്നു.

3ഡി/4ഡി വിദ്യകൾ ലബോറട്ടറികളിൽനിന്നും ഉൽപ്പാദന അന്തരീക്ഷത്തിലേക്ക് നീങ്ങുമ്പോൾ ഈ സാങ്കേതികത പൂർണമായി പ്രയോജനപ്പെടുത്തുന്നതിനായി നിലവിലെ തൊഴിൽ ശക്തിയെ പരിശീലിപ്പിക്കേണ്ടതുണ്ട്. അതുപോലെതന്നെ പുതുതലമുറയിലെ വിദ്യാർഥികളിൽ അഡിറ്റീവ് നിർമാണ രീതികളെക്കുറിച്ചും അവയുടെ വിശാല ഉപയോഗങ്ങളെയും സവിശേഷതകളെയും കുറിച്ചുള്ള അവബോധം വളർത്തേണ്ടതുണ്ട്. അഡിറ്റീവ് നിർമാണത്തെക്കുറിച്ചുള്ള അടിസ്ഥാനപരമായ ധാരണ, വിവിധ അഡിറ്റീവ് നിർമാണ പ്രക്രിയകൾ, അഡിറ്റീവ് നിർമാണത്തിനായുള്ള വസ്തുക്കളുടെ രൂപകൽപ്പന, അഡിറ്റീവ് നിർമാണത്തിൽ ഉപയോഗിക്കുന്ന വസ്തുക്കൾ, ഈ സാങ്കേതികവിദ്യയിലൂടെ ഉൽപ്പാദിപ്പിച്ച ഭാഗങ്ങളുടെ ഗുണമേന്മ, അഡിറ്റീവ് ഉൽപ്പാദനത്തിന്റെ ഉപയോഗ





മേഖലകൾ എന്നീ കാര്യങ്ങളെക്കുറിച്ചുള്ള അറിവ് വിദ്യാഭ്യാസത്തിനും ഈ സാങ്കേതികവിദ്യയെക്കുറിച്ചുള്ള ഗവേഷണത്തിനും അതുപോലെ തൊഴിൽ ശക്തിയുടെ വളർച്ചയ്ക്കും അനിവാര്യമാണ്. ഇതിനായി സമീപകാലത്തെ പുരോഗതികൾ അവലോകനം ചെയ്തുകൊണ്ട് ഈ മേഖലയിൽ കൈവരിച്ച നേട്ടങ്ങളെക്കുറിച്ചും ഭാവിയിലെ സാങ്കേതികവിദ്യയായി ഇത് വികസിക്കുന്നതിനു അവ നേരിടുന്ന വെല്ലുവിളികളെക്കുറിച്ചുമുള്ള അറിവ് നൽകുക എന്നതാണ് ഈ പുസ്തകത്തിന്റെ ലക്ഷ്യം.

ഈ പുസ്തകത്തിന്റെ രചനയ്ക്കാവശ്യമായ 3ഡി പ്രിന്റ് ചെയ്ത ഭാഗങ്ങളുടെ ചിത്രങ്ങൾ നൽകിയ ഡബ്ലിൻ സിറ്റി യൂണിവേഴ്സിറ്റിയിലെ എന്റെ സഹപ്രവർത്തകരായ പ്രൊഫ. ഡെർമോട്ട് ബ്രാബസോൺ, ഡോ. മുഹാന്നദ് ഒബൈദി, ഡോ. റോബർട്ട് ഗ്രോർകെ, ഡോ. കീൻ ഹസ്, ആന്ദ്രേ മുസ്സാട്ടോ എന്നിവർക്ക് എന്റെ പ്രത്യേക നന്ദി. ഈ ഗ്രന്ഥം പ്രസിദ്ധീകരിക്കുന്ന കേരള ഭാഷാ ഇൻസ്റ്റിറ്റ്യൂട്ടിനും അതിനു നിമിത്തമായ എന്റെ സുഹൃത്ത് ഡോ. പ്രവീണയ്ക്കും നന്ദി.

ഇതിനു വേണ്ട എല്ലാ പ്രോത്സാഹനവും പിന്തുണയും തന്ന എന്റെ അമ്മ എ.സി. വത്സമ്മ, ഭർത്താവ് സോണി വിജയൻ, മറ്റു കുടുംബാംഗങ്ങൾ... എല്ലാവർക്കും നന്ദി.

ഈ ഗ്രന്ഥം എന്റെ ഏറ്റവും പ്രിയപ്പെട്ട പിതാവ് കെ. പവിത്രന്റെ സ്മരണയ്ക്കായി ഞാൻ സമർപ്പിക്കുന്നു.

**സിതാര പവിത്രൻ**
ഡബ്ലിൻ സിറ്റി യൂണിവേഴ്സിറ്റി (DCU)
അയർലാൻഡ്

## ഡോ. സിതാര ശ്രീനിലയം പവിത്രൻ

കോട്ടയം ജില്ലയിലെ കുടവെച്ചൂർ ആണ് ജന്മസ്ഥലം. മാതാപിതാക്കൾ: വത്സമ്മ എ. സി., പവിത്രൻ കെ., സഹോദരങ്ങൾ: ഷനിൽ ബ്രൈറ്റ്, നെഗൽ ബ്രൈറ്റ്, ഭർത്താവ്: സോണി വിജയൻ. കുടവെച്ചൂർ ദേവി വിലാസം ഹൈസ്കൂൾ, മാന്നാനം കെ. ഇ കോളേജ്, കോട്ടയം സി. എം. സ്. കോളേജ്, പൂത്തോട്ട എസ്. എ. എം. ടീച്ചേർസ് ട്രെയിനിങ് കോളേജ് എന്നിവിടങ്ങളിലായി സ്കൂൾ-കോളേജ് വിദ്യാഭ്യാസം പൂർത്തീകരിച്ചു. 2013-ൽ അയർലണ്ടിലെ ടെക്നോളജിക്കൽ യൂണിവേഴ്സിറ്റി ഓഫ് ഡബ്ലിനിൽ നിന്നും സോഫ്റ്റ് മാറ്റർ ഫിസിക്സിൽ ഡോക്ടറേറ്റ് നേടുകയും തുടർന്ന് അയർലണ്ടിലെ തന്നെ ട്രിനിറ്റി കോളേജിൽ പോസ്റ്റ്ഡോക്ടറൽ റിസേർച്ചറായും, ഡബ്ലിൻ സിറ്റി യൂണിവേഴ്സിറ്റിയിൽ റിസർച് സെന്റർ മാനേജരായും സേവനം അനുഷ്ഠിച്ചു. നേച്ചർ കമ്മ്യൂണിക്കേഷൻ, മെറ്റീരിയൽസ് ടുഡേ, തുടങ്ങിയ അന്താരാഷ്ട്ര ഗവേഷണ മാസികകളിലും ശാസ്ത്ര സമ്മേളന പ്രസിദ്ധീകരണങ്ങളിലുമായി ലിക്വിഡ് ക്രിസ്റ്റൽ, വിയറബിൾ ഡിവൈസ്, അഡിറ്റീവ് മാനുഫാക്ചര്യറിങ്, സെറാമിക്സ് എന്നീ മേഖലകളിൽ മുപ്പത്തിയഞ്ചിന് മേൽ ഗവേഷണ പ്രബന്ധങ്ങൾ പ്രസിദ്ധീകരിച്ചിട്ടുണ്ട്. നിലവിൽ അയർലണ്ടിലെ തന്നെ ഐ-ഫോം റിസർച് സെന്ററിൽ (ഡബ്ലിൻ സിറ്റി യൂണിവേഴ്സിറ്റി) നാനോ, അഡിറ്റീവ് മാനുഫാക്ചര്യറിങ് എന്നീ മേഖലകളിൽ ഗവേഷണം നടത്തി വരുന്നു.

വിലാസം : ഉഷസ്, മുളക്കുഴ പി. ഓ.,
ചെങ്ങന്നൂർ - 689505, കേരളം

ഇമെയിൽ : spsithara@gmail.com




# ഉള്ളടക്കം


ആമുഖം v

രണ്ടു വാക്ക് vii

1. 3D പ്രിന്റിങ് സാങ്കേതികവിദ്യ 1
   - 1.1 എന്താണ് 3ഡി പ്രിന്റിങ് സാങ്കേതികവിദ്യ? 2
   - 1.2 3ഡി പ്രിന്റിങ്: പ്രവർത്തനവും ചരിത്രവും 6
   - 1.3 അഡിറ്റീവ് നിർമാണവും ആഗോള സമ്പദ്‌വ്യവസ്ഥയും 15
2. 3ഡി പ്രിന്റിങ് വിദ്യകൾ 20
   - 2.1 സോഫ്റ്റ്‌വെയർ വ്യൂഹങ്ങൾ 23
   - 2.2 STL ഡാറ്റാ ഘടന 27
   - 2.3 അഡിറ്റീവ് നിർമാണ (മാനുഫാക്ചറിങ്) ഫയൽ (AMF) 29
   - 2.4 അഡിറ്റീവ് നിർമാണപ്രക്രിയകൾ 30
   - 2.5 നിർമാണശേഷമുള്ള പ്രക്രിയകൾ (Postmanufacturing Processing) 58
   - 2.6 താങ്ങിനിറുത്തുന്ന ഭാഗങ്ങൾ നീക്കംചെയ്യൽ (Support Removal) 59
   - 2.7 ഉപരിതല ഘടന മെച്ചപ്പെടുത്തൽ (Surface Texture Improvements) 62
   - 2.8 സൗന്ദര്യാത്മകമായ മെച്ചപ്പെടുത്തലുകൾ (Aesthetic Improvements) 64
   - 2.9 താപസംബന്ധിയായ വിദ്യകൾ ഉപയോഗിച്ചുള്ള സ്വഭാവസവിശേഷതകളുടെ മെച്ചപ്പെടുത്തലുകൾ (Property Enhancements Using Thermal Techniques) 65
   - 2.10 3ഡി പ്രിന്റിങ് വിദ്യകളും പരമ്പരാഗത ഉൽപ്പാദന രീതികളും തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസങ്ങളും അവയുടെ സവിശേഷതകളും 65
3. 3ഡി പ്രിന്റ് ചെയ്യുവാൻ ഉപയോഗിക്കുന്ന വസ്തുക്കൾ 67
   - 3.1 പോളിമറുകൾ (Polymers) 68
   - 3.2 ലോഹങ്ങൾ (metals) 75
   - 3.3 സെറാമിക്കുകൾ (ceramics) 77
   - 3.4 മിശ്രിതങ്ങൾ (composites) 80
   - 3.5 ആരോഗ്യമേഖലയിൽ 3ഡി പ്രിന്റ് ചെയ്യുന്നതിന് ഉപയോഗിക്കുന്ന വസ്തുക്കൾ 82
4. 3ഡി പ്രിന്റിങ് സാങ്കേതികവിദ്യയുടെ പ്രധാന ഉപയോഗങ്ങൾ 89

4.1 നിർമാണ ഉപയോഗങ്ങൾ 90

4.2 വ്യോമയാന മോട്ടോർവാഹനമേഖലയിലെ ഉപയോഗങ്ങൾ 93

4.3 ആരോഗ്യമേഖലയിലെ ഉപയോഗങ്ങൾ 105

4.4 ഭക്ഷ്യവ്യവസായത്തിലെ ഉപയോഗങ്ങൾ 117

4.5 ആഭരണനിർമാണ ഉപയോഗങ്ങൾ 119

**5. 4ഡി പ്രിന്റിങ് സാങ്കേതികവിദ്യ 121**

5.1 4ഡി പ്രിന്റ് ചെയ്യുന്നതിന് വേണ്ടിവരുന്ന ചെലവ് 123

5.2 4ഡി പ്രിന്റിങ് വിപണി 124

**6. 4ഡി പ്രിന്റ് ചെയ്യുവാനുപയോഗിക്കുന്ന വസ്തുക്കൾ: സമർഥമായ പദാർഥങ്ങൾ (smart materials) 126**

6.1 സിംഗിൾസ്മാർട്ട് പദാർഥങ്ങൾ (Single Smart Materials) 127

6.2 മൾട്ടീ-പദാർഥങ്ങളും (Multimaterials) മിശ്രിതങ്ങളും (Composites) 143

6.3 മൾട്ടിഫങ്ഷണൽ പദാർഥങ്ങൾ (Multifunctional Materials) 145

6.4 ഉത്തേജകങ്ങൾ (Stimulus) 146

**7. 4ഡി പ്രിന്റിങ് സാങ്കേതികവിദ്യകളുടെ പ്രധാന നേട്ടങ്ങൾ 150**

7.1 ആരോഗ്യം 153

7.2 ഓട്ടോമൊബൈൽസ് 158

7.3 ബഹിരാകാശം 158

7.4 പ്രതിരോധം 158

7.5 മറ്റുപയോഗങ്ങൾ 160

**8. 3ഡി, 4ഡി പ്രിന്റിങ് സാങ്കേതികവിദ്യകളുടെ പരിമിതികൾ 162**

8.1 3ഡി പ്രിന്റിങ് പരിമിതികൾ ഒറ്റനോട്ടത്തിൽ 163

8.2 4ഡി പ്രിന്റിങ് പരിമിതികൾ ഒറ്റനോട്ടത്തിൽ 164

**9. 3ഡി/ 4ഡി പ്രിന്റിങ് സാങ്കേതികവിദ്യകളുടെ വെല്ലുവിളികളും ഭാവിയും 165**

**10. 5ഡി പ്രിന്റിങ് സാങ്കേതികവിദ്യ 170**

**അനുബന്ധം 1 172**

**അനുബന്ധം 2 173**




# 1

## 3D പ്രിന്റിങ് സാങ്കേതികവിദ്യ

ത്രിമാനഘടനകളുടെ (3D) പ്രിന്റിങ് വളരെ വേഗത്തിൽ വികസിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു സാങ്കേതികവിദ്യയാണ്. ഇത് അഡിറ്റീവ് നിർമാണം (additive manufacturing) അല്ലെങ്കിൽ ദ്രുത പ്രോട്ടോടൈപ്പിങ് (Rapid Prototyping, (RP)) അല്ലെങ്കിൽ സോളിഡ് ഫ്രീ ഫോം ഫാബ്രിക്കേഷൻ (Solid free form fabrication) അല്ലെങ്കിൽ പാളികളായുള്ള നിർമാണം (layered manufacturing) എന്നും അറിയപ്പെടുന്നു. 3ഡി പ്രിന്റിങ് താരതമ്യേന ഒരു പുതിയ സാങ്കേതികവിദ്യയാണ്. ലോകമെമ്പാടുമുള്ള നിർമാണ വ്യവസായങ്ങൾ, ഉൽപ്പന്നത്തിന്റെ രൂപകൽപ്പനയുടെ വികസന പ്രക്രിയ, എന്നിവയെ 3ഡി പ്രിന്റിങ് ആഴത്തിൽ സ്വാധീനിക്കുന്നു. സമീപ വർഷങ്ങളിൽ പല മേഖലകളിലുമുള്ള (ഉദാഹരണത്തിന്: എയറോനോട്ടിക്സ്, റോബോട്ടിക്സ്, ഇലക്ട്രോണിക്സ്, വ്യാവസായിക വസ്തുക്കൾ, ഭക്ഷ്യവ്യവസായം) നിർമാണ പ്രവർത്തനങ്ങൾക്ക് ഇത് ഉയർന്ന സ്വാധീനം ചെലുത്തുന്നു.

1986 ൽ "3D സിസ്റ്റം" എന്ന അമേരിക്കൻ കമ്പനിയുടെ സഹസ്ഥാപകനായ ചാൾസ് ഡബ്ല്യൂ. ഹൾ (ചിത്രം1.1) ആണ് ഈ നൂതന സാങ്കേതികവിദ്യ ആദ്യമായി അവതരിപ്പിച്ചത്. തന്റെ ഈ 3ഡി പ്രിന്റിങ് എന്ന ആശയം ദ്രാവകങ്ങളിൽ മാത്രമായി പരിമിതപ്പെടാതെ ഖരം, പൗഡർ എന്നീ വസ്തുക്കളിൽകൂടി സാധ്യമാകുമെന്ന് മനസ്സിലാക്കി ഇതിന് അദ്ദേഹം "സ്റ്റീരിയോലിത്തോഗ്രാഫി" (SLA) എന്ന പൊതുവായ പേര് നൽകി. ഇതാണ് ആദ്യത്തെ വാണിജ്യ ദ്രുത പ്രോട്ടോടൈപ്പിങ് സാങ്കേതികവിദ്യ. വാണിജ്യ അടിസ്ഥാനത്തിൽ ഉൽപ്പാദിപ്പിക്കപ്പെടേണ്ട വസ്തുവിന്റെ മാതൃക അല്ലെങ്കിൽ

## അനുബന്ധം 1

# (Greek Alphabets)

### (ഗ്രീക്ക് അക്ഷരമാല)

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Α | α | alpha | Ν | ν | nyu |
| Β | β | beta | Ξ | ξ | xi |
| Γ | γ | gamma | Ο | ο | omi-cron |
| Δ | δ | delta | Π | π | pi |
| Ε | ε | epsilon | Ρ | ρ | ρηο |
| Ζ | ξ | zeta | Σ | σ | sigma |
| Η | η | eta | Τ | τ | tau |
| Θ | θ | theeta | Υ | υ | upsilon |
| Ι | ι | iota | Φ | φ | phi |
| Κ | κ | kappa | Χ | χ | chi |
| Λ | λ | lamda | Ψ | ψ | psi |
| Μ | μ | myu | Ω | ω | omega |



## അനുബന്ധം 2

### അധികവായനയ്ക്ക്


1. 3D Printing -Technology Applications and Selection, by Rafiq Noorani, CRC Press, Taylor and Francis Group, 2018.
2. Additive Manufacturing-Design, Methods and, Processes, Edited by Steinar Killi, Pan Stanford Publishing Pte. Ltd. 2017.
3. 3D Printing and Additive Manufacturing Technologies, Edited by L. Jyothish Kumar, Pulak M. Pandey and David Ian Wimpenny, Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2019.
4. 3D Printing in Medicine, Edited by Dr. Deepak M. Kalaskar, Elsevier Ltd. 2017.
5. 3D and 4D printing in Biomedical Applications, Edited by Mohammed Maniruzzman, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2019.